

Building Balance

Onderzoek NTA 8800

Relatie tussen biobased bouwen en de bepaling van de energieprestatie van gebouwen

Reference: -

definitief | 9 oktober 2024

Dit rapport is opgesteld met inachtneming van de specifieke instructies en eisen van de opdrachtgever. Gebruik van (delen van) dit rapport door derden, zoals bijvoorbeeld (maar niet beperkt tot) openbaarmaking, vermenigvuldiging en verspreiding is verboden. Arup aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid jegens derden voor de inhoud van het rapport, noch kan een derde aan de inhoud van het rapport enig recht ontlenen. This report takes into account the particular instructions and requirements of our client. It is not intended for and should not be relied upon by any third party and no responsibility is undertaken to any third party

Opdracht nummer 297122-00

Arup B.V.
Beta Building Naritaweg 118
1043 CA
Amsterdam
Netherlands
[arup.com](https://www.arup.com)



© Visitor centre Wildfowl & Wetlands Trus / Arup

Inhoud

1.	Inleiding	6
1.1	Doel van het project	6
1.2	Opzet van het onderzoek	6
1.3	Leeswijzer	7
2.	Biobased constructies	8
2.1	Wat is biobased?	8
2.2	Biobased bouwpraktijk	8
2.3	Technische eigenschappen	10
2.4	Conclusies technische eigenschappen	15
3.	Energieprestatienormen	16
3.1	NTA 8800	16
3.2	EPBD	18
3.3	Conclusies energieprestatie & biobased constructies	19
4.	Dynamische simulaties: (benuttings)factoren	20
4.1	Hypothesen	20
4.2	Methoden	20
4.3	Uitgangspunten	21
4.4	Resultaten H1: kalibratie NTA 8800 en dynamische simulaties	23
4.5	Resultaten H2: variantenstudie ter bepaling factoren	31
4.6	Variantenstudie conclusies	36
5.	Dynamische simulaties: hygrische invloed op energie	37
5.1	Hypothese	37
5.2	Methode	37
5.3	Simulaties	37
5.4	Typologie	37
5.5	Varianten	38
5.6	Rekenstappen	38
5.7	Resultaten	39
5.8	Conclusies hygrisch & energie	40
6.	Dynamische simulaties: hygrische invloed op comfort	41
6.1	Hypothese	41
6.2	Methode & uitgangspunten	41
6.3	Resultaten	42
6.4	Discussie	43
6.5	Conclusies hygrisch & comfort	44
7.	Conclusies	45
7.1	Literatuurstudie & marktverkenning	45
7.2	Dynamische simulaties ter ijking van de maandmethode conform de NTA 8800	45

7.3	Algemeen	46
8.	Aanbevelingen	47
8.1	Product- en materiaaldata	47
8.2	Bepaling warmtecapaciteit & faseverschuiving	47
8.3	Bepaling energiebehoefte	47
9.	Literatuur	49
	Credentials	50

Appendices

Appendix A	1
Achtergrond & details bij onderzoeken	1
A.1 Samenvatting inbreng belanghebbenden	2
A.2 Onderzoeken benuttingsfactor	1
Appendix B	1
Uitgangspunten berekeningen	1
B.1 Samenvatting per onderzoek	2
B.2 Reken- en simulatiemethoden	1
B.3 Geometrieën	2
B.4 Constructies	5
B.5 Uitgangspunten simulaties	13

Samenvatting

Biobased bouwen in ontwikkeling

Met de sterk ontwikkelende biobased markt is de bouwbranche zoekende naar mogelijkheden om deze ‘groeierende’ constructie-, plaat-, isolatiematerialen en andere producten een zachte landing te geven in de bouwpraktijk. Kennis wordt bij elkaar gebracht over bouwmethoden, technische specificaties en eventuele risico’s zoals brandveiligheid en vocht. Eén van de aspecten die in de huidige markt richtinggevend is voor zowel renovatie- als nieuwbouw ontwerpkeuzes is de energieprestatie van gebouwen, mede omdat eisen strenger worden en de waarde van een goede energieprestatie toeneemt.

In opdracht van Building Balance is Arup gevraagd om te onderzoeken of- en zo ja welke belemmeringen er in de huidige rekenmethodiek voor energieprestatie in Nederland (NTA 8800) zijn, die een sterke relatie hebben met biobased materialen. Het doel is om op dit vlak beter inzicht te krijgen in de rekenmethodiek en adviezen te bundelen aan ontwerpers, adviseurs, leveranciers van producten, brancheverenigingen, de projectgroep NTA 8800 en de wetgever. Arup heeft daartoe in samenspraak met Building Balance een onderzoek opgezet, waarin literatuurstudie, detailstudie van de norm, inspraak van belanghebbenden en toetsing middels simulaties wordt gecombineerd.

Specifiek uit de inspraak van belanghebbenden blijkt dat het begrip ‘faseverschuiving’ in het algemeen én de eventuele invloed van vocht op die parameter van belang is om nader te onderzoeken. Daartoe zijn twee beperkte hygrisch-gerichte studies uitgevoerd om zowel eventuele rekenmethoden als mogelijke effecten bij typische situaties inzichtelijk te maken.

Technische aspecten

In de literatuurstudie wordt beschouwd welke technische aspecten van biobased materialen kenmerkend zijn voor hun rol in de energiehuishouding. Dit is bijvoorbeeld de grotere porositeit waarmee **vochttopslag** en doorgang een grotere rol speelt dan bijvoorbeeld bij steenachtige materialen of kunststof isolatie. Voor biobased isolatiematerialen is de **warmtegeleidingscoëfficiënt** soms hoger dan bij minerale wol of kunststof producten, waardoor voor eenzelfde R_c-waarde een grotere dikte moet worden toegepast. De massa van biobased materialen, zeker in relatie tot de hierbij typische bouwmethodiek (veelal houtskeletbouw (HSB)) is lager dan in geval van traditionele beton- en metselwerk bouwsystemen, maar hoger dan bij HSB-constructies met minerale wol. De warmtecapaciteit (ookwel thermische massa) verdient in dit onderzoek daarom veel aandacht, vooral omdat de warmtecapaciteit invloed heeft op het resultaat van de energieprestatieberekening én het thermisch comfort. Bij de bepaling van zowel de energieprestatie als het thermisch comfort wordt in Nederland gebruik gemaakt van een maandmethode die haar basis vindt in de Europese EPBD-richtlijn. Om tot deze maandmethode te komen, wordt gebruik gemaakt van een ‘benuttingsfactor’, waarmee het thermisch dynamische gedrag van een gebouw wordt vertaald van de (in werkelijkheid) veranderingen per minuut/uur naar de energiebehoefte op maandniveau. Deze methode is Europees bepaald en wordt in meer landen toegepast. Frankrijk blijkt een uitzondering hierop en werkt met een uurlijkse bepalingsmethode voor energieprestatie. Overige Europese landen, inclusief Nederland geven vooralsnog de voorkeur aan de sneller en eenvoudiger hanteerbare maandmethode.

Faseverschuiving

Bijzondere aandacht wordt gegeven aan het begrip ‘**faseverschuiving**’, dat direct gerelateerd is aan de warmtecapaciteit van een constructie. De biobased brancheorganisaties benadrukken dit effect bij de toepassing van hun producten, in vergelijking met minerale isolatiematerialen met lagere massa. De hogere massa (en eventueel de hygrische capaciteit) van biobased materialen worden positief geacht op voornamelijk het thermisch comfort, omdat de grotere faseverschuiving leidt tot een langer tijdsbestek waarin eventuele opvallende zonnestraling de binnentemperatuur beïnvloedt. Bij onderzoek naar deze parameter in de NTA 8800 normering blijkt dat de toegepaste warmtecapaciteit voor zowel energie- als comfortbepaling gebaseerd is op een eenvoudige statische methode, waardoor de massa van isolatiematerialen in bijvoorbeeld HSB constructies buiten beschouwing blijft. Uitgebreidere methoden voor bepaling van de capaciteit zijn beschikbaar, maar niet van toepassing binnen NTA 8800.

Kalibratie maand- en uurlijkse methoden

Door middel van simulaties is gecontroleerd of het doorrekenen van een standaard gebouwtypen middels uurlijkse simulaties vergelijkbare resultaten geeft als in de maandmethode; hiertoe worden uitgangspunten zoals gebruik en regelingen gelijkgesteld. Omdat het onderzoek zich richt op het effect van materialen, wordt primair gekeken naar de resultaten in de energiebehoefte (EP1), waarvoor een ventilatieconcept op basis van natuurlijke toevoer en mechanische afvoer is voorgeschreven. In deze kalibratieronde wordt gevonden dat de energiebehoefte voor verwarming in de woningtypen redelijk goed overeenkomt. Verschillen worden gevonden bij de energiebehoefte voor koeling, die hoger blijkt bij de uurlijkse simulaties dan volgens de maandmethode NTA 8800 wordt bepaald. Bij controle van dit effect voor hoge- of lage warmtecapaciteit blijkt dat de NTA 8800 een grotere *toename* van koelbehoefte laat zien bij lagere warmtecapaciteit dan in de uurlijkse simulaties wordt gevonden. In totaal blijkt de koelbehoefte voor gebouwen met lage warmtecapaciteit wel groter, maar het verschil ten opzichte van gebouwen met hoge warmtecapaciteit is bij uurlijkse simulaties significant kleiner.

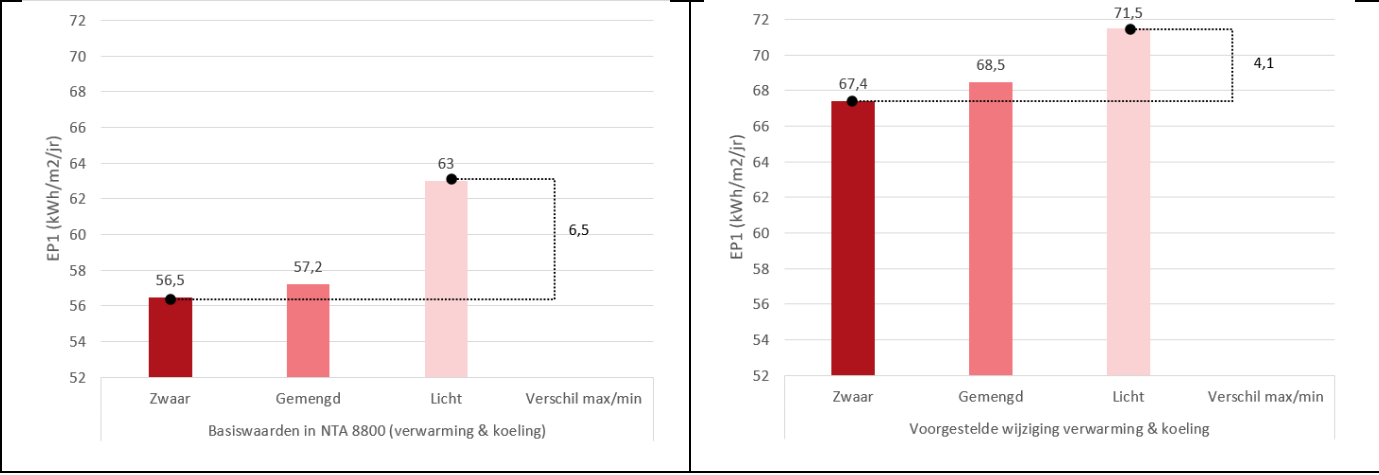
De bevindingen in de literatuur, waarin de bepalingsmethode voor de warmtecapaciteit in de maandmethode ruimte blijkt te hebben voor nadere detaillering én uit de kalibratie van de maandmethode aan uurlijkse simulaties geven beide reden voor het uitvoeren van een variantenstudie, waarmee een betere ‘fit’ wordt gezocht tussen de uurlijkse simulatie en de NTA 8800. Door aanpassing van de standaardfactoren in de benuttingsfactor (met vaste factoren α en τ) én de introductie van een extra constante c wordt inzichtelijk gemaakt hoe de methoden beter bij elkaar kunnen worden gebracht. Dit is gedaan voor een typische rijwoning met C1 ventilatiesysteem. Deze methode sluit aan op de initiële bepaling van de benuttingsfactor uit de jaren ’90 en is in lijn met internationaal onderzoek waarin al voor Zuid-Europese landen is geconcludeerd dat er voornamelijk voor de bepaling van koelbehoefte reden is tot herijking.

Middels de aanpassing van de genoemde drie factoren α , τ en c worden de uitkomsten van zowel de warmtebehoefte als de koudebehoefte aangepast, zodanig dat deze aansluiten bij de resultaten uit uurlijkse simulaties.

Energiebehoefte ‘zwaar’ en ‘licht’

Van belang voor beoordeling van de energieprestatie is de vertaling van warmte- en koudebehoefte naar de drie energieprestatie-indicatoren: EP1 (behoefte), EP2 (gebruik) en EP3 (aandeel hernieuwbare energie). Om de resultaten van de huidige NTA 8800 rekenmethode te vergelijken met het alternatief voorstel, is het referentiegebouw " Nr. 10, Woning S tussen" gebruikt. Wanneer eerder benoemde factoren worden toegepast blijkt dat de invloed significant is voor de energiebehoefte (EP1). De aanpassing leidt tot een ca. >10% wijziging op de warmte- en koudebehoefte in EP1 en een kleinere aanpassing van ca. 3-6% in de EP2 en EP3. Door de voorgestelde aanpassing ontstaat een kleiner verschil tussen de koudebehoefte van constructies met hoge en lage warmtecapaciteit. Dit is voor de EP1 inzichtelijk gemaakt in onderstaande figuur.

Figuur 1: Vergelijk tussen huidige NTA8800 rekenmethode voor benutting warmtewinst en alternatief voorstel, voor EP1, typische rijwoning



Hygrisch

Aanvullend op de kalibratie aan NTA 8800, waarin hygrische aspecten van constructies niet worden meegerekend, is geverifieerd voor zowel de jaarlijkse energiebehoefte als voor het thermisch comfort in welke mate vochtopslag en -transport hier effect op heeft. Op basis van de literatuur werd geen invloed verwacht op de jaarlijkse energieprestatie, wat ook blijkt uit de resultaten van simulaties in enerzijds de hygrische module van EnergyPlus (EMPD) en anderzijds door controle van het effect in de constructie middels WUFI1D. In de WUFI simulaties is wel te zien dat er vochttransport plaatsvindt van- en naar de ruimte, echter uit de EnergyPlus doorrekening voor invloed op jaarlijkse energiebehoefte blijkt de invloed van die uitwisseling minimaal.

Een tweede controle in uitsluitend de zomerperiode voor thermisch comfort laat zien dat voor een typische vrijstaande woning de invloed van hygrische uitwisseling op het aantal gewogen temperatuur overschrijdingsuren minimaal is. In het specifieke voorbeeld, van een woning met beperkte overstekken wordt dit toegeschreven aan de significante hoeveelheid spui- en zomernachtventilatie die benodigd is om zonder actieve koeling het aantal gewogen temperatuur overschrijdingsuren (GTO) te minimaliseren. Uit varianten zonder de toepassing van zomernachtventilatie blijken zeer grote overschrijdingen, maar wel een verschil tussen dampopen en dampdichte opbouwen. Dit leidt tot de aanbeveling om de toepassing van simulatiemethoden die hygrische effecten meerekenen als gelijkwaardigheid mogelijk te maken. In de bepaling van de in NTA 8800 opgenomen TO_{juli} komen deze effecten zeker niet tot uiting, door de vereenvoudigde methode waarin hygrische effecten niet worden meegenomen.

Adviezen

Uit de verschillende onderzoeken blijkt dat een belemmering voor het ontwerpen met biobased materialen voornamelijk wordt gevonden in de bepaling van koelbehoefte in NTA 8800. De bepalingsmethode wordt zowel beïnvloed door de wijze waarop de specifieke warmtecapaciteit wordt bepaald (standaard, of gedetailleerde methode in bijlage B van de norm) alsook door de wijze waarop warmtewinst en -verlies wordt vertaald in maandelijkse resultaten via de (benuttings)factoren. Naast de invloed op koelbehoefte zijn er enkele belemmeringen in de beperkte beschikbaarheid van productspecifieke waarden.

Gerelateerd aan de NTA 8800 is de alternatieve methode voor bepaling van thermisch comfort zoals beschreven in BBL, waarin getoetst wordt aan het aantal GTO. Dit alternatief voor de thermisch comfort risico inschatting (TO_{juli}) bepaling in NTA 8800 is momenteel uitsluitend gericht op thermische aspecten; waarbij meerekenen van hygrische aspecten een aanvulling kan zijn.

Verbeteringen worden voor de energiebehoefte voorgesteld in drie niveau's:

1. Op korte termijn door aanpassing van de wettelijk grenswaarden,
2. Op middellange termijn door aanpassing van de α en τ en c factoren voor bepaling maandelijkse warmte- en koudebehoefte in NTA 8800
3. Op langere termijn beschikbaar maken van een goed gelijkwaardig alternatief voor de maandmethode door eenduidige simulatie-uitgangspunten vast te stellen voor uurlijkse simulaties, een en ander in lijn met EPBD4.

Om dit mogelijk te maken zal nader onderzoek noodzakelijk zijn. De voorliggende studie betreft een brede verkenning van de mogelijke belemmeringen en aanduiding van de globale invloed. Voor implementatie van de voorgestelde aanpassingen zullen aanvullende simulaties van meer woningtypen, energieconcepten en gebruiksfuncties benodigd zijn. Dit onderzoek levert de basis voor die simulaties, dankzij de onderbouwing en test van de beoogde methodiek.

Theorie en praktijk

Dit onderzoek richt zich op eventuele belemmeringen voor biobased materialen in relatie tot energieprestatie volgens NTA 8800, dit is niet het werkelijke gebruik maar een fictieve prognose. Het onderzoek richt zich niet op belemmeringen als gevolg van werkelijke toepassing van biobased materialen en biedt ook geen adviezen voor de het detailleren van deze materialen in de praktijk.

De NTA 8800 is een berekeningsmethodiek die ten grondslag ligt aan de bepaling van theoretische energieprestatie van gebouwen, zodanig dat een eenduidig vergelijk kan worden gemaakt tussen vastgoed objecten. De gevonden

belemmeringen in dit onderzoek dienen daarmee tot wegnemen van oneigenlijk vergelijk. De bepalingsmethode voor energieprestatie is niet ontwikkeld om te komen tot optimale ontwerpkeuzes, deze dienen afhankelijk te zijn van meewegen van alle belangen, ook het beoogd gebruik van een gebouw. In de praktijk blijkt de NTA 8800 toch veelvuldig te worden toegepast als ontwerp tool, mede gedreven uit strenge eisen uit regelgeving en waardering van vastgoed. De voorgestelde verbeterde ijking tussen de maandmethode en uurlijkse simulaties zal daarmee ook bijdragen aan betere ontwerpkeuzes.

1. Inleiding

1.1 Doel van het project

Het doel van het project is het identificeren van beperkingen voor biobased materialen in de Nederlandse norm voor energieprestatie van gebouwen in Nederland: NTA 8800. Dit doel komt voort uit feedback uit de markt over onverwachte uitkomsten voor biobased gebouwen. Of deze uitkomsten daadwerkelijk onrealistisch zijn of niet, zal worden vastgesteld met behulp van dynamische simulaties. De focus op deze norm hangt samen met de doelstellingen van opdrachtgever Building Balance, de organisatie die is opgericht om de schaalvergroting van biobased bouwen te ondersteunen. Uit oogpunt van deze schaalvergroting is het relevant om eventuele belemmeringen in wettelijk verplichte rekenmethoden te onderzoeken.

De uitkomsten van het onderzoek zijn onder andere:

- Adviezen aan ontwerpers van gebouwen met biobased bouwmaterialen over relevante invoermethoden in energieprestatie- en thermisch comfort berekeningen;
- Adviezen aan de projectgroep NTA 8800 voor verbeteringen aan norm en/of nader onderzoek;
- Adviezen aan leveranciers en producenten van biobased bouwmaterialen voor uitvoeren van testen en specificatie van aspecten van hun materialen ter ondersteuning van de bouwpraktijk.

1.2 Opzet van het onderzoek

Om de eventuele belemmeringen van biobased materialen te vinden in de NTA 8800 zijn de volgende deelonderzoeken uitgevoerd:

- Literatuurstudie & marktverkenning
- Dynamische simulaties ter ijking van de maandmethode
 - Energieprestatie volgens NTA 8800 en opvolgende analyse naar (benuttings)factoren die eventuele afwijkingen beïnvloeden;
 - Energieprestatie simulaties ter controle van het hygrische effect tussen constructies en de ruimte;
 - Thermisch comfort simulatie ter controle van het hygrische effect tussen constructies en de ruimte.

Gedurende alle fasen van het onderzoek worden belanghebbenden uit de relevante marktsegmenten betrokken om richting te geven aan gehanteerde uitgangspunten, relevantie te beschouwen van de onderzoeken en ter controle van de uitkomsten.

1.2.1 Literatuurstudie & marktverkenning

Binnen de literatuurstudie en marktverkenning worden de karakteristieke eigenschappen van biobased materialen uiteengezet, van waaruit de relatie met energie- en thermisch comfort simulaties duidelijk wordt. Tevens wordt toegelicht hoe de Nederlandse norm NTA 8800 zich verhoudt tot de Europese normering waar deze van is afgeleid en ontwikkelingen daarin.

1.2.2 Dynamische simulaties ter ijking van de maandmethode

Vanuit de verkenning wordt het onderzoek binnen NTA 8800 nader toegespitst, waardoor de focus komt te liggen op het effect van de **benuttingsfactor** en daaraan vergelijkbare factoren, die zorgen voor vertaling van de dynamische effecten naar de maandmethoden. Middels uurlijkse simulaties worden den NTA 8800 uitkomsten geijkt, volgens gelijkgestelde uitgangspunten (bijv. voor binnentemperatuur, interne warmteproductie et cetera).

Hieruit volgen inzichten over de realiteit van de NTA 8800 uitkomsten ten opzichte van het ‘werkelijk gesimuleerde’ gedrag van constructies en/of materialen. Bewonersinvloeden worden hierin niet gevarieerd.

Aanvullend op de thermische simulatie ter ijking van de NTA 8800 (die niet rekent met hygrische aspecten van materialen), wordt middels twee deelstudies de invloed van vochtuitwisseling tussen de ruimte en de schil beschouwd: de invloed op jaarlijks energiegebruik en de invloed op thermisch comfort in de zomerperiode.

Deze onderzoeken leiden tot inzichten over onder andere faseverschuiving, dynamische warmtecapaciteit en de invloed van dampremmende lagen op de uitwisseling van vocht door biobased materialen.

1.2.3 Samenwerking met belanghebbenden

De onderzoeken die door Arup zijn uitgevoerd, zijn gedurende het project geverifieerd met relevante belanghebbenden. Er wordt nauw samengewerkt met de *projectgroep* vanuit opdrachtgever Building Balance en hun experts. Daarbij is periodiek de opzet, voortgang en resultaten gedeeld met een geselecteerde groep *belanghebbenden* vanuit de markt-, regelgeving en onderzoekswereld.

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de betrokken personen en hun expertise met betrekking tot dit project, die allemaal een bijdrage hebben geleverd aan de ontwikkeling van de verdere strategie.

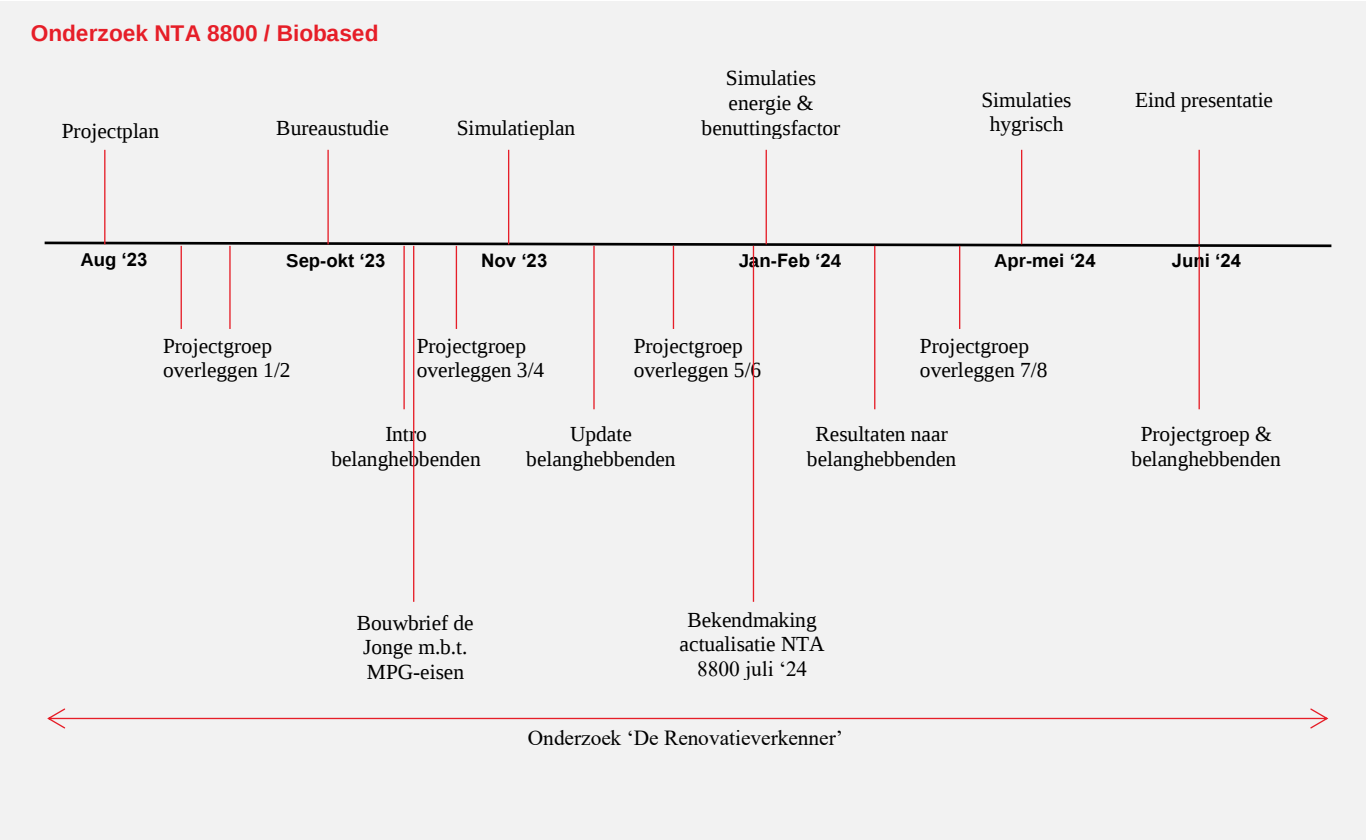
Tabel 1: Team & belanghebbenden

Organisatie (dikgedrukte = projectgroep)	Naam	Expertise	Rol & verdere betrokkenheid
Arup	Filique Nijenmanting	NTA 8800; simulaties (WUFI / Energy+, BEANS, AI, ML,...); thermos-hygrische aspecten, bouw fysica	Projectmanager
	Veronika Heidegger, Philipp Scharf, Jake Haskell, Jerell Gill, Jianyu Chen, Kiana Mousavi, Sharon Verghese, Lee Corcoran		Ondersteuning
Building Balance	Jan-Willem van de Groep, Sander Rutten	Innovaties, biobased, decarbonisatie	Klant; promotor van biobased materialen
NBVT	Mariette Willems	NTA 8800, houtskeletbouw	Participatie van belanghebbenden; NTA 8800
VDM Woningen	Jordy Bergman	NTA 8800, houtskeletbouw	Participatie van belanghebbenden
Nieman	Andre Kruithof, John Bouwman	NTA 8800	Beleidsrapport voorbereiden op basis van onderzoeksrapport van Arup, participatie van belanghebbenden
TU/e	Lisanne Havinga	Betrokkenheid Renovatieverkenner	Participatie van belanghebbenden
	Team: Vasilis Soulios, Alexis Cvetkov-Iliev	EnergyPlus simulaties, ML, AI	Samenwerking bij simulaties
TNO	Marleen Spiekman	NTA 8800	Expert NTA 8800
BZK	Bouwe Meijer, Ruud Geerligts	Stimuleren van biobased materialen, betrokkenheid rekenmethode in NTA 8800	Participatie van belanghebbenden
Bouwnext	Carl-Peter Goossen	Energie-efficiënt woningen, Passiefhuismethode	Participatie van belanghebbenden
TBI	Dick van Ginkel	Dynamische simulaties en uurlijkse methode	Participatie van belanghebbenden (optioneel)
RVO	Roel Hofstra	Architect	Participatie van belanghebbenden
Davids bouwkundig ontwerp- en adviesbureau	Peter Davids, Koen Stöteler	Stroconstructie, BENG-berekeningen, isolatiewaarden	Participatie van belanghebbenden
Building Balance	Sjoerd Klijn Velderman	Stroconstructie	Participatie van belanghebbenden

Organisatie (dikgedrukte = projectgroep)	Naam	Expertise	Rol & verdere betrokkenheid
INNAX Woningen	Joris Berben	Beschikbaar stellen en ondersteuning bij gebruik van NEN Validatietool met betrekking tot NTA 8800	Ondersteuning bij resultaatverwerking naar benuttingsfactoren, volgend uit simulaties energiegebruik.
NEN	Jaap Steendam	Beschikbaar stellen en ondersteuning bij gebruik van NEN Validatietool met betrekking tot NTA 8800	Ondersteuning bij resultaatverwerking naar benuttingsfactoren, volgend uit simulaties energiegebruik.
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP	Philipp Kolsch	Expertise in gebruik van WUFI software & hygrische effecten.	Incidentele consultatie

1.2.4 Tijdlijn

In verband met continue ontwikkelingen in zowel de markt van biobased bouwen als in actualisering van de NTA 8800 wordt inzicht gegeven in de tijdlijn waarin dit onderzoek heeft plaatsgevonden. In Appendix A is een overzicht gegeven met de overlegmomenten waarin de voornaamste inbreng / besluitvorming is samengevat die het onderzoek heeft beïnvloedt.



Toelichting bij enkele onderdelen in deze tijdlijn:

- De aanpassingen van NTA 8800 die zijn gepubliceerd in januari 2024 waren al bij aanvang van dit onderzoek vastgesteld. In het jaar 2024 wordt (naar verwachting) echter niet gewerkt aan een update van de NTA 8800 in 2025 (versie 2025). Het volgende tijdslot zou daarom in 2026 zijn, waarbij het mogelijk is dat eventuele aanpassingen op basis van de resultaten van dit onderzoek meegenomen kunnen worden. Te verwachten is dat bij grote wijzigingen een implementatie tot 2030 kan duren. Dat zal dan worden beschouwd in samenspel met de EPBD-IV introductie.

- Een relevant onderzoeksproject loopt parallel aan het voorliggende onderzoek, namelijk: 'De Renovatieverkenner', een samenwerking tussen TU/e, TNO en Twee Snoeken. In dit onderzoek worden zeer grote hoeveelheden EnergyPlus simulaties uitgevoerd, zodanig dat de resultaten kunnen bijdragen aan een snelle besluitvorming voornamelijk voor renovatie-oplossingen voor verduurzaming. Door centrale uitvoer van de simulaties en automatisering van het proces wordt een hoge mate van accuratie behaald zonder de besluitvormers per project te belasten met intensieve werkzaamheden. Het onderzoek is gestart voorafgaand aan de voorliggende studie en loopt door tot ver in 2024. Ervaringen tussen de onderzoekers worden gedurende het proces gedeeld.

1.3 Leeswijzer

Deze rapportage omvat de resultaten uit alle voornoemde onderzoeken. De voornaamste conclusies zijn gegeven in de tekst, waarbij aanvullende achtergrond is gegeven in de Appendices.

De rapportage bevat de hoofdstukken:

- Biobased constructies: waarin specifieke aspecten en definities worden gegeven, relevant voor dit onderzoek.
- Energieprestatie regelgeving: waarin het Europese kader en de specifieke uitwerking in de Nederlandse NTA 8800 wordt toegelicht. Hierin wordt ook duidelijk welke parallelle initiatieven lopen.
- Dynamische simulaties: in drie delen toelichting van de opzet van de simulaties, keuzes voor uitgangspunten en interpretatie van resultaten. Van daaruit verwijzing naar Appendices voor details.
- Conclusies & Aanbevelingen: samenvatting uit alle voornoemde onderzoeken

2. Biobased constructies

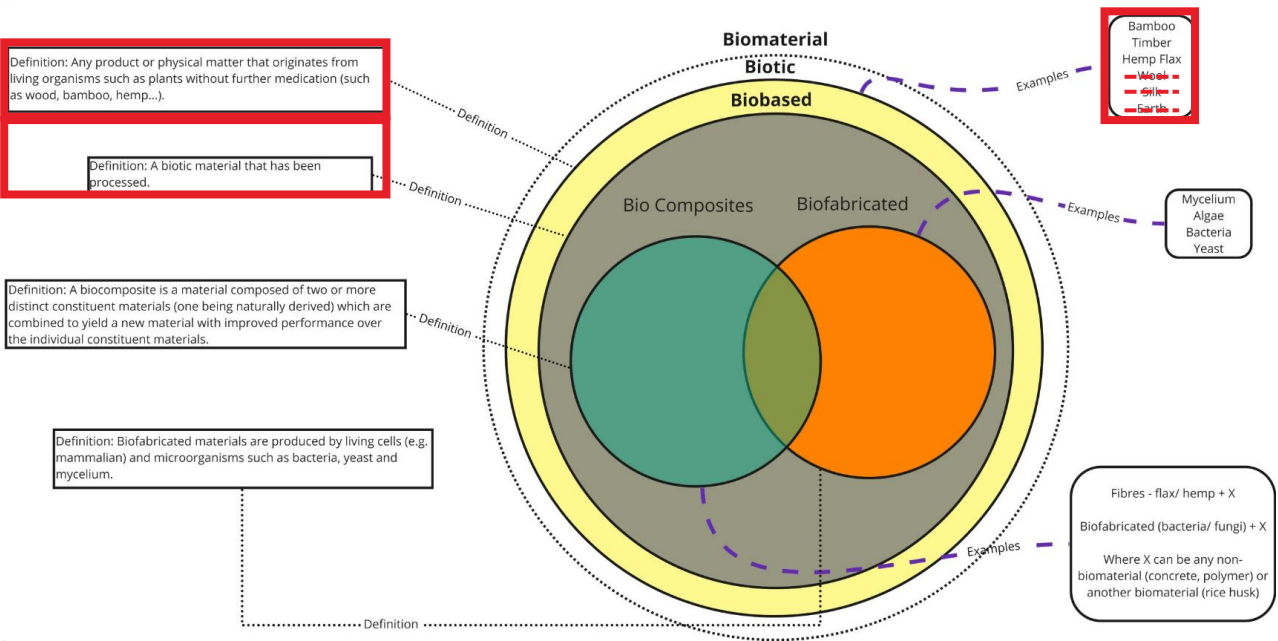
2.1 Wat is biobased?

Dit project richt zich op biobased materialen en onderzoekt daarbij de eventuele belemmeringen voor deze materialen in de NTA 8800. De definitie van biobased materialen voor dit project is daarom als volgt:

Biobased materialen worden beschouwd als categorie 1 materialen, gedefinieerd als "De plant als leverancier van waardevolle materialen" volgens ISSO-kennispaper "Kennispaper: Op weg naar een biobased economie ". Dit omvat onder andere houtskeletbouw, CLT-systemen, geteelde gewassen voor isolatie- en plaatmaterialen. Onderstaande figuur geeft dit in meer detail weer, gebaseerd op de Europese definitie: "De term biobased product verwijst naar producten die geheel of gedeeltelijk zijn afgeleid van biomassa, zoals planten, bomen of dieren (de biomassa kan een fysische, chemische of biologische behandeling hebben ondergaan)."

Volgens deze afbakening, betreft dit organische materialen. Dit is tevens een term die terugkomt in de NTA 8800 voor de bepaling van de conversiefactor (voor de invloed van vocht en veroudering), die benodigd is voor bepaling van de rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ_{calc}).

Visueel zijn dit de elementen zoals in onderstaande figuur gemarkeerd, met als toelichting dat de focus ligt op de ‘plantaardig groeiende materialen’, ookwel ‘biotic’. Materialen zoals wol en aarde vallen daarmee buiten de focus. Dit kunnen zowel materialen zijn direct van de plant komen of die zijn verwerkt, zoals het versnijden of vernalen.



Figuur 1: Infographic van Arup over de definitie van biomaterialen.

2.2 Biobased bouwpraktijk

2.2.1 Algemeen

De biobased bouwpraktijk is sterk in ontwikkeling, zowel in binnen- als buitenland. Daarin wordt duidelijk dat het detailniveau van- en de hoeveelheid data over technische eigenschappen nog niet zo volledig is als voor de minerale of synthetische bouwmaterialen.

Instituten zoals Building Balance in Nederland, Built By Nature in verschillende Europese landen en de Yorkshire Energy Hub dragen middels publicaties bij aan het vergroten van kennis en data op dit vlak. Zie enkele relevante publicaties:

Yorkshire Energy Hub Circular Biobased Construction in the North East and Yorkshire  MateriaCultures ARUP YNYLEP.com	Built by Nature / Laudes Foundation / carbonneutralcities.org  BZK / Centrum hout / houtbouwsystemen.nl 
--	---

Toepassing van biobased materialen gebeurt hoofdzakelijk in de volgende bouwsystemen, waarbij per onderdeel referenties zijn gegeven naar (in ontwikkeling zijnde) standaarden. Waar relevant worden deze standaarden in het onderzoek als basis gebruikt voor te selecteren constructies:

- Gebruik van **geprefabriceerde houtskeletbouw constructies gevuld met vezelisolatiematerialen**. Standaarddetails voor houtskeletbouwconstructies met reguliere isolatiewaarden en versterkte opbouw om de Passiefhuis-normen te halen zijn beschikbaar op *ISSO Referentiedetails*. Opmerking: voor alle opbouwconstructies worden minerale wol en minerale (gips) binnenafwerkingen gespecificeerd. Parallel aan dit onderzoek worden alternatieven voorbereid voor biobased isolatiematerialen.
- **Verbetering van de isolatie** van bestaande structuren (daken of buitenmuren). Dit kan door het toevoegen van inwendige lagen of het inblazen van vezelmaterialen in bestaande spouwen. De meest recente toepassingen en specifieke kenmerken worden voor enkele Nederlandse woonsituaties beschreven in de publicatie 'Biobased na-isoleren van daken' van Building Balance en handleidingen van leveranciers voor isolatiematerialen, gestimuleerd door instanties als Building Balance en Isoleerbewust/Cirkelstad.
- Volledige vervanging en/of nieuwbouw van **wanden, daken en vloeren met in situ/prefab biobased bouwmaterialen**. Dit gebeurt overwegend met houtskeletbouw systemen, waarin isolatiemateriaal steeds vaker

biobased is ter vervanging van de ‘traditionele’ minerale of synthetische producten. Een kleiner zijn systemen met kalkhennep, waarin de minerale kalk wordt gecombineerd met hennepvezels. Dit wordt toegepast in combinatie met houten onderconstructies, bouwblokken, platen en/of volledige geprefabriceerde bouwelementen. Referentiedetails zijn beschikbaar in *ISSO Handboek bouwen met kalkhennep*.

- Nieuwe constructies of uitbreidingen met gebruik van **kruislaaghout (CLT)** als hoofdconstructie, die de structurele basis van gebouwen vormt. Door de toenemende toepasbaarheid kan CLT toegepast worden in hoogbouw. CLT wordt toegepast in constructiekolommen, vloeren (soms gecombineerd met beton) en structurele of interne scheidingswanden. Details zijn in ontwikkeling in de industrie, beschikbaar via project- of leveranciersreferenties en enkele internationale platforms, zoals [Dataholz.eu](#) en [Lignumdata.ch](#).

Deze constructies verschillen van de 'gangbare praktijk', gebaseerd op minerale materialen als metselwerk, beton en minerale wol, gecombineerd met synthetische materialen als PIR, EPS, XPS en meerdere folies voor damp- en/of luchtdichtheid. Voor biobased materialen gelden in het algemeen de volgende eigenschappen in afwijking van minerale materialen:

- Biobased isolatiematerialen hebben een hogere (ongunstigere) warmtegeleidingscoëfficiënt (lambda) en geleiden daarom meer warmte, bij gelijke diktes, opbouw en omgevingsomstandigheden;
- Ze hebben een hogere vochtbuffercapaciteit en kunnen daarom het thermische comfortgevoel in de ruimte beïnvloeden, aangezien dit wordt beïnvloed door de relatieve vochtigheid. Dit is alleen het geval als er geen dampremmende/dampdichte biobased materialen of dampschermen zijn die deze uitwisseling verhinderen. Dampremming kan plaatsvinden door folies, maar ook door dampremmende (plaat)materialen zoals OSB.
- Biobased isolatiematerialen hebben een hogere specifieke warmtecapaciteit dan bijvoorbeeld minerale wol en hebben daardoor een ander effect op het thermisch gedrag van het gebouw, afhankelijk van de positie van de isolatielagen.
- Ze zijn (in sommige gevallen) qua textuur minder constant in hun opbouw volgens hun 'gegroeide' productie in vergelijking met gefabriceerde materialen en daarom moeten alternatieve (negatieve) factoren worden toegepast om de isolatiewaarde te bepalen.

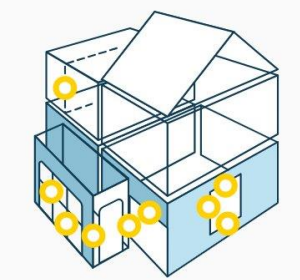
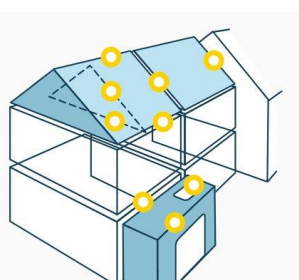
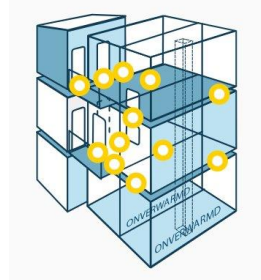
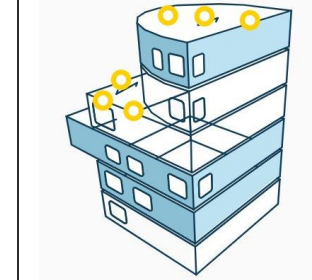
Volgens verschillende studies ([1] , [2] , [3] , [4] , [5]), kunnen biobased materialen bijdragen aan het beperken van jaargemiddeld energiegebruik én aan beperking van oververhitting, in situaties met hoge luchtdichtheid, grote mate van compactheid en terugwinning van warmte/koude. Deze voordelen worden hoofdzakelijk gevonden in situaties waar setpoints en/of het gebruik (interne warmteproductie) variëren gedurende de dag en zeker in combinatie met snelregelende klimaatinstallaties.

2.2.2 Typologieën

Het gebruik van biobased bouwmaterialen en specifiek de biobased isolatiematerialen gebeurt vooralsnog hoofdzakelijk in woningen met een beperkt aantal bouwlagen. Hierin wordt het gecombineerd met constructief hout (kruislaags; cross laminated timber (CLT)) of met houtskeletbouw (HSB) methoden.

Tabel 1 geeft de meest voorkomende toepassingen van biobased materialen, zoals bepaald in afstemming met de belanghebbenden en uit ervaring in de markt. Net zoals NTA 8800 bedoeld is voor meerdere gebouwtypen, zijn deze typologieën ook toepasbaar op meerdere gebouwtypen, namelijk bestaande of nieuwbouw, woningbouw of utiliteitsbouw.

Tabel 1: Veel voorkomende toepassing biobased materialen

Nieuwbouw & Renovatie			
Grondgebonden		Niet-grondgebonden	
Vrijstaande woning	Rijwoning	Woongebouw	Utiliteit
Met ruimte voor dikkere opbouwen	Repetitie	Tot circa 5 lagen	Tevens tot circa 5 lagen; variërend van kantoren tot zorg.
			
Toepassingen: Strobouw, HSB met houtvezel, kalkhennep, en andere isolatietypen	Toepassingen: HSB, kruislaaghout (kolommen / wanden), verschillende isolatie typen	Toepassingen: HSB gevelelementen, kruislaaghout (kolommen / wanden), hybride KLH/beton vloeren	Toepassingen: HSB gevelelementen, kruislaaghout (kolommen / wanden / vloeren)

2.2.3 Dampopen en biobased

Dampopen bouwen is een bouwmethode waarbij gebruik wordt gemaakt van dampopen isolatiematerialen met vochtregulerende eigenschappen. Bij deze bouwmethode wordt geen dampdichte folie gebruikt of een met beperkte dampremmende werking.

Met het toenemende marktaandeel van biobased bouwen, krijgt ook dampopen bouwen een grotere aandacht, terwijl dampopen bouwen niet per se gerelateerd is aan biobased (isolatie)materialen. De reden voor sterke relatie met de biobased bouw is het beperken van bijvoorbeeld folies en (non-biobased) kunststoffen in de constructie of het verkrijgen van een stabielere relatieve vochtigheid in de ruimte, wat bij kan dragen aan het thermisch comfort van de bewoners.

De werkelijke invloed op het thermische comfort is daarbij sterk afhankelijk van het gebruik, zoals bij de grote vochtproductie door koken en douchen die de relatieve vochtigheid een zeer veranderlijke parameter maken.

De invloed van dampopen bouwen op het jaarlijks energiegebruik is naar verwachting beperkt én afhankelijk van de geometrie van de scheidingsconstructie en hun onderlinge verhouding. Platte daken zijn bijvoorbeeld niet goed dampopen te maken in verband met de benodigde waterdichte laag en de verhouding glas / gevel is van grote invloed op het uiteindelijke effect.

In dit onderzoek wordt het effect van dampopen bouwen daarom uitsluitend meegenomen bij onderzoek naar hygrische aspecten en thermisch comfort.

2.2.4 Beschikbare data

Zoals benoemd is de biobased markt sterk in ontwikkeling. Daarmee ontstaat een grotere vraag naar gedetailleerde meetwaarden van biobased (isolatie)materialen. Dit segment met groeiende materialen is minder consistent van aard dan de fabrieksmatig geproduceerde producten zoals minerale wol, steenwol of synthetische materialen. Biobased isolatiematerialen zoals houtvezel en cellulose vallen hierbuiten, aangezien ze al jarenlang op de markt verkrijgbaar zijn en worden toegepast.

Dit onderzoek gebruikt daarom hoofdzakelijk informatie van materialen waarvoor geteste productdata van leveranciers goed verkrijgbaar is. Het langzaam steeds vaker toegepaste materiaal stro wordt daarom slechts in enkele simulaties toegepast ter indicatie. De keuze voor houtvezel sluit daarnaast ook aan op de opzet van het RVO-

onderzoek [6] naar de impact van biobased materialen op de milieuprestatie. Door te kiezen voor zowel vergelijkbare geometrie en vergelijkbaar materiaalgebruik, zullen beide studies in samenhang kunnen worden gebruikt voor verdere analyses.



Figuur 2: Proefopstelling met meetinrichting voor bepalen specificaties strobalen [7].

2.3 Technische eigenschappen

De technische eigenschappen van biobased materialen worden nader toegelicht om aan te duiden hoe deze samenhangen met de invloedsfactoren in de NTA 8800.

2.3.1 Porositeit

Porositeit, ook wel poreusheid genoemd, is een maat voor de hoeveelheid poriën in een materiaal in verhouding tot het totale volume van dat materiaal. Het is een cruciale eigenschap in materialen die wordt gebruikt om verschillende fysische eigenschappen te beschrijven, zoals de capaciteit om vocht, lucht, of andere vloeistoffen te absorberen en door te laten.

Verschiedende eigenschappen worden beïnvloed door porositeit, waaronder:

- 1. Vochttopslag en -transport: Materialen met hoge open porositeit kunnen vocht goed opnemen en transporteren. Dit is belangrijk voor bouwconstructies om vochtophoping en schimmelvorming te voorkomen.
- 2. Thermische isolatie: in geval van homogene materialen, dragen gesloten poriën bij aan de isolatiewaarde van een materiaal door lucht te vangen, wat een slechte warmtegeleider is. In geval van bijvoorbeeld vezelstructuren (minerale wol, houtvezel) wordt de thermische isolatie bereikt door lucht tussen de vezels; in geval van hout wordt de isolerende werking bereikt door lucht in de poriën van het materiaal.

Biobased materialen hebben natuurlijke vezelstructuren of hoge porositeit, waardoor ze goede vochtregulerende en isolerende eigenschappen hebben. In vergelijking van thermische prestaties van materialen wordt er geen rekening gehouden met de opslag- en doorgangscapaciteit van vloeibaar water in de constructies, omdat als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de opbouwen zodanig kwalitatief zijn dat er geen water in de constructie zit. Het opslaan en doorlaten van waterdamp wordt wel meegerekend in bepaalde onderdelen van dit onderzoek.

2.3.2 Warmtegeleiding

Warmtegeleiding is de warmteoverdracht die plaatsvindt door geleiding of conductie en is de mate waarin een materiaal de warmte doorgeeft. Warmtegeleiding wordt uitgedrukt in de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ , lambda) (in W/mK). Hoe lager de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal, hoe beter het isolerende effect.

In de berekeningen van warmte- en vochttransport wordt gebruikt gemaakt van de rekenwaarden van thermische en vochteigenschappen. Deze rekenwaarden kunnen worden afgeleid van gedeclareerde waarden die gebaseerd zijn op gemeten gegevens van het betreffende product, wat meestal het geval is voor thermische isolatiematerialen. Als de ontwerpvoorwaarden verschillen van die van de gedeclareerde waarde, moeten de gegevens worden omgezet naar de van toepassing zijnde voorwaarden.

- λ_D is de gedeclareerde lambda-waarde die de door een fabrikant gedeclareerde gemeten lambda-waarde is, gebaseerd op principes in NEN-EN-ISO 10456.

De statische bepalingsmethode van gedeclareerde warmtegeleidingscoëfficiënt, λ_D , en warmteweerstand, R_D houdt rekening met een gemiddelde referentietemperatuur van 10 °C en gemiddelde relatieve vochtigheid van 50%. Deze gedeclareerde coëfficiënten moeten representatief zijn voor 90% van de productie en een betrouwbaarheid van 90% moeten hebben, aangeduid met $\lambda_{90/90}$ resp. $R_{90/90}$.

- λ_{calc} is de rekenwaarde. Overal waar in NTA 8800 de term warmtegeleidingscoëfficiënt wordt gebruikt, wordt de rekenwaarde bedoeld, bepaald volgens bijlage E van de NTA.

Bij de bepaling van de rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt (λ_{calc}) en warmteweerstand (R_{calc}) voor isolatiematerialen, worden aparte conversiefactoren voor vochtinvloed (F_M) en veroudering (F_A) meegenomen (Bijlage E). [8] De rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt wordt berekend met de volgende formule:

$$\lambda_{calc} = \lambda_D \times F_T \times F_M \times F_A \times F_{conv}$$

waarin:

- λ_{calc} is de rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt (W/mK)
- λ_D is de gedeclareerde waarde van warmtegeleidingscoëfficiënt (in W/mK)
- F_T is de conversiefactor voor de invloed van temperatuur *
- F_M is de conversiefactor voor vochtinvloed *
- **F_A is de conversiefactor voor veroudering met de waarde 1 voor fabrieksmatig vervaardigde isolatiematerialen.**
- F_{conv} is de correctiefactor voor de invloed van convectie

Biobased isolatiematerialen hebben een hogere λ_{calc} -waarde vergeleken met minerale isolatiematerialen, primair als gevolg van de overwegend hogere gedeclareerde waarde λ_D . Aanvullend zijn de waarden F_A en F_M van invloed, waarbij deze negatief kunnen werken als gevolg van de eigenschappen- en verwerkingsmethoden van biobased isolatiematerialen.

Dit resulteert in een dikkere isolatielaag en daarmee dikkere constructie om dezelfde R-waarden te bereiken in vergelijking met gebruik van minerale isolatiematerialen (op basis van de formule $R = d / \lambda$).

2.3.2.1 Veroudering (F_A)

Veroudering van materialen heeft invloed op de warmtegeleidingscoëfficiënt. In de NTA 8800 worden factoren gehanteerd die afhankelijk zijn van de manier waarop het materiaal wordt aangebracht: fabrieksmatig geproduceerde isolatiematerialen krijgen een positievere waarde dan inblaas technieken, waarbij de onregelmatigheden in de spouw worden meegewogen in de factor. Per type materiaal (bijv. glas/steenwolvlokken, EPS-parels etc) zijn typische factoren gegeven. Alle biobased isolatiematerialen vallen in de categorie ‘overig’ met de hoogste waarde 1,30. Deze waarde moet worden gehanteerd, *tenzij* aantoonbaar kan worden gemaakt dat hiervan kan worden afgeweken. In de markt zijn nog beperkt referenties beschikbaar die een terechte alternatieve waarde onderbouwen. Building Balance werkt daarom met marktpartijen om hier meer data over beschikbaar te maken.

Kader 1: toelichting verouderingsfactor (F_A)

Volgens NEN-EN-ISO 10456 verwijst veroudering naar het proces van veranderingen in de eigenschappen van materialen of producten in de loop van de tijd, die kunnen optreden als gevolg van verschillende factoren zoals blootstelling aan omgevingscondities, mechanische stress of chemische reacties.

Veroudering heeft onder meer invloed op de thermische eigenschappen van een materiaal. Voor toepassing van niet-fabrieksmatig verwerkte isolatielagen dienen conversiefactoren voor veroudering (F_A) te worden gehanteerd in de λ_{calc} -berekening, die de onregelmatigheid in de spouw representeert. Dit is bijvoorbeeld van toepassing op inblaas isolatie, een techniek die ook wordt toegepast bij stro en houtvezel voor bestaande woningen. De factor die het type materiaal definieert ($F_{A;iso}$ in tabel E.5 uit NTA 8800) is hoog voor materialen anders dan de ‘reguliere’ minerale en kunststof producten.

2.3.3 Volumieke massa

De volumieke massa of dichtheid is de materiaaleigenschap die de relatie tussen massa en volume weergeeft. De werkelijke volumieke massa (in kg/m³) wordt berekend met de volgende formule: $\rho = m/V$. Het vochtgehalte en de samenstelling van het materiaal bepalen grotendeels de volumieke massa. Daarom wordt meestal een bereik gegeven voor de dichtheid van materialen of wordt er een vochtpercentage aangegeven voor een bepaalde materiaaldichtheid.

Biobased isolatiematerialen hebben over het algemeen een hogere volumieke massa ten opzichte van minerale isolatiematerialen. In Tabel 2 zijn de volumieke massa van enkele biobased- en minerale isolatiematerialen weergegeven.

2.3.4 Soortelijke warmte

De soortelijke warmte of warmteopslagcapaciteit (c) is de hoeveelheid energie die nodig is om de temperatuur van 1 kg materiaal met 1 graad te verhogen. Soortelijke warmte wordt met de volgende formule berekend: $c = \Delta Q / (m \cdot \Delta T)$. Soortelijke warmte wordt met de eenheid [J/kgK] beschreven.

Zoals weergegeven in Tabel 2, hebben biobased isolatiematerialen over het algemeen een hogere soortelijke warmte ten opzichte van kunststof en minerale isolatiematerialen. Dit betekent dat 1 kg biobased isolatiemateriaal in vergelijking met 1 kg mineraal of kunststof isolatiemateriaal meer warmte kan absorberen om de temperatuur met 1 graden te laten toenemen.

Tabel 2: Vergelijking volumieke massa en soortelijke warmte van biobased- en minerale isolatiematerialen

Biobased isolatiematerialen			Minerale isolatiematerialen		
Materialen	Volumieke massa [kg/m³]	Soortelijke warmte [J/kgK]	Materialen	Volumieke massa [kg/m³]	Soortelijke warmte [J/kgK]
Houtvezel	50 - 53	2100	Glaswol	15 - 60	840
Vlas	25 - 30	1600	Steenwol	15 - 175	840
Stro	85 - 120	1800 - 2100	PIR, PUR	30 - 45	1200 - 1470
Hennep / Jute	35 - 45	2300	EPS	15 - 30	1500
Kurk (geëxpend)	100 - 200	1760	XPS	30 - 40	1500

2.3.5 Warmtecapaciteit & faseverschuiving

De warmtecapaciteit voor een constructie bepaalt de snelheid waarmee omgevingstemperaturen zich door een materiaal bewegen. Deze eigenschap is mede afhankelijk van het vochtgehalte in de constructie, die in de tijd kan variëren, want vocht (water) heeft een hogere warmtegeleidingscoëfficiënt en grotere massa dan droge materialen. Bij de keuze van bouwmaterialen in relatie tot de thermische prestaties (vooral comfort) is de warmtecapaciteit een belangrijke invloedsfactor. Zowel de marktpartijen die gebruik van zware materialen promoten, als marktpartijen die biobased bouwen stimuleren als partijen die lichte bouwmethoden ondersteunen gebruiken de warmtecapaciteit als argument. Afhankelijk van het doel, wordt de traagheid genoemd als voordeel (ook wel faseverschuiving) of wordt gerefereerd aan de snelheid van reageren op het gebruikersgedrag of de installaties.

Invloeden worden aangeduid ofwel vanuit binnen bekeken ofwel beschouwd tussen binnen en buiten:

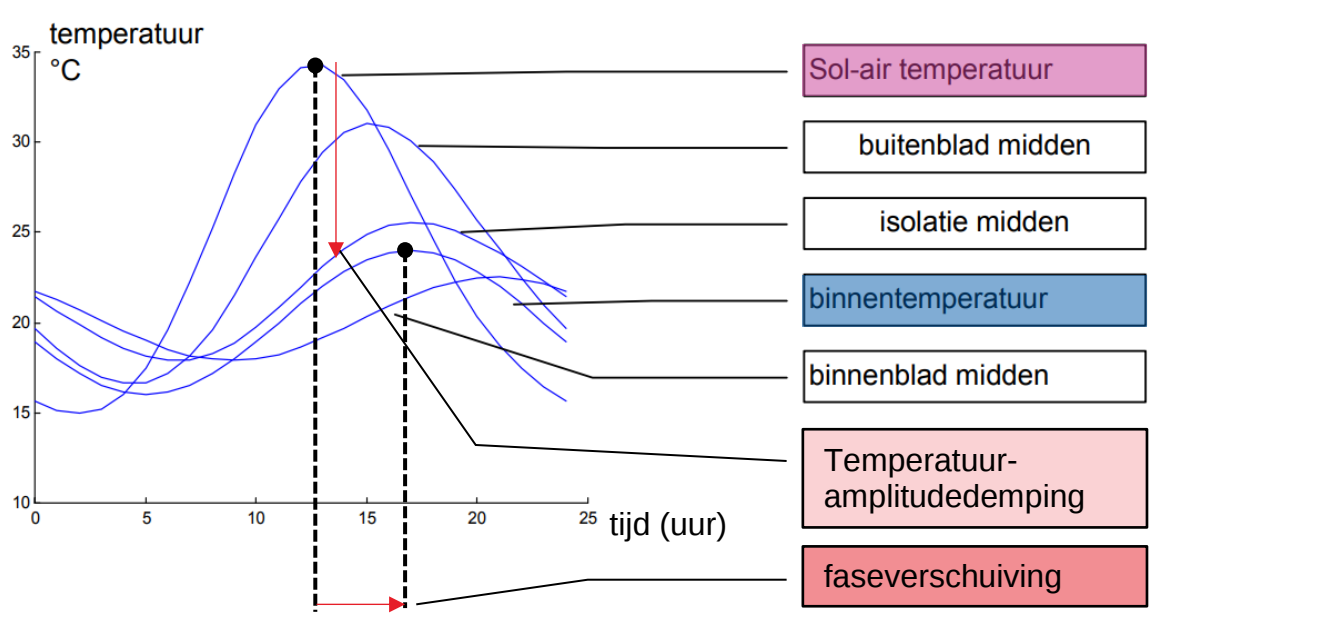
- Binnen:** de mate waarin veranderingen in de binnenluchttemperatuur (als gevolg van verwarming, koeling, wijzigende setpoints, gebruik of invallende zonnewarmte) worden getemperd door opslag van deze energie in de aan de ruimte grenzende lagen van de constructie. NTA 8800 gebruikt de term “specifieke interne warmtecapaciteit ($D_{m;int;eff}$)” (in kJ/m²K) die voornamelijk wordt berekend op basis van de bouwwijze van het gebouw. [9] De bouwwijze geeft de massa van de constructie per m² rekenzone aan en omvat de massa van de totale rekenzone zoals vloeren, wanden, plafonds, enz.

De effectieve interne warmtecapaciteit van een gebouw heeft in de NTA 8800 via de benuttingsfactor directe invloed op de energiebehoefte voor verwarming en koude: hoe zwaarder, hoe lager de behoefte.

- Buiten <=> binnen:** De vertraging (tijd) waarmee wisselingen in buitentemperatuur & opvallende zoninstraling aan de buitenzijde de oppervlaktetemperatuur en daarmee de warmtegeleiding naar de binnenlucht beïnvloeden. Dit effect wordt ook wel **faseverschuiving** genoemd, in het Engels **time shift**, zoals gedefinieerd in ISO 13786-2017 (corr 2018-03): het *tijdverschil* tussen de optredende maxima buiten- en binnen.

Aanvullende informatie en uitleg over dit thema is gegeven op de collegedictaten van het Nederlandse netwerk voor Bouwfysica ‘Klimapedia’, inclusief visualisatie. Hierin wordt niet alleen de faseverschuiving duidelijk, maar ook de *temperatuuramplitudedemping*.

- W-42: Warmte-indringing in een eindig medium met periodieke randvoorwaarden
- W-43: Voorbeelden warmte-indringing in een eindig medium met periodieke randvoorwaarden



Figuur 3: Visualisatie van het begrip faseverschuiving en temperatuuramplitudedemping

In navolgende paragrafen worden de begrippen, in relatie tot het gebruik in NTA 8800, nader toegelicht.

2.3.5.1 Specifieke interne warmtecapaciteit

Volgens NTA 8800 wordt de effectieve interne warmtecapaciteit van een rekenzone ($D_{m;int;eff}$) op basis van de combinatie van bouwtype wanden en vloeren bepaald. Elke combinatie wordt beschouwd in een bepaalde categorie voor de massa van de constructie per m² rekenzone. Afhankelijk van of er geen/open of gesloten plafonds zijn, wordt de effectieve interne warmtecapaciteit van de constructie bepaald.

De mate waarin de constructies van een geklimatiseerde ruimte een dempend effect hebben op de schommelingen in de binnentemperatuur wordt vastgelegd middels de specifieke interne warmtecapaciteit ($D_{m;int;eff}$), welke voor een gehele rekenzone wordt bepaald uit de som van de effectieve interne warmtecapaciteiten (C_{mi}) van de omringende constructie onderdelen (daken, vloeren, wanden). NTA 8800 geeft twee methoden voor bepaling van de specifieke interne warmtecapaciteit, maar gebruikelijk is om de warmtecapaciteit volgens de eerste methode te bepalen:

- Eenvoudig**, via forfaitaire voor bouwwijzen van vloeren en wanden en plafonds. Hierin wordt middels aanduidingen licht/zwaar/zeer zwaar de bouwwijze gedefinieerd. Tabel 3 geeft deze forfaitaire waarden. Ter indicatie: lichte vloersystemen zijn o.a. houten vloeren en houtskeletbouw vloeren. Lichte wanden zijn o.a. houtskeletbouw wanden.

Tabel 3: Forfaitaire waarden voor de specifieke interne warmtecapaciteit. NTA 8800, 2023.

Type bouwwijze vloeren	Type bouwwijze wanden	D _{m,int;eff;zi} [kJ/m²K]	
		Gesloten of verlaagd plafond ^a	Geen of open plafond ^b
Licht	Licht	55	80
Licht	Zwaar	110	180
Zwaar	Licht		
Heel (zeer) zwaar	Licht		
Zwaar	Zwaar	180	360
Licht	Zeer zwaar		
Zwaar	Zeer zwaar	250	450
Zeer zwaar	Zwaar		
Zeer zwaar	Zeer zwaar		
^a Bij utiliteitsbouw moet worden uitgegaan van de kolom ‘gesloten of verlaagd plafond’ tenzij van een vrijhangend plafond in het verblijfsgebied ten minste netto 15 % van de plafondoppervlakte, gelijkelijk verdeeld over het plafond, open is uitgevoerd.			
^b Bij woningbouw moet worden uitgegaan van de kolom ‘geen of open plafond’.			

- Gedetailleerd**, via bijlage B waarin een methode is omschreven op basis van de samenstelling van materialen. Hierin wordt gebruik gemaakt van gekozen- of productwaarden voor de volumieke massa, de werkelijke dikte conform ontwerp/realisatie en de soortelijke warmte bepaald volgens NEN-EN-ISO 10456:2008. Deze norm geeft standaardwaarden voor productgroepen, maar geeft vrijheid (en advies) om productspecifieke waarden te hanteren. Voor bepaling van productspecifieke waarden per bouwlaag (methode in bijlage B) is de gesimplificeerde methode in ISO 13786-2017 (corr 2018-03) van toepassing, voor de uitgebreide methode die ook in die norm beschikbaar is, wordt door de methodologie in Bijlage B geen ruimte gegeven (zie verdere toelichting in paragraaf 2.3.5.2).

De rekenmethode in bijlage B is gebaseerd op de volgende methode:

$$C_{mi} = \rho_1 \times c_1 \times d_1 \times A_1 + \rho_2 \times c_2 \times d_2 \times A_2 + \dots$$

waarin:

- C_{mi} is de effectieve interne warmtecapaciteit van de rekenzone, in J/K;
- $\rho_{1,2,\dots}$ is de volumieke massa van de materialen van alle constructieonderdelen in de rekenzone (in kg/m³)
- $c_{1,2,\dots}$ is de soortelijke warmte van de materialen van alle constructieonderdelen in de rekenzone (in J/kgK)
- $d_{1,2,\dots}$ is de werkzame dikte van de materialen (in m). Eisen: overdrachtsweerstand naar de rekenzone van de constructie is < 0,25 m²K/W; dikte is maximaal 100 mm en dikte is < 50% van de constructiedikte. Praktijk: in geval van isolatiemateriaal betreft dit ca. 10 mm.
- $A_{1,2,\dots}$ is de oppervlakte van het constructieonderdeel dat in de rekenzone is gelegen of de zone omhult (in m²)

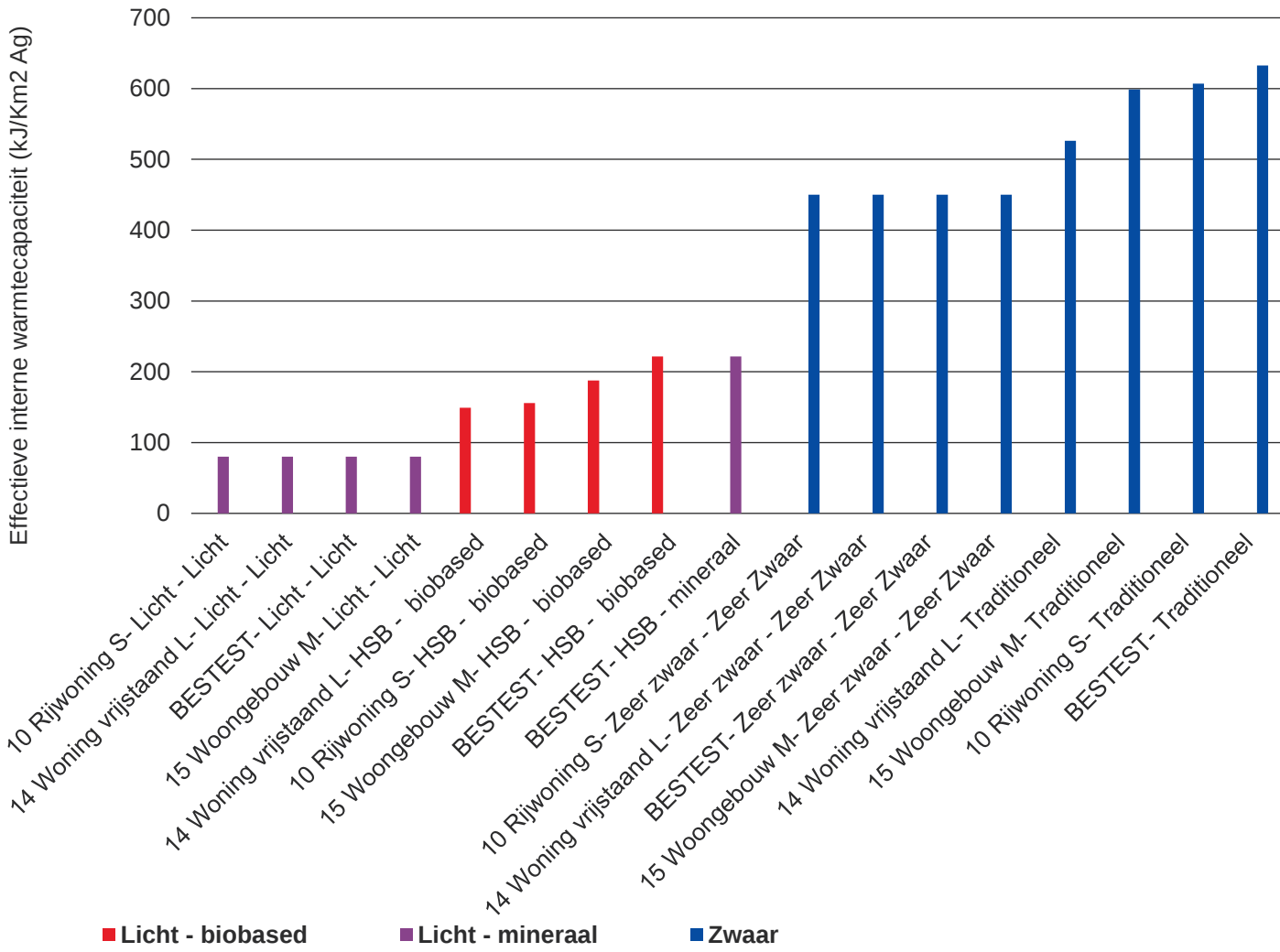
De soortelijke warmte per materiaal dient daartoe te worden bepaald volgens NEN-EN-ISO 10456:2008. Om de invloed hiervan weer te geven wordt voor een reeks bouwtypen en constructiewijzen de warmtecapaciteit inzichtelijk gemaakt. Hiervoor worden de varianten gebruikt die later in dit onderzoek worden gehanteerd voor kalibratie. Figuur 4 geeft een overzicht van (een deel van) de toegepaste varianten, waarin het verschil in effectieve interne

warmtecapaciteit duidelijk wordt. Deze capaciteit is ter vergelijik enerzijds bepaald middels de forfaitaire methode (zie varianten licht/licht en zwaar/zwaar). Anderzijds is de Bijlage B methode toegepast, waarbij de specifieke warmtecapaciteit van de toegepaste constructies in verhouding tot het aandeel van deze constructies in de rekenzone de effectieve interne capaciteit is bepaald per gebruiksoppervlak (Ag).

Figuur 4 laat middels de kleuraanduidingen zien hoe de biobased constructies zich verhouden tot de traditionele opbouwmethode (betonnen vloeren; buitenmuren met steens binnenbladen) en tot de lichte opbouwen met minerale isolatiematerialen (glaswol).

Over het algemeen is zichtbaar dat de biobased constructies een lagere warmtecapaciteit hebben dan traditioneel, maar gemiddeld hoger dan de lichte forfaitaire waarden. Dit komt overeen met de dichtheid van de biobased isolatiematerialen, die hoger is dan minerale of synthetische materialen (zie Tabel 2). Ze hebben daarmee een hogere bufferende werking en kunnen meer warmte-energie opslaan. Overdag, als de temperatuur hoger is, absorberen deze materialen warmte en slaan deze op. Naarmate de temperatuur daalt, wordt de opgeslagen warmte geleidelijk vrijgegeven, waardoor een stabielere binnentemperatuur wordt gehandhaafd. Deze vertraagde afgifte van warmte kan bijdragen aan een comfortabeler gebouw, maar kan een negatief effect hebben als de afgifte plaatsvindt wanneer de vertraagd afgegeven warmte ongewenst is (bijvoorbeeld in zomerse nachten).

Varianten in typologie en bouwwijze t.o.v. warmtecapaciteit (per Ag)



Figuur 4: Varianten in typologie en bouwwijze in relatie tot effectieve interne warmtecapaciteit.

2.3.5.2 Faseverschuiving & dynamische warmtecapaciteit

De faseverschuiving van een samengestelde constructie geeft aan in welke mate de variërende cycli in de buitencondities (zowel temperatuur als zoninstraling op de gevel) zich vertalen in effect op de binnentemperatuur. Hygrische aspecten hebben hier geen directe invloed op, alleen een indirecte invloed, waar vochtgehaltes bijvoorbeeld de warmtegeleiding (λ) of de soortelijke warmte (c) beïnvloeden. Het woord ‘fase’ heeft betrekking op de verschuiving van de sinusoïde, niet op faseovergangen zoals bij overgang van materiaalcondities (van vloeibaar naar damp). De bepaling van de faseverschuiving en andere parameters die het dynamisch gedrag van constructies beschrijven is gegeven in ISO 13786-2017 (corr 2018-03). Deze norm geeft twee methoden voor bepaling van de faseverschuiving en de effectieve interne warmtecapaciteit van constructiedelen (de grootheid C_m in NTA 8800).

De **eenvoudige methode** die in deze norm is benoemd en wordt toegepast voor bepaling van C_m in NTA 8800 geeft uitsluitend de warmtecapaciteit en niet de faseverschuiving. De bepaling is onafhankelijk van de periode: het betreft een ‘steady-state’ situatie die na lange tijd wordt bereikt. Randvoorwaarden die hierbij gelden:

- Beoordeling tot een dikte van 100 mm gemeten vanaf de binnenzijde van de constructie
- Meerekenen warmtecapaciteit van constructie onderdelen totdat een isolatielaag wordt bereikt. De warmtegeleidingscoëfficiënt van dit materiaal moet kleiner zijn dan 0,08 W/mK.

In de **uitgebreide methode** kan worden gekozen voor een periode die relevant is voor het doel van de berekening. De keuze voor de periode hangt af van de verandering in omgevingscondities: met snel regelende installaties (1 uur), met of zonder nachtverlaging (24 uur of een week) of een constante omgeving in geval van vloeren op grond (1 jaar). Afhankelijk van de beoordelingsperiode verschilt de mate van faseverschuiving (in uren) én de rekenwaarde voor warmtecapaciteit van een oppervlak ($\text{kJ/m}^2\text{K}$). Beoordeling met de uitgebreide methode gebeurt op basis van de totale constructieopbouw. Begrenzungen zoals een diepte van 100 mm of de limiet ‘tot een isolatielaag wordt bereikt’ zijn daarom niet van toepassing. De uitgebreide methode geeft door het meerekenen van de gehele constructie een reëlere weergave van de warmtecapaciteit van bijvoorbeeld HSB/hout of cellenbeton, die met de eenvoudige methode worden overschat.

Het nadeel van deze methode is dat er meer detailniveau moet worden toegepast, namelijk de duur van beoordeling die relevant is voor het bouwelement, de interactie met installaties of de setpoints, zie de conclusies van deze paragraaf in Tabel 5.

Verskil tussen eenvoudige- en uitgebreide methode

Het verschil in resultaten tussen de eenvoudige en uitgebreide methode voor bepaling van de warmtecapaciteit, is weergegeven in Tabel 4. Hierin wordt duidelijk dat onafhankelijk de rekenmethode de eenvoudige rekenmethode altijd dezelfde warmtecapaciteit geeft. Pas bij langere rekenperiodes wordt de warmtecapaciteit volgens de uitgebreide methode constant. De arcering geeft aan voor welke rekenperiode de waarde van de eenvoudige- en uitgebreide constructies overeenkomen. Hierin wordt een opvallend verschil duidelijk tussen lichte en zware constructies: bij lichte constructies komt de waarde uit de eenvoudige methode overeen met een veel kortere periode (in het voorbeeld 12-24 uur) dan bij zware constructies (1 maand).

Deze waarden zijn bepaald middels vrij beschikbare rekentools, zoals:

- Rekentool opgesteld door HT Flux
- Rekentool opgesteld door Arup in opdracht van het Britse Concrete Centre

Tabel 4: Resultaten "surface heat capacity" en "Areal heat capacity". Blauwe arcering = de rekenperiode waarbij de warmtecapaciteit volgens eenvoudige methode overeenkomt met de uitgebreide methode.

	Licht - biobased constructie			Zwaar – traditionele constructie		
	Eenvoudige methode	Uitgebreide methode		Eenvoudige methode	Uitgebreide methode	
Reken-periode	Specifieke warmtecapaciteit (Surface heat capacity; K-waarde)	Specifieke warmtecapaciteit (Areal heat capacity)	Fase-verschuiving (time shift)	Specifieke warmtecapaciteit (Surface heat capacity; K-waarde)	Specifieke warmte-capaciteit (Areal heat capacity)	Fase-ver-schuiving (time shift)
	[kJ/m2K]	[kJ/m2K]	[uur]	[kJ/m2K]	[kJ/m2K]	[uur]
1 u	26,5	4	0,03	159,6	4	0,02
6 u	26,5	16	0,61	159,6	21	0,19
12 u	26,5	23	1,71	159,6	40	0,55
24 u (1 dag)	26,5	30	4,16	159,6	73	1,86
48 u (2 dagen)	26,5	34	8,99	159,6	115	5,99
72 u (3 dagen)	26,5	35	13,34	159,6	134	10,98
96 u (4 dagen)	26,5	35	17,13	159,6	144	16,19
120 u (5 dagen)	26,5	36	20,41	159,6	149	21,42
144 u (6 dagen)	26,5	36	23,22	159,6	152	26,58
168 u (7 dagen)	26,5	36	25,63	159,6	154	31,64
192 u (8 dagen)	26,5	36	27,68	159,6	155	36,59
730 u (1 maand)	26,5	36	40,29	159,6	160	117,48
4380 u (6 maanden)	26,5	36	42,17	159,6	160	200,29

2.3.5.3 Discussie: uitgebreide methode warmtecapaciteit

De keuze welke periode relevant is voor toepassing van de uitgebreide methode hangt af van de omstandigheden. Dit wordt al aangekaart in het onderzoek van Stijn Verbeke over thermische inertia van woningen [1]. Ook de Nederlandse publicatie ISSO Handboek Bouwen met Kalkhennep [10], refererend naar: Evrard A. and De Herde, A., 2010. Hygrothermal performance of Lime-Hemp Wall Assemblies. [11] onderschrijft dit. Hierin wordt gesteld dat het perspectief van thermische variaties als gevolg van deze faseverschuiving wél effect hebben op korte cycli (bijv. 24 uurlijkse dag/nacht perioden), maar nihil zijn op jaarlijks energiegebruik (365 dagen, incl. seizoensvariatie), waar NTA 8800 zich op richt.

Door Verbeke wordt gepropageerd dat in verband met de maandmethode van energieprestatie bepaling (in België, maar ook in Nederland) een waarde op maandniveau van toepassing moet zijn. Aangezien de NTA 8800 niet alleen

voor ruimteverwarming, maar ook voor koeling en het risico van oververhitting ingezet wordt, leidt deze analogie tot het voorstel zoals in Tabel 5.

Nu is de dynamische methode zoals gegeven in EN ISO 13786 volgens Verbeke [1] ook nog geen perfecte weergave van het werkelijke effect, zoals kan worden gevonden met eindige elementen methoden in EnergyPlus. Er blijkt nog een overschatting te zijn van de periodieke thermische doorgang Y (W/m²K), voornamelijk voor constructies met relatief lager thermische capaciteit en wordt de faseverschuiving onderschat. Om dit beter te ijken zou data van dynamische simulaties van constructies beschikbaar moeten worden gesteld aan ontwerpers.

Tabel 5: Bruikbaarheid van periodes in uitgebreide methode ISO 13786

Periode (categorisering conform ISO 13786)	Periode is van toepassing op de situatie (conform ISO 13786)	Huidige bepaling NTA 8800 voor Cm komt overeen met:	Advies voor toepassing periode per type berekening; voor typologie woningbouw
1 uur	Snel regelende installaties, bijvoorbeeld met actieve regeling	n.v.t., synergie tussen installatiekeuze en warmtecapaciteit constructie wordt niet gewaardeerd / beoordeeld.	Ter overweging wanneer in NTA 8800 relatie tussen systeemkeuze en constructie opbouw wordt toegevoegd. Impact op verwarming, koeling én TO _{juli} .
1 dag (24 uur)	Dagelijkse variaties, zoals in geval van toepassing bij nachtverlaging	Periode varieert zoals te zien in in Tabel 4. Het verschil tussen verschillende constructies, zoals gevonden in deze berekening is niet expliciet gedefinieerd in NTA 8800.	Jaarlijkse energie verwarming: <u>per dag</u> In verband met uitgangspunt nachtverlaging (10 uur van de 24 uur).
1 week (168 uur)	Langere termijn uitmiddeling van het gebouw. Van toepassing bij continue setpoints. Toont effect van meerdere opeenvolgende dagen.	Bij toepassing van NTA 8800 blijkt in hoofdlijnen dat voor lichte constructies een korte periode (ca. 1 dag), terwijl voor zware constructies een lange periode (1 maand) geldt. Deze methode wordt toegepast voor alle doelen in de NTA 8800: voor verwarming én koeling en daarmee ook voor TO _{juli} bepaling en de begane grond.	Jaarlijkse energie koeling & TO_{juli}: <u>per week</u> In verband met het continue setpoint op 24°C én zodanig dat het effect van meerdere warme dagen in rekening wordt gebracht.
1 jaar (8760 uur)	Bij interactie met weinig veranderende condities, (volle) grond		Begane grond: <u>per jaar</u> Warmtecapaciteit en benutting van begane grond en kruipruimten (voornamelijk beïnvloed door massa grond).

Wanneer de adviezen uit Tabel 5 worden vertaald naar voorbeeldconstructies wordt duidelijk hoe de warmtecapaciteit wordt beïnvloed, zie Tabel 6.

Tabel 6: Voorbeeld invloed van gehanteerde periodes op typische constructies.

Specifieke Warmtecapaciteit in kJ/Km2 (rekenperiode)	Voorbeeld HSB-constructie met houtvezel isolatie		Voorbeeld spouwmuur met kalkzandsteen binnenblad	
	Huidige bepalingsmethode in NTA 8800	Alternatief volgens Tabel 5	Huidige bepalingsmethode in NTA 8800	Alternatief volgens Tabel 5
Warmtebehoefte	26,5 (circa. 16 uur)	26,5 (ca. 14 uur)	160 (> 720 uur; 1 maand)	46 (ca. 14 uur) ²
Koudebehoefte		36 (168 uur) ¹		154 (168 uur)
TO _{juli}		36 (168 uur) ¹		154 (168 uur)
Begane grond (alle bovenstaande doelen)		36 (> 6 maanden) ¹		160 (> 6 maanden)
¹	Verhoging van de warmtecapaciteit voor koudebehoefte bepaling en TO _{juli} zal voor lichte biobased constructies leiden tot een reductie van de koudebehoefte en reductie van het risico op oververhitting. Dit is in lijn met ervaringen van marktpartijen én de uitkomsten van dynamische simulaties (hoofdstuk 0). De hogere rekenwaarde voor de warmtecapaciteit leidt tot een faseverschuiving (gemeten in uren) zodanig is dat in de zomerperiode het piekmoment van de buitentemperatuur / absorptie van zonnestraling op een gevel bijvoorbeeld 12 uur wordt verlegd en afgezwakt, zodanig dat deze pas in de nachtelijke uren het binnencomfort enigszins beïnvloedt.			
²	Een reductie van de warmtecapaciteit voor warmtebehoefte leidt tot toename van de warmtebehoefte voor zware materialen.			

Uit voorgaande paragrafen wordt duidelijk dat de ‘werkelijke warmtecapaciteit’ van een constructie afhankelijk is van situatie. De eenvoudige methode die wordt toegepast heeft verschillend effect op lichte en zware constructies. Ten opzichte van de huidige methode in NTA 8800 zal in geval van dynamische simulaties een afwijking worden gevonden voor:

- Lichte constructies, bij koudebehoefte en temperatuuroverschrijdingen
- Zware constructies, bij warmtebehoefte.

In het navolgende onderzoek met dynamische simulaties worden deze hypothesen gecontroleerd.

2.3.6 Vochttopslag capaciteit

Vochttopslag capaciteit, of hygroscopisch gedrag, is het vermogen van een materiaal om vocht uit de lucht te absorberen, op te slaan, en weer af te geven. Dit is een cruciale eigenschap voor materialen die worden gebruikt in de bouw, omdat het bijdraagt aan het reguleren van het binnenklimaat en het voorkomen van vochtproblemen zoals condensatie en schimmelvorming. De invloed van vochtbuffering op het energiegebruik en thermisch comfort is sterk afhankelijk van de mate van ventilatie en infiltratie, aangezien bij grotere luchtstromen het vocht sneller wordt weggevoerd.

Er zijn drie mechanismen van vochttopslag in materialen [12]:

- Adsorptie: Vocht wordt aangetrokken en vastgehouden aan de oppervlakte van het materiaal. Dit proces is afhankelijk van de porositeit en het oppervlak van het materiaal.
- Absorptie: Vocht wordt opgenomen in de interne structuur van het materiaal, vaak in de celstructuren of vezels.
- Diffusie: Vocht (als waterdamp) verplaatst zich door het materiaal via concentratiegradiënten.

Biobased materialen zoals houtvezel, hennep, en stro hebben vaak een hoge vochttopslag capaciteit vanwege hun natuurlijke vezelstructuren en porositeit. Dit maakt ze geschikt voor dampopen bouwsystemen, die ontworpen zijn om op een natuurlijke manier vocht te reguleren. Bij gebruik van dampopen bouwsystemen kan de buffercapaciteit

worden ingezet, al zal de impact op energie- en comfort sterk afhankelijk zijn van ventilatie. Nader onderzoek naar de invloed hiervan wordt gegeven in hoofdstukken 5 en 6.

2.3.7 Waterdampdiffusie weerstand

De dampdiffusieweerstand (μ) geeft aan in welke mate een materiaal waterdamp doorlaat. Een lagere waarde voor de dampdiffusieweerstand betekent dat het materiaal meer doorlaatbaar is voor damp, waardoor waterdamp minder weerstand ondervindt bij het passeren door het materiaal.

Het juist beheren van waterdampdiffusie in gebouwen is cruciaal om vochtproblemen zoals schimmelvorming en condensatie te voorkomen. In dampdichte constructies wordt dit vaak bereikt door het gebruik van dampremmende lagen en het zorgvuldig selecteren van materialen met geschikte waterdampdiffusieweerstand voor verschillende delen van de constructie.

2.4 Conclusies technische eigenschappen

- De biobased bouwpraktijk is in ontwikkeling; data van technische eigenschappen is in toenemende mate beschikbaar, maar nog niet volledig onder gecontroleerde testcondities (met uitzondering van houtvezel en cellulose vanwege de beschikbaarheid van Europese normen en/of richtlijnen).
- Binnen de NTA 8800 vallen biobased materialen als gevolg van beperkte data in de categorie ‘overig’, bijvoorbeeld in geval van de verouderingsfactor die relevant is bij inblaastechnieken voor na-isolatie. Door de beperkte beschikbare gevalideerde informatie moeten daardoor mogelijk negatiever waarden worden aangehouden in ontwerp en/of is aanvullende inspanning benodigd van ontwerpers/leveranciers om positievere projectspecifieke waarden te onderbouwen.
- De specifieke interne warmtecapaciteit ($D_{m;inf;eff}$) van een rekenzone is sterk afhankelijk van de bepalingsmethode en heeft daarmee invloed op de energiebehoefte bepaling voor verwarming en koeling. Noch de NTA 8800 forfaitaire methode, noch de Bijlage B methoden maken onderscheid tussen minerale- of biobased isolatiematerialen in constructies. Dit is een gevolg van de begrenzing in deze eenvoudige methoden van isolatielagen in de constructie. Een uitgebreidere methode, zoals die in EN ISO 13786 biedt een relatief toegankelijke en eenvoudig alternatief voor bepaling van de effectieve interne warmtecapaciteit, waarbij ook nog onderscheid kan worden gemaakt tussen de verschillende berekeningsdoeleinden (verwarming, koeling of bepaling van het risico op temperatuuroverschrijding).

Door gebruik van deze alternatieve methode kan het effect van faseverschuiving, wat optreedt als gevolg van de werkelijke soortelijke massa van materialen in relatie tot dynamische omgevingseffecten beter worden weergegeven. De effecten op berekening van energiegebruik en thermisch comfort worden duidelijk in navolgende hoofdstukken middels dynamische simulaties die meer in lijn liggen met de uitgebreide methode. Door toepassing van de uitgebreide methode wordt het gedrag van zwaarde constructies en lichtere (zoals biobased) beter meegenomen.

3. Energieprestatienormen

Volgend op de conclusies over technische prestaties, waar al op onderdelen de link is gemaakt met de NTA 8800 norm voor energieprestatie, wordt in dit hoofdstuk verder uiteengezet hoe dit kan worden gezien in het bredere kader. Hieruit volgt een samenvatting van de belangrijkste factoren die getoetst worden middels simulaties.

3.1 NTA 8800

3.1.1 Doel en gebruik

NTA 8800 is de Nederlandse norm voor bepaling van energieprestatie van gebouwen. De NTA 8800 bepalingsmethode is afgeleid van de EPB-normen die een grote rol spelen bij de ondersteuning van de Europese EPBD. EPBD definieert de omvang- en te hanteren methodiek voor bepaling van energieprestatie. De Europese norm geeft een kader, maar geeft tevens nog vrijheid voor individuele landen voor specifieke invulling die gerelateerd is aan de lokale bouwpraktijk. In Nederland is de vertaling gemaakt in de NTA 8800, waarbij de procedures voor afgeven van energielabels en de kwaliteit van dat proces is vastgelegd in BRL 9500 en de ISSO’s 75.1 en 82.1.

Het is een methode om inzicht te geven in drie belangrijke prestatie-indices voor gebouwen, die samen de energie voor verwarming, koeling, ventilatie, warm tapwater, bevochtiging en verlichting opleveren. Het energielabel van het gebouw wordt op basis van EP2 bepaald.

- EP1 - behoefte (kWh/m2): de maximale energiebehoefte in kWh per m2 gebruiksoppervlak per jaar
- EP2 - energiegebruik (kWh/m2): het maximale primair fossiel energiegebruik, eveneens in kWh per m2 gebruiksoppervlak per jaar
- EP3 - aandeel hernieuwbaar (%): het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten

* Extra voor woningen: TOjuli (K)

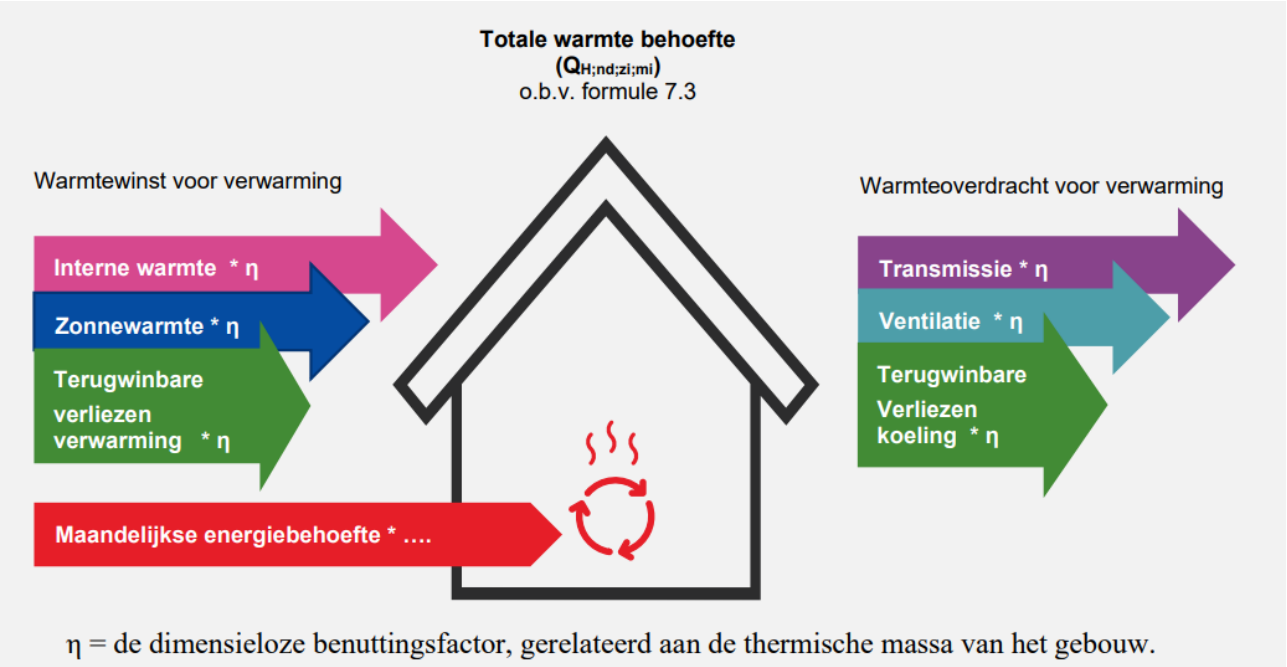
Ondanks dat de Europese EPBD mogelijkheid biedt in het ofwel gebruik van een **uurlijkse** of **maandelijkse** methode voor energieprestatie, is de NTA 8800 uitsluitend gebaseerd op de maandelijkse methode. Daarbij bestaat in Nederland voor aanvragers omgevingsvergunning de vrijheid om gelijkwaardig alternatief aan te tonen (bijv. door uurlijkse simulaties), maar in praktijk blijkt dat hier zeer beperkt gebruik van wordt gemaakt omdat het tijdrovend en kostbaar is.

De EPBD (en dus ook NTA 8800) is bedoeld voor alle gebouwtypologieën, inclusief bestaand, nieuwbouw, utiliteit, woningen, met variërende energieprestaties van zeer hoge tot zeer lage energielabels.

3.1.2 Van dynamisch gedrag naar maandwaarden: benuttingsfactor

Uit het onderzoek naar technische aspecten blijkt dat de **benuttingsfactor** een belangrijke parameter / formule is in de correcte bepaling van het thermische gedrag van gebouwen, zeker waar sprake is van zeer lage specifiek werkzame thermische massa of waar sprake is van significante koelvraag. Zoals blijkt uit de gesprekken met belanghebbenden en experts heeft deze parameter een grondslag in de ontwikkeling van energieprestatienormering in Nederland. De nu toegepaste nationale interpretatie in NTA 8800 heeft zijn grondslag in studies van TNO / TU Delft uit de jaren ’90 die bepalend waren voor de voorlopers van de norm (zijnde NEN 5128, NEN 2916 en NEN 7120). Deze kennis is samengebracht met de Europese grondslagen in EN ISO 52016-1, die de methode voor bepaling van energiebehoefte voor verwarming en koeling beschrijft.

De benuttingsfactor η_v is geïntroduceerd om een eenvoudige vertaling te maken van de dynamische effecten van warmtewinst voor verwarming (of koude) en de thermische overdracht naar de maandelijkse (statische) rekenmethode in NTA 8800. Daarmee wordt bepaald in hoeverre energiestromen ook werkelijk effectief bruikbaar zijn voor het voldoen aan de grenswaarden voor de luchttemperatuur in de gebruiksfuncties. De factor wordt meegerekend bij de effecten van: interne warmte, zonnewarmte, terugwinbare verliezen van installaties, transmissie en ventilatie. De factor heeft een sterke relatie met de specifiek werkzame massa van het gebouw en de mate van warmteverlies (oftewel de verhouding schil/gebruiksoppervlak en de isolatiegraad). Deze factor ligt aan de basis van de energievraag voor ruimteverwarming, ruimtekoeling en het risico op temperatuuroverschrijding.



Figuur 5: Schematische weergave van de bepaling van de verwarmingsenergiebehoefte, met daarbij invloed van de benuttingsfactor

De kwaliteit van de maandmethode voor bepaling van energiegebruik is in een aantal publicaties ter discussie gesteld. Hierin worden de uitkomsten van de maandmethode vergeleken met dynamische simulaties. Hierin worden afwijkende resultaten gevonden voor constructies met lage specifieke warmtecapaciteit en afwijkingen bij bepaling van de koelbehoefte. In Appendix A worden de bevindingen nader toegelicht, met de volgende bevindingen:

- Effecten van thermische massa worden niet geheel of met beperkte nauwkeurigheid meegenomen;
- De benutting van warmtewinst wordt voor gebouwen met zeer lichte warmtecapaciteit onderschat, waardoor de winst van zonnewarmte te beperkt bijdraagt aan de opwarming in de ruimte, met als gevolg een te hoge jaarlijks berekende verwarmingsenergie.
- De kwaliteit van resultaten uit dynamische simulatiemethoden blijkt sterk afhankelijk van uitgangspunten (bijvoorbeeld gebruik en klimaat). Vastleggen van de uitgangspunten is belang bij voorschrijven van een methode door overheden.
- De energiebehoefte voor koelenergie wijkt in testen met dynamische simulaties voor een kantoorgebouw in Nederland sterk af van de resultaten in NTA 8800, waardoor de totale energiebehoefte voor verwarmen en koelen in die situatie zelfs lager uitviel voor een thermisch lichte constructie dan een zware constructie.

De gevonden verschillen in dit voorgaande onderzoek zijn mede reden om nader te controleren welke afwijkingen er tussen de maand- en uurlijkse methoden zijn en waar de verschillen vandaan komen. Dit wordt uitgewerkt in het volgende hoofdstukken over dynamische simulaties.

3.1.3 Gebruikersgedrag & ervaring

De scope van dit onderzoek is gebaseerd op de NTA 8800, de norm die wordt gebruikt om de energieprestaties van gebouwen te bepalen. Een indicator die hiervoor wordt gebruikt is het energielabel van het gebouw. Energielabels worden als een benchmark gebruikt om eenvoudige vergelijkingen te maken tussen verschillende gebouwen.

De bepalingsmethode heeft alleen betrekking op de gebouwgebonden maatregelen. Niet-gebouwgebonden energiegebruik zoals gebruikersgebonden energiegebruik, blijft buiten beschouwing.

In lijn met de scope van NTA 8800, wordt er rekening gehouden met één standaard gebruikersgedrag.

3.1.4 Risico op oververhitting

De NTA 8800 beschrijft de drie indicatoren die het energielabel van een gebouw vormen. Deze drie indicatoren houden echter geen rekening met oververhitting gedurende het zomerseizoen. Om dit te duiden is de TO_{juli}-indicator geïntroduceerd voor woningen. Deze methode geldt niet voor utiliteitsbouw.

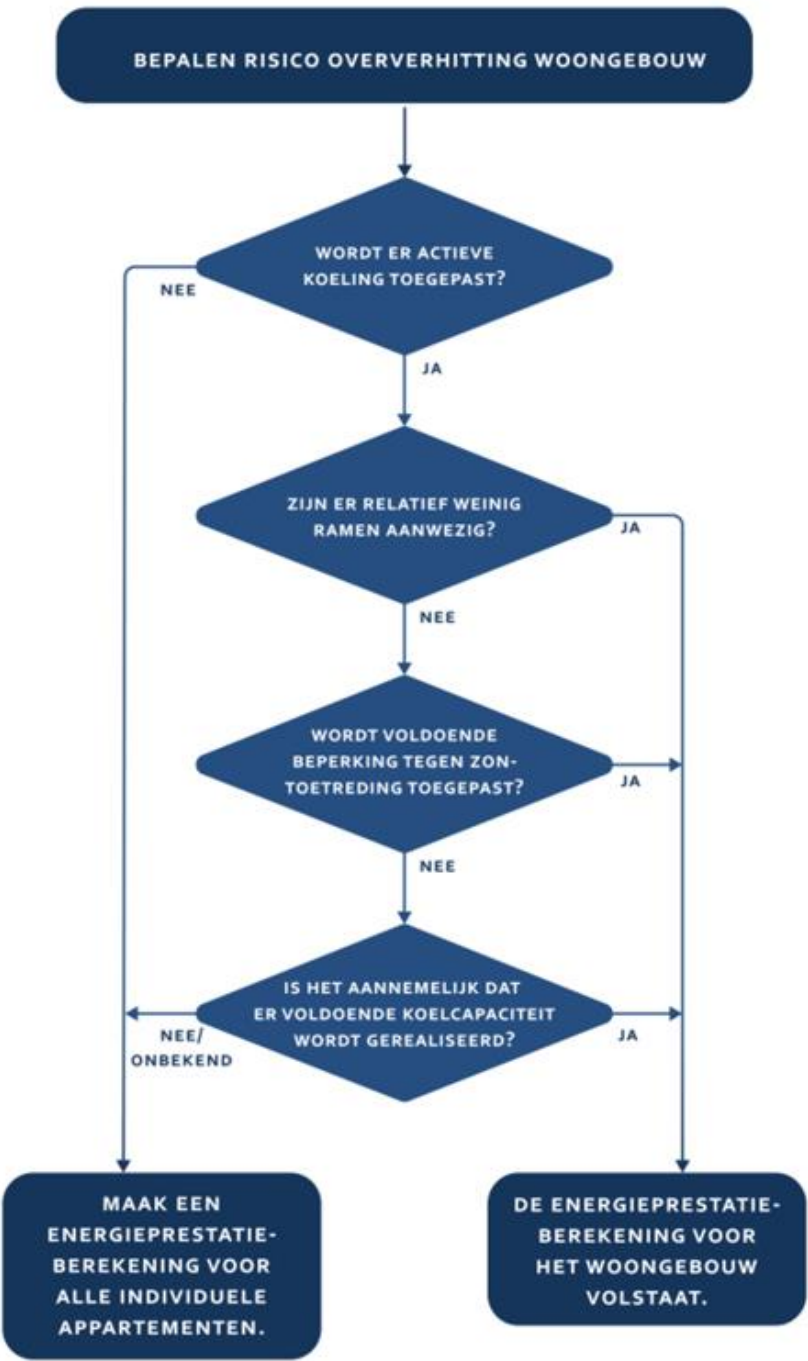
De TO_{juli}-indicator duidt het risico op oververhitting binnen een gebouw aan. De waarde wordt middels NTA 8800 (kort samengevat) bepaald uit de verhouding tussen de koudebehoefte in de maand juli en het warmteverlies (het afkoelend vermogen) zonder toepassing van actieve koeling. Een lage TO_{juli}-indicator betekent dat er minder risico is op oververhitting, wat bijdraagt aan het wooncomfort en de gezondheid van de bewoners. De huidige grenswaarde voor deze indicator is gesteld op 1,20 voor nieuw te bouwen woningen.

In aanvulling op de NTA 8800, is in ISSO 82.1 (voor woningen) een beslisschema gegeven om te borgen dat voldoende maatregelen zijn genomen om het risico op oververhitting te beperken:

- Als er geen actieve koeling aanwezig is in het gebouw, moet de energieprestatieberekening voor alle individuele appartementen worden gemaakt, wat de TO_{juli}-indicator als resultaat geeft en aantoont of er aan de eis is voldaan. Als er wel actieve koeling aanwezig is, moeten de onderstaande aspecten worden gecontroleerd:
- De verhouding tussen raamopeningen en de gebruiksoppervlakte: als deze verhouding gelijk is aan of kleiner dan 0,20 zijn er relatief weinig ramen aanwezig, wat direct resulteert in de berekening van energieprestatie op gebouwniveau. Als deze verhouding groter is dan 0,20 moeten de volgende aspecten worden gecontroleerd:
- Voldoende maatregelen tegen zontoetreding: er is voldoende beperking tegen zontoetreding als 95% van de gevelopeningen van het woongebouw beschikt over (1) zonwering (volgens paragraaf 8.8 van ISSO 82.1), (2) zonwerend glas (met een g-waarde ≤ 0,40) of (3) voldoende belemmeringen (beschaduwingsfactor $F_{sh,obst,juli} < 0,67$). Dit geldt alleen voor gevelopeningen met de oriëntaties NO, O, ZO, Z, ZW, W en NW. Als deze maatregelen zijn genomen, dan wordt de energieprestatie beoordeeld op gebouwniveau. Zo niet, dan het volgende:
- Er moet worden aangetoond dat voldoende opwek- en afgiftecapaciteit zal worden gerealiseerd door:
 - Een dynamische koelbelastingberekening is gemaakt
 - Een berekening is gemaakt volgens bijlage AA van de NTA8800

De TO_{juli}-indicator is geijkt aan een dynamische methode voor bepaling van thermisch comfort, namelijk zoals beschreven in Het Besluit Bouwwerken Leefomgeving, bijlage XVI bij artikel 5.31c van De Omgevingsregeling. Deze bijlage beschrijft de uitgangspunten voor dynamische rekenmethodiek van oververhitting in de zomerperiode. Dit betreft een GTO-methode, waarin gerekend wordt met een aantal uren overschrijding op basis van het verwachtte ervaren thermisch comfort, van toepassing op woningbouw. De TO_{juli} grenswaarde van 1,20 is gelijkgesteld aan een maximale GTO-overschrijding van 450 uur. GTO staat voor Gewogen Temperatuur Overschrijding en beschrijft de afwijking van het gemiddeld acceptabele comfort, die de PMV-methode als basis heeft..

De GTO-overschrijdingen zijn te berekenen met meerdere softwarepakketten. De GTO-berekening vereist een berekening op ruimteniveau. In de praktijk wordt dit echter zelden gedaan, aangezien dit een kostbaar proces is.



Figuur 6: Stappenplan oververhitting ISSO 82.1

3.1.5 **Ontwerp- of toetsingsinstrument**

NTA 8800 beschrijft de maandelijkse berekeningsmethode zoals voorgeschreven door de EPBD op Europees niveau. Het is gericht op een gelijke vergelijking tussen gebouwen, waardoor verschillen in gebruikersgedrag worden uitgesloten. Het is bedoeld als beoordelingsinstrument en niet als ontwerptool. In de praktijk is dit echter niet het geval. In de praktijk wordt NTA 8800 vaak gebruikt als ontwerptool, vaak bij aanbestedingen en vroege ontwerpfasen (SO). Dit komt vooral omdat er een eenvoudig/relatief goedkoop instrument nodig is om de naleving van de eisen voor latere stadia van een ontwerp te controleren. Ook wordt het steeds vaker ingezet als ontwerpinstrument vanwege strengere eisen en financiële prikkels (zoals relatie tussen maximale huur en energielabels, EU Taxonomy en andere).

3.1.6 **Ontwikkeling**

Het EPB Centrum begeleidt de ontwikkeling van de Europese EPBD. In recente updates wordt veelvuldig het belang van de uurlijkse methode onderbouwd. Hierbij wordt aangeduid dat de steeds scherpere energiedoelstellingen voor gebouwen ertoe leiden dat de invloed van afwijkingen in de maandelijkse methode ten opzichte van gekalibreerde simulaties toeneemt. De trend tot scherpere energiedoelstellingen leidt onder meer tot verhoogde thermische isolatie, verhoogde luchtdichtheid, maximalisatie van zonnewinsten en efficiënte klimaatinstallatie. De klimaatdoelstellingen beïnvloeden niet alleen de energieprestatie, maar ook de milieuprestatie doelen, waardoor biobased bouwen steeds meer gemeengoed wordt. De gehanteerde thermische massa in gebouw(ontwerpen) verandert daarmee ten opzichte van de reguliere bouwpraktijken. Vergeleken met minerale wol in houtskeletbouw zijn constructies met biobased isolatiematerialen zwaarder. Vergeleken met kalkzandsteen en metselwerk is de warmtecapaciteit biobased constructies lager. De invloed van de warmtecapaciteit wordt belangrijker: het heeft een grotere invloed op de uitkomsten van energieberekeningen. Dit is vooral het geval (volgens Instituut Kern, middels de Passive House Planning Package (PHPP) berekeningsmethode) bij gebouwtypen met hoge isolatie, hoge luchtdichtheid, variabel bewonersgedrag en efficiënte installaties.

3.2 **EPBD**

3.2.1 **Doel en gebruik**

De Richtlijn Energieprestatie van Gebouwen (EPBD) is een wetgeving die de energieprestaties van het gebouwenbestand van de Europese Unie regelt. Als richtlijn worden doelstellingen uiteengezet die alle EU-landen moeten bereiken, waardoor verschillende wetgevingsbenaderingen op nationaal niveau mogelijk zijn om deze doelstellingen te bereiken.

De EPBD is in 2010 in werking getreden en in 2018 gewijzigd om nieuwe eisen te introduceren, de uitvoering van renovaties te bevorderen en het standpunt van de EU ten aanzien van de modernisering van het gebouwenbestand weer te geven. De belangrijkste eisen die de EPBD als minimumeisen stelt, zijn gericht op:

- Het opzetten van een gemeenschappelijk rekenstandaard voor het berekenen van de energieprestaties van gebouwen
- Het stellen van minimale energieprestatie-eisen aan nieuwe en bestaande gebouwen
- Het vereisen van het opstellen van nationale plannen voor het opschalen van bijna-energieneutrale gebouwen
- Het vereisen van de energiecertificering van gebouwen
- Het instellen van regelmatige inspecties van technische systemen in gebouwen;
- Het vereisen van onafhankelijke controlesystemen voor energieprestatiecertificaten en inspectierapporten

Inmiddels is de invoer van EPBD IV aangenomen; daarop volgt de besluitvorming bij binnenlandse zaken over hoe daar invulling aan te geven. De EPBD IV omvat onder andere de koppeling tussen energie- en milieuprestatie; extra aanbeveling voor dynamische berekening en het toewerken richting ‘Zero Emission Buildings’.

3.2.2 **Internationaal vergelijk**

Vergelijk van de verschillende EPBD-uitwerkingen in Europese landen loopt. Hieruit komt nu naar voren dat Frankrijk een van de weinige landen is met uurlijkse simulaties voor het energiegebruik. Ook wordt onderzocht of de

benuttingsfactor vergelijkbaar wordt gehanteerd bij andere maandmethoden en de achtergrond voor keuze voor dynamische simulaties.

3.2.2.1 **Duitsland**

De eisen voor energie-efficiëntie voor nieuwbouw en bestaande gebouwen zijn vastgelegd in de Duitse Energiewet voor Gebouwen (Gebäudeenergiegesetz GEG), die in 2020 de vroegere verordening “Energiebesparingsverordening (Energieeinsparverordnung EnEV)” heeft vervangen en voor het laatst in 2023 is bijgewerkt. De belangrijkste eisen zijn gericht op primaire energievraag, de prestaties van de gebouwschil en oververhitting in de zomer.

Bij de berekeningsmethode van de primaire energievraag wordt rekening gehouden met de energiebehoefte voor ruimteverwarming en koeling, warm water voor huishoudelijk gebruik, ventilatie en ingebouwde verlichting. De berekeningsrichtlijnen zijn vastgelegd in de norm DIN V 18599 versie 2018. Het voldoen aan de vereisten voor de energievraag wordt aangetoond door de berekende primaire energievraag van het voorgestelde gebouw te vergelijken met een geometrisch gelijkwaardig referentiegebouw. De huidige regelgeving voor nieuwbouw vereist een primaire energievraag van minder dan 55% van het referentiegebouw.

3.2.2.2 **Frankrijk**

Het belangrijkste instrument voor de omzetting van de EPBD in Frankrijk is de Réglementation Environnementale 2020 (RE2020), die in 2022 in werking is getreden en de voormalige RT 2012 vervangt. RE2020 vereist de berekening van de energie-, milieu- en zomercomfortprestaties van nieuwe gebouwen. De methodologie voor deze berekening wordt beschreven in de Th-BCE 2020, waarin onderscheid wordt gemaakt tussen 2 fasen: de simulatie van de energieprestaties van het gebouw en de berekening van de LCA en milieu-indicatoren op basis van gegevens uit de energiesimulatie.

De indicatoren die in aanmerking worden genomen voor de energie- en milieuprestaties houden rekening met de vraag naar verwarming, koeling en kunstverlichting, het conventionele primaire energieverbruik en het aantal uren onbehaaglijkheid. De energieberekening is gebaseerd op een uurlijkse methode die over een jaar loopt. Volgens de LCA-berekening is RE2020, hoewel het gebruik van statische methoden nog steeds is toegestaan, zeer uniek in de manier waarop het een dynamische aanpak aanmoedigt.

De naleving van de thermische, energie- en milieu-indicatoren die zijn opgenomen in RE2020 wordt bewezen door het gebruik van specifieke berekeningssoftware, die moet worden goedgekeurd door het Ministerie van Ecologische Transitie en Territoriale Cohesie.

3.2.2.3 **Italië**

De huidige EPBD (Richtlijn 2018/844/EU) wordt in Italië omgezet via het decreet van 10.06.2020 n. 48, die de berekening voorschrijft van prestatie-indicatoren met betrekking tot de energiebehoeften voor verwarming en de energieprestaties (niet-hernieuwbare en totale primaire energie), zowel voor woningen als utiliteitstypologieën.

Decreet van 26.06.2015 stelt minimumeisen vast voor nieuwbouw voor minimale energieprestaties van bouwsystemen en componenten, hernieuwbare energieopwekking op locatie, berekeningsmethoden voor energieprestaties en bepalingen rond primaire energie. De belangrijkste indicatoren waarmee rekening wordt gehouden bij de berekening van de energieprestaties zijn gericht op de energiebehoeften voor verwarming, koeling, warm water voor huishoudelijk gebruik, ventilatie (alleen voor woongebouwen) en verlichting en transport (voor utiliteitsgebouwen), evenals het instellen van een maximale warmtetransmissie-drempel voor gebouwschillen.

3.2.2.4 **Spanje**

De energieprestatie-eisen voor nieuwbouw in Spanje worden geregeld via de Technische Bouwwet (CTE), die in 2019 werd bijgewerkt en gedeeltelijk aangepast om rekening te houden met Europese normen, evenals het gebruik van indicatoren voor verschillende bouwtypologieën.

Over het algemeen is de Spaanse berekeningsmethodologie opgenomen in vijf officiële computerprogramma's, die verplicht zijn voor energiecertificering en een zeer nuttig hulpmiddel zijn voor naleving van de CTE. De stappen die door deze berekeningsmethodologie, en dus door het computerprogramma, moeten worden gevolgd, zijn: ten eerste het berekenen van de energievraag, zowel voor thermisch als voor huishoudelijk warm water en verlichting; vervolgens het energieverbruik berekenen van de systemen die nodig zijn om aan de vraag te voldoen. Deze berekeningen worden gemaakt door de energiebehoeften van het gebouw uurlijks te integreren.

3.3 Conclusies energieprestatie & biobased constructies

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt dat er meerdere factoren van invloed zijn op de energieprestatie van biobased constructies. Dit blijkt uit gesprekken met belanghebbenden, uit literatuurstudies, korte rekenkundige exercities (bijv. voor warmtecapaciteit) en beschouwing van NTA 8800 in de bouwregelgeving. Die factoren (in de vorm van grootheden) zijn gegeven in navolgende tabel. Per grootheid wordt toegelicht welke invloed wordt verwacht op de resultaten en of nader onderzoek (middels simulaties) relevant is.

Tabel 7: Samenvatting relevante aspecten in NTA 8800 i.r.t. biobased materialen.

Symbool	Aspect	Relatie tot biobased materialen & constructies	Relevantie voor nader onderzoek/simulatie:
λ	Standaardwaarden voor lambda van biobased materialen	Beperkt aantal materialen vermeld als representatieve en forfaitaire waarden (zie o.a. tabellen E.10 t/m E.12)	Er loopt een apart initiatief (NTA 8800/Building Balance) om enerzijds het aantal lambda-waarden uit te breiden volgens de informatie van de leverancier, anderzijds geplande aanvulling door NEN voor tabel E.10 (ref nr. 2023.65). Daarom geen verder onderwerp van deze studie.
m	Standaardwaarden voor vochtgehalte	Beperkte differentiatie voor biobased materialen	Er loopt een apart initiatief via Building Balance om de hoeveelheid vochttransportwaarden uit te breiden volgens de informatie van de leverancier. Daarom geen verder onderwerp van deze studie.
F_A	Standaard verouderings-waarden voor in situ toepassing van (biobased) isolatiematerialen	Relatief negatieve waarde voor toepassing in situ, vooral voor biobased materialen	Er is een afzonderlijk initiatief (samenwerking Building Balance / Projectgroep NTA) om het aantal in situ waarden uit te breiden volgens de informatie van de leverancier. Daarom geen verder onderwerp van deze studie.
$\sim u$	Standaard gebruikerspatroon met relatief constant gebruik (ref: NBVT / BMS onderzoek)	Een constant profiel heeft de voorkeur voor constructies met een hoge thermische massa (ref: [1]). Het werkelijke gebruik kan echter verschillen. Lichte constructies reageren sneller op veranderingen in een dynamisch gebruikerspatroon.	Constant profiel in lijn met doel van NTA 8800: toepasbaar op alle vastgoed; enig onderzoek gaande naar actuele gebruikersprofielen als onderdeel van De Renovatieverkenner; maar hoeveelheid kwalitatieve voorbeelden is te beperkt om alternatieven voor te stellen. Advies om hier aanvullend onderzoek naar te verrichten, in meer detailniveau dan deze studie.
$^{\circ}C$	Klimatologisch referentiejaar gebaseerd op historische gegevens (NEN 5060).	Er wordt verwacht dat constructies met een gemiddelde / lagere thermische capaciteit beter zullen presteren in toekomstige klimaatscenario's met langere perioden van hoge temperaturen ('s nachts), vooral in stedelijke bouwtypologieën, met beperkte mogelijkheden voor dwarsventilatie en een kleine compactheid verhouding.	Het voorstel om deze aanname in NTA 8800 te wijzigen als beleidswijziging zal een apart onderzoek zijn.

Symbool	Aspect	Relatie tot biobased materialen & constructies	Relevantie voor nader onderzoek/simulatie:
RV	Energie voor bevochtiging of ontvochtiging wordt niet meegerekend, tenzij er een specifiek systeem is ontworpen (alleen utiliteitsgebouwen).	Biobased materialen hebben een hogere interactie met intern/extern vocht, vanwege hun relatief hogere opslag- en/of transmissie-eigenschappen. In de praktijk kan dit leiden tot een constantere luchtvochtigheid in gebouwen, vooral in de winter (ref: [13]).	Het balanceren van de luchtvochtigheid is een proces dat elk uur of elke dag plaatsvindt en dat niet wordt weergegeven in de maandelijkse methode, zowel niet voor energie- als oververhittingsaspecten. Er wordt verwacht dat de invloed gering zal zijn, gezien de minimumvereisten voor ventilatie. Ook wordt verwacht dat een mogelijke verlaging van het instelpunt in de winter als gevolg van een hogere luchtvochtigheid (energiebesparing) wordt gecompenseerd door een hoger energieverbruik voor het verwarmen van de vochtigere lucht. Vanuit belanghebbenden klinkt echter een sterke wens voor validatie van deze aanname. Ter onderbouwing hiervan worden daarom simulaties uitgevoerd voor enkele typologieën, zowel voor jaarlijks energiegebruik als voor thermisch comfort (hoofdstuk 5 en 6).
η	Voor het berekenen van de dynamische thermische effecten wordt een 'benuttingsfactor' gebruikt, zowel voor energie-berekeningen als voor berekeningen van het risico op oververhitting.	De benuttingsfactor lijkt een ‘misfit’ te geven voor constructies met een lage tot zeer lage specifieke warmtecapaciteit of voor de warmtewinst uit zon, wat voor biobased constructies en/of Nederlandse typologieën met grote glas/gevel ratio’s het geval is. Dit wordt geconcludeerd in referenties [14], (gebruikt in NBVT, BMS studies) en [15] (specifiek voor koelenergie). De marktfocus op fase-verschuiving houdt verband met deze factor omdat deze ook de Tojuli indicator bepaalt.	Op Europees niveau wordt de benuttingsfactor uitgewerkt in de EN ISO 52016-1 voor de maandelijkse bepaling. De invulling van de hiervoor benodigde benuttingsfactoren (par 6.6.10 van die norm) en andere correctiefactoren is een nationale keuze. Daarmee is het relevant om in de Nederlandse NTA 8800 voor biobased gebouwen te toetsen of deze factor voldoende representatieve waarden geeft. Hierbij is het uitgangspunt dat de formule in lijn blijft met de EN ISO 52016-1 die standaardwaarden ontleent aan EN ISO 13790, maar de focus te leggen op de nationale interpretatie. De kritische inzichten uit publicaties, de signalen met betrekking tot fase-verschuiving uit de markt en de beïnvloedbare nationale vertaling zijn reden om deze factor nader te beschouwen binnen dit onderzoek, mede omdat de verwachting is dat de prestatie in praktijk positiever is dan nu uit de maandmethode volgt.

4. Dynamische simulaties: (benuttings)factoren

4.1 Hypothesen

Zoals in de voorgaande beschrijving naar voren komt is het onderzoek naar de benutting van thermische energie in de maandmethode van belang om het meer dynamische gedrag- en de lagere warmtecapaciteit goed tot uiting te laten komen. Op basis van de literatuur wordt verondersteld dat door aanpassing van de referentieparameter $\alpha_{H,0}$ en de referentie tijdconstante $\tau_{H,0}$ tijdconstante een benuttingsfactor kan worden gegenereerd die beter aansluit bij specifieke constructie-opbouwen of gebouw typologieën. Mogelijk zijn ook aanvullende factoren benodigd voor goede ijking van de resultaten.

Door controle op deze factoren wordt antwoord gegeven op de ervaringen van belanghebbenden die te kennen geven dat volgens hen de energievraag die volgt uit de NTA 8800 maandmethode hoger is dan men zou verwachten op basis van dynamische simulaties of het werkelijk gebruik. Daarmee zijn er twee hypothesen onderdeel van de toetsing:

Hypothese 1: ‘Lichte constructies’ presteren slechter in de NTA 8800 beoordeling dan in dynamische simulaties.

Zoals onderbouwd in de literatuurstudie wordt de invloed van biobased bouwmethoden vooral gevonden in de resulterende warmtecapaciteit van de constructies. In hypothese 1 wordt daarom bewust de term ‘licht’ gebruikt in plaats van biobased, waarmee de resultaten bruikbaar zijn voor brede markttoepassing. In de selectie van voorbeeldprojecten wordt gewerkt met HSB-constructies met minerale of biobased isolatiematerialen.

Het onderzoek richt zich op de eventuele belemmeringen in NTA 8800, daarom worden de dynamische simulaties ingericht volgens de vastgestelde gebruiksprofielen in NTA 8800. Deze zijn geen representatie van het individuele werkelijk gebruik maar zijn op veel punten beleidsmatige keuzes op basis van gemiddeld gedrag.

Na het ijken van een basis typologie in NTA 8800 en een dynamisch simulatiemodel, kunnen varianten daarop worden gecontroleerd, om te zien of wijziging in specifieke interne warmtecapaciteit zelfde- of afwijkende effecten heeft op uitkomsten bij de maandmethode NTA 8800 of de dynamische simulatie.

Wanneer blijkt dat de afwijkingen tussen lichte- en zware constructies in de berekeningen in de maand- en dynamische methode significant zijn, wordt onderzocht waar de verschillen uit volgen en hoe deze kunnen worden aangepakt. Dit leidt tot hypothese 2:

Hypothese 2: Discrepanties in de NTA 8800 methode worden veroorzaakt door de benuttingsfactor.

In de 2^e hypothese wordt gecontroleerd of de afwijkingen gerelateerd zijn aan de benuttings- en vergelijkbare factoren. De methode voor toetsing is ingericht om te bepalen welke alternatieve factoren passend zijn om tot een betere kalibratie tussen maandmethode- en dynamisch te komen. Om dit te doen worden vele varianten gegenereerd, waarmee de gevoeligheid van de resultaten kan worden beschouwd. Deze methode is vergelijkbaar aan de initiële methode uit 1993 [16] die gebruikt is voor ontwikkeling van de benuttingsfactor die nu in NTA 8800 wordt gebruikt. In de nu uit te voeren studie zullen de gebruikte varianten beter aansluiten bij de actuele praktijk met betrekking tot o.a. isolatieniveaus en luchtdichtheid en wordt gerekend met de huidige uitgangspunten voor klimaat in NTA 8800. Bij onderzoek naar de toe te passen (benuttings)factoren wordt ook gekeken of de huidige methode, waarbij één waarde van toepassing is op alle type gebouwen (functie, warmtecapaciteit, verhouding energie winst/verlies,..) de logische keuze is. Wanneer relevant, wordt voorgesteld om (benuttings)factoren aan te passen per warmtecapaciteit klasse of functie.

In de literatuur [15], [17] wordt al een globale richting gegeven voor alternatieven van de genoemde parameters, om daarmee beter aan te sluiten bij de uitkomsten uit dynamische simulaties:

Parameter	Huidige waarde in NTA 8800	Artikel Bruno [15]	Artikel Kokogiannakis [17]
Referentieparameter $\alpha_{H,0}$	1,0	Niet genoemd in het artikel.	3.5
Referentie tijdconstante $\tau_{H,0}$	15 uur	75	10

Om de omvang van dit onderzoek te beperken wordt de typologie **woningbouw** beschouwd, om inzage te krijgen in de mogelijke impact. Mocht dit tot grote invloed leiden, kan dit als advies worden gegeven aan de NTA 8800 programmaraad om een compleet onderzoek in te stellen om de benuttingsfactor voor alle typologieën te herijken.

4.2 Methoden

Het navolgende simulatieplan beschrijft de stappen die worden doorlopen om de twee hypothesen te toetsen. Hierin worden enkele uitgangspunten en verwijzingen beschreven. Voor nadere onderbouwing van de keuzes, zie de verdere paragrafen in dit hoofdstuk en detail specificaties in de bijlagen.

Voor de dynamische simulatie wordt gebruik gemaakt van het EnergyPlus rekenprogramma. Aanvullende informatie is te vinden in Bijlage B.2.2.

Voor de maandmethode wordt gebruikt van gevalideerde NTA 8800 software Uniec3. Aanvullende informatie is te vinden in Bijlage B.2.1.1

Aanvullend wordt de NEN Excel Validatietool voor NTA 8800 gebruikt om de benuttingsfactoren te ijken en het effect van aangepaste factoren te kwantificeren in de totale energieprestatie-berekening.

4.2.1 Hypothese 1: ‘Lichte constructies’ presteren slechter in NTA 8800 beoordeling dan in dynamische beoordeling

De genomen stappen bij de beoordeling van deze hypothese zijn als volgt:



Stap 1: Kalibratie EnergyPlus model

a. Eenvoudige geometrie, in twee basis varianten: licht en zwaar; 2 ventilatiesystemen (C1/C4.a)

b. Configureren EnergyPlus parameters totdat de resultaten overeenkomen met NTA8800 methode

c. Vergelijk en interpretatie resultaten: energiebehoefte warmte/koude en temperatuurverloop zomer.

d. Extra: vergelijk licht (HSB/mineraal) en licht (HSB/biobased).



Stap 2: Simulatie referentiegebouwen volgens NTA8800 & dynamische simulatie

a. Meerdere referentiegebouwen (RVO) met zware en lichte constructies.

b. Simulaties volgens NTA8800 methode en gekalibreerd EnergyPlus model uit stap 1.



Stap 3: Vergelijking van de resultaten

a. Controle op energiebehoefte voor verwarming en koeling en op hoofdlijnen thermisch comfort.

b. Beoordeling van afwijkingen tussen de twee simulatiemethoden

c. Conclusies voor onderzoek hypothese 2.

4.2.2 Hypothese 2: Discrepancies in de NTA 8800 methode worden veroorzaakt door de benuttingsfactor

De genomen stappen bij de beoordeling van deze hypothese zijn als volgt:



Stap 1: Genereren gebouwvarianten

Variabelen: effectieve interne warmtecapaciteit, isolatiewaardes, ventilatiesysteem, raamopeningen: voor **Rijwoning 10**



Stap 2: Simulatie gebouwvarianten en genereren dataset

NTA8800 en dynamische beoordeling voor gebouwvarianten. Resultaten van dynamische simulatie extraheren naar één dataset



Stap 3: Re-fit benuttingsfactor

Bepalen a0 en τ0 middels regressiemethode
Een of meerdere benuttingsfactoren bepalen op basis van de thermische massa of andere gebouwkenmerken



Stap 4: Update NTA 8800-analyse

Toepassen geactualiseerde benuttingsfactor



Stap 5: Vergelijking van de resultaten

Beoordeling van afwijkingen tussen de simulatiemethoden
Heeft de verandering in de benuttingsfactor het verschil tussen de NTA8800 beoordeling en de dynamische simulatie heeft verminderd?

4.3 Uitgangspunten

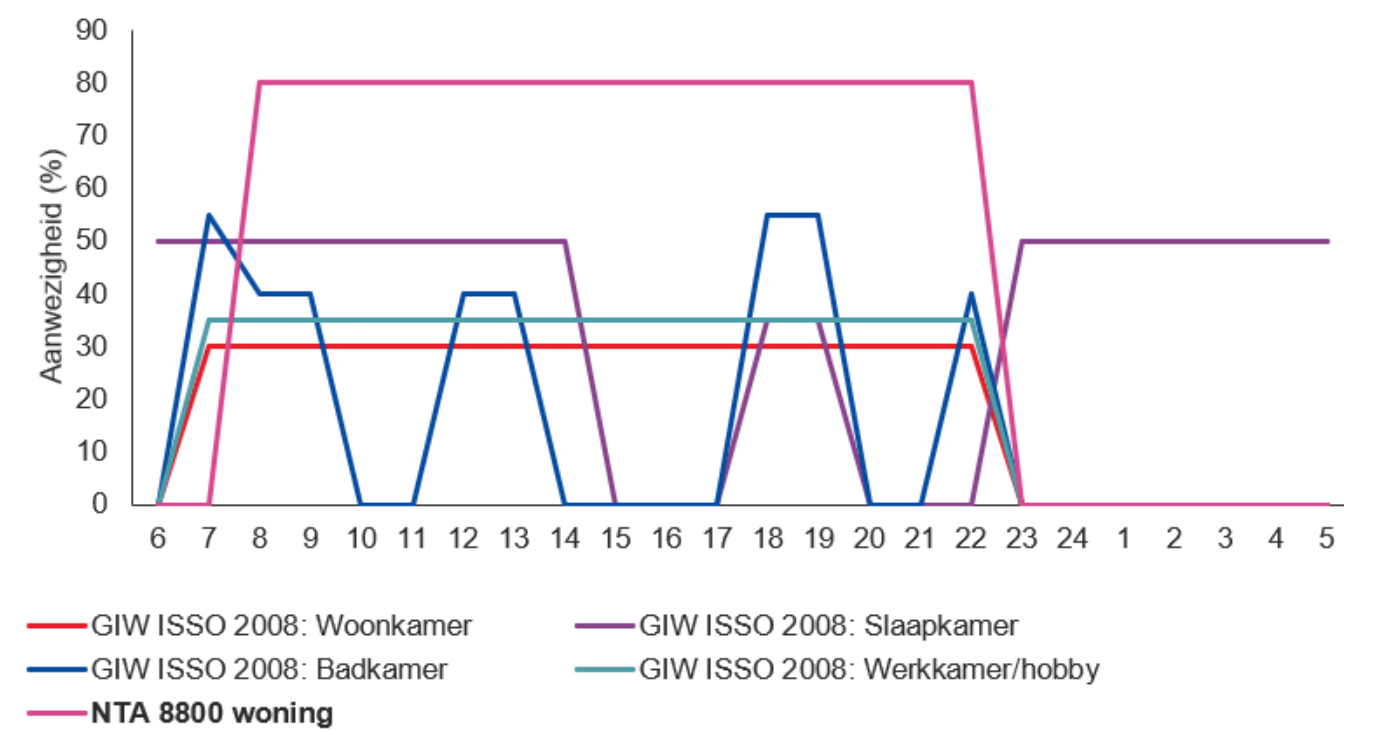
4.3.1 Klimaatjaar

In de huidige versie van de NTA 8800 (NTA 8800:2024) wordt gerekend met het buitenklimaat volgens NEN 5060:2018+A1:2021 Hygrothermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens. Deze norm geeft de uurlijkse- en maandgemiddelde waarden voor een referentieklimaat, op basis van NEN-EN-ISO 15927-4. Deze waarden zijn gebaseerd op recente jaarreeksen. In de NTA 8800 wordt ten behoeve van energieberekening gerekend met de maandgemiddelden uit NEN 5060. Dit betreffen dus actuele reeksen, maar zonder doorrekening van verwachte prognoses over klimaatverandering, zoals bijvoorbeeld in de KNMI’23 klimaatscenario’s worden geschetst. In deze scenario’s worden onder andere prognoses gedaan die leiden tot langere perioden van hitte in de zomer ten opzichte van de huidige ‘pieken’ in de klimaatdata. Het optreden van langere perioden van hitte (ook in de nacht, vooral in stedelijke omgevingen), zal leiden tot mindere prestaties van constructies met hoge warmtecapaciteit ten opzichte van lichtere varianten, in verband met het langer vasthouden van de hitte.

4.3.2 Gebruik

Het gebruiksprofiel is beleidsmatig vastgesteld voor energieprestatieberekeningen voor woningen. Dit betreft een relatief ‘continue’ gebruiksprofiel, uitgaande van aanwezigheid (en interne warmteproductie) tussen 08:00-23.00 uur. Het werkelijke gebruik in woningen kan daar sterk van afwijken, zoals in de (vervallen) norm GIW ISSO 2008 voor woningen is bepaald, waarin meer variatie is gegeven in gebruik van de verschillende ruimten in de woning én algehele bezetting van de woning.

Dynamiek in gebruikersgedrag kán beter worden gesimuleerd in uurlijkse methoden, maar vanuit het doel in dit onderzoek tot kalibratie wordt aangesloten bij het beleidsmatig vastgesteld profiel in NTA 8800. Nadere details over het gebruiksprofiel en warmteproductie zijn gegeven in B.5.1.1.



Figuur 7: Indicatieve visualisatie van verschil tussen gebruiksprofiel in NTA 8800 en mogelijke afwijkingen in werkelijk gebruik, volgens referentie GIW ISSO 2008.

4.3.3 Belemmeringen omgeving

Voor de berekening van de koelbehoefte in NTA 8800 wordt een conservatievere benadering gevolgd voor het berekenen van de warmtewinst door zoninstraling in vergelijking met de berekening voor verwarmingsbehoefte. Dit maakt deel uit van de basisprincipes van NTA 8800.

Dit aspect komt ook terug in de manier waarop NTA 8800 rekening houdt met belemmeringen en vooral beschaduwingsreductiefactoren (Hoofdstuk 17.3). In het geval dat een “onbekende” belemmering wordt geselecteerd, wordt er voor de meest ongunstige reductiefactoren gekozen. Deze zijn als volgt:

- Voor de bepaling van de warmtebehoefte wordt er met maximale beschaduwing rekening gehouden zodat er geen of weinig winst is van de zonne-energie.
- Voor de bepaling van de koelbehoefte wordt er met minimale beschaduwing rekening gehouden zodat er veel zontoetreding plaats vindt en de koelbehoefte hoog wordt.

4.3.4 Geometrieën

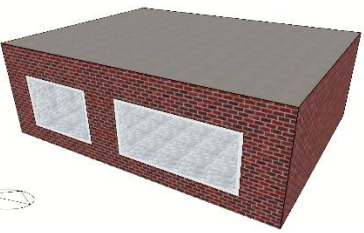
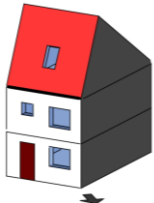
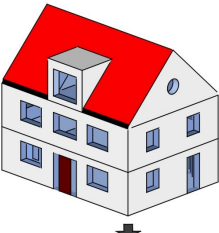
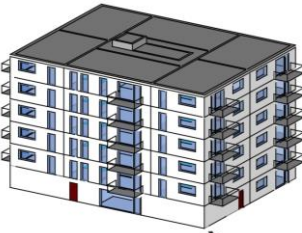
Voor de studie wordt gebruik gemaakt van beschikbare referentiegebouwen. Voor de initiële kalibratie wordt een ‘eenvoudige geometrie’ gebruikt. Hierbij wordt gekozen voor de BESTEST-geometrie die ook wordt gebruikt voor kwaliteitscontrole van verschillende simulatie-software. Voor het gebruik in vergelijk met NTA 8800 woningbouw wordt een aanpassing gedaan, waarmee het onderscheid tussen woon- en slaapzones op basis van een 40/60% verhouding kan worden meegenomen. De gebouwschil en de openingen hetzelfde zijn gehouden (qua oppervlak/ratio. De totale openingsgrootte is verdeeld op basis van de overeenkomstige aangrenzende zone. Zie nadere details in B.3.1.1.

Voor controle aan bredere toepassing van het model wordt gebruik gemaakt van geometrieën zoals ook toegepast in een recent gepubliceerde studie met betrekking tot materiaalimpact van gebouwen, uitgevoerd door DGMR [6]. Daarin wordt met de referentiewoningen van RVO een vergelijk gemaakt van de impact van materiaalkeuze op de MPG (materiaalprestatie) van veelvoorkomende geometrieën in Nederland. Deze varianten en opbouwen worden gevolgd om toekomstige vergelijkingen tussen die studie en dit onderzoek mogelijk te maken.

In lijn met de analyse in 2.2.2 naar bouwtypen waar toepassing van biobased materialen relevant is, is uit de DGMR/RVO-geometrieën een selectie gemaakt:

- Nr. 10, Woning S tussen: een aanzienlijk percentage van de Nederlandse woningmarkt bestaat uit rijwoningen. Indien gebouwd als lichtgewicht constructie, zijn ze meestal in houtskelet of CLT (kolom/wanden).
- Nr. 14, Woning L vrijstaand: voor een kleiner deel van de woningmarkt. Ze bieden meer mogelijkheden om te bouwen met dikkere constructies.
- Nr. 15, Woongebouw M blok: appartementsgebouwen tot 4-5 verdiepingen zijn een veel voorkomende typologie. Indien gebouwd als lichtgewicht constructie, bestaan ze meestal uit HSB-gevels en CLT (kolommen/wanden/vloeren).

Navolgende figuur geeft de samenvatting van alle geometrieën in de studie.

1	2	3	4
BESTEST	Woning 10, tussenwoning (S)	Woning 14, vrijstaand (L)	Woongebouw 15, blok (M)
			

Figuur 8: Overzicht geselecteerde geometrieën

De volledige beschrijving van deze varianten is te vinden in de bijlage B.3.

4.3.5 Materialisatie

De materialisering van de simulatie-varianten wordt zodanig gekozen dat de invloed van warmtecapaciteit duidelijk wordt in uitkomsten tussen de maand- en dynamische methoden. Daarnaast wordt gecontroleerd in welke mate de

toepassing van biobased (isolatie)materialen invloed heeft op deze warmtecapaciteit. Bij keuze voor de opbouwen wordt zoveel mogelijk aangesloten bij beschikbare referentiedetails zoals opgesteld door SBR.

De warmtecapaciteit per gebruiksoppervlak ($D_{m;int;eff}$) is zowel afhankelijk van de materiaalkeuze van de vloeren, gevels en daken als van de geometrie, die de verhouding tussen de scheidingsconstructies geeft. In bijlage B.1 is in een matrix weergegeven welke materialen per geometrie zijn toegepast en tot welke warmtecapaciteit dat leidt. In hoofdlijnen zijn de gehanteerde constructies als volgt, waarbij de typering wordt gevolgd zoals in Tabel 7.10 in NTA 8800. De werkelijke warmtecapaciteit in de Uniec3 berekeningen wordt ingevoerd volgens de Bijlage B uitgebreide berekening. De warmtecapaciteit in de dynamische EnergyPlus berekening wordt in het model bepaald op basis van de individuele materiaallagen (geen separate invoerparameter).

De invloed van de materialen in relatie tot de geometrieën is al eerder weergegeven in Figuur 4.

Tabel 8: Overzicht toegepaste materialen

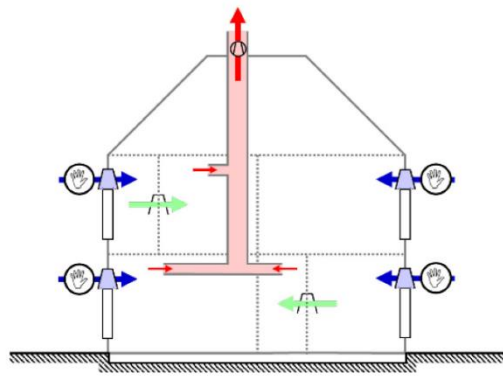
Code	Titel	Vloeren boven grond	Vloer boven onverwarmde ruimte ¹	Verdiepings-vloer ²	Dak ³	Buitengevel ³	Woning-scheidende wand ¹
A	Zwaar	Zwaar Kanaalplaat-met dekvloer; EPS-isolatie	Zeer zwaar Breedplaatvloer, EPS-isolatie	(Zeer) zwaar Kanaal- of breedplaatvloer; EPS-isolatie	Zeer zwaar Breedplaatvloer, minerale wol	Zwaar Metselwerk en kalkzandsteen; minerale wol	Zwaar Kalkzandsteen
B	Licht; biobased	Zwaar Kanaalplaat-met dekvloer; EPS-isolatie	Licht CLT-vloer; houtvezel isolatie	Licht HSB- of CLT-vloer; houtvezel isolatie	Licht HSB of CLT, houtvezel isolatie	Licht HSB, houtvezel isolatie	Licht HSB of CLT, houtvezel isolatie
C ⁴	Licht; mineraal	Zwaar Kanaalplaat-met dekvloer; EPS-isolatie	n.v.t. n.v.t.	n.v.t. n.v.t.	Licht HSB of CLT, minerale wol	Licht HSB, minerale wol	n.v.t. n.v.t.
Noot ¹	Uitsluitend van toepassing voor geometrie Nr. 15 Woongebouw M blok						
Noot ²	Uitsluitend van toepassing voor geometrieën Nr. 10 Woning S tussen, Nr. 14 Woning L vrijstaand en Nr. 15 Woongebouw M blok; onderscheid in detail tussen woongebouw en grondgebonden woningen. Zie details in bijlage B.1.						
Noot ³	Onderscheid in detail tussen woongebouw en grondgebonden woningen. Zie details in bijlageB.1.						
Noot ⁴	Uitsluitend toegepast in geometrie BESTEST; daarom zonder specificatie vloeren boven onverwarmde ruimten, verdiepingsvloeren en woningscheidende wanden.						

4.3.6 Installaties

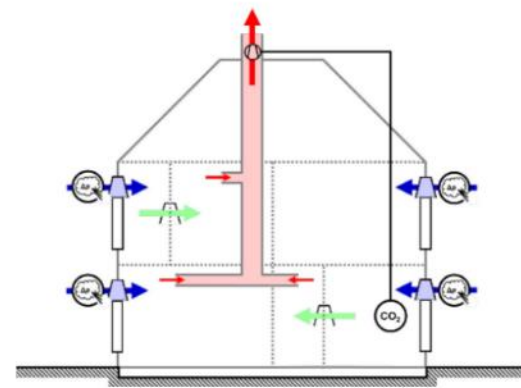
Deze studie richt zich primair op het gedrag van materialen in de scheidingsconstructies, daarom worden geen varianten onderzocht met betrekking tot opwekking van warmte/koude, tapwater of verlichting. Wat betreft ventilatie wordt onderzocht in welke mate het systeem van invloed is op de kalibratie tussen dynamische simulaties en de maandmethode. De maandmethode kent hierin een specifieke eigenschap, namelijk de bepaling van EP1, waarbij standaard wordt gerekend met een C1 ventilatiesysteem (natuurlijke toevoer, mechanische afvoer, geen regeling- of warmerugwinning). Dit is dus een systeem waarbij de ventilatiestroom door het gebouw een relatief grote invloed heeft op de warmte- en koudebehoefte.

Als variant wordt daarom ook het in de praktijk meer toegepaste systeem C4.a onderzocht, wat een systeem is met winddruk gestuurde toevoerroosters, mechanische afvoer die geregeld is op CO₂-concentraties in de rekenzone. Dit systeem maakt door de regeling van ventilatiedebiet op basis van CO₂-concentratie het aandeel ventilatiedebiet op de warmte/koudebalans kleiner. De verwachting is dat hierdoor effecten in de scheidingsconstructies beter zichtbaar worden.

Systeem C1



Systeem C4.a



Figuur 9: Schema's ventilatiesystemen

4.3.7 Beoordelingscriteria

De beoordelingscriteria zijn gedefinieerd om de energieprestaties van gebouwen te beoordelen in zowel NTA 8800 als dynamische EnergyPlus-simulaties. Hierbij wordt uitsluitend gekeken naar de parameters die 'de warmtebalans in gaan', dus de energiebehoefte, de winst of de verliezen voor verwarming en koeling van het gebouw exclusief effecten van installaties.

Dit betreft de warmtebalans die invloed heeft op de energieprestatie (EP1) van het gebouw. Deze parameters spelen ook een rol bij de bepaling van het risico op oververhitting (TO_{juli}), waardoor de resultaten ook tot inzichten op dat thema zullen leiden.

De resultaten voor NTA 8800 berekening worden gegeven in de volgende grootheden:

- Voor varianten met het ventilatiesysteem C1 ten behoeve van bepaling energiebehoefte gebouw (EP1): $QH;nd;BENG1$ voor verwarming en $QC;nd;BENG1$ voor koeling.
- Voor varianten met ventilatiesysteem C4a: het werkelijke fossiel energiegebruik rekening houdend met installaties (EP2): $Q;H;nd$ voor verwarming en $Q;C;nd$ voor koeling, zonder $QH;ls;rbl$ en $QC;ls;rbl$. Deze parameters zijn exclusief de terugwinbare verliezen (terugwinbare verliezen bestaan uit meerdere parameters en zijn complex om in EnergyPlus te simuleren).

De resultaten voor EnergyPlus berekeningen worden gegeven in de volgende grootheden:

- End Uses: Heating - District Heating (kWh): De hoeveelheid energie die wordt gebruikt voor ruimteverwarming, geleverd door een verwarmingssysteem.
- End Uses: Cooling - District Cooling (kWh): De hoeveelheid energie die wordt gebruikt voor koeling in een gebouw en die wordt geleverd door een koelsysteem.

Er wordt ook gekeken naar de binnentemperaturen in de zomer met en zonder actieve koeling. Binnentemperaturen worden ook berekend als onderdeel van de resultaten uit EnergyPlus.

4.4 Resultaten H1: kalibratie NTA 8800 en dynamische simulaties

4.4.1 Kalibratie BESTEST

Er wordt een eenvoudige geometrie (BESTEST) gebruikt in Energyplus om de maandelijkse methode van NTA 8800 te verifiëren. Deze kalibratie wordt gebruikt als basis waaruit vervolgens vele varianten worden gegenereerd. Daaruit kan een nieuwe trend van de (benuttings)factoren kan worden ontdekt. De kalibratie wordt uitgevoerd voor 3 materiaal-opbouwen en 2 ventilatiesystemen.

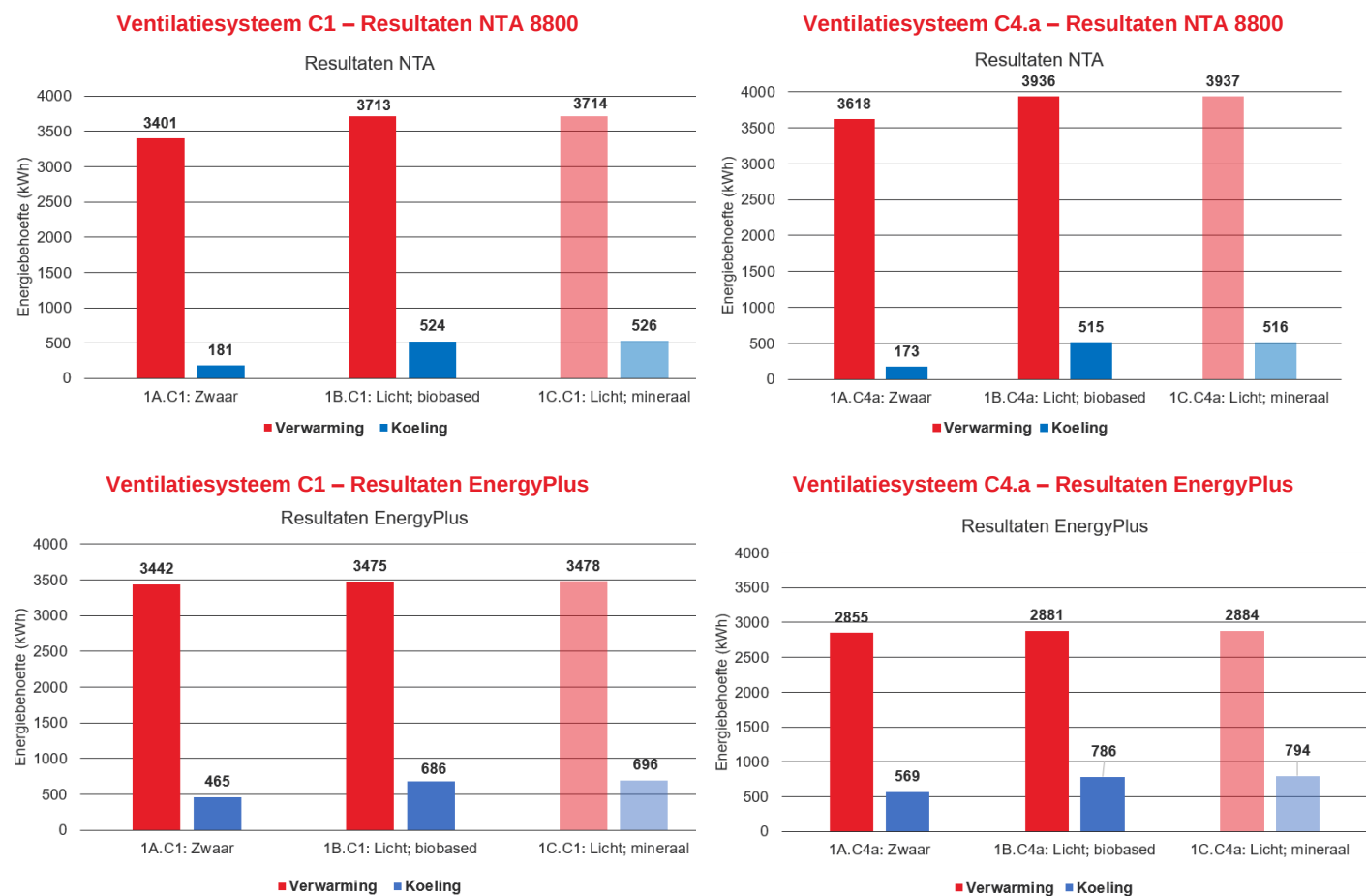
De gehanteerde uitgangspunten voor geometrie en interne indeling zijn beschreven in B.3.1.1. Er zijn drie materiaal-opbouwen geselecteerd, namelijk zwaar, licht-biobased, en licht-mineraal. Deze opbouwen zijn gedefinieerd in 4.3.5.

4.4.1.1 Warmte- en koudebehoefte

De figuren hierna tonen de resultaten voor de BESTEST-case voor de materiaal-varianten en ventilatiesystemen. De resultaten laten zien dat de energiebehoefte voor verwarming voor alle varianten significant hoger is dan de energiebehoefte voor koeling. Ook is er een verschil te zien tussen de energiebehoefte van de zware en lichte varianten, met name voor koeling. De resultaten uit EnergyPlus voor de varianten met ventilatiesysteem C4.a wijken sterk af van de resultaten uit NTA; dit is een aandachtspunt bij beoordeling van de andere geometrieën. Het lagere energiegebruik voor verwarming bij de variant C4.a in EnergyPlus kan worden verklaard als gevolg van het gemiddeld lagere ventilatiedebiet: minder verwarmingsenergie (door minder ventilatie) en meer koelenergie (door niet-gebruikmaking van de ventilatie 'overcapaciteit' zoals bij C1). Het verschil in verwarming tussen 'zwaar' en de lichtere varianten is voor NTA groter dan voor EnergyPlus.

De additionele controle bij deze geometrie naar verschil tussen 'licht-mineraal' en 'licht biobased' laat voor de NTA 8800 berekening een nihil verschil zien in warmte- en koudebehoefte. Dit is te verklaren uit de volgens Bijlage B berekende effectieve interne warmtecapaciteit voor beide opbouwen. Zoals in par. 2.3.5 toegelicht wordt de invloed van warmtecapaciteit begrensd bij bereiken van een bepaalde isolatiewaarde. In de dynamische simulatie van EnergyPlus is de statische warmtecapaciteitsberekening (zoals in NTA 8800 bijlage B) niet van toepassing. Deze software rekent automatisch met de werkelijke invloedsdiepte als gevolg van de temperatuurwisselingen. Hieruit blijkt een verschil dat vooral bij de koelbehoefte zichtbaar is: licht-biobased heeft een 1-1,5% lagere koelbehoefte dan licht-mineraal, terwijl dit verschil in de NTA 8800 berekening rond de 0,4% ligt. Het procentuele verschil voor de warmtebehoefte is verwaarloosbaar.

Dit gevonden verschil tussen de invloed van warmtecapaciteit voor verwarming (redelijk goed in lijn tussen dynamisch/maand) en koeling (afwijking tussen dynamisch/maand) voor lichte opbouwen sluit aan bij de uiteenzetting over de periode waarvoor de warmtecapaciteit wordt bepaald, zie par. 2.3.5.2. Voor lichte opbouwen is daar getoond dat de Bijlage B warmtecapaciteit overeenkomt met een korte cyclus (12-24 uur), wat voor verwarming overeenkomstig is met het voorschrift voor verwarming, in geval met dagcycli (zie Tabel 4 & Tabel 5). Voor koeling is de gehanteerde warmtecapaciteit volgens Bijlage B afwijkend van het voorschrift, omdat daar met langere periodes moet worden gerekend, waarbij een verschil duidelijker wordt tussen biobased en mineraal, doordat een groter deel van het isolatiemateriaal wordt meegerekend: voor biobased is dat zwaarder dan voor mineraal.



Figuur 10: Vergelijking energiebehoefteresultaten uit NTA en EnergyPlus voor BESTEST-geometrie

4.4.1.2 Binnentemperaturen in de zomer

De figuren hierna tonen het temperatuurverloop binnen de ruimten voor de verschillende varianten met actieve koeling. In het algemeen is de temperatuur in de variant met een lage warmtecapaciteit (licht) lager dan in de variant met de hoge warmtecapaciteit (zwaar). Op sommige momenten, met name in het midden van de dag zijn de temperaturen bijna gelijk. Op dagen met hoge temperaturen warmt de lichte constructie relatief sneller op, wel koelt de lichte constructie dan weer sneller af. Hoewel de zware constructie op sommige momenten actieve koeling nodig heeft om de binnentemperatuur op 24°C te houden, koelt de lichte constructie op een passieve manier sneller af tot een lager niveau. Deze berekening is uitgevoerd zonder zomernachtventilatie, wanneer dit wordt toegepast zal het effect voor lichte constructies groter zijn door de sneller reactietijd van de constructie.



Figuur 11: Temperatuurverloop binnen de ruimte met actieve koeling

Om puur naar de passieve prestatie van de constructies te kijken wordt ook een variant zonder actieve koeling gesimuleerd. Dit is om te beoordelen of- en in welke mate er verschillen zijn in binnentemperaturen als gevolg van de lichte biobased variant en de lichte minerale variant, maar ook om te zien of er verschillen zijn in temperatuurpieken en afkoelperiodes.

De resultaten laten zien dat het verschil in temperatuurverloop binnen de ruimte tussen de twee genoemde varianten zonder actieve koeling zeer minimaal is. Ook het patroon van opwarmen en afkoelen is vrijwel hetzelfde.



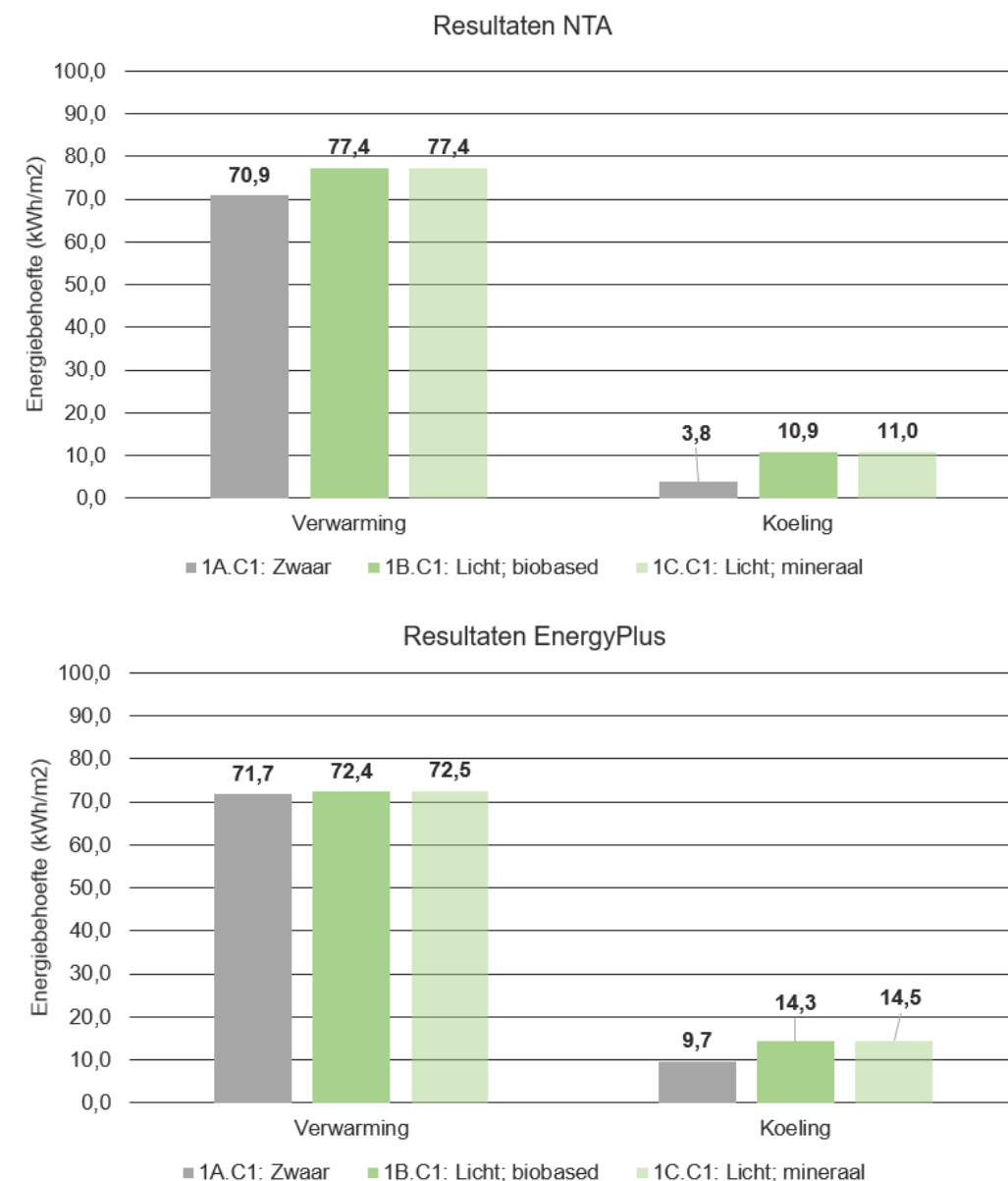
Figuur 12: Temperatuurverloop binnen de ruimte zonder actieve koeling, laatste week van juni.

4.4.1.3 Conclusies

Het BESTEST zwaar model is acceptabel gekalibreerd voor ventilatiesysteem C1 verwarming (afwijking <10%) maar minder voor koeling. Dit komt overeen met de verwachtingen van eerdere studies en onderzoeken.

De resultaten voor ventilatiesysteem C4.a zijn goed gekalibreerd tussen EnergyPlus en NTA 8800. Er is een relatief groot verschil in de resultaten voor zowel warmte- als koudebehoefte. In het vergelijk van de overige geometrieën wordt dit nogmaals bekeken. Systeem C4.a werd gezien als meer relevant, door de grotere invloed op totale warmtebalans van transmissie ten opzichte van ventilatie. Ondanks deze relevantie van C4.a zal de variant met C1 bruikbaar zijn voor de hierop volgende variantenstudie.

Voor de BESTEST-geometrie is een extra vergelijk uitgevoerd tussen ‘licht; mineraal’ en ‘licht; biobased’. Dit bevestigt de analyse dat rekenen met dynamische warmtecapaciteit relevant is voor lichte opbouwen. Aangezien het totale verschil in warmte- en koudebehoefte klein is tussen de varianten (zowel voor NTA 8800 als voor EnergyPlus) wordt in de verdere kalibraties uitsluitend verder gerekend met de ‘licht; biobased’ variant die wordt vergeleken met ‘zwaar’.



Figuur 13: Vergelijking energiebehoefteresultaten per m2 uit NTA en EnergyPlus voor BESTEST-geometrie (C1 ventilatie)

4.4.2 Kalibratie Woning 10, tussenwoning

Voor deze studies zijn 2 varianten bepaald met verschillende opbouwen en thermische massa's:

- Variant 1: Zwaar, zoals beschreven in 4.3.5 en B.1.1
- Variant 2: Licht; biobased, zoals beschreven in 4.3.5 en B.1.1

4.4.2.1 Warmte- en koudebehoefte

De figuren hieronder tonen de resultaten voor woning 10 voor de verschillende onderzochte varianten en ventilatiesystemen.

Voor de NTA-resultaten zijn twee verschillende parameters gebruikt:

- Ventilatiesysteem C1 > energiebehoefte voor BENG1 uit Uniec
- Ventilatiesysteem C4.a > QHnd en QCnd zonder QH;ls;rb1 en QC;ls;rb1 (zonder terugwinbare verliezen) output uit Uniec

De resultaten laten zien dat de energiebehoefte voor verwarming voor alle varianten significant hoger is dan de energiebehoefte voor koeling. Het verschil in warmtebehoefte tussen een zware en lichte constructie is in NTA kleiner dan in EnergyPlus maar voor koeling is het verschil juist groter in NTA. De warmtebehoefte voor de lichte variant in EnergyPlus is significant hoger dan zware variant.



Figuur 14: Vergelijking energiebehoefteresultaten uit NTA en EnergyPlus voor woning 10

4.4.2.2 Binnentemperaturen in de zomer

De figuren hieronder tonen het temperatuurverloop binnen de woning voor de verschillende varianten. In het algemeen is de temperatuur in de lichte variant met biobased constructie lager dan in de zware variant met de niet-biobased constructie. In deze variant is de woonzone op de begane grondvloer en de slaapzones op de 1e en 2e verdieping (onder het dak). De resultaten geven duidelijk aan dat de binnentemperatuur in de slaapzones met de biobased constructie (lichte variant) significant lager is dan in de variant met de niet-biobased constructie (zware variant). Dit is ook te zien in de slaapzone onder het dak. Op sommige momenten, met name in het midden van de dag, de temperaturen bijna gelijk (vooral voor de woonzone) door het toepassen van actieve koeling.



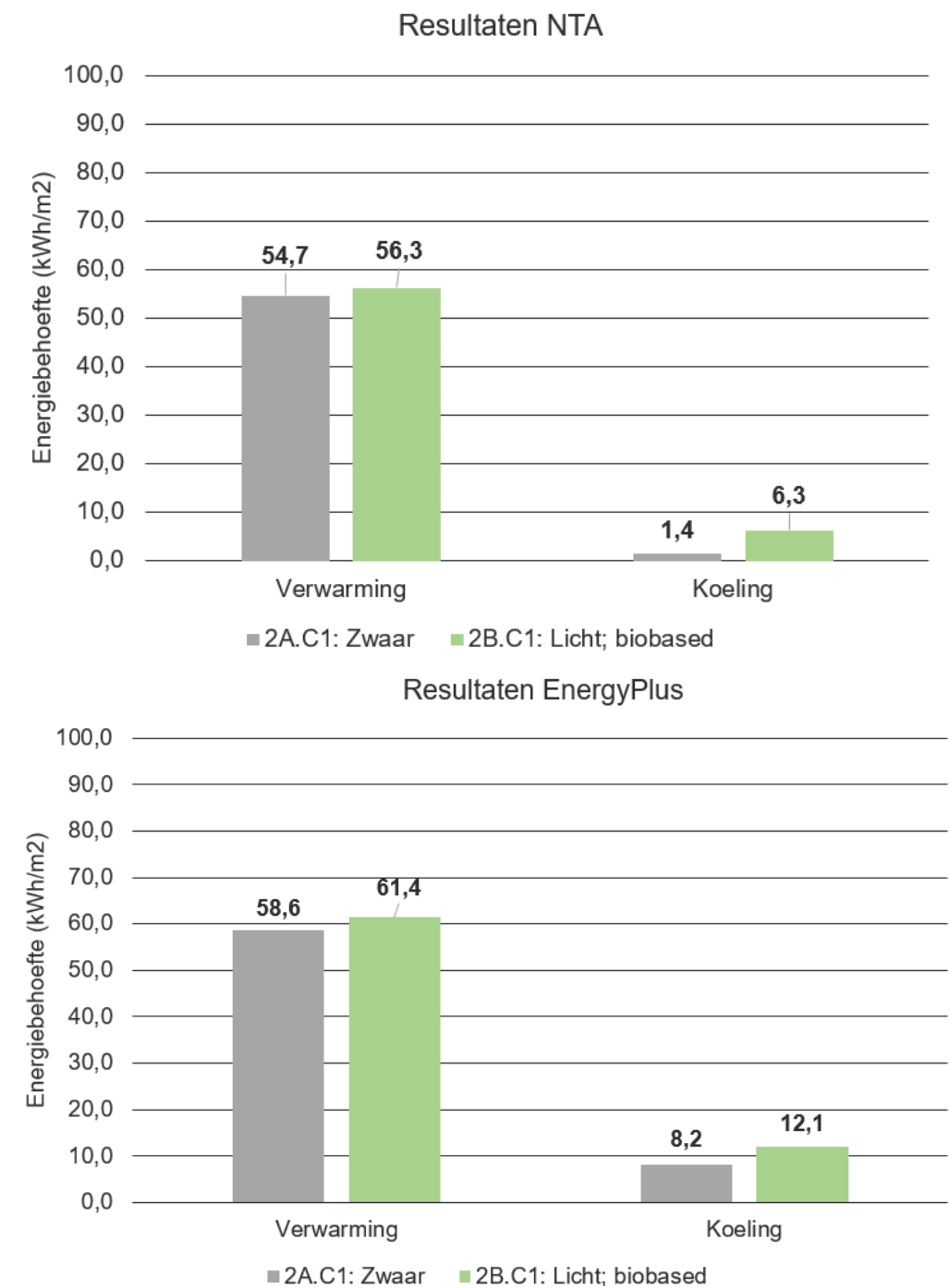
Figuur 15: Temperatuurverloop binnen de woning met actieve koeling

4.4.2.3 Conclusies

De conclusies voor woning 10, ventilatiesysteem C1 zijn:

- De zware variant heeft een lagere energiebehoefte dan de lichte biobased variant zowel in NTA als in EnergyPlus. De beide berekening tonen dus een vergelijkbaar resultaat voor het totaal.

- Vooral voor koeling zijn de resultaten uit de NTA gunstiger voor de zware variant, terwijl in EnergyPlus het verschil veel kleiner is.
- De warmtebehoefte voor de lichte biobased variant in EnergyPlus is significant hoger (ca 5 kWh/m²; ca. 10%) dan zware variant, terwijl in de BESTEST-case het verschil tussen beide varianten minimaal is.



Figuur 16: Vergelijking energiebehoefteresultaten per m2 uit NTA en EnergyPlus voor woning 10 (C1 ventilatie)

4.4.3 Kalibratie Woning 14, vrijstaand

Voor deze studies zijn 2 varianten bepaald met verschillende opbouwen en thermische massa's:

- Variant 1: Zwaar, zoals beschreven in 4.3.5 en B.1.1
- Variant 2: Licht; biobased, zoals beschreven in 4.3.5 en B.1.1

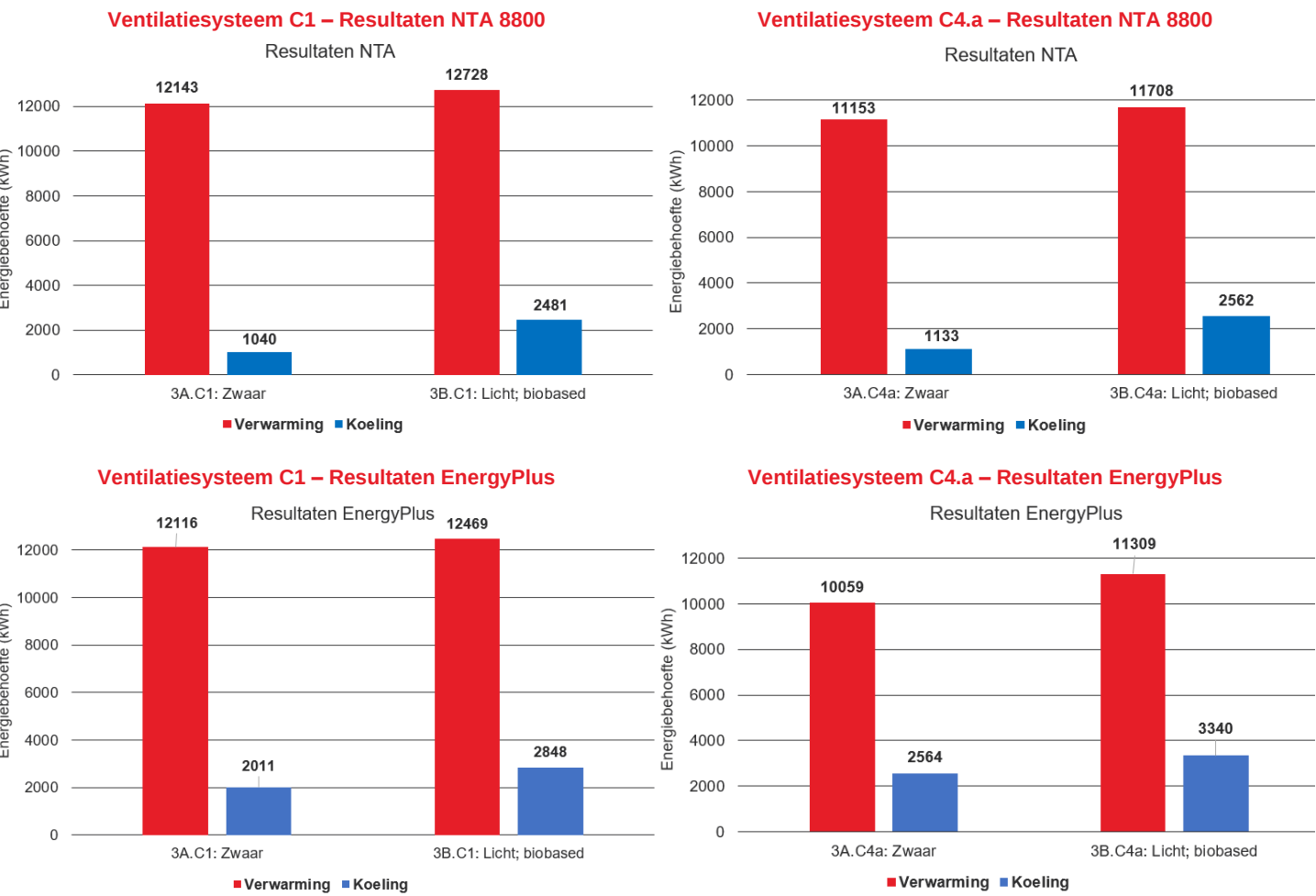
4.4.3.1 Resultaten

De figuren hieronder tonen de resultaten voor woning 14 voor de verschillende onderzochte varianten en ventilatiesystemen. De trend is hetzelfde als bij woning 10. Voor de NTA-resultaten zijn twee verschillende parameters gebruikt (zie 4.3.7):

- Ventilatiesysteem C1 > energiebehoefte voor BENG1 uit Uniec
- Ventilatiesysteem C4.a > QHnd en QCnd zonder QH;ls;rbl en QC;ls;rbl (zonder terugwinbare verliezen) output uit Uniec

De resultaten laten zien dat de energiebehoefte voor verwarming voor alle varianten significant hoger is dan de energiebehoefte voor koeling. De resultaten voor warmtebehoefte uit NTA en EnergyPlus zijn in lijn met elkaar; het verschil in koudebehoefte is kleiner in EnergyPlus dan in NTA.

Het verschil in energiebehoefte tussen de zware variant en lichte biobased variant is kleiner in de variant met ventilatiesysteem C1 dan in de variant met ventilatiesysteem C4.a.



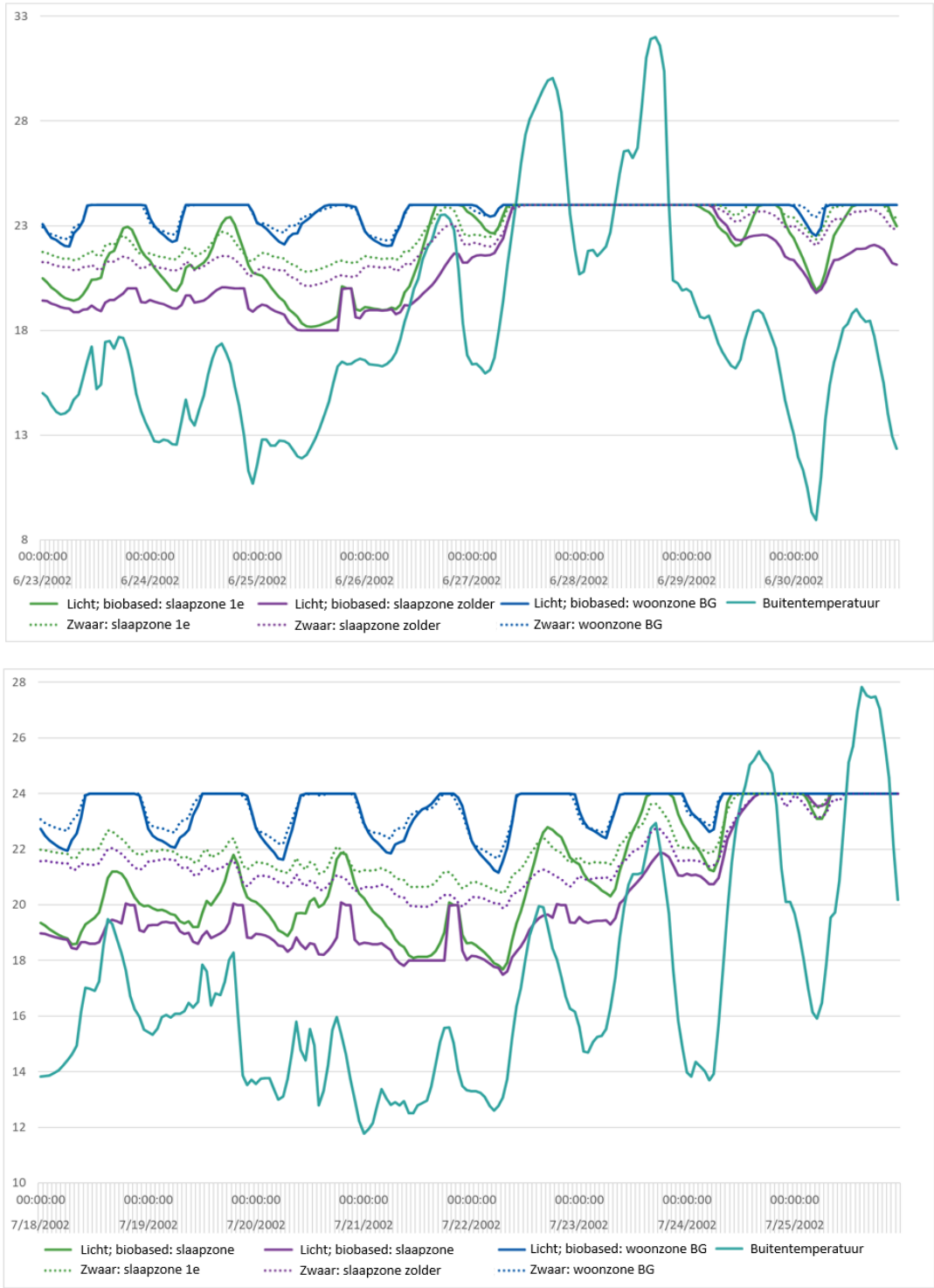
Figuur 17: Vergelijking energiebehoefteresultaten uit NTA en EnergyPlus voor woning 14

4.4.3.2 Binnentemperaturen in de zomer

De figuren hieronder tonen het temperatuurverloop binnen de woning voor de verschillende varianten.

In het algemeen is de temperatuur in de variant met lichte biobased constructie lager dan in de zware variant met de niet-biobased constructie. In deze variant is de woonzone op de begane grond en de slaapzones op de 1e en 2e verdieping (onder het dak). De resultaten geven duidelijk aan dat de binnentemperatuur in de slaapzones in de lichte variant met de biobased constructie significant lager is dan in de zware variant met de niet-biobased constructie. Dit is ook te zien in de slaapzone onder het dak.

Op sommige momenten, met name in het midden van de dag, de temperaturen bijna gelijk (vooral voor de woonzone) door het toepassen van actieve koeling. De trend is hetzelfde als bij woning 10.



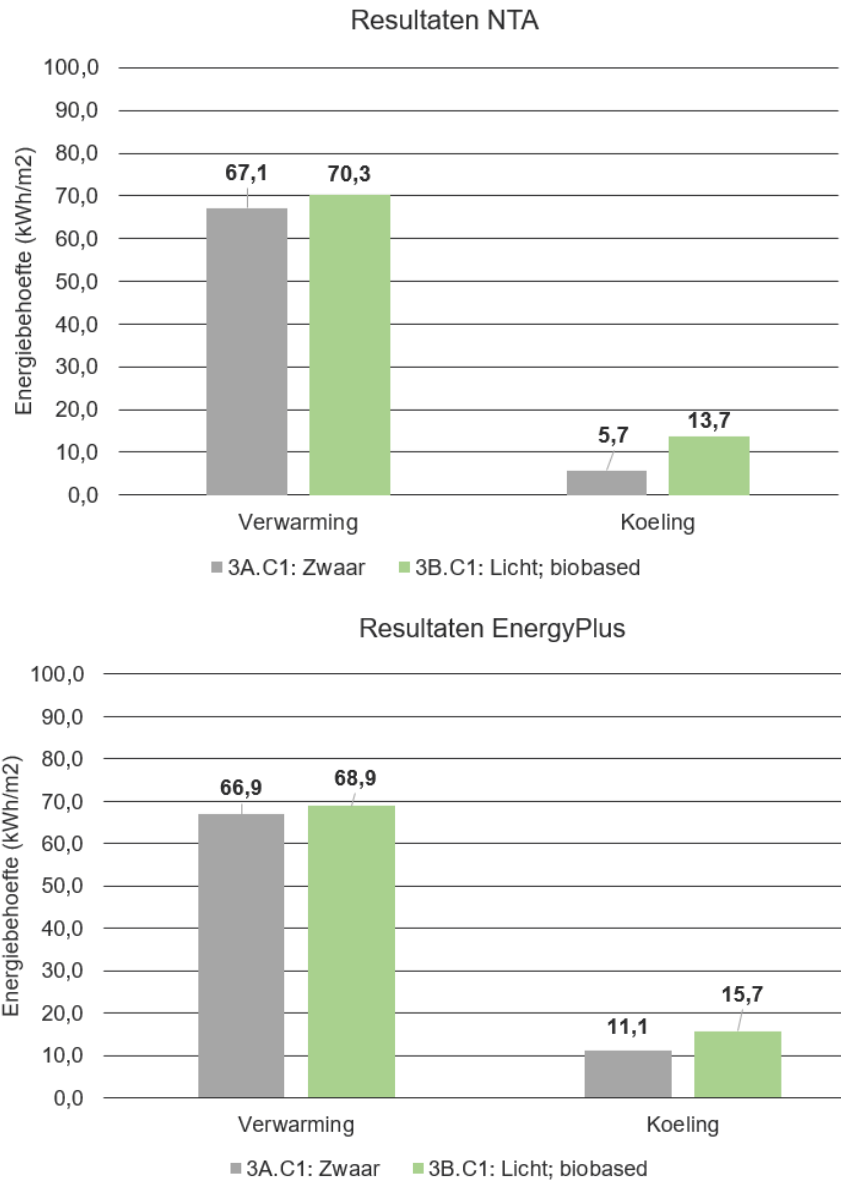
Figuur 18: Temperatuurverloop binnen de woning met actieve koeling

4.4.3.3 Conclusies

Zoals in de voorgaande studie focussen de conclusies hieronder (en resultaten rechts) op de resultaten voor ventilatiesysteem C1.

De zware variant heeft een lagere energiebehoefte dan de lichte biobased variant zowel in NTA als in EnergyPlus.

Vooral voor koeling zijn de resultaten uit de NTA gunstiger voor de zware variant, terwijl in EnergyPlus het verschil veel kleiner is.



Figuur 19: Vergelijking energiebehoefteresultaten per m2 uit NTA en EnergyPlus voor woning 14 (C1 ventilatie)

4.4.4 Kalibratie Woongebouw 15, blok

Voor deze studies zijn 2 varianten bepaald met verschillende opbouwen en thermische massa's:

- Variant 1: Zwaar, zoals beschreven in 4.3.5 en B.1.1
- Variant 2: Licht; biobased, zoals beschreven in 4.3.5 en B.1.1

4.4.4.1 Resultaten

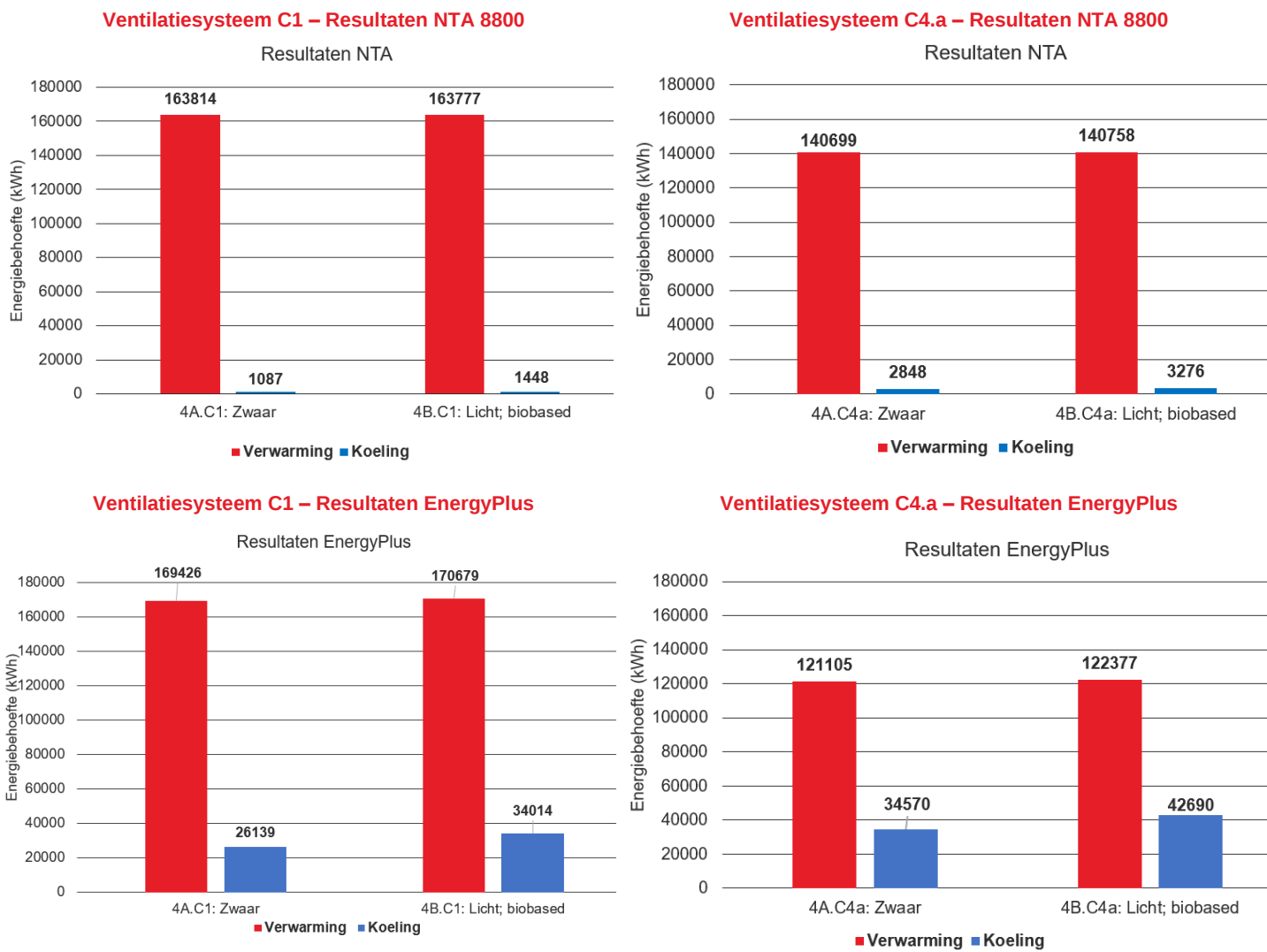
De figuren hierna tonen de resultaten voor woongebouw 15 voor de verschillende onderzochte varianten en ventilatiesystemen

Voor de NTA-resultaten zijn twee verschillende parameters gebruikt (zie 4.3.7):

- Ventilatiesysteem C1 > energiebehoefte voor BENG1 uit Uniec
- Ventilatiesysteem C4.a > QHnd en QCnd zonder QH;ls;rbl en QC;ls;rbl (zonder terugwinbare verliezen) output uit Uniec

De resultaten laten zien dat de energiebehoefte voor verwarming voor alle varianten significant hoger is dan de energiebehoefte voor koeling.

De resultaten van ventilatiesysteem C4 voor warmtebehoefte uit NTA zijn circa 15% hoger dan uit EnergyPlus; de koudebehoefte in NTA is meer dan 12 keer kleiner dan in EnergyPlus.



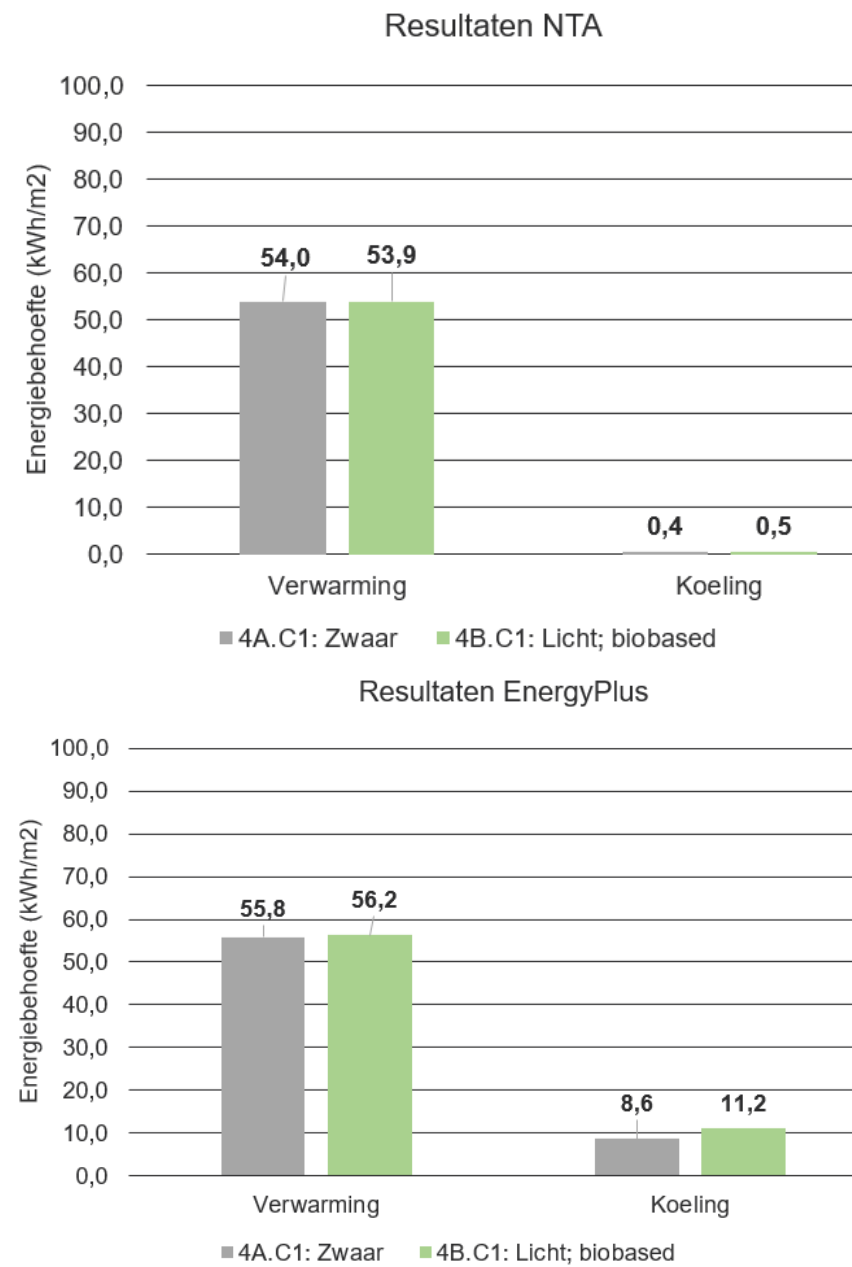
Figuur 20: Vergelijking energiebehoefteresultaten uit NTA en EnergyPlus voor woongebouw 15

4.4.4.2 Conclusies

Zoals in de voorgaande studie focussen de conclusies hieronder op de resultaten voor ventilatiesysteem C1. De resultaten laten zien dat de trend in energiebehoefte tussen de zware variant en lichte biobased variant in lijn is met woning 14 en 10.

In EnergyPlus is het verschil tussen koudebehoefte in de zware variant en lichte biobased variant (verschil 30%) groter dan in NTA (verschil 25%).

De warmtebehoefte is zowel in NTA als EnergyPlus ongeveer gelijk voor de zware variant en lichte biobased variant. De koudebehoefte in de EnergyPlus simulatie wijkt sterk af van de NTA 8800 berekening.



Figuur 21: Vergelijking energiebehoefteresultaten per m2 uit NTA en EnergyPlus voor woongebouw 15 – M (C1 ventilatie)

4.4.5 Kalibratie conclusies

Uit de resultaten en ook eerdergenoemde literatuur blijkt dat de thermische massa van het gebouw directe invloed heeft op de energiebehoefte voor verwarming en koeling. De energievraag van het gebouw is niet per se gerelateerd aan het gebruik van biobased of niet-biobased materialen, maar aan het gewicht van de constructie.

De resultaten laten zien dat een zwaar gebouw minder energievraag heeft voor zowel verwarming als koeling, vergeleken met een lichtgewicht constructie. Deze resultaten kunnen worden afgeleid uit zowel NTA 8800-berekeningen als EnergyPlus-simulaties.

De warmtebehoefte per variant zowel in de maandmethode als in de uurlijkse methode liggen relatief in lijn met elkaar (minder dan 10% verschil), wat ook op basis van de literatuur verwacht wordt. De koelbehoefte in de dynamische simulaties zijn echter veel hoger dan wat de maandelijkse methode voorspelt. Dit is ook volgens de verwachtingen, aangezien bekend is dat de benuttingsfactor in de NTA 8800 meer gekalibreerd is op de warmtebehoefte dan op de berekeningen voor koelbehoefte.

Er is echter een merkbaar verschil tussen de NTA 8800-berekeningen en EnergyPlus-simulaties en dat is als volgt:

Uitkomsten van NTA 8800-berekeningen laten een groter verschil in koelbehoefte zien voor een lichte constructie vergeleken met een zware constructie. Uit de resultaten van EnergyPlus blijkt echter dat bij het vergelijken van de koelbehoefte bij een lichte constructie en een zware constructie deze factor juist veel kleiner is dan wat NTA 8800 aangeeft.

Bestest - Zwaar	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	177	3401	3442	1 %
Koudebehoefte		181	465	88 %

Bestest – Licht; Mineraal	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	62	3714	3478	7 %
Koudebehoefte		526	696	28 %

Bestest – Licht; Biobased	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	62	3713	3475	7 %
Koudebehoefte		524	686	27 %

Figuur 22: BESTEST - Vergelijking van de resultaten van NTA 8800 en EnergyPlus en de factoren waarmee de koelbehoefte toeneemt in lichte constructie ten opzichte van zware constructie.

10 – Zwaar	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	148	6022	6442	7 %
Koudebehoefte		150	905	143 %

10 – Licht; Biobased	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	38	6190	6758	9 %
Koudebehoefte		690	1328	63 %

Figuur 23: Woning 10 - Vergelijking van de resultaten van NTA 8800 en EnergyPlus en de factoren waarmee de koelbehoefte toeneemt in lichte constructie ten opzichte van zware constructie.

14 – Zwaar	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	141	12143	12116	0 %
Koudebehoefte		1040	2011	64 %

14 – Licht; Biobased	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	40	12728	12469	2 %
Koudebehoefte		2481	2848	14 %

Figuur 24: Woning 14 - Vergelijking van de resultaten van NTA 8800 en EnergyPlus en de factoren waarmee de koelbehoefte toeneemt in lichte constructie ten opzichte van zware constructie.

15 – Zwaar	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	159	163814	169426	3 %
Koudebehoefte		1087	26139	184 %

15 – Licht; Biobased	Effectieve interne warmtecapaciteit (KJ/m2.K)	NTA (kWh)	EnergyPlus (kWh)	Percentage verschil
Warmtebehoefte	26	163777	170679	4 %
Koudebehoefte		1448	34014	184 %

Figuur 25: Woongebouw 15 - Vergelijking van de resultaten van NTA 8800 en EnergyPlus en de factoren waarmee de koelbehoefte toeneemt in lichte constructie ten opzichte van zware constructie.

4.5 Resultaten H2: variantenstudie ter bepaling factoren

Om het verschil tussen de energiebehoefte van de maandmethode van NTA 8800 en de dynamische methode van EnergyPlus te kunnen vergelijken, is met beide simulatiemethoden een dataset van 48 varianten gegenereerd. Als basis is de gebouwtypologie van woningtype 10 gehanteerd, waarbij de volgende parameters zijn gevarieerd:

4.5.1 Effectieve interne warmtecapaciteit

De volgende varianten zijn toegepast voor bepaling van de factoren in de variantenstudie. Hiervoor zijn type A en B als basis gehanteerd en is een gecombineerde variant toegepast om inzicht te geven in een variante die tussen beide typen in ligt.

Tabel 9: Overzicht toegepaste materialen

-	Titel	Vloeren boven grond	Vloer boven onverwarmde ruimte ¹	Verdiepingsvloer ²	Dak ³	Buitengevel ³	Woning-scheidende wand ¹	Warmtecapaciteit bij woning type 10
A	Zwaar	Zwaar Kanaalplaat-met dekvloer; EPS-isolatie	Zeer zwaar Breedplaatvloer, EPS-isolatie	(Zeer) zwaar Kanaal- of breedplaatvloer; EPS-isolatie	Zeer zwaar Breedplaatvloer, minerale wol	Zwaar Metselwerk en kalkzandsteen ; minerale wol	Zwaar Kalk-zandsteen	Cm: 148 kJ/K per m² constructie
B	Licht; bio-based	Zwaar Kanaalplaat-met dekvloer; EPS-isolatie	Licht CLT-vloer; houtvezel isolatie	Licht HSB- of CLT-vloer; houtvezel isolatie	Licht HSB of CLT, houtvezel isolatie	Licht HSB, houtvezel isolatie	Licht HSB of CLT, houtvezel isolatie	Cm: 38 kJ/K per m² constructie
C ⁴	Licht; mineraal	Zwaar Kanaalplaat-met dekvloer; EPS-isolatie	n.v.t. n.v.t.	n.v.t. n.v.t.	Licht HSB of CLT, minerale wol	Licht HSB, minerale wol	n.v.t. n.v.t.	n.v.t.
D	Gemengd	Zwaar Kanaalplaat-met dekvloer; EPS-isolatie	n.v.t. n.v.t.	(Zeer) zwaar Kanaal- of breedplaatvloer; EPS-isolatie	Licht HSB of CLT, houtvezel isolatie	Licht HSB, houtvezel isolatie	Zwaar Kalk-zandsteen	Cm: 111 kJ/K per m² constructie
Noot ¹		Uitsluitend van toepassing voor geometrie Nr. 15 Woongebouw M blok						
Noot ²		Uitsluitend van toepassing voor geometrieën Nr. 10 Woning S tussen, Nr. 14 Woning L vrijstaand en Nr. 15 Woongebouw M blok; onderscheid in detail tussen woongebouw en grondgebonden woningen. Zie details in bijlage B.1.						
Noot ³		Onderscheid in detail tussen woongebouw en grondgebonden woningen. Zie details in bijlage B.1.						
Noot ⁴		Uitsluitend toegepast in geometrie BESTEST; daarom zonder specificatie vloeren boven onverwarmde ruimten, verdiepingvloeren en woningscheidende wanden.						

4.5.2 Isolatiewaarden

- Nieuwbouw (conform BBL) - Basis simulatie
 - Rc vloer: 3,70 m²K/W
 - Rc gevel: 4,70 m²K/W
 - Rc dak: 6,3 m²K/W
- Bestaande bouw (Forfaitaire Rc-waarden van gesloten uitwendige scheidingsconstructies met een bouwjaar vanaf 1965 conform Tabel 8.14 ISSO-publicatie 75.1)
 - Rc vloer: 1,30 m²K/W

- Rc gevel: 2,0 m²K/W
- Rc dak: 2,0 m²K/W

4.5.3 ZTA-waarde (zonwerendheid)

- 0,55 (niet-zonwerend glas) - Basis simulatie
- 0,30 (zonwerend glas)

4.5.4 Oriëntatie

- Basis simulatie
- 90 graden gedraaid

4.5.5 Ventilatiesysteem

Zoals uit de conclusies voor H1 volgt, wijkt de kalibratie voor de simulaties op basis van het C4.a ventilatiesysteem af. De kalibratie op basis van de EP1 sluit goed aan. Tevens blijkt bij toepassing van de NEN Validatietool dat de ijking voor EP2 voor de varianten niet goed overeenkomt met de resultaten uit Uniec3. Daarom wordt gekozen voor uitsluitend toepassing van systeem C1, waarvoor zowel in EnergyPlus als in de NEN Validatietool goede vergelijken zijn te maken.

- C1 standaard: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer - Basis simulatie

4.5.6 Openingspercentage

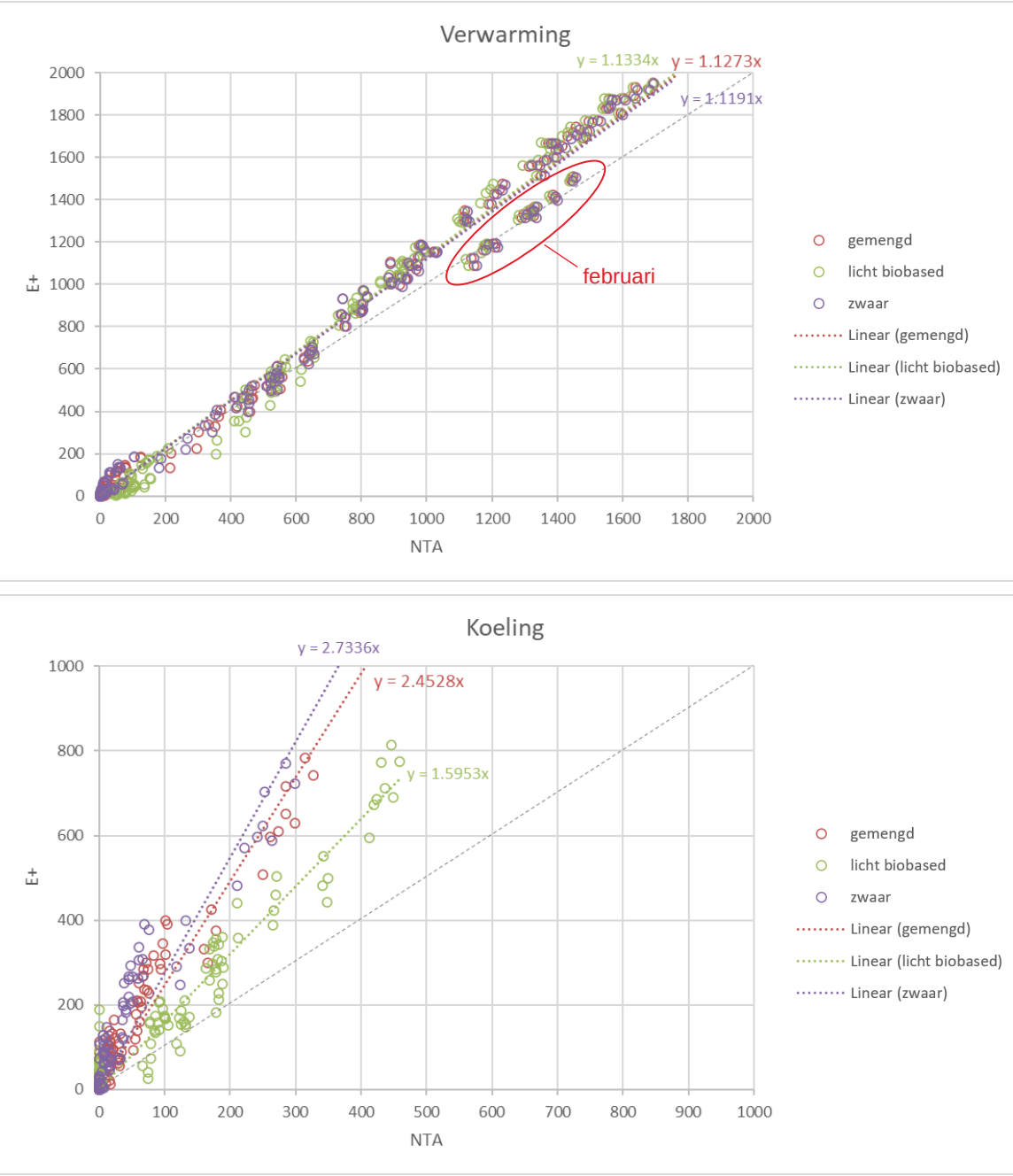
- Ca. 20% open - Basis simulatie
- Ca. 40% open

Op basis van de combinatie van deze parameters zijn 48 varianten gegenereerd met behulp van een Python-script en vervolgens gesimuleerd in EnergyPlus om de energiebehoeften voor verwarming en koeling te berekenen, evenals andere resultaten zoals ventilatie- en transmissieverliezen en zonnewinsten.

Hierna zijn deze 48 varianten met behulp van een Python-script ingevoerd in de NEN Validatietool om de warmte- en koudebehoefte te berekenen volgens de NTA 8800 methodiek. Met behulp van de NEN-validatietool is tevens per variant de benuttingsfactor berekend.

4.5.7 Vergelijk resultaten NTA 8800 en EnergyPlus

De gegenereerde data zijn gevisualiseerd om het verschil tussen de energiebehoefte van de maandmethode van NTA 8800 en de dynamische methode van EnergyPlus inzichtelijk te maken. Onderstaande grafiek geeft de verschillen in resultaten tussen NTA 8800 en EnergyPlus voor de warmte- en koudebehoefte weer:



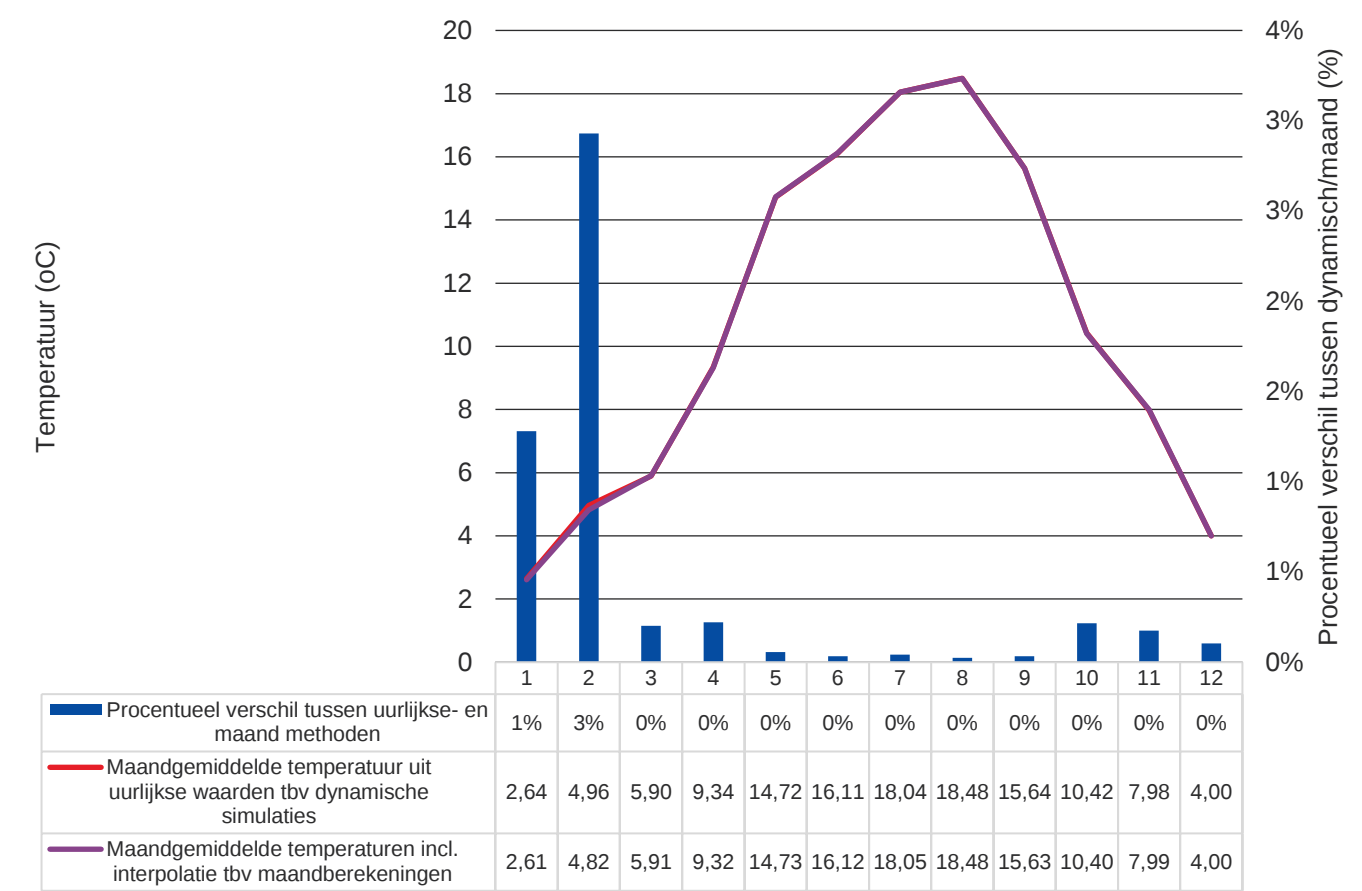
Figuur 26: Vergelijking resultaten NTA en EnergyPlus voor warmte- en koudebehoefte

De resultaten voor verwarmingsenergie tonen een relatief kleine afwijking tussen de NTA 8800 en EnergyPlus berekeningen. Over het algemeen voorspelt EnergyPlus een iets hogere energievraag vergeleken met NTA 8800, vooral bij een hogere totale energievraag. Er is geen significant verschil in de algemene trend tussen licht biobased constructies en zware of gemengde constructiemethoden.

De grafiek vertoont een kleine cluster van punten die afwijken van de algemene lineaire trend. Deze punten zijn van de maand februari, waarvan de afwijking niet kan worden verklaard uit een verschil in dagen, omdat zowel de rekentijd (klimaatuitgangspunten) voor NTA 8800 (tabel 17.1) als voor EnergyPlus (NEN 5060 2018 +A1) beide 28 dagen/672 uur is. Nadere beschouwing van de maandgemiddelden die worden gehanteerd in NTA 8800, die overeenkomen met NEN 5060 2008+A1 bijlage A laat zien dat de toegepaste interpolatie om de overgang tussen de klimaatgegevens van afzonderlijk geselecteerde maanden geleidelijk te laten verlopen er per maand een kleine afwijking optreedt, met de grootste afwijking in februari en daaropvolgend januari. Over het jaar opgeteld zijn de gemiddelde waarden voor de maandmethode -0,18°C lager dan de waarden toegepast in de uurlijkse data. Dit is weergegeven in onderstaande figuur. Dit is een mogelijke verklaring voor de afwijkende waarden gevonden in de

bijzonder februari. In het algemeen is de sterke afwijking in februari reden om die data bij het ‘fitten’ buiten beschouwing te laten.

Vergelijking maand- en uurlijkse gemiddelden



Figuur 27: Vergelijking maand- en uurlijkse gemiddelden

De resultaten voor koelenergie tonen een significantere afwijking tussen de NTA en EnergyPlus berekeningen. Ook hier voorspelt EnergyPlus over het algemeen een hogere energievraag dan NTA. De resultaten laten ook een groter verschil zien tussen de licht biobased constructies en de zware of gemengde constructies. Over het algemeen lijkt de afwijking in de koelenergie tussen NTA en EnergyPlus groter te zijn voor de zwaardere of gemengde constructietypes in vergelijking met de lichtgewicht biobased constructie.

4.5.8 Warmte- en koudebehoefte herijken

De volgende stap van het onderzoek richtte zich op het vinden van geschikte parameters om de NTA-resultaten beter af te stemmen op de EnergyPlus resultaten. Aangezien de gevonden afwijkingen variëren voor verschillende gebouwtypologieën met uiteenlopende thermische massa's, leek de benuttingsfactor de meest geschikte parameter om een betere fit van de NTA-resultaten te bereiken. Dit is ook in lijn met eerder onderzoek [14], [15].

4.5.9 Methode herijken benuttingsfactor

In de maandmethode van de NTA worden de dynamische effecten in rekening gebracht door middel van de benuttingsfactor voor de warmtewinsten (warmtebehoefte) respectievelijk de benuttingsfactor voor de warmteverliezen (koudebehoefte). Deze formules geven

De formules geven ‘benuttingsgraadkrommen’ waarbij de benuttingsfactor voor een bepaald gebouw afhankelijk is van de tijdconstante τ (in uren) en de warmtebalansverhouding γ (-).

De tijdconstante τ van een rekenzone karakteriseert de thermische traagheid en kan variëren voor verwarming en koeling en per maand. Deze wordt bepaald door de verhouding tussen de interne warmtecapaciteit van de rekenzone (totaal van wanden, vloeren, daken) ten opzichte van warmteoverdracht door transmissie en ventilatie.

De warmtebalansverhouding γ wordt per maand bepaald en is afhankelijk van de verhouding tussen warmteverlies en warmtewinst. Deze is dus afhankelijk van bijvoorbeeld de open/dicht verhouding van een gebouw en de mate van isolatie. In de literatuur wordt deze ookwel de ‘gain/loss’ ratio genoemd.

Deze worden berekend met de hierna gegeven formules. De variabele parameters in de formules zijn $a_{H;0}$ en $\tau_{H;0}$, in navolgende formules gearceerd.

Kader 2: Benuttingsfactor voor warmtewinst (NTA 8800)

als $\gamma_{H;zi;mi} > 0$ en $\gamma_{H;zi;mi} \neq 1$:
$$\eta_{H;gn;zi;mi} = \frac{1 - (\gamma_{H;zi;mi})^{a_{H;zi;mi}}}{1 - (\gamma_{H;zi;mi})^{(a_{H;zi;mi} + 1)}} \tag{7.46}$$

als $\gamma_{H;zi;mi} = 1$:
$$\eta_{H;gn;zi;mi} = \frac{a_{H;zi;mi}}{a_{H;zi;mi} + 1} \tag{7.47}$$

als $\gamma_{H;zi;m} \leq 0$ en $Q_{H;gn;zi;m} > 0$:
$$\eta_{H;gn;zi;mi} = 1 / \gamma_{H;zi;mi} \tag{7.48}$$

als $\gamma_{H;zi;m} \leq 0$ en $Q_{H;gn;zi;m} \leq 0$:
$$\eta_{H;gn;zi;mi} = 1 \tag{7.49}$$

waarbij:

$$\gamma_{H;zi;mi} = \frac{Q_{H;gn;zi;mi}}{Q_{H;ht;zi;mi}} \tag{7.50}$$

waarin, voor elke rekenzone zi en elke maand mi :

- $\eta_{H;gn;zi;mi}$ is de dimensieloze benuttingsfactor voor warmtewinst;
- $\gamma_{H;zi;mi}$ is de dimensieloze warmtebalansverhouding voor verwarming;
- $a_{H;zi;mi}$ is een dimensieloze numerieke parameter, bepaald volgens onderstaande;
- $Q_{H;ht;zi;mi}$ is de totale warmteoverdracht voor verwarming, bepaald volgens 7.2.3, in kWh;
- $Q_{H;gn;zi;mi}$ is de totale warmtewinst voor verwarming, bepaald volgens 7.2.3, in kWh.

$$a_{H;zi;mi} = a_{H;0} + \frac{\tau_{H;zi;mi}}{\tau_{H;0}}$$

waarin, voor elke rekenzone zi en elke maand mi :

$a_{H;0}$ is een dimensieloze numerieke referentieparameter, waarvoor de volgende getalswaarde geldt: $a_{H;0} = 1,0$;

$\tau_{H;zi;mi}$ is de tijdconstante van de warmtebehoefte, bepaald volgens 7.8.4, in h;

$\tau_{H;0}$ is een referentie tijdconstante, waarvoor de volgende getalswaarde geldt: $\tau_{H;0} = 15$, in h.

Kader 3: Benuttingsfactor voor warmteverlies (NTA 8800)

als $\gamma_{C;zi;mi} > 0$ en $\gamma_{C;zi;mi} \neq 1$:
$$\eta_{C;ht;zi;mi} = \frac{1 - (\gamma_{C;zi;mi})^{-a_{C;zi;mi}}}{1 - (\gamma_{C;zi;mi})^{-(a_{C;zi;mi} + 1)}} \quad (7.52)$$

als $\gamma_{C;zi;mi} = 1$:
$$\eta_{C;ht;zi;mi} = \frac{a_{C;zi;mi}}{a_{C;zi;mi} + 1} \quad (7.53)$$

als $\gamma_{C;zi;mi} \leq 0$:
$$\eta_{C;ht;zi;mi} = 1 \quad (7.54)$$

waarin:

$$\gamma_{C;zi;mi} = \frac{Q_{C;gn;zi;mi}}{Q_{C;ht;zi;mi}} \quad (7.55)$$

waarin, voor elke rekenzone zi en elke maand mi :

- $\eta_{C;ht;zi;mi}$ is de dimensieloze benuttingsfactor voor warmteoverdracht;
- $\gamma_{C;zi;mi}$ is de dimensieloze warmtebalansverhouding voor koeling;
- $a_{C;zi;mi}$ is een dimensieloze numerieke parameter, bepaald volgens onderstaande;
- $Q_{C;gn;zi;mi}$ is de totale warmteoverdracht door transmissie en ventilatie voor koeling, bepaald volgens 7.2.3, in kWh;
- $Q_{C;gn;zi;mi}$ is de totale warmtewinst voor koeling, bepaald volgens 7.2.3, in kWh.

$$a_{C;zi;mi} = a_{C;0} + \frac{\tau_{C;zi;mi}}{\tau_{C;0}} \quad (7.56)$$

waarin, voor elke rekenzone zi en elke maand mi :

- $a_{C;0}$ is een dimensieloze numerieke referentieparameter, waarvoor de volgende getalswaarde geldt: $a_{C;0} = 1,0$;
- $\tau_{C;zi;mi}$ is de tijdconstante voor de koudebehoefte, bepaald volgens 7.8.4, in h;
- $\tau_{C;0}$ is een referentie tijdconstante, waarvoor de volgende getalswaarde geldt: $\tau_{C;0} = 15$, in h.

Om geschikte waarden voor α en τ te vinden om de resultaten van de dynamische simulatie beter te benaderen, is de methode van Linssen toegepast (zie [16]). Bij deze aanpak wordt een ‘werkelijke’ benuttingsfactor (η) bepaald, waarbij gebruik wordt gemaakt van de daadwerkelijk berekende energievraag uit de dynamische simulatie (EnergyPlus) en de warmtewinst- en transmissiewaarden uit de maandmethode van NTA 8800.

Zie de formules hierna voor vertaling van deze methode in de betreffende grootheden.

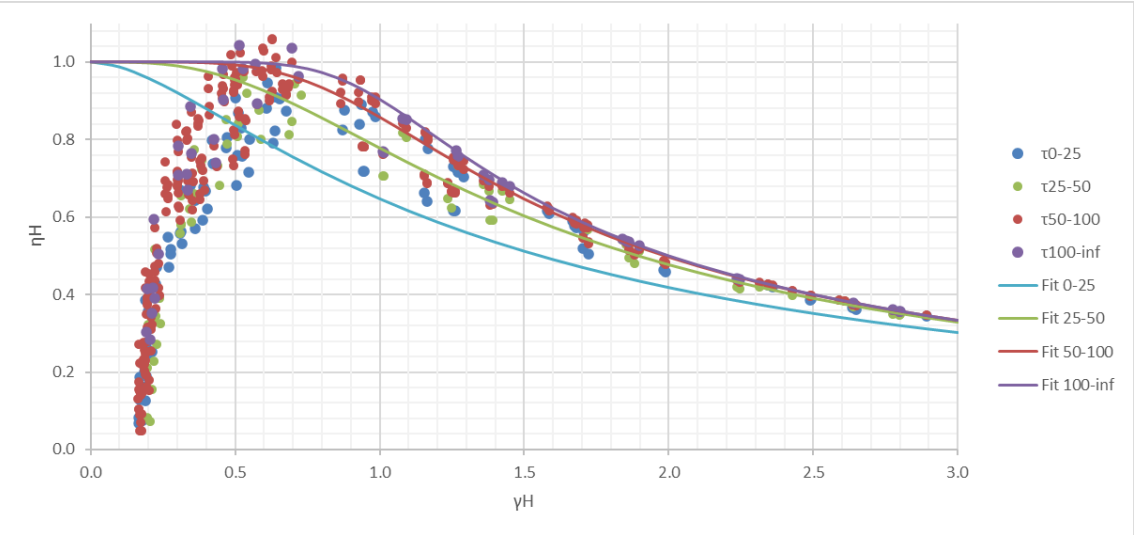
Formule 1: ‘Werkelijke’ benuttingsfactor voor warmtewinst

(uit E+) (uit NTA)
 $Q_{H;nd} = Q_{H;ht} - \eta_H Q_{H;gn}$
$$\eta_H = (Q_{H;ht} - Q_{H;nd}) / Q_{H;gn}$$

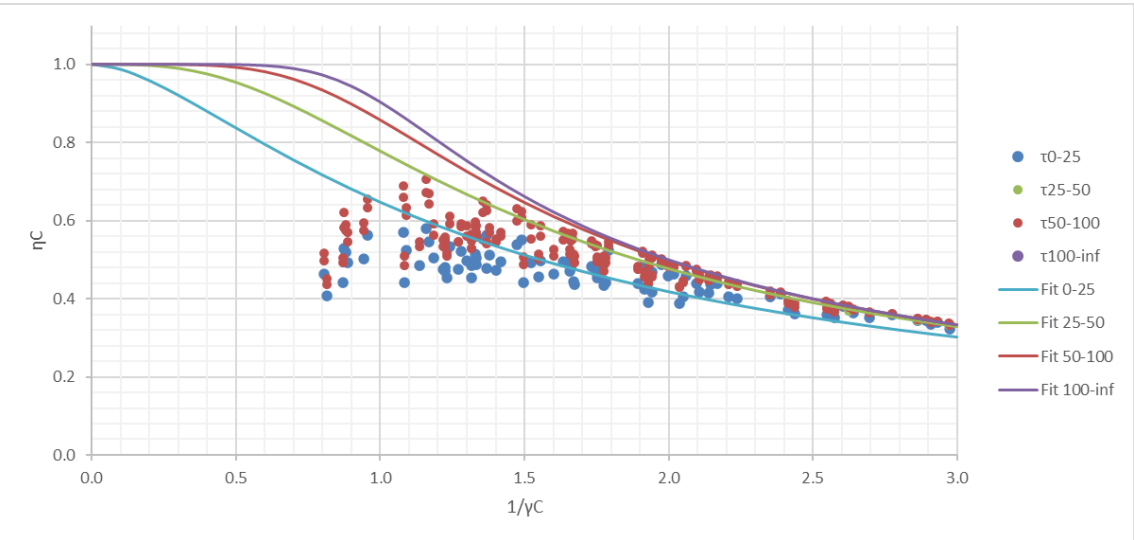
Formule 2: ‘Werkelijke’ benuttingsfactor voor warmteverlies

(uit E+) (uit NTA)
 $Q_{C;nd} = Q_{C;gn} - \eta_C Q_{C;ht}$
$$\eta_C = (Q_{C;gn} - Q_{C;nd}) / Q_{C;ht}$$

Onderstaande grafieken tonen de berekende ‘werkelijke’ benuttingsfactor als functie van de warmtebalansverhouding γ (ookwel: gain/loss ratios):



Figuur 28: 'Werkelijke' benuttingsfactor voor warmtewinst



Figuur 29: 'Werkelijke' benuttingsfactor voor warmteverlies

Het is duidelijk dat de berekende ‘werkelijke’ benuttingsfactor niet goed overeenkomt met het theoretische model uit de NTA, vooral bij varianten met kleine warmtebalansverhouding γ . Deze afwijking is te verklaren door de hogere energievraag die wordt voorspeld door de dynamische simulatiemethode in EnergyPlus (zie Figuur 26). Deze trend geeft aan dat een aanpassing van de benuttingsfactor alléén onvoldoende is om een betere overeenkomst te bereiken tussen de resultaten van de maandelijkse en dynamische simulaties. Daarom is aanvullend hierop een lineaire parameter c geïntroduceerd om de resultaten van de NTA 8800 te corrigeren.

4.5.10 Methode bijstellen NTA 8800 uitkomsten

Gezien de voorgaande inzichten is het proces van het bijstellen van de NTA 8800-resultaten in twee stappen uitgevoerd: eerst werd een lineaire correctiefactor c toegepast om de trend van een grotere afwijkingen tussen NTA

8800en EnergyPlus bij een hogere energievraag te corrigeren. In de tweede stap werd de spreiding van de datapunten verder verminderd door de benuttingsfactor per constructietype aan te passen, met behulp van de constanten α en τ .

Om naast een visuele beoordeling van de resultaten ook een numerieke beoordeling uit te voeren zijn twee fout-statistieken berekend:

Mean Absolute Error (MAE): de gemiddelde fout als absolute waarde.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$$

- y_i is de ‘werkelijke’ energievraag uit EnergyPlus
- $\hat{y}_i$ is de ‘voorspelde’ energievraag uit NTA 8800

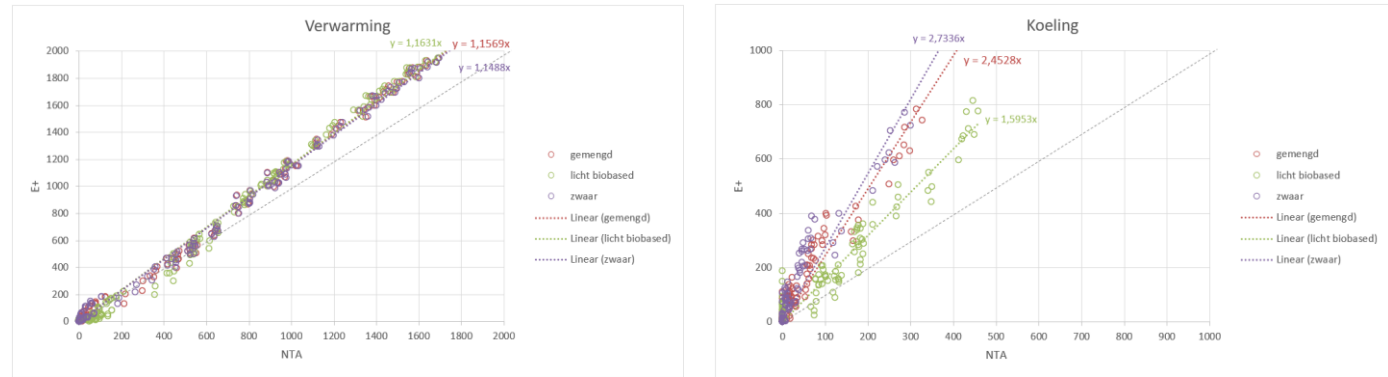
Mean Absolute Percentage Error (MAPE): de relatieve fout als percentage.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

- y_i is de ‘werkelijke’ energievraag uit EnergyPlus
- $\hat{y}_i$ is de ‘voorspelde’ energievraag uit NTA 8800

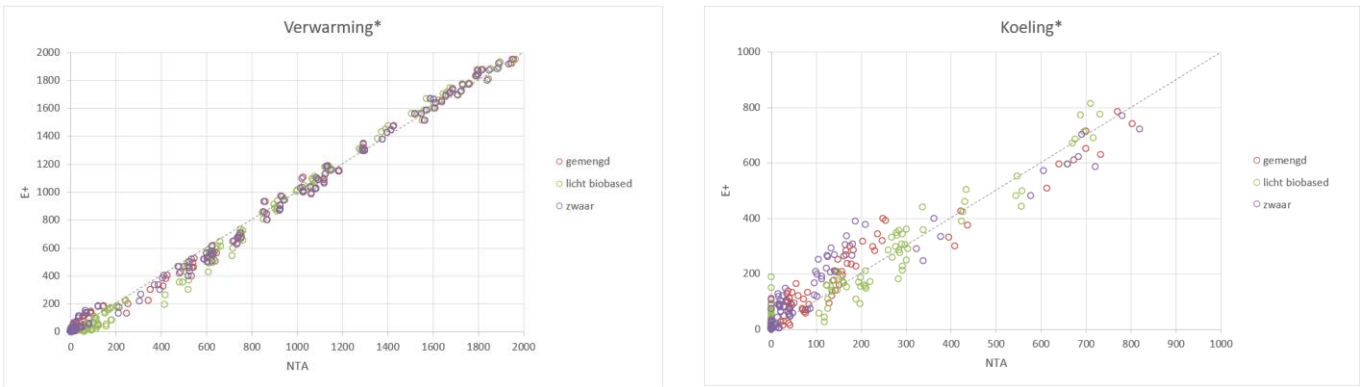
Onderstaande grafieken geven de stappen van het proces weer en de vastgestelde c , α en τ waarden met de berekende fout statistieken. Zoals in paragraaf 4.5.7 toegelicht zijn de afwijkende resultaten van de maand februari in deze analyse achterwege gelaten.

Correlatie berekende verwarmings- en koelenergie

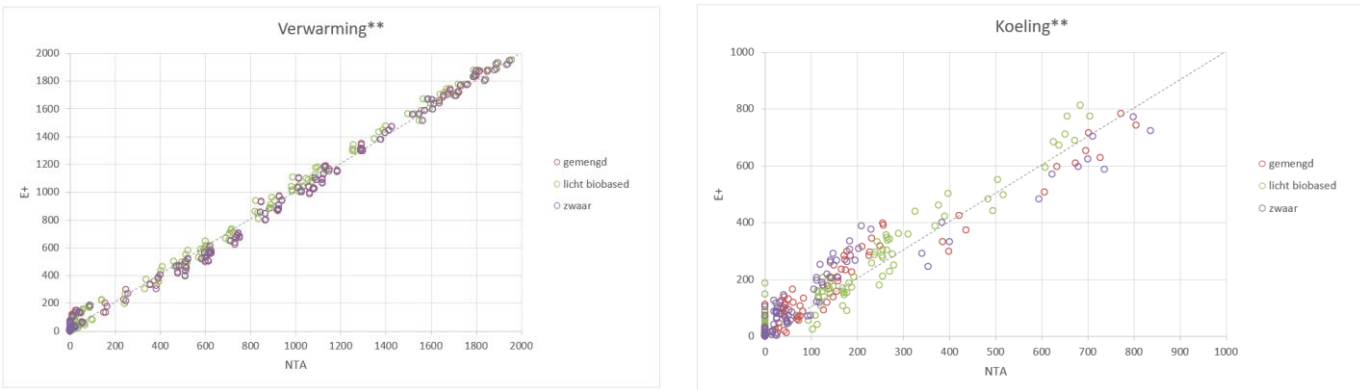


MAE;H	92.93 kWh	MAE;C	97.88 kWh
MAPE;H	92.75%	MAPE;C	74.02%

Correlatie verwarmings- en koelenergie na toepassing correctiefactor c



Correlatie verwarmings- en koelenergie na aanpassing α en τ



MAE;H**	32.40 kWh	MAE;C**	43.50 kWh
MAPE;H**	34.43%	MAPE;C**	59.12%

Figuur 30: Grafieken en resultaten correlatie voor aanpassingen c , α en τ

4.5.11 Berekende c , α en τ per constructietype

Tabel 10: Varianten waarden

Variant	Opbouw	Warmtecapaciteit per m2 Ag (Dm invoer in NEN-validatietool)	a;H	tau;H	a;C	tau;C
Basiswaarden in NTA 8800 (verwarming & koeling)	Zwaar	606	1	15	1	15
	Gemengd	454	1	15	1	15
	Licht biobased	157	1	15	1	15
Voorgestelde wijziging verwarming	Zwaar	606	1	9	1,15	1
	Gemengd	454	1	6	1,16	1
	Licht biobased	157	1	5	1,16	1
Voorgestelde wijziging koeling	Zwaar	606	2	20	2,73	2
	Gemengd	454	2	20	2,45	2
	Licht biobased	157	2,1	40	1,6	2,1

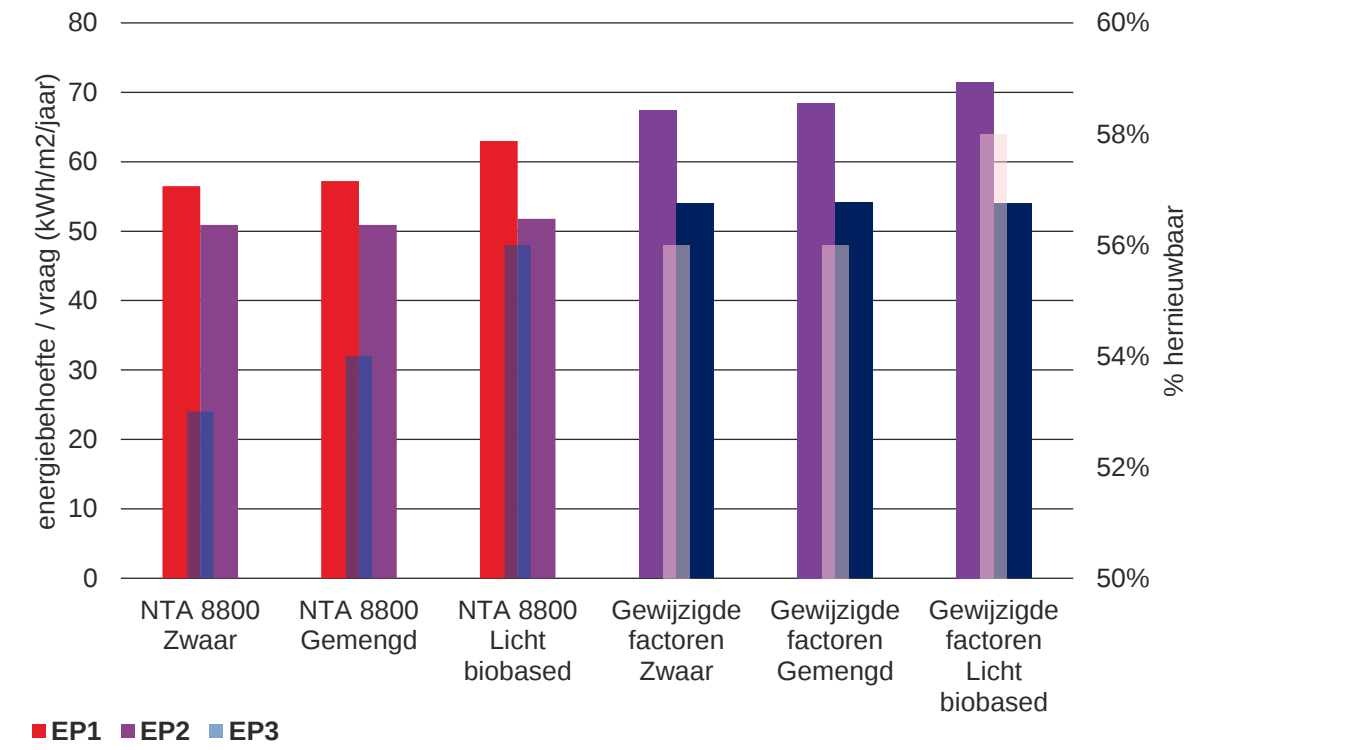
4.5.12 Vertaling naar energieprestatie indicatoren

Voor woning type 10, met isolatiewaarden conform BBL, standaard openingen en een C1 ventilatiesysteem zijn de voorgestelde aanpassing aan (benuttings)factoren aangepast in de NEN Validatietool, waarmee resultaten worden verkregen voor EP1, EP2 en EP3. De resultaten zijn als volgt:

Tabel 11: Resultaten energieprestatie indicatoren

Variant	Opbouw	Warmtecapaciteit per m2 Ag (Dm invoer in NEN-validatietool)	EP1 kWh/m2/jr	EP2 kWh/m2/jr	EP3 %
Basiswaarden in NTA 8800 (verwarming & koeling)	Zwaar	606	56,5	50,9	53%
	Gemengd	454	57,2	50,9	54%
	Licht biobased	157	63	51,8	56%
Voorgestelde wijziging verwarming & koeling	Zwaar	606	67,4	54	56%
	Gemengd	454	68,5	54,1	56%
	Licht biobased	157	71,5	54	58%
Procentueel verschil van de gewijzigde resultaten	Zwaar	606	19,3%	6,1%	5,7%
	Gemengd	454	19,8%	6,3%	3,7%
	Licht biobased	157	13,5%	4,2%	3,6%

Resultaten in EP-waarden



Figuur 31: Resultaten gewijzigde factoren in EP1, EP2, EP3

Uit voorgaande analyse blijken de volgende resultaten:

- In alle gevallen is het verwachte energiegebruik door toepassing van de factoren hoger dan rekenend met de huidige factoren.
- Het verschil in EP-resultaten tussen de warmtecapaciteiten wordt kleiner: de keuze voor constructies met lage warmtecapaciteit (licht biobased) ten opzichte van hogere warmtecapaciteit (zoals beton) heeft een kleinere invloed op de energieprestatie dan met de huidige rekenwaarden voor benutting.

Dit is in lijn met de voorlopige bevindingen van het onderzoek ‘De Renovatieverkenner’ van TU/e, waarin tevens wordt gevonden dat de keuze voor aanpassen van thermische massa op het energiegebruik in woningen een minimale invloed heeft; verbeteren van isolatie is meer van invloed.
- Constructies met hoge warmtecapaciteit gaan verhoudingsgewijs meer achteruit in prestatie dan constructies met lagere warmtecapaciteit. Dit betekent dat er momenteel een overschatting is van de positieve effecten van massa op het energiegebruik.
- Voor alle indicatoren is de impact als gevolg van de voorgestelde wijzigingen significant.

4.6 Variantenstudie conclusies

- In een eerste poging om een betere afstemming tussen de resultaten te bereiken, is een reeks correctiefactoren c , α en τ bepaald voor zowel de verwarmings- als koelvraag voor verschillende constructietypes. Dit is in lijn met de verwachtingen zoals gevonden in de literatuur [15] voor de α en τ en voor de correctiefactor c kan een verband worden gezocht met de bevindingen over dynamische warmtecapaciteit zoals omschreven in paragraaf 2.3.5.3.
- De aanpassingen die nodig bleken voor de genoemde factoren zijn groter voor constructies met lagere warmtecapaciteit (bijvoorbeeld licht biobased) dan de benodigde aanpassingen voor constructies met hogere warmtecapaciteit (zwaar). Dit is in lijn met de afwijkingen tussen dynamische en maandmethoden die Kalema et al [14] vonden bij onderzoek naar benuttingsfactoren voor noordelijke klimaten.
- De gewijzigde factoren hebben significante impact op de resultaten voor de energieprestatie indicatoren: EP1, EP2 en EP3. Voor energiebehoefte is de invloed >>10%, voor energiegebruik en het aandeel hernieuwbaar is de invloed tussen de 3 en 6%. Op alle vlakken daarmee relevant om te agenderen voor herijking van de NTA 8800 bepalingsmethode.
- Uit de simulaties blijkt dat het onderlinge verschil tussen hogere en lagere warmtecapaciteiten en de invloed daarvan op de energiebehoefte kleiner is dan momenteel uit de NTA 8800 resultaten volgt. Wanneer dit beter wordt gerepresenteerd in de rekenmethodiek, ontstaat een ‘gelijker speelveld’ voor constructies met hogere en lagere warmtecapaciteit, bijvoorbeeld voor steenachtige en biobased materialen. Dit is in lijn met parallel onderzoek van TU/e naar energiebesparingsmaatregelen bij woningbouwrenovaties.
- Deze studie onderzocht alleen variaties van één specifiek bouwtype, namelijk rijwoning 10. Om robuuste en definitieve conclusies te kunnen trekken over de correctiefactoren, wordt aanbevolen om de dataset uit te breiden met verschillende bouwtypen en -functies. Het onderzoeken van een breder scala aan bouwtypen zal helpen om de effectiviteit en universaliteit van de correctiefactoren te beoordelen en ervoor te zorgen dat de bevindingen breed toepasbaar zijn. Door deze uitbreiding kan worden bepaald of aanvullende aanpassingen of nieuwe parameters nodig zijn om de nauwkeurigheid van de energievraagvoorspellingen verder te verbeteren.

5. Dynamische simulaties: hygrische invloed op energie

5.1 Hypothese

Het onderzoek met de dynamische simulaties waarin het effect van (benuttings)factoren wordt beschouwd, richt zich op uitsluitend **thermische** effecten, in lijn met methode NTA 8800. De simulatiemethode rekent niet met de **hygrische** uitwisseling tussen de ruimte en de constructies. De varianten in constructie-opbouw zijn daarom ook niet geselecteerd op een meer- of minder dampopen karakter omdat het aspect vochtuitwisseling niet wordt meegenomen in de NTA 8800 methode.

In de Nederlandse markt wordt in toenemende mate gewerkt en geadviseerd rondom biobased bouwmaterialen. Daarbij worden de hygrische eigenschappen en de dynamische effecten genoemd als argument voor energiezuiniger en comfortabeler prestaties dan traditionele (minerale) materialen, terwijl deze effecten in de NTA 8800 methode niet tot uiting komen. Als gevolg van deze marktrend is door Building Balance verzocht om aanvullend op het basis onderzoek, de impact van hygrische eigenschappen op het jaarlijks energiegebruik te kwantificeren.

De verwachting is dat het meerekenen van hygrische effecten zal leiden tot minimale verschillen ten opzichte van de maandmethode NTA 8800 voor energieprestatie, die uitsluitend thermisch rekent. Deze aanname volgt uit de onderzoeken waaraan is gerefereerd in hoofdstuk 2, waarin wordt onderbouwd middels simulaties en metingen dat het effect van hygrische uitwisseling en/of het dynamisch effect van warmtecapaciteit (faseverschuiving) een nihil effect heeft op het jaarlijks energiegebruik. De effecten op thermisch comfort zijn mogelijk wel te vinden, zie daartoe hoofdstuk 6. De verwachting is daarom dat de methodische keuze in NTA 8800 om het effect van hygrische aspecten uit te sluiten voor jaarlijks energiegebruik terecht is, maar dat voor beoordeling van thermisch comfort (bijvoorbeeld via TO_{juli} of gelijkwaardig) dit wel relevant is.

5.2 Methode

Om het effect van hygrische uitwisseling te kwantificeren, wordt een vereenvoudigde simulatiemethode voorgesteld die op detailniveau het hygrisch gedrag van de schilconstructie weergeeft en deze effecten op non-iteratieve wijze vertaalt naar het energiegebruik voor verwarmen en koelen.

Hiertoe wordt gebruik gemaakt van de relatief eenvoudige geometrie uit het basis onderzoek (geometrie BESTEST) waarvoor het jaarlijks energiegebruik voor verwarmen en koelen is bepaald met ventilatiesysteem C4a en de setpoints voor de ruimtetemperatuur conform NTA 8800. Bijvoorbeeld voor verwarming betreft dit een continue ruimtetemperatuur setpoint van 20°C. Het verloop van relatieve vochtigheid in de ruimte wordt niet gestuurd, maar is een resultante van de vochtigheid buiten, de ruimtetemperatuur en het ventilatiedebiet. Vochtproductie door apparaten, activiteiten (douchen) of personen wordt hier niet in meegenomen (in lijn met NTA 8800).

De combinatie van onder andere de ruimtetemperatuur, relatieve vochtigheid en oppervlaktetemperatuur van de scheidingsconstructies leiden tot een gevoel van comfort, zoals kan worden vertaald in een operationele temperatuur (via methode PMV, zie NEN-EN-ISO 7730). Wanneer bijvoorbeeld de relatieve vochtigheid toeneemt, kan met eenzelfde operationele temperatuur in theorie de luchttemperatuur in de ruimte worden gereduceerd omdat het leidt tot een hogere temperatuursensatie. Met een fictief lager setpoint voor verwarming, zullen de energiesimulaties een lager energiegebruik voor verwarming laten zien, of omgekeerd voor koeling. Zoals in vorige paragraaf benoemd zal het de omvang van dit effect beperkt zijn.

Als gevolg van vochtuitwisseling van de constructie wordt er vocht toegevoegd- of onttrokken aan de ruimte (vochtstroming of flux) en varieert de oppervlaktetemperatuur van de scheidingsconstructie (bijvoorbeeld door verdamping).

Tevens wordt ter verificatie hetzelfde vergelijk gemaakt in EnergyPlus door inschakeling van de eenvoudige hygrische uitwisselingsmodule EMPD.

Deze aanpak is vertaald in de volgende simulatiestappen:

Stap	Omschrijving
1	Exporteren van ruimtetemperatuur en relatieve vochtigheid uit simulatie in Energyplus voor variant BESTEST.
2	Opzet materiaalopbouw varianten in WUFI1D en simulatie met grenscondities: Geëxporteerde waarden ruimtetemperatuur en relatieve vochtigheid Energyplus (stap 1) NEN 5060 buitenklimaat voor energiesimulaties.
3	Exporteren resultaten voor de varianten uit WUFI1D die invloed hebben op het binnenklimaat: Vochtstroming in g/(hm²) Oppervlaktetemperatuur ruimtezijde in °C (hiertoe wordt het tweede ‘element’ vanaf de binnenzijde gehanteerd, aangezien de waarde van het werkelijke oppervlak gelijkgesteld is als opgegeven grensconditie uit stap 1. Toe te passen voor beide zones (woon- en slaapzone) en alle oppervlakken die daaraan grenzen (4 oriëntaties).
4	Vertalen vochtigheid en oppervlaktetemperatuur via PMV-methode naar alternatieve setpoints voor luchttemperatuur voor verwarming en koeling in uurlijkse waarden.
5	Energiesimulaties gebruikmakend van de geselecteerde constructies rekenend met de herziene setpoints voor de luchttemperatuur in de ruimte. Energiesimulaties gebruikmakend van de geselecteerde constructies rekenend met de EnergyPlus module EMPD.
6	Vergelijking resultaten energiebehoefte verwarming en koeling voor alle varianten.

5.3 Simulaties

In dit onderzoek wordt gekozen voor een eenvoudige interpretatie van het effect, omdat naar verwachting de uitkomsten minimale invloed zullen hebben op het jaarlijks energiegebruik. Een gedetailleerde bepaling zou kunnen worden uitgevoerd voor een 1-zone model met WUFIplus. Echter, voor dit onderzoek willen we een gebouw beschouwen, zoals in de typologieën van het basis onderzoek. Ook het 1-zone model van WUFIplus biedt daarin geen volledige oplossing, want zelfs de meest eenvoudige typologie bestaat uit een woon- en slaapzone.

Daarnaast is het wenselijk om alle setpoints van regeling zoveel mogelijk gelijk te houden met het ‘geijkte’ EnergyPlus model van de NTA 8800. Er wordt daarom gewerkt met de methode zoals voorgesteld, waarbij het hygrische effect van de constructie oppervlakken via WUFI1D simulaties (dus geen hoek-oplossingen) wordt bepaald en wordt toegepast voor de eenvoudigste geometrie: BESTEST.

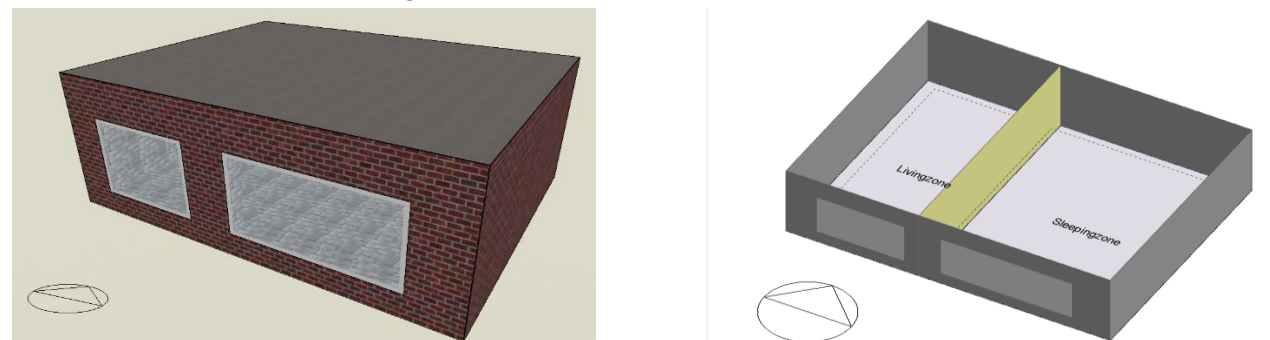
Om goed gebruik te maken van de hygrische en thermische data in WUFI, worden constructie opbouwen gekozen in deze vergelijking die afwijken van degene uit de basis simulaties (hoofdstuk 4), allen met materialen zoals beschikbaar zijn in de WUFI-database.

5.4 Typologie

Er wordt gekozen voor een typologie gekozen waarin zo groot mogelijke effecten zichtbaar worden, terwijl wel voldoende vergelijkbaar met basis onderzoek. Daarom:

- Keuze voor typologie ‘woningbouw’, omdat hierin de invloed van vocht relevanter is door meer productie van vocht en beperktere ventilatie ten opzichte van utiliteitsbouw.
- Keuze uit één van de eerder geselecteerde typologieën in het basis onderzoek: geometrie met relatief veel schiloppervlak ten opzichte van leefruimte: BESTEST-geometrie. Betreft woon- én slaapzone die separaat worden beschouwd.

Tabel 12: visualisatie BESTEST-geometrie



Buitenaanzicht

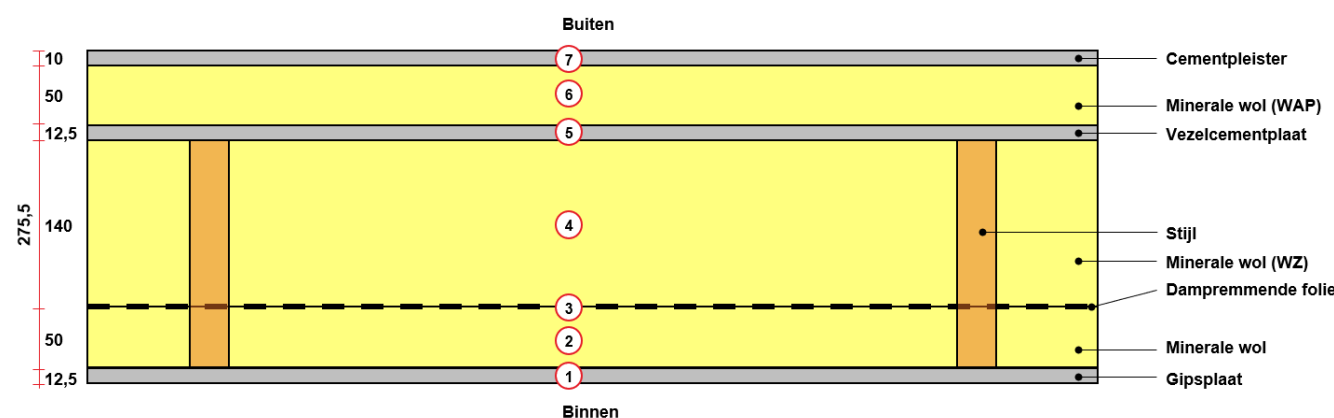
Indeling

5.5 Varianten

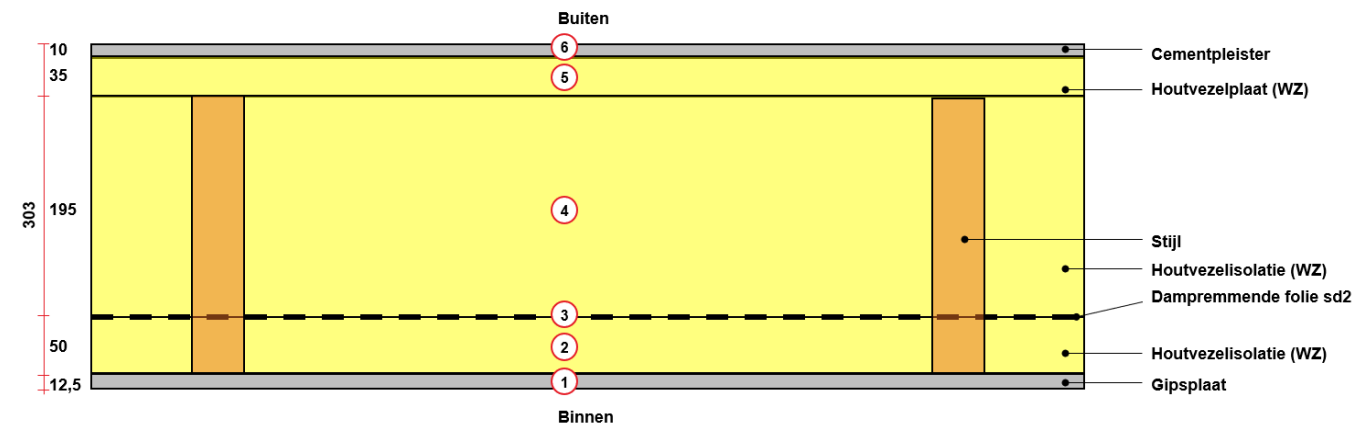
Voor bepaling van het hygrische effect zijn constructies gekozen voor de dichte geveldelen, die hoofdzakelijk onderscheidend zijn in:

- Het vermogen om damp en vocht vanuit de ruimte en het buitenklimaat door te laten: dampopen versus dampdichte bouwmethode.
- Het vermogen om vocht op te slaan of door te geven: biobased of minerale isolatiematerialen.
- Homogene opbouw zonder luchtsponen, zodanig dat geen onzekerheden daaruit volgen. Tevens inzage in effect van externe directe zonstraling op temperatuur constructie.
- Aansluiting bij de Nederlandse bouwpraktijk van HSB-constructies, o.a. door toepassing van een geïsoleerde spouw aan de binnenzijde t.b.v. installaties.

Voor eenduidig vergelijk op de hygrische aspecten wordt gekozen om de warmtegeleiding en de warmtecapaciteit in beide opbouwen zoveel mogelijk gelijk te stellen. Dit leidt tot de volgende constructies:



Figuur 32: HSB-constructie met hoge isolatiewaarde ('passief') en mineraal isolatiemateriaal, dampdicht



Figuur 33: HSB-constructie met hoge isolatiewaarde ('passief') en biobased isolatiemateriaal, dampopen

In voorgaande figuren is aan de binnenzijde uitgegaan van gipsplaat. Deze laag wordt in de simulaties fictief achterwege gelaten, om het eventuele effect van vochtuitwisseling tussen de constructie en de ruimte te maximaliseren.

In de reguliere bouwpraktijk wordt aan de binnenzijde veelal ook OSB toegepast, om in de benodigde stijfheid van de constructie te voorzien. Dit element wordt hier buiten beschouwing gelaten. Wat betreft dampremming kan het bij bepaalde producten vergelijkbaar zijn aan de toegepaste klimaatfolie / vochtremmer. Wat betreft specifieke werkzame massa leidt het tot een toename van ca. 15 kJ/m²K. Dit is onwenselijk, bij het enerzijds gelijkstellen van de massa's van de twee constructies.

5.6 Rekenstappen

5.6.1 Methode 'WUFI & EnergyPlus'

De volgende rekenstappen en uitgangspunten zijn gebruikt om tot de herziening van setpoints te komen in het EnergyPlus model.

- Gebruik van de uurlijks berekende luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, werkelijke vochtgehalte en oppervlakte temperaturen in de ruimten vanuit EnergyPlus, op basis van de BESTEST-simulatie uit het basis onderzoek met ventilatiesysteem C4a.
- Toepassen van de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid in de ruimte in een uurlijks profiel in WUFI1D voor simulatie van het gedrag aan de binnenzijde van de ruimte.
- Toepassen van het klimaatbestand NEN 5060 voor energiesimulaties als uitgangspunt voor de externe condities. Het effect van regen wordt in deze berekeningen niet meegenomen.
- Simuleren van zowel de traditionele als de biobased opbouw zoals hiervoor beschreven per oriëntatie; waarbij de oriëntaties worden gevolgd zoals deze in de BESTEST-geometrie van toepassing zijn.
- Exporteren van resultaten voor verdere verwerking, per opbouw en per oriëntatie: de uurlijkse 'moisture flux' ofwel de richting en mate van vocht uitwisseling met de omgeving, voor het oppervlak grenzend aan de ruimtecondities (export in kg/s/m² en verrekend naar kg/uur/m²).
- Berekenen van de 'basis operationele temperatuur' in de ruimte op basis van de gegevens uit de thermische EnergyPlus simulatie en de daaruit volgende luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur (uit de oppervlakken) en de relatieve vochtigheid.
- Aanpassen van uitsluitend de parameter relatieve vochtigheid in de berekening van de operationele temperatuur.
- Herberekening van de aangepaste luchttemperatuur om met de gewijzigde relatieve vochtigheid uit te komen op een gewijzigd profiel voor de luchttemperatuur in de ruimte (apart de woonzone en de slaapzone).
- Invoer van de aangepaste luchttemperatuur als ware het een uurlijks profiel voor het setpoint **voor verwarming** in EnergyPlus.

- Simulatie van de energiebehoefte voor ruimteverwarming (en koeling) op basis van het aangepaste luchttemperatuur setpoint.

5.6.2 Methode ‘EnergyPlus EMPD’

Voor de controlemethode met de eenvoudige hygrische module in Energyplus worden de volgende stappen doorlopen:

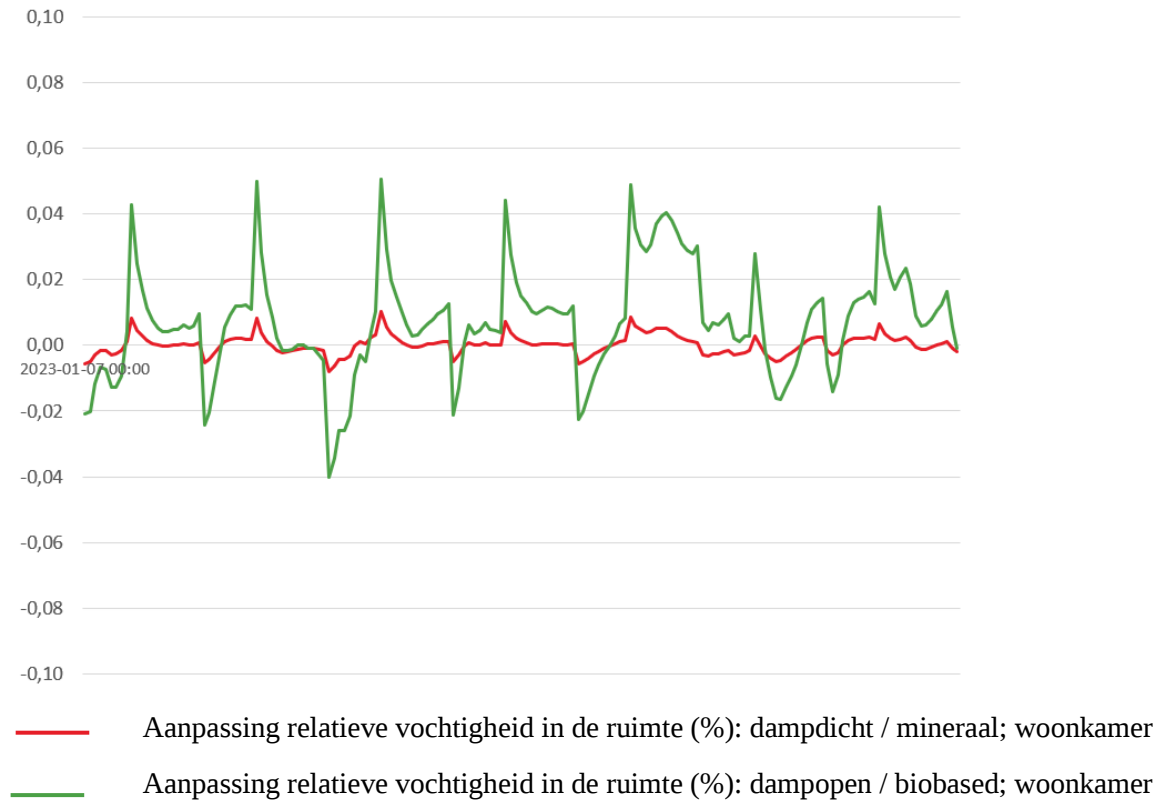
- Simulatie van de twee constructie opbouwen zoals gegeven voor de wanden van het BESTEST model zonder hygrische uitwisselingsmodule
- Simulatie van de twee constructie opbouwen zoals gegeven voor de wanden van het BESTEST model **met** hygrische uitwisselingsmodule EMPD. Bij toepassing van de module worden de standaard hygrische waarden voor materialen genomen zoals in EnergyPlus beschikbaar. Deze kunnen in detailniveau afwijken van de dataset in WUFI.

5.7 Resultaten

5.7.1 WUFI-simulaties

Uit de WUFI-simulaties per constructie onderdeel wordt duidelijk dat biobased constructies met een dampopen karakter meer hygrische interactie laten zien met de ruimte dan de dampdichte constructie.

Dit wordt weergegeven door het beschouwen van de ‘moisture flux’ tussen het constructie oppervlak dat grenst aan de ruimte en wordt getoond in onderstaande grafiek voor het voorbeeld voor een winterperiode, die laat zien dat voor de licht minerale variant er vrijwel geen invloed is op de relatieve vochtigheid in de ruimte, terwijl voor de licht biobased constructie de relatieve vochtigheid wordt aangepast. Onderstaand voorbeeld, voor 7 dagen in januari laat zien dat de resulterende aanpassing in relatieve vochtigheid (adjustment-% RH) voor de biobased constructie veel hoger is dan voor de traditionele variant. Een en ander wordt berekend met voor beide varianten gelijkgestelde luchttemperatuur.



Figuur 34: Verschil in hygrisch gedrag van mineraal dampdicht en biobased dampopen opbouwen

Hierin wordt ook zichtbaar dat de relatieve vochtigheid niet alleen toeneemt maar ook afneemt (plus en min).

Na sortering van de resultaten, blijkt dat over de totale verwarmingsperiode als gevolg van deze aanpassing in relatieve vochtigheid een kleine aanpassing van de setpoints naar boven moet worden gedaan, met een gemiddelde waarde van tussen de 0,2 en 0,5 °C. Dit is een tegengesteld resultaat ten opzichte van de hypothese, hierbij werd verwacht een hogere vochtigheid te vinden in de ruimte, waardoor de setpoints middels de operationele temperatuur naar beneden konden worden bijgesteld. De toename in setpoints leidt tot een minimale toename van de energiebehoefte voor verwarming als gevolg van het meerekenen van vochtuitwisseling. De aanpassing in energiebehoefte wordt gegeven middels EnergyPlus simulaties, waarin het setpoint voor de ruimtetemperatuur in verwarmings-modus is aangepast volgens de uurlijkse waarden die zijn gevonden in WUFI. Het setpoint voor koude (in NTA 8800 continue 24°C) wordt niet aangepast.

5.7.2 EnergyPlus simulaties

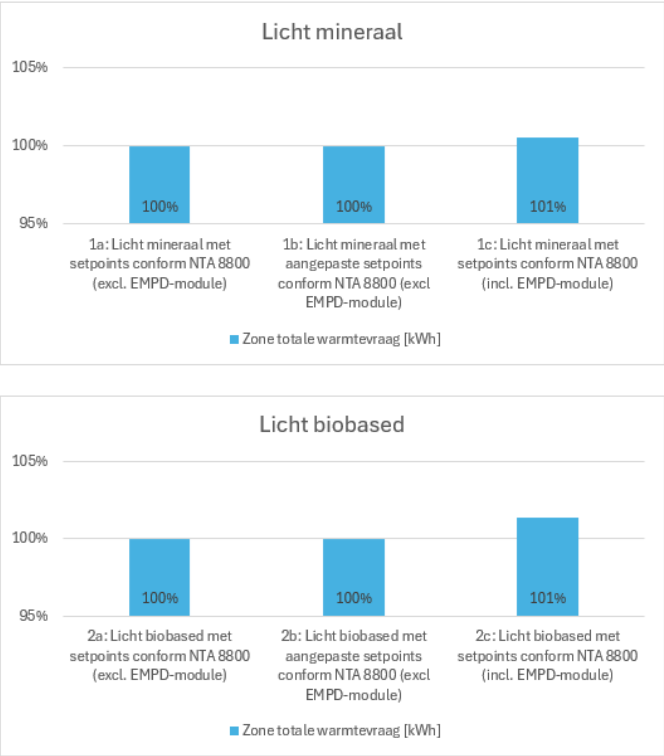
De volgende simulaties zijn uitgevoerd, waarvoor totale warmtebehoefte en koude behoefte wordt gegeven:

- 1a: Licht mineraal met setpoints conform NTA 8800 (excl. EMPD-module)
- 1b: Licht mineraal met aangepaste setpoints conform NTA 8800 (excl EMPD-module)
- 1c: Licht mineraal met setpoints conform NTA 8800 (incl. EMPD-module)
- 2a: Licht biobased met setpoints conform NTA 8800 (excl. EMPD-module)
- 2b: Licht biobased met aangepaste setpoints conform NTA 8800 (excl EMPD-module)
- 2c: Licht biobased met setpoints conform NTA 8800 (incl. EMPD-module)

Verwarmingsenergie (setpoint aangepast)



Koelenergie (setpoint ongewijzigd)



Figuur 35: Resultaten EnergyPlus simulaties voor onderzoek impact hygrische eigenschappen op jaarlijks energiegebruik

In bovenstaande grafieken is in de 1^e waarde het resultaat uit de basis simulatie gegeven met uitsluitend thermisch gedrag. De tweede waarde is het resultaat dat volgt uit de WUFI-berekening waaruit een verhoogd setpoint voor verwarming is bepaald. Hieruit volgt een toename van de warmtebehoefte van 5% voor mineraal dampdichte constructies en 4% voor dampopen biobased constructies. Naar verwachting is het verschil ten opzichte van de basis simulatie van orde grootte van 5% een gevolg van de non-iteratieve methode die is gebruikt. Daarom is het alleen relevant om te kijken naar het verschil binnen de methode, tussen beide constructies. Daarin toont de biobased

variant slechts 1% afwijking ten opzichte van traditioneel. Dit is geen significant verschil. In deze simulaties is geen setpoint voor koeling aangepast. Daarom is het resultaat gelijk aan de basis simulatie (100% ten opzichte van de basis).

Het derde resultaat laat de uitkomsten zien van de simulatie met de EMPD-module. Hierin is het verschil met de basis veel kleiner dan bij de WUFI-methode. Maar ook hier is dezelfde trend zichtbaar dat een zeer kleine reductie volgt op de verwarmingsenergie als gevolg van biobased constructie ten opzichte van traditioneel. Ook hier is het verschil niet significant.

5.8 Conclusies hygrisch & jaarlijks energiegebruik

- De eerste methode, waarbij WUFI1D is gebruikt om het vochtgehalte in de constructie te bepalen en die vervolgens is vertaald in aangepaste setpoints die dienden als basis voor de jaarlijkse energieberekening in EnergyPlus geeft inzicht in de vocht uitwisseling die plaatsvindt in geval van dampopen constructies. Echter, het feit dat de iteratie tussen ruimtecondities en het vochtgehalte in de constructie niet wordt meegenomen, maakt de resultaten van de jaarlijkse energiesimulatie niet zeer exact, maar wel bruikbaar voor het beoogde doel: jaarlijks energiegebruik in een tweezone model. Wanneer inzicht wenselijk is in het momentane effect op het binnencomfort in een enkele zone is het advies om WUFIPlus te hanteren.
- De verschillen in resultaten tussen traditionele constructies en biobased constructies bij het meerekenen van hygrische effecten is nihil. Dit komt overeen met de eerder benoemde literatuur, die aangeeft dat de hygrische effecten voornamelijk tot uiting komen in kortere beoordelingsperioden zoals bij thermisch comfort.
- De EnergyPlus EMPD module geeft een vergelijkbaar effect als de complexe en handmatige methode met de WUFI1D methode, maar door het minimale verschil in uitkomsten kan deze niet voldoende worden gewaardeerd.

6. Dynamische simulaties: hygrische invloed op comfort

6.1 Hypothese

De verwachting is dat de hygrische eigenschappen van biobased materialen, aanvullend op de relatief hoge specifieke warmtecapaciteit, een positieve invloed hebben op het thermisch comfort in de zomerperiode. Dit werkt naar verwachting positief in relatief dampopen constructies, waarbij het vocht in de constructie een verkoelende werking heeft op de oppervlaktetemperatuur van de constructies. Mogelijk heeft ook de capaciteit om vocht uit de ruimte te bufferen een positief effect op het thermisch comfort, omdat hiermee in warme periode een lagere relatieve vochtigheid kan worden behaald.

De onderlinge relaties tussen de hier genoemde effecten zijn fictief weergegeven in onderstaand rekenvoorbeeld van de ‘Predicted Mean Vote’, wat een indicator is voor de ervaring van thermisch comfort. Uitgaande van een warme zomerdag na koelere een periode met regen / vochtigheid zou het comfortniveau als volgt kunnen verschillen tussen een woning met dampdichte/minerale constructies of een woning met dampopen/biobased constructies:

Dampdicht / mineraal			Dampopen / biobased		
Parameter	Input	[0 tot 2clo] [10 tot 30°C] [10 tot 40°C] [0.8 tot 4met] [0 tot 1m/s] [30 tot 70%]	Parameter	Input	[0 tot 2clo] [10 tot 30°C] [10 tot 40°C] [0.8 tot 4met] [0 tot 1m/s] [30 tot 70%]
Kleding (clo)	0,90		Kleding (clo)	0,90	
Luchttemperatuur (°C)	24,0		Luchttemperatuur (°C)	24,0	
Gemiddelde stralingstemperatuur (°C)	24,0		Gemiddelde stralingstemperatuur (°C)	22,0	
Activiteit (met)	1,2		Activiteit (met)	1,2	
Luchtsnelheid (m/s)	0,15		Luchtsnelheid (m/s)	0,15	
Relatieve vochtigheid (%)	50,0		Relatieve vochtigheid (%)	30,0	
Parameter	Resultaten		Parameter	Resultaten	
Operative temp. (°C)	24		Operative temp. (°C)	23	
PMV	0,3		PMV	0	
PPD	6,9		PPD	5	
Uit bovenstaand vergelijk is af te lezen dat een lagere gemiddelde stralingstemperatuur en een lagere relatieve vochtigheid leiden tot een betere Predicted Mean Vote (nul is optimaal, positief of negatieve afwijking is minder comfortabel). Het verwachte percentage personen die dit als oncomfortabel zal ervaren is lager (van 6,9 naar 5%).					

Uit voorgaande voorbeeld blijkt dat bij meerekenen van hygrische effecten, een verbeterd thermisch comfort kan worden behaald. Binnen NTA 8800 wordt gerekend met een indicator die het risico op thermisch comfort aanduidt, de TO_{juli}. Deze is geijkt aan een dynamische methode voor bepaling van thermisch comfort, namelijk zoals beschreven in Het Besluit Bouwwerken Leefomgeving, bijlage XVI bij artikel 5.31c van De Omgevingsregeling. Deze bijlage beschrijft de uitgangspunten voor dynamische rekenmethodiek van oververhitting in de zomerperiode. Dit betreft een GTO-methode, waarin gerekend wordt met een aantal uren overschrijding op basis van het verwachtte ervaren thermisch comfort, van toepassing op woningbouw.

In deze methode wordt gebruik van BESTEST geteste software gevraagd. Deze methode vereist **niet** de interactie van vocht opslag- of doorlaat door de omliggende scheidingsconstructies, maar beperkt tot vochtigheid van de lucht als gevolg van vochtigheid in de buitenlucht en vochtproductie door interne bronnen.

Daarom wordt in dit onderzoek een vergelijkende simulatiemethode gehanteerd die laat zien in welke mate het meerekenen van hygrische aspecten invloed heeft op de gelijkwaardige methode voor thermisch comfort simulatie in het BBL.

6.2 Methode & uitgangspunten

De samenvatting van simulatiemethoden en uitgangspunten voor dit onderzoek is gegeven in Appendix B.

6.2.1 Software

Energyplus heeft een module die in – en uit te schakelen is, waardoor het effect van hygrische uitwisseling op relatief eenvoudige wijze kan worden meegerekend. Deze module voor vocht uitwisselingen is zeer vereenvoudigd. Deze neemt in ieder geval niet het watertransport mee, de werkelijke opslag eigenschappen en de ‘snelheid’ waarin de opslag beschikbaar is. Er zijn programma’s die hier verder in gaan, waarmee nog meer dynamische en gedetailleerde effecten worden meegerekend, dit betreft bijvoorbeeld WUFIplus. De keuze voor Energyplus sluit aan bij het basis onderzoek én is voor toekomstig gebruik meer toegankelijk voor de markt.

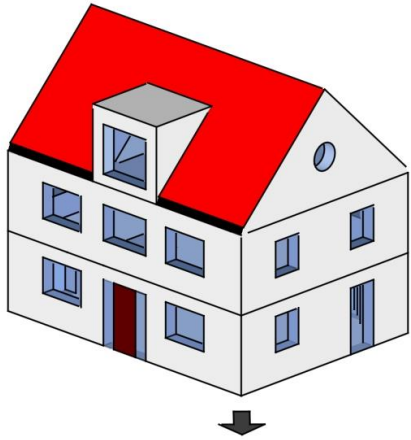
Er worden twee simulaties uitgevoerd met dezelfde geometrie, constructies en uitgangspunten, maar met het verschil in de rekenmodule:

- 1. Thermische simulatie conform Omgevingsregeling Bijlage XVI
- 2. Thermische simulatie inclusief hygrische uitwisseling met constructie

6.2.2 Geometrie

Er wordt voor een typologie gekozen die zo goed mogelijk weergeeft hoe **passieve** ontwerpmethoden in combinatie met **biobased** bouwmaterialen met lage specifieke warmtecapaciteit samenwerken om met minimale actieve systemen te komen tot een prettig thermisch binnenklimaat. Tevens wordt gekozen voor uitgangspunten die aansluiten bij het basis onderzoek.

- Keuze voor typologie ‘woningbouw’, omdat de oververhitting methodiek in de Omgevingsregeling Bijlage XVI daarop is ingericht.
- Keuze uit een van de eerder geselecteerde typologieën in het basis onderzoek. Voorkeur voor een geometrie die aansluit bij het marktaandeel van Passieffhuis ontwerpmethoden. Daarom keuze voor ‘woning 14, vrijstaand L’. Betreft een relatief ruime en compacte woning.

Voorbeeld passieffhuis woning met strobouw	Keuze simulatie: Woning 14, Vrijstaand – L
	

- De typologie Woning 14 uit de RVO-referentie is opgesteld voor energiesimulaties, die geen onderscheid maken in verblijfsruimten. Voor simulatie van thermisch comfort dient te gebeuren voor **alle verblijfsruimten** in de woning. In de omschrijving van de woning is daartoe een typische indeling opgesteld. Alle ruimten worden meegenomen in het onderzoek.

6.2.3 Constructies

Uitgangspunt voor de simulaties is in beide gevallen een biobased en dampopen constructie voor de gevels en daken. Daarbij wordt aangesloten bij de relatief hogere isolatiewaarden zoals gehanteerd in de Passiefhuis methoden.

Ter inzage van de maximale effecten wordt niet alleen gerekend met de biobased dampopen constructie met houtvezel, maar wordt ook een variant doorgerekend met stro als isolatiemateriaal. Dit materiaal (of in ieder geval de beschikbare gegevens in de databank) heeft een hogere mate van vochttopslag capaciteit.

Voor beide varianten wordt gerekend zonder afwerking aan de binnenzijde, om het maximaal mogelijke effect van de vochtuitwisseling inzichtelijk te maken. In de praktijk kan dit worden benaderd door bijvoorbeeld poreuze plaatmaterialen of bijvoorbeeld leemstuc.

6.2.4 Simulatie uitgangspunten

Voor de simulatie worden primair de uitgangspunten gevolgd zoals in de bijlage van de Omgevingsregeling. Om het effect van hygrische uitwisseling het best weer te geven, wordt voor de installaties gekozen voor de volgende eigenschappen, afwijkend van de energiesimulaties:

- Ventilatieconcept op basis van minimaal energie- en vochtverlies: mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning met enthalpiewisseling, zonder regeling op RV/CO₂. Capaciteit volgens minimum BBL.
- Externe zonwering toegepast, forfaitair met uitvalschermen conform NTA 8800.
- Spuiventilatie toegepast met basis capaciteit en verdeling over de ruimten, overeenkomstig de toegestane tijdstippen volgens Omgevingsregeling Bijlage XVI.
- Inclusief zomernachtventilatie toegepast, uitgaande dat in ontwerp rekening kan worden gehouden met vereiste maatregelen (inbraak, insectenwering e.d.) zoals gesteld in NTA 8800.
- PMV berekend met clo-waarden en metabolisme conform bijlage Omgevingsregeling.

6.3 Resultaten

6.3.1 Gewogen temperatuur overschrijding (GTO)

GTO is het aantal gewogen overschrijdingsuren; bepaald volgens:

- Uren met $0,5 \leq PMV < 2,5$
- Gewogen volgens: $0,47 + 0,22 \cdot PMV + 1,3 \cdot PMV^2 + 0,97 \cdot PMV^3 - 0,39 \cdot PMV^4$, waarbij uren met een PMV van 2,5 of hoger een factor van 10 krijgen.

6.3.2 Resultaten GTO

Onderstaande resultaten zijn bepaald in een systeem zonder actieve koeling. Er wordt niet getoetst aan de grenswaarde van 450 GTO om te voldoen aan de eisen, maar juist verschil tussen de resultaten van de simulatiemethoden is relevant voor deze studie:

Tabel 13: Resultaten thermisch/hygrisch comfort in GTO

		Thermisch comfort resultaten, in GTO			
Nr.	Functie	1A	1B	2A	2B
		Houtvezel, thermisch	Houtvezel, thermo-hygrisch	Stro, thermisch	Stro, thermo-hygrisch
VR0.1	Begane grond	6837	6877	6871	6823
VR1.1	Kamer, NW	6558	6588	6619	6585
VR1.2	Kamer, N	6113	6132	6157	6129
VR1.3	Kamer, Z	6833	6875	6892	6843
VR1.4	Kamer, ZO	6399	6429	6422	6399
VR2.1	Zolder	4324	4334	4338	4335

Tabel 14: Resultaten thermisch/hygrisch comfort in % en uren afwijking GTO.

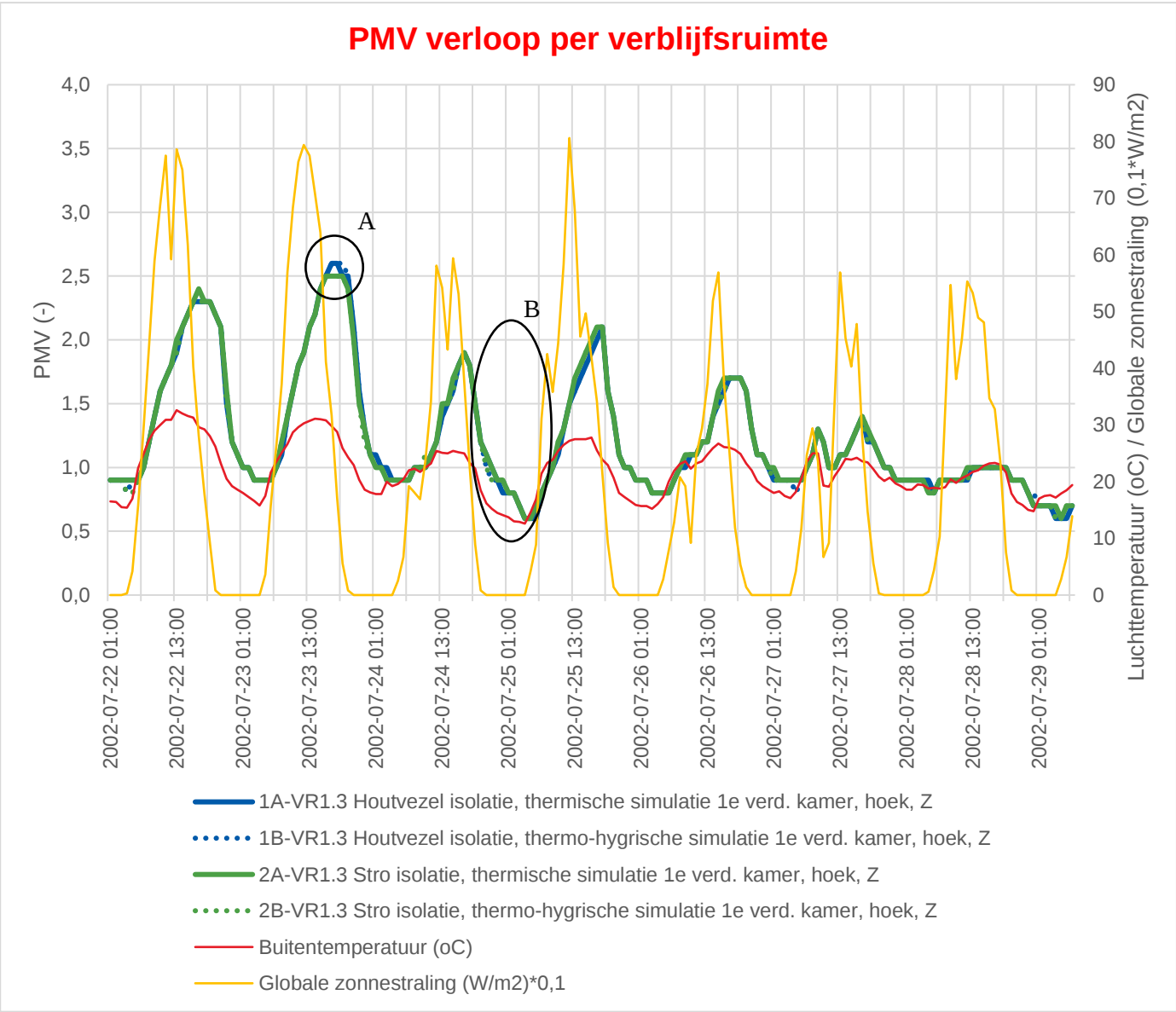
		Thermisch comfort resultaten, in GTO					
Nr.	Functie	1A	1B		2A	2B	
		Houtvezel, thermisch	Houtvezel, thermo-hygrisch		Stro, thermisch	Stro, thermo-hygrisch	
VR0.1	Begane grond	100%	+0,59%	+40	100%	-0,70%	-48
VR1.1	Kamer, NW	100%	+0,46%	+30	100%	-0,52%	-35
VR1.2	Kamer, N	100%	+0,33%	+20	100%	-0,46%	-28
VR1.3	Kamer, Z	100%	+0,62%	+42	100%	-0,72%	-50
VR1.4	Kamer, ZO	100%	+0,47%	+30	100%	-0,36%	-23
VR2.1	Zolder	100%	+0,22%	+10	100%	-0,08%	-4

In de resultaten zijn de volgende trends zichtbaar:

1. Zeer grote aantallen GTO in alle varianten en alle verblijfsruimten, in verband met geen optimaal passief ontworpen geometrie, geen actieve koeling.
2. Varianten met stro constructie in de thermische simulatie iets hogere GTO-resultaten dan houtvezel (tussen 14 en 61 GTO). Dit valt te verklaren vanuit de hogere warmtecapaciteit, waardoor warmte langer/beter wordt vastgehouden. Dit is een nihil verschil.
3. Alle varianten met houtvezel, hebben in geval van de hygrische simulatie een hoger aantal GTO. Dit verschil is tevens nihil, procentueel allen onder de 1%.
4. Alle varianten met stro hebben in geval van de hygrische simulatie een lager aantal GTO. Ook dit verschil is nihil, procentueel allen onder de 1%.
5. De grootste wijzingen in GTO zijn te vinden in de ruimten met relatief grote zonbelasting en in de basis de hoogste GTO's, namelijk de begane grond (deels op zuid georiënteerd) en VR1.3, kamer op 1^e verdieping aan de zuidzijde.

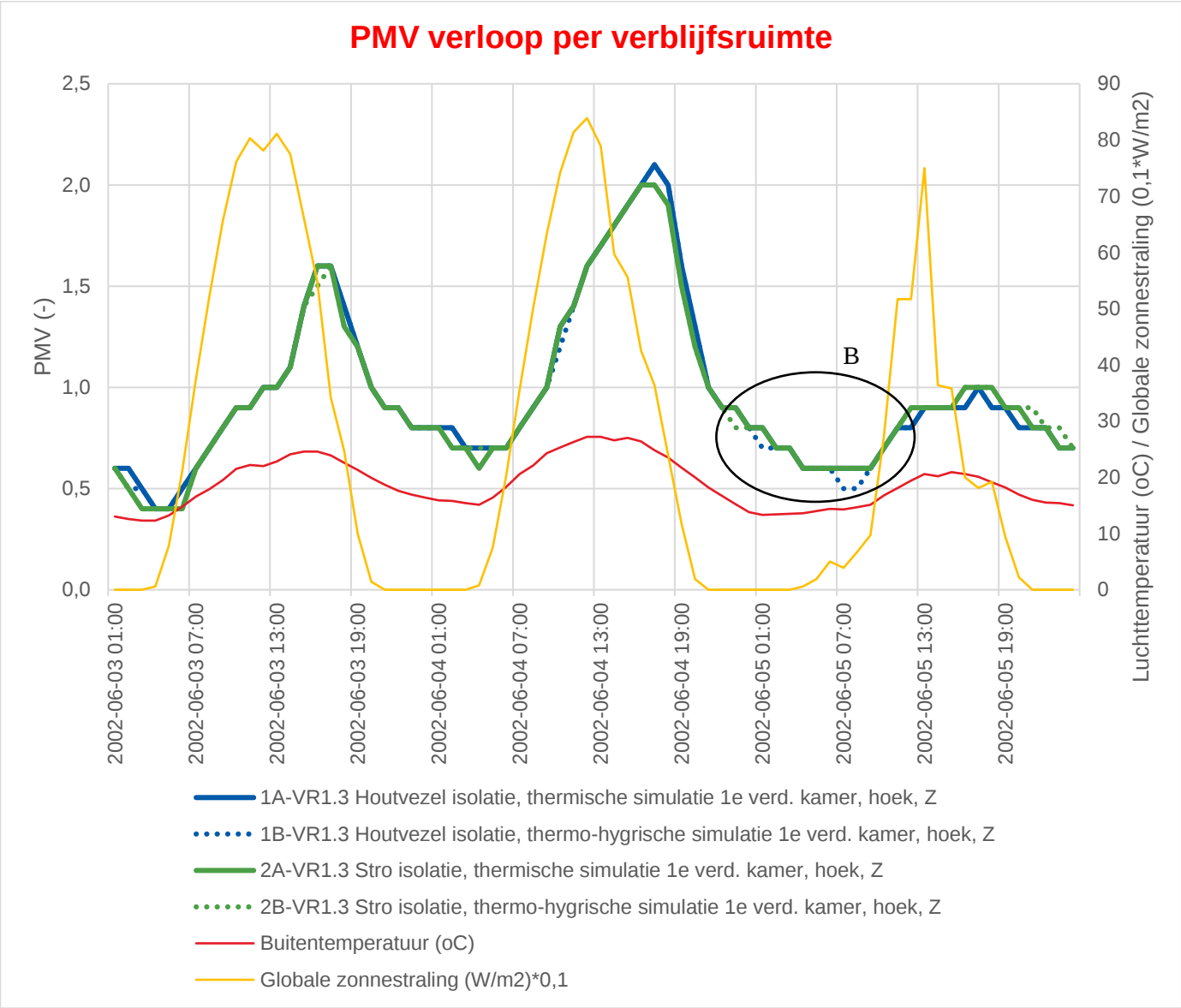
Zie Figuur 36 voor het verschil in PMV-verloop voor ruimte 1.3 (1^e verdieping op zuid) voor zowel houtvezel als stro. Hierin wordt duidelijk dat de PMV-waarden van beide varianten sterk worden beïnvloed door de piekbelasting

van zonnestraling, ondanks de aanwezige screens. Bij de variant met houtvezel zijn de pieken iets hoger (A), door de lagere warmtecapaciteit. Beide varianten koelen redelijk goed terug in de nacht (B), waaruit blijkt dat de lichte constructie in combinatie met zomernachtventilatie effectief is.



Figuur 36: Vergelijk houtvezel versus stro, beide thermische simulaties

Figuur 37 laat voor een periode met gematigde buitentemperaturen enkele voorbeelden zien waar de PMV-waarden in de hygrische simulatiemethode afwijken van de uitsluitend thermische simulatie. De momenten waarop afwijkingen optreden verschillen per constructie. Dit kan een gevolg zijn van de wijze waarop PMV is bepaald, namelijk mede door de *relatieve* vochtigheid, welke niet alleen door het vochtgehalte maar ook door de ruimtetemperatuur wordt beïnvloed. Verlagen in PMV-waarden door de hygrische simulatie is in aanduiding (B) gegeven.



Figuur 37: PMV-verloop per verblijfsruimte waarbij enig verschil in hygrische simulatie zichtbaar is.

Uit detail analyse van de data blijkt dat op de momenten wanneer er een verschil ontstaat in PMV als gevolg van hygrisch rekenen, deze hoofdzakelijk het gevolg is van een verandering in ruimtetemperatuur. Het werkelijk vochtgehalte in de ruimte blijft vrijwel ongewijzigd.

6.4 Discussie

Het onderzoek is uitgevoerd middels een referentiewoning, waarbij niet optimaal is ontworpen op het beperken van oververhitting in de zomer. Bij reductie van het totaal GTO door goed passief ontwerp zullen de marges en impact van het hygrisch model wijzigen, al wordt niet verwacht dat de impact op PMV-reductie significant wordt.

Het werkelijke comfort voor de variant houtvezel of de variant stro in de ruimte verandert niet; de simulaties tonen alleen dat er verschil in *rekenwaarden* zijn afhankelijk van de gekozen methode.

De toegepaste software voor bepaling van de interactie van vocht tussen constructie en ruimte is relatief eenvoudig. Een complexere rekenmethode (zoals WUFIplus) is in wetenschappelijk onderzoek al gevalideerd aan gemeten waarden en daarmee meer betrouwbaar [18]. Er zijn waarschijnlijk varianten te bedenken waar de verschillen tussen wel/niet hygrisch rekenen beter tot uiting komen, bijvoorbeeld in woningen die zeer goed de zon weren (overstekken in plaats van screens) en waar de behoefte aan spui- en zomernachtventilatie minimaal is om het binnenklimaat te beheersen. Dit is te verwachten, aangezien een variant die was doorgerekend zonder zomernachtventilatie veel grotere verschillen liet zien tussen wel- en niet hygrisch rekenen, waarbij het aantal GTO tot 10% lager was bij het meerekenen van hygrische uitwisseling. Om deze methode breed toepasbaar te maken, zou een validatiemethode

voor hygrische simulaties nodig zijn, zoals nu beschikbaar is voor thermische simulaties (BESTEST / ASHRAE 140).

6.5 Conclusies hygrisch & comfort

Uit de analyse komt niet significant naar voren dat het meerekenen van hygrische eigenschappen invloed heeft op het berekende thermisch comfort in de ruimte.

De gevonden resultaten zijn daarom niet significant om bijvoorbeeld aanleiding te geven tot aanpassing van TO_{juli} , noch om deze wijze van bepaling van het thermisch comfort toe te staan in de bijlage bij Omgevingsregeling Bijlage XVI.

7. Conclusies

Het doel van het project is het identificeren van beperkingen voor biobased materialen in de Nederlandse norm voor energieprestatie van gebouwen in Nederland: NTA 8800. Hiertoe is middels literatuurstudie en marktverkenning beschouwd welke aspecten van biobased materialen hiermee verband houden. De invloed van de belangrijkste aspecten, zoals de warmtecapaciteit en het hygrisch vermogen is vervolgens beschouwd middels simulaties. Door kalibratie van deze simulaties aan de NTA 8800 maandmethode zijn conclusies getrokken over de invloed op de energieprestatie en het thermisch comfort.

Hierna wordt per onderdeel een overzicht gegeven van de conclusies. De algehele samenhang is omschreven in de samenvatting van dit rapport.

7.1 Literatuurstudie & marktverkenning

De literatuurstudie en marktverkenning hebben als doel om te beschouwen welke aspecten van biobased materialen invloed hebben op de resultaten van de energieprestatieberekening volgens NTA 8800.

- Met betrekking tot beschikbare technische data van biobased materialen: voor goede representatie van de beschikbare producten en verwerkingsmethoden is uitbreiding van de set met forfaitaire waarden van warmtegeleidingscoëfficiënten benodigd.
- Met betrekking tot de rekenmethoden voor de warmtecapaciteit: er bestaat een onderscheid tussen statische en dynamische bepaling van de capaciteit. Bij dynamische bepaling kan worden gekozen voor volledige en gedetailleerde uurlijkse simulatie of een uitgebreide rekenmethode die tijdseffecten meeneemt. Tijdseffecten zijn bijvoorbeeld de aanpassing van setpoints voor de ruimtetemperatuur of snelheid van regelen van installaties. In de NTA 8800 wordt gerekend met de statische methode. De invloed van de warmtecapaciteit op de NTA 8800 berekening is bij zeer energiezuinige ontwerpen significant.
- De warmtecapaciteit houdt verband met het begrip ‘faseverschuiving’ wat in de biobased markt als belangrijk begrip wordt aangehaald voor de mogelijk positieve effecten op comfort en energiegebruik. Het begrip is direct gerelateerd aan de thermische traagheid en dus de warmtecapaciteit. Een belangrijk aspect binnen de methode NTA 8800 is de bepalingmethode van warmtecapaciteit: in de NTA 8800 wordt deze uitsluitend van binnenuit beschouwd en tot beperkte diepte. In ofwel de uitgebreide methode volgens EN 13786 of dynamische simulatiemethoden wordt de volledige constructie opbouw beschouwd. In geval van biobased isolatiematerialen leidt dit tot rekenen met een iets hogere warmtecapaciteit oftewel meer traagheid dan bij vergelijkbare constructies met minerale wol of kunststof isolatiematerialen met lagere massa.
- Op basis van de studies met betrekking tot benuttingsfactoren ([14] en [15]) wordt verwacht dat er een afwijking wordt gevonden, met name in de energiebehoefte voor koeling bij zowel lichte als zware constructies, bij kalibratie tussen de NTA 8800 en uurlijkse simulatie. Naar verwachting wordt de koudebehoefte onderschat en is de invloed van de warmtecapaciteit op deze energiebehoefte kleiner dan nu wordt weergegeven in de NTA 8800, waardoor het verschil tussen zware en lichte constructies kleiner wordt.
- In de studie naar hygrothermische invloed van leem-hennep wanden [11] wordt onderbouwd dat de invloed van vocht op de warmtecapaciteit, en daarmee op de faseverschuiving, wél effect hebben op korte cycli (bijv. 24 uurlijkse dag/nacht perioden), maar nihil zijn op jaarlijks energiegebruik (365 dagen, incl. seizoensvariatie), waar NTA 8800 zich op richt. Er wordt dus niet verwacht dat er significante verschillen zijn te vinden bij het meerekenen van hygrische uitwisseling op de jaarlijkse energiebehoefte, mogelijk wel bij beoordeling over kortere periodes zoals bij thermisch comfort waar enkele weken of maanden worden beschouwd.

7.2 Dynamische simulaties ter ijking van de maandmethode conform de NTA 8800

Middels uurlijkse (dynamische) simulaties is onderzocht of de resultaten van de maandmethode NTA 8800 overeenkomen met de verwachte (realistische) uitkomsten bij simulatie. Hiertoe is initieel een kalibratie gemaakt met eenvoudige geometrie, waarna middels een variantenstudie een voorstel is gemaakt voor aanpassingen aan (benuttings)factoren in de maandmethode.

7.2.1 (Benuttings)factoren

In het deelonderzoek naar overeenstemming tussen de maandmethode NTA 8800 en dynamische simulaties zijn de volgende hypothesen gesteld, waarop de volgende antwoorden zijn gevonden:

Hypothese 1: ‘Lichte constructies’ presteren slechter in de NTA 8800 beoordeling dan in dynamische simulaties.

- **Lichte constructies of biobased?** Uit de resultaten en ook eerdergenoemde literatuur blijkt dat de thermische massa van het gebouw directe invloed heeft op de energiebehoefte voor verwarming en koeling. De energievraag van het gebouw is niet per se gerelateerd aan het gebruik van biobased of niet-biobased materialen, maar aan de thermische massa (specifieke warmtecapaciteit) van de gehele constructie-opbouw. In geval van biobased constructie-opbouwen geven dynamische simulaties meer reële waardes omdat hierin geen begrenzing van de werkzame dikte wordt gehanteerd. Daardoor zijn in dynamische simulaties biobased constructies ‘thermisch zwaarder’ dan in de maandmethode van de NTA 8800.
- **Licht versus zwaar, totaal:** wanneer puur vergelijk wordt gemaakt tussen hoge en lage warmtecapaciteit (licht of zwaar) dan laten zware constructies een lagere energievraag zien dan lichte constructies, zowel in NTA 8800- maandmethode als bij dynamische simulaties. Dit is gecontroleerd voor de energievraag volgens BENG1. De resultaten laten ook zien dat bij gebruik van de dynamische simulaties het verschil in energiebehoefte tussen een lichte en een zware constructie kleiner is dan bij gebruik van de maandelijksse methode volgens de NTA 8800.
- **Kalibratie, warmte en/of koude?:** de uitkomsten uit de maandmethode en de uurlijkse methode voor *verwarming* komen goed met elkaar overeen, want er wordt een verschil <10% gevonden, wat ook op basis van de literatuur verwacht wordt. De *koelbehoefte*s in de dynamische simulaties zijn daarentegen veel hoger dan wat de maandelijksse methode voorspelt, zowel voor hoge en lage warmtecapaciteit. Dit is volgens de verwachtingen, aangezien bekend is dat de benuttingsfactor in de NTA 8800 meer gekalibreerd is op de warmtebehoefte dan op de berekeningen voor koelbehoefte.

Licht versus zwaar, koelbehoefte: de gevonden afwijking tussen NTA 8800 en dynamische simulaties voor de koelbehoefte wordt nog meer merkbaar wanneer wordt vergeleken tussen lichte en zware constructies. Er is niet alleen een verschil tussen de rekenmethode, maar het verschil in uitkomsten *is groter* bij lichte constructies dan bij zware constructies. Beide methoden laten zien dat lichte constructies een grotere energiebehoefte (som van verwarming- en koelbehoefte) hebben bij uitgangspunten conform de NTA 8800 methode, maar het verschil in koelbehoefte blijkt bij de dynamische simulaties veel kleiner dan de resultaten die NTA 8800 geeft. Het ervaren effect van snellere opwarming wordt in NTA 8800 dus meer uitvergroot dan volgens dynamisch gedrag kan worden verklaard.

Hypothese 2: Discrepanties in de NTA 8800 methode worden veroorzaakt door de benuttingsfactor.

Dit onderzoek is gebaseerd op typologie woningbouw en onderzocht voor isolatiewaarden conform bestaande bouw en nieuwbouw-eisen.

- **Kalibratie met benuttingsfactor (α en τ), plus c:** In een eerste poging om een betere afstemming tussen de resultaten te bereiken, is een reeks correctiefactoren c , α en τ bepaald voor zowel de verwarmings- als koelvraag voor verschillende constructietypes. Dit is in lijn met de verwachtingen zoals gevonden in de literatuur [15] voor de α en τ en voor de correctiefactor c kan een verband worden gezocht met de bevindingen over dynamische warmtecapaciteit zoals omschreven in paragraaf 2.3.5.3. Zie ook de conclusies hierover in de literatuurstudie.
- Wanneer de genoemde factoren worden aangepast, zullen de sterke afwijkingen, die nu worden gevonden in de kalibratie tussen de maand- en uurlijkse methoden worden afgezwakt. Vooral de energiebehoefte voor koeling die in dat voorbeeld bijna tweemaal lager is in NTA 8800 dan gevonden in EnergyPlus worden aangepast zodanig dat we waarden elkaar meer benaderen. Het verschil tussen de gevonden energiebehoefte voor een woning met hoge- of lage thermische massa is volgens de simulaties dus kleiner dan nu als uitkomst wordt gegeven in NTA 8800. Aanpassing van de factoren verkleint dit verschil en brengt de resultaten van NTA 8800 dus beter in lijn met de ‘werkelijke verwachte’ energiebehoefte zoals gevonden in uurlijkse simulaties.
- **Kalibratie bij zwaar of licht:** De aanpassingen die nodig bleken voor de genoemde factoren zijn groter voor constructies met lagere warmtecapaciteit (lichte constructies, bijvoorbeeld biobased) dan de benodigde aanpassingen voor constructies met hogere warmtecapaciteit (zwaar, ookwel traditioneel). Dit is in lijn met de afwijkingen tussen dynamische en maandmethoden die Kalema et al [14] vonden bij onderzoek naar benuttingsfactoren voor noordelijke klimaten.

- **Impact:** Bij toepassing van de gewijzigde factoren is er significante impact op de resultaten voor de energieprestatie indicatoren: EP1, EP2 en EP3. Voor de totale som van verwarmings- en koelbehoefte met een basis ventilatiesysteem C1 (BENG 1) is de invloed >>10%, voor primair fossiel energiegebruik (BENG 2) en het aandeel hernieuwbaar (BENG 3) is de invloed tussen de 3 en 6%. Op alle vlakken daarmee relevant om te agenderen voor herijking van de NTA 8800 bepalingmethode.
- **Invloed van massa:** Uit de simulaties blijkt dat het onderlinge verschil tussen hogere en lagere warmtecapaciteiten en de invloed daarvan op de energiebehoefte kleiner is dan momenteel uit de NTA 8800 resultaten volgt. Wanneer dit beter wordt gerepresenteerd in de rekenmethodiek, ontstaat een ‘gelijker speelveld’ voor constructies met hogere en lagere warmtecapaciteit, bijvoorbeeld voor steenachtige en biobased materialen. Dit is in lijn met parallel onderzoek van TU/e naar energiebesparingsmaatregelen bij woningbouwrenovaties (Renovatieverkenner).
- **Verder onderzoek:** Deze studie onderzocht alleen variaties van één specifiek gebouwtype, namelijk rijwoning 10. Om robuuste en definitieve conclusies te kunnen trekken over de correctiefactoren, wordt aanbevolen om de dataset uit te breiden met verschillende gebouwtypes en -functies. Het onderzoeken van een breder scala aan gebouwtypen zal helpen om de effectiviteit en universaliteit van de correctiefactoren te beoordelen en ervoor te zorgen dat de bevindingen breed toepasbaar zijn. Door deze uitbreiding kan worden bepaald of aanvullende aanpassingen of nieuwe parameters nodig zijn om de nauwkeurigheid van de energievraagvoorspellingen verder te verbeteren.

7.2.2 Hygrisch effect op energieprestatie

Gezien de relatie tussen biobased materialen en hygrische capaciteiten is er een sterke behoefte uit de markt om te onderzoeken of de uitwisseling van vocht invloed heeft op de energiebehoefte voor warmte en koude. Middels een gesimplificeerde methode is onderzocht of de wijziging van de vochtigheid in de ruimte invloed heeft op het thermisch comfort en daarmee op de energiebehoefte, door een HSB-constructie met minerale wol te vergelijken met biobased houtvezel isolatie.

In de uitgevoerde simulaties is middels WUFI het vochttransport inzichtelijk is gemaakt. De invloed van het vocht o ruimtecomfort is via de PMV-methode vertaald in aangepast temperatuursetpoint voor verwarming (ten opzichte van de basiswaarde 20°C). Dit aangepaste setpoint is gehanteerd in het gekalibreerde BESTEST model in EnergyPlus om de jaarlijkse energiebehoefte voor warmte en koude te bepalen. Het verschil tussen de resultaten met- en zonder vochttransport blijkt nihil voor het jaarlijks energiegebruik. Een tweede methode is getest, waarbij is gerekend met een verkorte hygrische module in EnergyPlus (EMPD). De uitkomsten hiervan zijn vergelijkbaar aan de verrekening via WUFI en PMV: het verschil is nihil.

De resultaten laten zien dat er wel vochttransport plaatsvindt tussen de wandconstructie en de ruimte, maar dat de invloed hiervan op het jaarlijks energiegebruik, uitgaande van het gebruiksprofiel en de setpoints zoals vastgesteld in NTA 8800, nihil is. Het uitgangspunt van NTA 8800 om geen hygrische aspecten mee te rekenen in de maandmethode sluit dus aan bij de resultaten van uurlijkse simulaties.

7.2.3 Hygrisch effect op thermisch comfort

Vergelijkbaar aan de verwachte invloed van hygrische uitwisseling op de jaarlijkse energiebehoefte, is ook gecontroleerd of de invloed op thermisch comfort (via de PMV/GTO methode) kan worden gevonden voor een typische geometrie die veel wordt gebruikt in passiefhuis ontwerpen. Het toegepaste model toont hoge waarde voor de temperatuuroverschrijdingen, die zoveel mogelijk worden beperkt door toepassing van zomernachtventilatie.

In de gewogen temperatuuroverschrijdingen (GTO) is geen significant verschil gevonden tussen het wel- en niet meerekenen van hygrische uitwisseling. Dit is onderzocht voor zowel een dampopen houtvezel isolatie alsook een variant met dampopen stro-isolatie. Mogelijk zijn er verschillen te vinden in geval van geoptimaliseerde ontwerpen die sterk gericht zijn op het passief buitenhouden van zoninstraling (middels bijvoorbeeld overstekken), omdat in die gevallen het effect van (zomernacht)ventilatie op de vochtigheid in de ruimte kleiner is.

7.3 Algemeen

De NTA 8800 is een rekenmethode om op hoofdlijnen de energieprestatie van gebouwen vast te stellen, bij gelijkgesteld gebruik. De opzet als maandmethode leidt tot enerzijds vereenvoudiging de dynamische thermische effecten, hygrische aspecten worden niet meegewogen en eventuele synergetische effecten tussen type installaties en

gebouw worden niet beschouwd. Dergelijke aspecten komen wel tot uiting in uurlijkse simulatiemethoden, eventueel met daarin meer- of minder gedetailleerde hygrische modules.

Zoals ook uit gesprekken met belanghebbenden blijkt, is de keuze voor de maandmethode gestoeld op praktische toepasbaarheid: de rekentijd is kort en geeft onderling goed vergelijkbare uitkomsten waarbij de uitgangspunten relatief snel controleerbaar zijn.

Het uitgevoerde onderzoek laat zien dat er verbetermogelijkheden zijn in de NTA 8800, zoals aanscherping van de (benuttings)factoren, dynamische bepaling van warmtecapaciteit en uitbreiden van forfaitaire materiaalwaarden. Deze verbeteringen leiden tot een gelijker speelveld in het vergelijk tussen biobased materialen en de traditionele bouwpraktijk (enerzijds meer massieve zware materialen, anderzijds lichter minerale isolatie).

Naar aanleiding van dit onderzoek volgen hierna daarom adviezen die getrapd zijn; van relatief eenvoudige aanpassingen aan de huidige maandmethode tot een einddoel richting een gestandaardiseerde methode voor uurlijkse simulatie, eventueel inclusief hygrische aspecten.

8. Aanbevelingen

Uit het onderzoek blijkt dat op meerdere aspecten verbetering mogelijk is in het ontwerpproces, bij de toepassing van normen of bij aanscherping daarvan. Alle aanbevelingen zijn per doelgroep samengevat waarbij op hoofdlijnen is aangeduid hoe groot de invloed is op het huidige proces of kosten.

8.1 Product- en materiaaldata

Doelgroep	Aanbeveling	Omvang van voorgestelde wijziging
Ontwerpers/adviseurs	Bij gebruik van NTA 8800 voor niet-fabrieksmatige isolatielagen en in situ toepassingen (bijv. na-isolatie bestaande bouw) in geval van biobased materiaalkeuze alert zijn op de verouderingsfactor F_A : wanneer geen nadere onderbouwing dient de forfaitaire waarde te worden aangehouden, tenzij aantoonbaar betere waarde van product beschikbaar (zie tabel E.5).	Beperkt, nadere onderbouwing op projectniveau.
Leveranciers / branche organisaties / Projectgroep NTA 8800	Uitbreiden definitie situaties voor toepassing verouderingsfactor F_A 1,0 kan worden toegepast; incl. situaties voor na-isolatie.	Minimaal; voorstellen reeds beschikbaar, maar nog niet toegepast in herziene versie januari 2024.
NTA 8800 projectgroep	Uitbreiden dataset met gedeclareerde λ_D -waarden.	Beperkt; voorstel reeds beschikbaar in NTA 8800 Projectgroep; moment van implementatie te bepalen.

8.2 Bepaling warmtecapaciteit & faseverschuiving

Voor bepaling warmtecapaciteit bij gebruik in maandmethoden zijn er alternatieven gevonden; hieronder toegelicht hoe dit kan worden toegepast in ontwerp en regelgeving.

Doelgroep	Aanbeveling	Omvang van voorgestelde wijziging
Ontwerpers, adviseurs	Bij ontwerpen met biobased isolatiematerialen of constructies, is het advies om gebruik te maken van de dynamische warmtecapaciteit bepaling volgens in ISO 13786. Bij keuze voor de te hanteren beoordelingsperiode is het advies om gebruik te maken van 2 dagen, zodat voor verwarming de effecten van nachtverlaging enigszins worden meegenomen en voor koeling het effect van opeenvolgende warme dagen. Een en ander als gelijkwaardigheid op de nu beschikbare Bijlage B methode.	Beperkt, in verband met publiek beschikbare rekentools; enige kostenverhoging in verband met dynamische berekening en invoer via Bijlage B methode
Leveranciers / branche organisaties	Specifieke benoeming van de faseverschuiving van het materiaal als onderdeel van typische opbouwen, inclusief de benoeming van het uitgangspunt voor de rekenperiode die wordt gehanteerd en daarmee aanduiding van het doel van de waarde.	Beperkt; betere informatieverstrekking.
NTA 8800 projectgroep	Nadere specificatie opnemen voor toepassen van de gelijkwaardige methode voor bepaling van de specifieke warmtecapaciteit als alternatief voor de huidige steady-state Bijlage B berekening bij bepaling van de effectieve interne warmtecapaciteit. Onder andere daarin vastleggen welke periode van berekening van toepassing is. Door toepassing van de gelijkwaardige methoden kunnen begrenzingen zoals toegepast in de steady-state methode (dikte maximaal 10 cm of 0,25 Rc-waarde) komen te vervallen.	Beperkt; gelijkwaardige methode.
NTA 8800 projectgroep	In aanvulling op bovenstaande; eventueel verwerken van de inzichten van de dynamische methode in de huidige bepaling van de specifieke warmtecapaciteit. Optimaal zou zijn om per doel in de rekenmethode (verwarming, koeling, oververhitting) een relevante periode vast te stellen.	Significante impact op de resultaten uit de EP-berekeningen; aanpassing van meerdere formules om per doel een andere warmtecapaciteit mee te rekenen.

8.3 Bepaling energiebehoefte

Om te komen tot een optimale methode voor bepaling van energiebehoefte, die een gelijk speelveld geeft voor verschillende typen constructies, aansluit bij de ontwikkeling van de markt en die ingepast kan worden in Nationale of Europese regelgeving, wordt een drietal stappen gegeven in de ontwikkeling, die kunnen worden ingezet op korte, middellange en lange termijn en daarmee ook een hiërarchie hebben in kwaliteit, van laag naar hoog:

Doelgroep	Aanbeveling	Omvang & volgorde van voorgestelde wijziging
VRO	Aanpassen grenswaarde Uit de simulatie van de doorgerekende rijwoning blijkt dat voor alle klassen van warmtecapaciteit een afwijking wordt gevonden in resultaten tussen de maandmethode NTA 8800 en de uurlijkse simulatie. Uit de kalibratie blijkt dat voor de energiebehoefte voor verwarming de verschillen klein zijn, maar dat voor de koelbehoefte er een afwijking in de resultaten zit. Die afwijking in resultaten blijkt daarbij nog groter bij constructies met lage warmtecapaciteit dan bij hoge warmtecapaciteit. De invloed van deze afwijking blijkt, na toepassing van de NEN Validatietool significant voor EP1 en beperkt voor EP2 en EP3. Uit aanvullende doorrekeningen van vele typologieën moet blijken in welke mate deze trend zich doorzet. Als daaruit blijkt dat het voor vele typologieën relevant is, kan een eenvoudige aanpassing worden gevonden in de aanpassing van de vereiste grenswaarde voor de energiebehoefte (EP1) en eventueel voor de andere indicatoren EP2 en EP3. Een dergelijke maatregel is reeds toegepast en kan worden besloten door wijziging in het BBL vanuit het ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO). Dit zou een verhoging betekenen van de nu al geldende aangepaste grenswaarde gebouwen met lage warmtecapaciteit, zoals in artikel 4.141.a van BBL. Hierin is omschreven dat voor gebruiksfuncties in een gebouw een naar gebruiksoppervlak gewogen gemiddelde specifieke interne warmtecapaciteit van 180 kJ/m²K of minder, de energiebehoefte (EP1) worden verhoogd met 5 kWh/m²jr. In afwijking op bovenstaande, zou volgens de nu uitgevoerde simulaties een aanpassing van de grenswaarde moeten worden gehanteerd voor alle ‘gewichtsklassen’ waarbij de aanpassing groter is voor lage warmtecapaciteit.	Korte termijn: beperkte inzet nodig door aanpassen beleid
Projectgroep NTA 8800	Aanpassen (benuttings)factoren Een aanpassing die meer inzet vraagt is een wijziging van de (benuttings)factoren voor bepaling van de warmte- en koudebehoefte per maand, middels de factoren α en τ en c. Deze aanpassing behoeft een uitbreiding van de uitgevoerde simulaties voor meer typologieën en systeemvarianten, alsook verschillende gebruiksfuncties. Het voordeel is dat het een aanpassing is die kan worden doorgevoerd binnen de huidige maandmethode NTA 8800 waarmee het voordeel van de relatief eenvoudige en snelle rekenmethode behouden blijft. De aanpassing van de factoren zal, zoals aangeduid een wijziging betekenen van de EP-indicatoren en daarmee op de (afgegeven) energielabels.	Middellange termijn: vereist nadere simulaties voor herijken factoren met meer typologiën
RVO / Projectgroep NTA 8800	Dynamische simulatie voor bepaling energieprestatie Een technisch optimale oplossing is het uitwerken van een methode voor uurlijkse (ofwel dynamische) simulaties, waarmee de korte termijn effecten van bijvoorbeeld lichte constructies of snel regelende installatieconcepten goed kunnen worden vertaald in energieprestatie. De uitdaging hierbij is om de invoerparameters en de kwaliteit van de rekenmethode zodanig te dicteren dat: – de uitkomsten tussen de simulaties onderling vergelijkbaar zijn; – de uitkomsten overeenkomstige waarde hebben als de huidige energielabels die bepaald zijn met de maandmethode – in lijn zijn met de normen binnen EPBD (4) – de methodiek niet te complex wordt – de methodiek niet leidt tot langere opnametijd voor gebouwen Momenteel is er in Nederland geen goede gelijkwaardige methode beschikbaar voor bepaling van de energieprestatie, die resulteert in de drie indicatoren (EP1, EP2 en EP3) waaraan moet worden getoetst. De aanbeveling is om ofwel de methodiek voor deze als alternatieve methode op te zetten (vergelijkbaar aan de methode voor bepaling van risico op oververhitting) ofwel om de gehele maandmethode om te zetten naar uurlijkse simulatie. Daarbij dient dan aandacht te	Lange termijn: vereist herziening energieprestatie methodiek

Doelgroep	Aanbeveling	Omvang & volgorde van voorgestelde wijziging
	worden besteed aan de procedurele eisen zoals kwaliteitsborging conform BRL 9500, opnameprotocollen voor bestaande gebouwen en registratie van de EP-berekening in EP-online. Eén van de uitdagingen hierbij is de fictieve splitsing in de NTA 8800 tussen warmte- en koudebehoefte, die in uurlijkse simulatiemethoden niet als zodanig apart wordt gegenereerd. In het artikel van Bruno et.al [15] is hier een aanzet toe gedaan die verder kan worden uitgewerkt. Een dergelijke dynamische methode in de vorm van een gelijkwaardigheid zal bijdragen aan het vergroten van de kennis van thermisch gedrag van gebouwen, mogelijk inclusief hygrische aspecten. Gezien de aankomende markttrends richting toets op werkelijke energieprestatie (WEii) en controle op gemeten energiegebruik (CRREM) is dit een wenselijke ontwikkeling. Het bereidt de markt voor op toekomstige aanpassing naar EPBD 4 gebaseerd op uurlijkse simulatie. De tijdinvestering voor dergelijke simulaties zal naar verwachting afnemen, door automatiseren van berekeningen. Een voorbeeld hiervan wordt al gegeven in dit onderzoek en in het onderzoek ‘De Renovatieverkenner’ van TU/e. Op korte termijn zullen dergelijke simulaties vooral relevant zijn voor complexe ontwerpogaven of voor het aantonen van gelijkwaardigheid voor ontwerpen met sterke aandacht voor passieve technieken.	

9. Literatuur

- [1] S. Verbeke, Thermal inertia in dwellings: quantifying the relative effects of building thermal mass on energy use and overheating risk in a temperate climate., Phd Thesis. KU Leuven., 2017.
- [2] C. Lee, A. Duffy en S. Rouholamin, „A hygrothermal analysis of international timber frame wall assemblies tested under temperate maritime climatic conditions,” in *Central European Symposium for Building Physics 2013*, Vienna, 2013.
- [3] Arup, „BENG kan beter,” *Bouwen met staal*, pp. 32-36, April 2023.
- [4] Arup, „NTA8800 Energie in lichte gebouwen [unpublished report for NBVT],” 2022.
- [5] Arup, „TOjuli & thermische massa: Deskstudie rapport [unpublished report for Centrum Hout],” 2020.
- [6] DGMR, „Statisch en Dynamisch model MPG - BENG: Uitwerking BENG-referentiegebouwen woningen en kantoren ten behoeve van milieuprestatie gebouwen,” 2023.
- [7] DBU, „Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise - Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance,” [Online]. Available: <http://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-22430.pdf>.
- [8] NEN, *NTA 8800*, NEN, 2023.
- [9] ISSO, ISSO-publicatie 82.1 Energieprestatie woningen en woongebouwen, ISSO.
- [10] SBR, Handboek Bouwen met kalkhennep, SBRCURnet.
- [11] A. Evrard en A. De Herde, „Hygrothermal Performance of Lime-Hemp Wall Assemblies,” *Journal of Building Physics*, vol. 34, nr. 1, pp. 5-25, 2010.
- [12] V. Juhasz, „Rising Damp,” Core Conservation, 2018. [Online]. Available: <https://www.coreconservation.co.uk/moisture-transport-mechanisms-in-porous-media/>. [Geopend 2024].
- [13] M. Winkler, K. Nore en F. Antretter, „Impact of the moisture buffering effect of wooden materials on energy demand and comfort conditions,” in *Nordic Symposium on Building Physics (NSB) 2014*, 2014.
- [14] T. Kalema, G. Jóhannesson, P. Pylsy en P. Hagengran, „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*, pp. 101-130, 2008.
- [15] R. Bruno, P. Bevilacqua en N. Arcuri, „Assessing cooling energy demands with the EN ISO 52016-1 quasi-steady approach in the Mediterranean area,” *Journal of Building Engineering*, 2019.
- [16] ir. M.J. Linssen, ir. E.R. van den Ham, „Bepaling benuttingsfactor voor warmtewinst in utiliteitsgebouwen,” *Bouwfysica*, pp. 8-11, 1993.
- [17] G. Kokogiannakis, P. Strachan en J. Clarke, „Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modelling programs in a regulatory context,” *Journal of Building Performance Simulation*, 2008.
- [18] F. Antretter, F. Sauer, T. Schöpfer en A. Holm, „Validation of a hygrothermal whole building simulation software,” in *12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney, 2011.
- [19] A. Reilly en O. Kinnane, „The impact of thermal mass on building energy consumption,” *Applied Energy*, vol. 198, pp. 108-121, 2017.
- [20] H. van Dijk en C. Arkesteijn, „Windows and Space Heating Requirements; Parameter studies leading to a simplified calculation method. The Netherlands National Report on Activities within Step 5,” TNO Institute of Applied Physics, 1987.
- [21] R. van der Loos, „BENG referentiegebouwen,” DGMR Bouw B.V., 2017.
- [22] M. J. Linssen en E. van den Ham, „Bepaling benuttingsfactor voor warmtewinst in utiliteitsgebouwen,” *Bouwfysica*, vol. 4, pp. 8-11, 1993.

Credentials

John Walraven
Projectdirecteur

Filique Nijenmanting
Project manager / adviseur Bouwfysica, Energieprestatie

Babette Verheggen
Bouwfysich expert, reviewer

Veronika Heidegger (alumnus)
Specialist simulaties

Kiana Mousavi
Bouwfysisch adviseur / Uniec3 simulaties

Jianyu Chen
Energie simulaties / EnergyPlus

Sharon Verghese
Ingenieur / EnergyPlus

Jerell Gill
Specialist simulaties / EnergyPlus

Philipp Scharf
Specialist Bouwfysica / WUFI

Jake Haskell
Reviewer simulaties

Lee Corcoran
Specialist warmte en vocht / WUFI

Appendix A

Achtergrond & details bij onderzoeken

A.1 Samenvatting inbreng belanghebbenden

Naar aanleiding van het in opdracht van Building Balance uitgevoerde onderzoek zijn twee sessies gehouden met experts en stakeholders uit de Nederlandse markt. Deze sessies waren bedoeld om de ervaren obstakels bij de toepassing van biobased bouwen binnen de NTA 8800 (de norm voor energieprestatie) inzichtelijk te maken en om het voorgestelde simulatieplan voor een vergelijkende analyse van de prestaties van biobased bouwmaterialen in twee verschillende beoordelingsmethodologieën te bespreken: de maandelijkse methode van de NTA 8800 en dynamische simulaties voor het bepalen van de energievraag van gebouwen. Dit verslag bevat de bevindingen van beide sessies, samengevat per thema.

Thema	Bespreekpunten
Ontwerp- en praktijkervaringen biobased materialen	- Over het algemeen zijn de praktijkervaringen met biobased materialen (energetisch en zomercomfort) goed, ondanks dat dit in de EP-berekening niet goed blijkt. - Bij biobased (lichte thermische massa) bouwmethoden wordt TOjuli vaak niet op passieve wijze behaald, daardoor meer toepassing airco’s. In praktijk is comfort beter dan de indicator aangeeft, daarom gevoel van overdimensionering door de norm. In de praktijk wordt de beschikbare gelijkwaardige methode (GTO) beperkt gebruikt in verband met benodigde investering voor ingenieurs ten behoeve van de uit te voeren simulaties. - Biobased (isolatie)materialen hebben over het algemeen hogere lambda-waarden dan reguliere producten (bijv. minerale wol). Daardoor moeten dikkere constructies worden toegepast om te voldoen aan wettelijke eisen. - In gebouwen met biobased materialen wordt overwogen om andere installaties kunnen worden toegepast dan de traditionele opties. Bijvoorbeeld: split-unit lucht warmtepomp voor woning begane grond en op de verdieping (weinig gebruikte slaapkamers) incidenteel verwarmen met COP1 elektrische bijverwarming. Dit is een systeem met lage investering. In een onderzoek door BZK wordt gekeken naar het gebruik van elektrische kachels. COP van 1 is te laag en mag dus niet toegepast worden (als technisch bouwsysteem). Dit wordt ervaren als een belemmering. - In ontwerpen met biobased materialen worden veelal principes van de ‘passiefhuis’ (PHPP) methode toegepast. Die gaat uit van hoge luchtdichtheid en balansventilatie, met hoge isolatiewaarden (tot Rc=10), grote compactheid en zonwerende beglazing (lage ZTA- of ggl;n-waarde). Een en ander met als doel om energiegebruik voor ruimteverwarming te minimaliseren. Deze methode is gericht op landklimaat (bijv. Zuid-Duitsland), met lage winterse temperaturen. Oververhitting wordt beperkt door beweegbare zonwering en/of overstekken in combinatie met significante mogelijkheden voor nachtventilatie. Ervaring met dit concept is dat het aspect ‘faseverschuiving’ beperkte invloed heeft (winter), al is dit bij zomernachtventilatie groter. Ervaring met NTA 8800 is dat het effect van zomernachtventilatie bij lichte gebouwen minimaal wordt gewaardeerd. - Signalen over belemmeringen van biobased materialen in NTA 8800 uit de markt zijn, anders dan deze sessies, tot nu toe niet expliciet verzameld of ‘hard gemaakt’, het blijft bij anekdotes. Momenteel zijn hierover enkel publicaties van NBVT/Centrum Hout beschikbaar.
Rekenmethode NTA 8800	- NTA 8800 is een maandmethode voor eenvoudige bepaling energiegebruik en vergelijk gebouwkwaliteit. Dient geschikt te zien voor alle soorten gebouwen (bestaand, nieuw, utiliteit, woningbouw, beperkt of zeer energiezuinig (passief)). Het gebruikersgedrag is vastgesteld. Het is bedoeld als toetsingsinstrument, niet als ontwerptool. De praktijk is weerbarstiger, door strenge eisen wordt het vaak als zodanig gebruikt. - Kritiek op wijze van berekening EP1, op basis van het C1 (natuurlijk in, mechanisch uit) ventilatiesysteem en relatief groot debiet. Daarmee te beperkt in lijn met actuele bouwpraktijk, zeker gezien concept passiefhuis. Resultaten energievraag daarmee niet voldoende representatief. De bijdrage van extra toegevoegde isolatie is daarmee volgens sommigen te beperkt. - Rekenmethode voor energievraag voor verwarming en koeling in EPBD gebaseerd op historische methoden zoals in NEN 7120 en voorlopers (zoals NEN 2916). Naar zeggen gebaseerd op meetresultaten van 4 testwoningen van TNO in Petten. Deze woningen waren niet goed luchtdicht, maar wel als basis voor conclusies. Daarmee afwijkend van huidige bouwpraktijk. - Energievraag voor verwarming en koeling wordt bepaald middels benuttingsfactor, om dynamisch gedrag te vertalen in maandmethode. Discussie gaat of deze methode (of constanten daarin) voldoende actueel zijn en/of passend bij nieuwbouw niveau biobased. Uit overleggen blijkt dat methode overgenomen is uit NEN 5128 in NEN 7120 en vanuit daar in EPBD en daardoor in NTA 8800. Er wordt verwacht dat herijking van deze formule / parameter beter inzicht geeft in zowel energie- als comfort uitkomsten van de NTA 8800. - De NTA 8800 rekenmethode houdt geen rekening met vochtgehalte in de woning, noch voor energie, noch voor comfort. Er wordt benoemd dat dit wel belevingswaarde, maar beperkt invloed op jaarlijks energiegebruik heeft. - TOjuli is momenteel indicator die risico op oververhitting aangeeft; momenteel zonder harde eis aan geïnstalleerd koelvermogen. Verwachte aanpassing dat (eenvoudige) koellast berekening wordt vereist. - Verwachte synergetische effecten tussen snel reagerende gebouwmassa en snel regelende installaties worden niet gewaardeerd in NTA 8800 vanwege basisuitgangspunten die geen rekening houden met dynamische kenmerken. - Er zijn lopende Europese discussies rondom introductie van EPBD4 (incl. dynamische methode) en de eventuele implementatie daarvan in Nederland. Een verplichte introductie hiervan wordt niet op korte termijn verwacht. Het gebruik van gelijkwaardige aantoning van de energieprestatie van gebouwen is wettelijk toegestaan, echter in de praktijk is het zeer complex om met bestaande methoden (incl. VABI, energyplus, uurlijkse methode EPBD) de vereiste EP 1 t/m 3 waarden te genereren. - De invloed van vocht is belangrijk. Bij de utiliteitsbouw-berekeningen wordt er wel rekening mee gehouden, maar bij de woningbouw niet omdat de invloed kleiner is dan 5%. Er wordt benoemd dat dit een belevingswaarde heeft, maar een beperkte invloed op het jaarlijkse energieverbruik. - Een gelijkwaardige methode voor BENG is wettelijk toegestaan. Wellicht komt dit in de toekomst beschikbaar - Er wordt besproken dat NTA 8800 niet bedoeld is voor dampopen constructies. - Momenteel wordt BENG 1 ($E_{wH+C;nd;ventsys=C1}$) berekend op basis van de energiebehoefte voor verwarming en koeling met gebruik van het C1 ventilatiesysteem. Aanpassing komt waarschijnlijk op BENG 1, waardoor de parameter verandert van $E_{wH+C;nd;ventsys=C1}$ naar $E_{H;nd}$ en de $E_{C;nd}$. De $E_{H;nd}$ en de $E_{C;nd}$ berekende in de BENG-berekening zijn de waarden die in de buurt komen van de specifieke energiebehoefte voor verwarming en/of koeling. Dit zijn de energiebehoeften waarbij de eigenschappen van het werkelijk aangebrachte ventilatiesysteem zijn meegenomen. Link naar het artikel: BENG staat haaks op zeer energiezuinig bouwen - Kennisinstituut KERN - Link naar het onderzoek waarin NTA8800 en NZEB-tool worden vergeleken: 20190610 Vergelijking NTA 8800 en nZEB-tool (kennisinstituutkern.nl)
Input variabelen en/of forfaitaire waarden	- Voor de isolatiewaarden van producten die niet gecertificeerd zijn moet een forfaitaire waarde gebruikt worden en dit die zijn nadelig. Doordat specifieke productwaarden voor biobased nog niet altijd beschikbaar zijn, is er een achterstand. Noot: door de betreffende rapporteur van de NTA 8800 is een voorstel gedaan voor aangepaste λ waarden voor tabellen E.10 en E.11. Te verwachten in de update van 2024. - Voor toepassing van niet-fabrieksmatig vervaardigde isolatielagen dienen conversiefactoren voor veroudering (FA) te worden gehanteerd in de Rc-berekening, die de onregelmatigheid in de spouw representeren. De factor die het type materiaal definieert (FA;iso) is hoog voor materialen anders dan de ‘reguliere’ minerale en kunststof producten. Voor biobased materialen moet daarom de hoogste waarde 1,30 worden gehanteerd uit de categorie ‘overig’, tenzij aantoonbaar kan worden gemaakt dat hiervan kan worden afgeweken. In de markt zijn nog beperkt referenties beschikbaar die een terechte alternatieve waarde onderbouwen. Er zijn tests gaande om dit voor meer producten te onderbouwen (duur: 30 weken).
Alternatieve berekeningsmethoden	- De NZEB-tool wordt besproken. Dit is een maandelijkse simulatiemethode volgens de Passiefhuis (PHPP) systematiek. Deze is bruikbaar als ontwerptool en houdt rekening met gebruikersgedrag. Ervaring uit eerdere onderzoeken (project Energiestroom) leert dat de tool goede vergelijkbare resultaten met de werkelijkheid geeft. - Ubakus is een statische methode voor bepaling van faseverschuiving. Geeft inzicht in kortcyclisch gedrag van materialen. Geen bepalingsmethode voor energie.

Thema	Bespreekpunten
	- WUFI is een dynamische rekenmethode die hygrische aspecten meeweegt; complexe methodiek die kan worden gehanteerd in combinatie met bijvoorbeeld energyplus. Mogelijk relevant, maar in verband met verwachting beperkte impact op jaarlijkse energie naar waarschijnlijkheid buiten aandachtsgebied onderzoek. - In Energyplus simulaties met installatiearm ontwerpen is de grootste uitdaging het gebruik van vezel, gewassen, enz. Faseverschuiving kan niet goed worden geïmplementeerd. Als het maandgemiddelde wordt gebruikt, is het effect niet te zien.
Faseverschuiving	- Er wordt gewerkt aan het simuleren van de referentiegebouwen met behulp van de PHPP-methode. Verwacht wordt dat het faseverschuiving effect hier beter zichtbaar zal zijn. Faseverschuiving gaat vooral over de luchtdichtheid van het gebouw en dampopen constructie. - Bij Biobased dampopen constructie is het faseverschuivende effect groter. Als er dampdicht folie wordt toegepast is het ademend/vochttransport effect van biobased verdwenen, maar is er nog steeds sprake van faseverschuiving.
Dynamische simulaties	- Dynamische simulaties worden besproken en of de resultaten realistisch en werkelijk zijn. Validatie van de resultaten in werkelijkheid zou een plaats kunnen hebben in volgende onderzoeken. - Bij het gebruik van dynamische simulaties is het gebruikersprofiel een significante factor. Het wordt belangrijk om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren waarbij gekeken wordt naar de waarde en impact van dynamisch gedrag.
NTA 8800 en werkelijke gebruik	Er wordt nogmaals benadrukt dat NTA geen ontwerptool is. Het is belangrijk om de balans tussen NTA 8800 en daadwerkelijk gebruik te waarborgen. BZK is hiermee bezig om de correlatie te vinden, wellicht komen er nog meer parameters bij. Het is aan de rapporteurs om te bepalen hoe dit moet worden ingevoerd. Dit is al besproken in de projectgroep

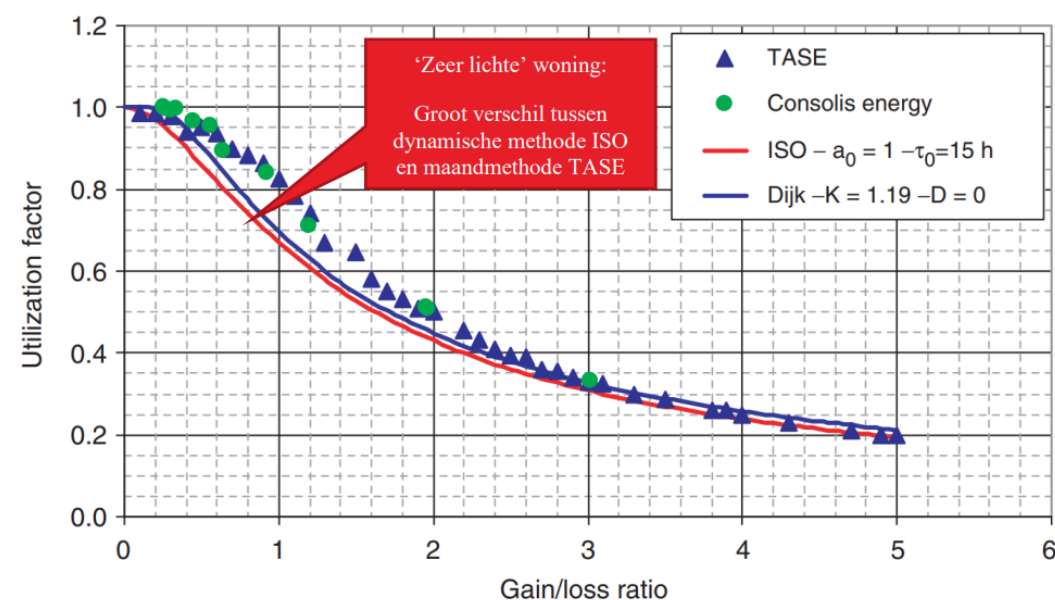
A.2 Onderzoeken benuttingsfactor

Een artikel van Reilly en Kinnane [19] stelt dat de effecten van thermische massa vaak worden verwaarloosd of niet nauwkeurig worden gemodelleerd in huidige simulatieprogramma's en codes. In een ander artikel van Kalema et al. [14] zijn de effecten van thermische massa op verwarmings- en koelingsenergie in een koud klimaat (en voor moderne, goed geïsoleerde gebouwen) beoordeeld met behulp van verschillende berekeningsmethoden. De resultaten tonen aan dat de vereenvoudigde standaardmethoden van EN 832 en van ISO DIS 13790 (hDerzien door ISO 52016-1:2017, wat de basis vormt van de berekeningsmethode in de NTA8800) over het algemeen nauwkeurige resultaten geven bij het berekenen van de jaarlijkse verwarmingsenergie, bijvoorbeeld in het kader van energieontwerp en energiecificering.

De benuttingsfactor voor warmtewinst van deze normen is echter te laag voor zeer lichte gebouwen zonder massieve oppervlakken, wat resulteert in een te hoog berekend energieverbruik. Een alternatieve maandelijkse energieberekeningsmethode is voorgesteld door Van Dijk en Arkesteijn [20], maar Kalema et al. [14] laat zien dat deze minder nauwkeurige resultaten geeft dan de ISO DIS 13790-methode.

Figuur 38 laat het verschil zien voor de 'zeer lichte' categorie, die overeenkomt met een woningtypologie 'houtskeletbouw met hsb- of sfb-vloeren' met een massa van de constructieve vloer < 250 kg/m² en een warmtecapaciteit tussen 55 en 80 kJ/m²K.

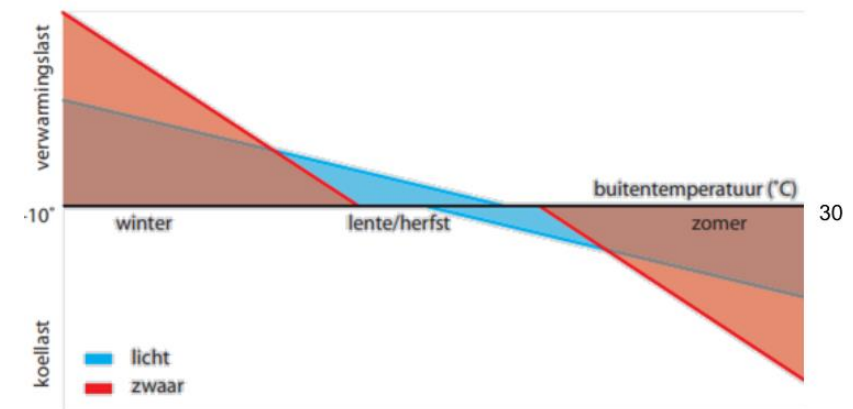
Uit het onderzoek van Kalema et al. [14] blijkt ook dat de verschillen in invoergegevens vaak grotere verschillen in rekenresultaten veroorzaken dan de verschillen tussen verschillende reken- en simulatiemethoden. Een conclusie uit het onderzoek is dat overheden voorzichtig moeten zijn bij het stellen van energieprestatie-eisen alleen op basis van het berekende energieverbruik. Als een berekend specifiek energieverbruik vereist is, dan moeten ook de berekeningsmethode en de belangrijke invoergegevens worden vastgelegd, om ervoor te zorgen dat het berekende energieverbruik ook overeenkomt met een bepaald niveau van thermische isolatie en efficiëntie van apparatuur. Door vastlegging in de NTA 8800 is dit gebeurd, maar deze waarden zijn beperkt inzichtelijk voor de uiteindelijke eindgebruiker.



Figuur 38: Vergelijking van de benuttingsfactor voor warmtewinst volgens verschillende berekeningsmethoden voor een zeer lichte eengezinswoning [14]. (Utilization factor = benuttingsfactor; Gain/loss = warmtebalansverhouding.) Toelichting: de methode NTA 8800 is een maandmethode, overeenkomstig TASE.

Lichte massa

Thermische massa wordt meestal geassocieerd met besparingen op het energieverbruik in gebouwen. Massa kan echter ook een negatieve invloed hebben op het energieverbruik. Een lichte constructie verbruikt bijvoorbeeld meer energie in de tussenseizoenen om op te warmen of af te koelen, maar wanneer er overwegend verwarmd of gekoeld moet worden, verbruikt een zware constructie meer energie vanwege de hogere thermische massa [4].



Figuur 39: Schematische weergave van de warmtevraag en de koelbehoefte voor een zwaar en een licht gebouw ten opzichte van de buitentemperatuur [4]

Uit het onderzoek "BENG kan beter" [3] van Arup blijkt dat de maandmethode (NTA 8800) voor de berekening van de energievraag, die gebruikt wordt bij de BENG-berekening, gunstiger is voor zware constructies.

In het genoemde onderzoek werd een kantoorgebouw met zware constructie vergeleken met een lichte constructie volgens de maandmethode. Uit de resultaten bleek dat de energiebehoefte voor zowel verwarming als koeling in de zware constructie lager was dan in de lichte constructie. Ook bleek dat de dominante energiebehoefte voor verwarming was. Bij doorrekenen van deze varianten met uurlijkse simulatie (dynamische simulatie met behulp van VABI) lieten de resultaten echter een tegenovergestelde trend zien; bij beide bouwtypen was de koelbehoefte dominant. Ook was de verwarmings- en koelbehoefte bij een lichte constructie iets minder dan bij de zware constructie. Ook was het verschil tussen de verwarmings- en koelingsbehoefte in beide bouwtypen veel kleiner dan de resultaten van de maandelijkse methode [3].

Benuttingsfactor in detail

De benuttingsfactor ($\eta_{H,gn}$ voor warmtewinst; $\eta_{C,ht;zi;mi}$ voor warmteoverdracht (bij koeling)) wordt bepaald in twee vergelijkbare formules, waarin onderstaande grootheden een belangrijke rol spelen:

- De warmtebalansverhouding voor verwarming of koeling (γ), bepaald door de verhouding warmteoverdracht ($Q_{H/C;ht;zi;mi}$) en warmtewinst ($Q_{H/C;gn;zi;mi}$);
- Een dimensieloze numerieke parameter $\alpha_{H;zi;mi}$ die afhangt van:
 - $\alpha_{H;0}$: een vastgestelde dimensieloze numerieke referentieparameter met waarde: **1,0** voor alle constructies en typologieën;
 - $\tau_{H;0}$: een referentie tijdsconstante waarvoor een vaste waarde geldt: **15 uur**.
 - $\tau_{H;zi;mi}$: de tijdsconstante van de warmtebehoefte, die de interne thermische traagheid van de rekenzone karakteriseert en resulteert uit:
 - de effectieve interne warmtecapaciteit van de rekenzone ($C_{m;int;eff;zi}$ in J/K)
 - de totale warmteoverdrachtcoëfficiënt door transmissie ($H_{H/C;tr;mi;zi}$ in W/K), excl. begane grond vloer
 - de seizoensgemiddelde warmteoverdrachtcoëfficiënt door transmissie van de begane grond vloer ($H_{H/C;g;adj;zi}$ in W/K),
 - de totale warmteoverdrachtcoëfficiënt door ventilatie ($H_{H/C;ve;mi;zi}$ in W/K)

Specifiek de referentieparameter $\alpha_{H;0}$ is relevant om nader te onderzoeken, aangezien deze is bepaald op basis van veelvuldige dynamische simulaties en waarvan de uitkomsten zijn gedestilleerd tot deze parameter (methode toelichting voor utiliteitsgebouwen is gegeven in: [16]). Daarbij wordt in onderzoek naar de effecten op koelenergie [15] geconstateerd dat de standaard referentieparameters voor specifieke bouwconfiguraties en klimaten aanpassing behoeven.

Appendix B

Uitgangspunten berekeningen

B.1 Samenvatting per onderzoek

B.1.1 Dynamische simulaties: (benuttings)factoren

Code	Software	Typologie	Constructie								Simulatie uitgangspunten	Effectieve interne warmtecapaciteit, Conform NTA 8800 Bijlage B; [kJ/m2K]	
	-	-	Begane grond vloer	Verdiepings-vloer	Dak	Buiten-gevel	Woning-scheidende wand	Wand grenzend aan onver- warmde ruimte	Vloer boven onver-warmde ruimte	Ramen en deuren	-	Dm;int;eff;zi [kJ/K per m2 Ag]	Cm;int;eff;zi [kJ/k per m2 constructie]
1A	EnergyPlus Regulier	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	-	Plat dak, breedplaat, mineraal, laagbouw	Dragend metselwerk, mineraal	-	-	-	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	633	177
1B	EnergyPlus Regulier	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	-	Plat dak, HSB, houtvezel, laagbouw	HSB, houtvezel, Rc BBL	-	-	-	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	221	62
1C	EnergyPlus Regulier	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	-	Plat dak, HSB, mineraal, laagbouw	HSB, mineraal, Rc BBL	-	-	-	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	220	62
2A	EnergyPlus Regulier	Woning 10	Kanaalplaatvloer, EPS	Kanaalplaatvloer, grondgebonden	Hellend dak, HSB, mineraal	Dragend metselwerk, mineraal	Kalkzandsteen, grondgebondenKal kzandsteen	-	-	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	606	148
2B	EnergyPlus Regulier	Woning 10	Kanaalplaatvloer, EPS	HSB, houtvezelisolatie, grondgebonden	Hellend dak, HSB, houtvezel, dampdicht	HSB, biobased, Rc BBL	HSB, grondgebonden	-	-	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	157	38
3A	EnergyPlus Regulier	Woning 14, vrijstaand	Kanaalplaatvloer, EPS	Kanaalplaatvloer, grondgebonden	Hellend dak, HSB, mineraal	Dragend metselwerk, mineraal	-	-	-	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	527	141
3B	EnergyPlus Regulier	Woning 14, vrijstaand	Kanaalplaatvloer, EPS	HSB, houtvezelisolatie, grondgebonden	Hellend dak, HSB, houtvezel, dampdicht	HSB, biobased, Rc BBL	-	-	-	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	149	40
4A	EnergyPlus Regulier	Woongebouw 15	Kanaalplaatvloer, EPS	Breedplaatvloer, woongebouw	Plat dak, breedplaat, mineraal, woongebouw	Dragend metselwerk, mineraal, woongebouw	Kalkzandsteen, woongebouw	Kalkzandsteen, mineraal	Betonnen vloer, mineraal	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	597	150
4B	EnergyPlus Regulier	Woongebouw 15	Kanaalplaatvloer, EPS	CLT, woongebouw	Plat dak, CLT, mineraal	HSB, biobased, Rc BBL, woongebouw	CLT, woongebouw	CLT, houtvezel	Houten vloer, houtvezel	Ramen en deuren, BBL	Simulaties ‘Energieprestatie’	188	47

B.1.2 Dynamische simulaties: hygrische invloed op energie

	Software	Typologie	Constructie						Simulatie uitgangspunten
Variant	-	-	Begane grond vloer	Verdiepingsvloer	Dak	Buitengevel	Interne scheidingswand	Ramen en deuren	-
1A	EnergyPlus Regulier	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	n.v.t.	Betonnen plat dak, BESTEST case	HSB, mineraal, ‘passief’	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Energieprestatie’
1B	EnergyPlus Regulier + WUFI + PMV	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	n.v.t.	Betonnen plat dak, BESTEST case	HSB, mineraal, ‘passief’	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Energieprestatie’
1C	EnergyPlus EPMD	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	n.v.t.	Betonnen plat dak, BESTEST case	HSB, mineraal, ‘passief’	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Energieprestatie’
2A	EnergyPlus Regulier	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	n.v.t.	Betonnen plat dak, BESTEST case	HSB, biobased ‘passief’	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Energieprestatie’
2B	EnergyPlus Regulier + WUFI + PMV	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	n.v.t.	Betonnen plat dak, BESTEST case	HSB, biobased ‘passief’	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Energieprestatie’
2C	EnergyPlus EPMD	BESTEST	Kanaalplaatvloer, EPS	n.v.t.	Betonnen plat dak, BESTEST case	HSB, biobased ‘passief’	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Energieprestatie’

B.1.3 Dynamische simulaties: hygrische invloed op comfort

	Software	Typologie	Constructie						Simulatie uitgangspunten
Variant	-	-	Begane grond vloer	Verdiepingsvloer	Dak	Buitengevel	Interne scheidingswand	Ramen en deuren	-
1A	EnergyPlus Regulier	Woning 14	Kanaalplaatvloer, EPS	Licht, biobased	Hellend dak, HSB, houtvezel, dampopen	HSB, biobased, Rc BBL	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Thermisch comfort
1B	EnergyPlus Hygrisch	Woning 14	Kanaalplaatvloer, EPS	Licht, biobased	Hellend dak, HSB, houtvezel, dampopen	HSB, biobased, Rc BBL	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Thermisch comfort
2A	EnergyPlus Regulier	Woning 14	Kanaalplaatvloer, EPS	Licht, biobased	Hellend dak, HSB, houtvezel, dampopen	HSB, stro, ‘passief’, dampopen	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Thermisch comfort
2B	EnergyPlus Hygrisch	Woning 14	Kanaalplaatvloer, EPS	Licht, biobased	Hellend dak, HSB, houtvezel, dampopen	HSB, stro, ‘passief’, dampopen	n.v.t.	Transparante delen	Simulaties ‘Thermisch comfort

B.2 Reken- en simulatiemethoden

B.2.1 Maandmethode

B.2.1.1 Uniec3

Uniec3 is een online rekenprogramma die de energieprestatie van gebouwen berekent volgens NTA 8800 en is geattesteerd conform BRL 9501. Deze tool kan zowel voor de woningbouw als voor de utiliteitsbouw worden gebruikt. Met Uniec3 kunnen EP-berekeningen worden gemaakt en ook energielabels worden gegenereerd. De gebruikte versie voor dit onderzoek is v3.2

B.2.1.2 NTA 8800 Validatiesheet

Door NEN is de NTA 8800 Validatiesheet beschikbaar gesteld voor dit onderzoek. Deze sheet is een open bewerking van de NTA 8800 rekenmethode en biedt de mogelijkheid om voorgestelde aanpassingen te beoordelen. De voorgestelde aanpassingen in factoren c , α en τ zijn hierin verwerkt waarmee de invloed op EP1, 2 en 3 kan worden bepaald.

B.2.2 Dynamische simulatie

B.2.2.1 Energyplus

EnergyPlus Regulier

EnergyPlus is een simulatieprogramma dat gebruikt wordt om het energieverbruik in gebouwen te modelleren, met de mogelijkheid tot uurlijkse rekenstappen. Het is BESTEST geattesteerde software. Dit programma kan voor elk type gebouw en functie worden gebruikt. De geometrie van de gebouwschil en de eigenschappen ervan kunnen in dit programma worden gemodelleerd. EnergyPlus maakt het mogelijk om de constructies per materiaallaag te definiëren (naast de optie van één hele constructie met bepaalde eigenschappen). Voor de simulaties is gebruikt gemaakt van versie 9.4.

EnergyPlus Hygrisch

Binnen de het programma zijn modules beschikbaar om op hoofdlijnen aanvullend de gecombineerde warmte- en vochttransport in de gebouwschil te bepalen en de interactie tussen de schil en de omgeving. Dit zijn eindige-elementen methoden: HAMT en EMPD. Beide methode zijn een vereenvoudiging van het hygrische gedrag om rekentijd te beperken. De relatief snel rekenende methode EMPD (Energy Moisture Penetration Depth) is een compromis tussen HAMT en de reguliere berekening zonder vochttransport en sommeert het vochttransport per tijdseenheid tussen van interne oppervlakken, met vaste waarden voor materialen. Het vochttransport beïnvloed de relatieve vochtigheid in de zone én de zonetemperatuur door conversie van latente naar voelbare warmte of adsorptie.

Nadere toelichting over deze modellen is gegeven in: “Evaluation of Different Thermal Models in EnergyPlus for Calculating Moisture Effects on Building Energy Consumption in Different Climate Conditions”

B.2.3 Invloed van vocht in constructies

B.2.3.1 WUFI

WUFI® Pro is het standaardprogramma voor beoordeling van vochtcondities in gebouwconstructies. Het bevat eendimennsionale berekeningen van constructiedoorsneden, waarbij (mits van toepassing) bouwvocht, regeninslag, zonnestraling, langgolvlige straling, capillair transport en condensatie wordt meegenomen. De hygrothermische prestatie wordt bepaald onder werkelijke klimaatcondities en voldoet onder andere aan DIN EN 15026.

B.2.4 Rekensheets

B.2.4.1 Specifieke warmtecapaciteit

Twee tools zijn gebruikt voor de berekening van specifieke warmtecapaciteit.

De eerste tool is ontwikkeld door Betonhuis om de “Effectieve interne warmtecapaciteit” (C_i) te berekenen conform bijlage B van NTA 8800. Dit komt overeen met de parameter “Surface heat capacity” zoals beschreven in Tabel 4.

De tweede tool is ontwikkeld door Arup voor The Concrete Centre (TCC) en berekent parameters met betrekking tot de warmtecapaciteit van bouwelementen. De tool is gebaseerd op EN ISO 13786 en geeft als output de “Areal heat capacity” zoals beschreven in Tabel 4.

B.2.4.2 PMV

PMV (Predicted Mean Vote) is berekend middels een rekensheet op basis van EN ISO 7730.

B.2.5 Materiaaldata

B.2.5.1 Stro

In die specifieke simulatie wordt gebruik gemaakt van de WUFI-databank waarin typische informatie voor strobalen beschikbaar is. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er een brede variatie kan bestaan tussen de toegepaste strobalen en er dus geen garantie is dat deze waarden representatief zijn voor iedere toepassing [7].

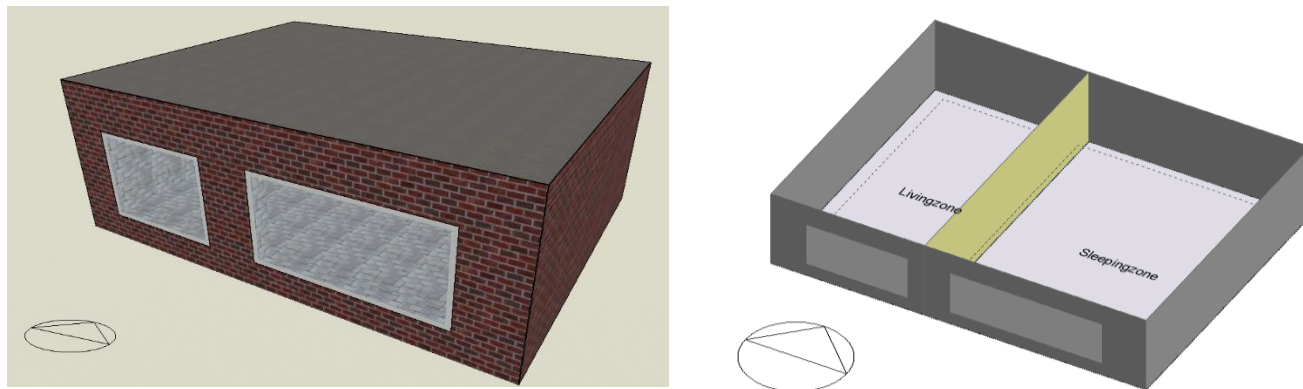
B.3 Geometrieën

B.3.1.1 BESTEST

De BESTEST (ASHRAE 2001) is een set goed gedocumenteerde testcases voor software-naar-software vergelijkingen en programmadiagnostiek. Voor dit onderzoek zijn de totale afmetingen van het testgebouw gebaseerd op de ASHRAE BESTEST-geometrie, terwijl de interne indeling is aangepast aan de aannames die worden genoemd in NTA 8800. Dit houdt het volgende in:

- NTA 8800 beschouwt een woonzone en een slaapzone voor een woningberekening. Daarom is de geometrie verdeeld in 2 zones met een niet-bestaande binnenwand ertussen.
- Woonzone als 40% van de totale ruimte
- Slaapzone als 60% van de totale ruimte
- Het totale raamoppervlak blijft hetzelfde als in de ASHRAE-geometrie. De verdeling is echter 40/60 op basis van het oppervlak van respectievelijk de woon- en slaapzone.

De geometrie wordt weergegeven in de onderstaande figuur (ramen zijn op het zuiden gericht).



Figuur 40: BESTEST-geometrie

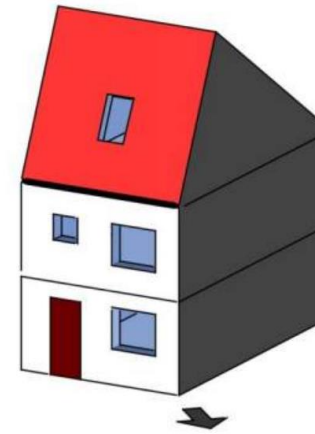
B.3.1.2 Woning 10, tussenwoning

B.3.1.2.1 Specificaties

Uit de RVO referentiegebouwen is in overleg met de opdrachtgever onderstaande geometrie gekozen. De interne verdeling is als volgt:

- Begane grond als woonzone (ongeveer 40% van de totale gebruiksoppervlakte conform uitgangspunten NTA 8800)
- Eerste en tweede verdieping als slaapzones (ongeveer 60% van de totale gebruiksoppervlakte conform uitgangspunten NTA 8800)
- BVO: 142,2 m²
- Ag: 110 m²
- Verdiepingshoogte 2,9 meter.

De geometrie wordt weergegeven in de volgende figuur. De voorgevel is noordoost georiënteerd.



Figuur 41: Woning 10 – tussenwoning

B.3.1.2.2 Open delen

- Oppervlakte openingen:
 - Voorgevel (NO): 4,55 m²
 - Achtergevel (ZW): 10,60 m²
- Kozijnpercentage: 25%

B.3.1.2.3 Deuren

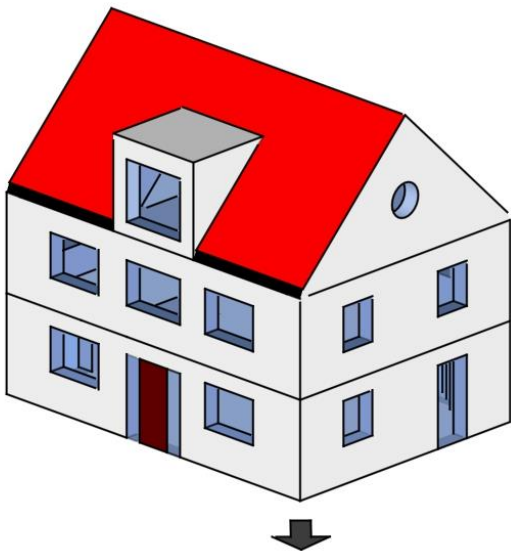
- Voorgevel (NO): 2,50 m²

B.3.1.3 Woning 14, vrijstaand

B.3.1.3.1 Specificaties

Een grondgebonden vrijstaande woning met hellend dak. De achterzijde met tuinpui is zuidwest georiënteerd. Aan de noordoostzijde is er een ruime dakkapel.

- Begane grond als woonzone (ongeveer 40% van de totale gebruiksoppervlakte conform uitgangspunten NTA 8800)
- Eerste en tweede verdieping als slaapzones (ongeveer 60% van de totale gebruiksoppervlakte conform uitgangspunten NTA 8800)
- BVO: 264 m2
- Ag: 181 m2
- Verdiepingshoogte 2,9 meter.



Figuur 42: Woning 14 - vrijstaande woning

B.3.1.3.2 Open delen

- Oppervlakte openingen:
 - Voorgevel (NO): 17,90 m² (inclusief opening dakkapel)
 - Achtergevel (ZW): 21,70 m²
 - Zijgevel 1 (NW): 7,70 m²
 - Zijgevel 2 (ZO): 8,70 m²
- Kozijnpercentage: 25%

B.3.1.3.3 Deuren

Voorgevel (NO): 2,50 m²

B.3.1.3.4 Ruimtelijke indeling

Ten behoeve van gebruik in de thermisch comfort simulaties, is op basis van de beschikbare RVO-geometrie van de oningedeelde woning een typische indeling gemaakt in verblijfsruimten, zie navolgende figuren.

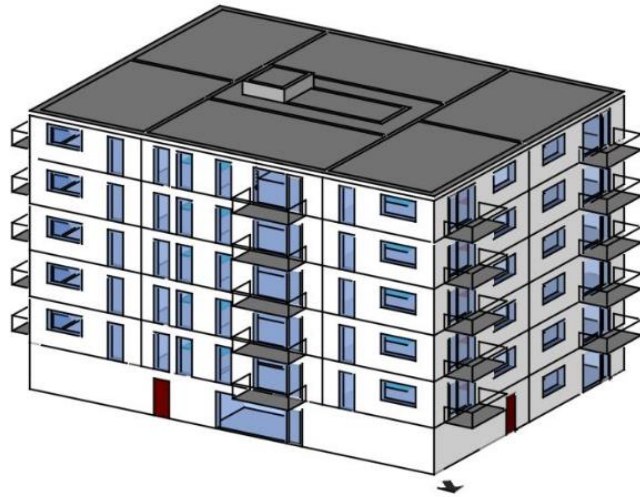
Begane grond	1e verdieping	2e verdieping
VR0.1 = Woonkamer / keuken: open indeling Verk. = hal, trappenhuis: verkeerszone (geen verblijfsruimte)	VR1.1 t/m VR1.4: Slaap / studie / hobby kamers. Indeling conform raamindeling buitenzijde.	VR2.1: Slaap / studie / hobby kamer.
NTA 8800 definitie: woonzone	NTA 8800 definitie: slaapzone	NTA 8800 definitie: slaapzone
Alle gestippelde zones / lijnen zijn toegevoegd aan de basis geometrie van RVO, ter geschiktmaking voor comfort simulaties (verblijfsruimte niveau)		

B.3.1.4 Woongebouw 15, blok

B.3.1.4.1 Specificaties

Een woongebouw met 33 appartementen met plat dak. Op de begane grond zijn bergingen (onverwarmde ruimten) aanwezig. De voorgevel is noordoost georiënteerd.

- Elk appartement is verdeeld in woon- en slaapzone, waarbij de indeling 50/50 wordt gehanteerd conform uitgangspunten NTA 8800.
- BVO: 3773 m²
- Ag: 3036 m²
- Verdiepingshoogte: 3,0 meter.



Figuur 43: Woongebouw 15 – woonblok M

B.3.1.4.2 Open delen

- Oppervlakte openingen in het hele gebouw:
 - Voorgevel (NO):
 - Minimale belemmeringen: 106,40 m²
 - Met constante overstek: 33,60 m²
 - Achtergevel (ZW):
 - Minimale belemmeringen: 126,60 m²
 - Met constante overstek: 42,0 m²
 - Zijgevel 1 (NW):
 - Minimale belemmeringen: 50,60 m²
 - Met constante overstek: 66,60 m²
 - Zijgevel 2 (ZO):
 - Minimale belemmeringen: 50,60 m²
 - Met constante overstek: 66,60 m²
- Kozijnpercentage: 25%

B.3.1.4.3 Deuren

Alle deuren van de appartementen zijn inpandig en niet grenzend aan de buitenlucht. Daarom zijn ze niet meegenomen in de berekeningen.

B.4 Constructies

De Rc-waarden zijn berekend conform de NTA 8800 methodiek en gebruikt in de Uniec3-berekeningen. De Rtot-waarden zijn de resulterende waarden van de meerlaagse constructies in DesignBuilder en zijn inclusief overgangsweerstanden.

B.4.1.1 Begane grond vloeren

B.4.1.1.1 Kanaalplaatvloer, EPS

Opbouw is gebaseerd op ISSO-referentiedetail 101.4.1.09.

[illegible]

B.4.1.2 Verdiepingsvloeren

B.4.1.2.1 Kanaalplaatvloer, grondgebonden

Voor traditionele verdiepingsvloeren in de eengezinswoningen is de opbouw gebaseerd op ISSO-referentiedetail 301.0.1.02.

[illegible]

B.4.1.2.2 Breedplaatvloer, woongebouw

De traditionele verdiepingsvloeren in het woongebouw zijn gebaseerd op ISSO-referentiedetail 360.0.3.01.

Laag	Type / materiaal	Dikte [mm]	Lambda [W/mK]	Dichtheid [kg/m3]	C [J/(kg.K)]	Thermisch actief?	Absorptie [-]	Emissie [-]
-	Bovenzijde: ruimte	-	-	-	-	-	-	-
1	Dekvloer	60	1,5	1800	840	×	0,6	0,9
2	EPS-isolatie	20	0,033	15	1470	-	-	-
3	Breedplaatvloer	210	2	2500	840	-	0,6	0,9
-	Onderzijde: ruimte	-	-	-	-	-	-	-

Laag	Type / materiaal	Dikte [mm]	Lambda [W/mK]	Dichtheid [kg/m ³]	C [J/(kg.K)]	Thermisch actief?	Absorptie [-]	Emissie [-]
Rc	[m²K/W]	0,75						
Rtot	[m²K/W]	0,92						
Noten	-							

B.4.1.2.3 HSB, houtvezelisolatie, grondgebonden

Voor biobased verdiepingsvloeren is de opbouw gebaseerd op ISSO-referentiedetail 301.4.2.01.

[illegible]

B.4.1.2.4 CLT, woongebouw

Deze opbouw is in overleg met het klantondersteuningsteam geselecteerd op basis van constructies die veel in de markt worden toegepast.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

B.4.1.7.3 HSB, mineraal, Rc BBL

Deze opbouw is gebaseerd op ISSO-referentiedetail 409.4.1.01.

Laag	Type / materiaal	Dikte [mm]	Lambda [W/mK]	Dichtheid [kg/m3]	C [J/(kg.K)]	Thermisch actief?	Absorptie [-]	Emissie [-]
-	Bovenzijde: buiten	-	-	-	-	-	-	-
1	Metselwerk	100	0,70	1900	840	-	0,6	0,9
2	Spouw	40	Rc 0,18	-	-	-	-	-
3	Houten beplating, ter representatie HSB-stijlen; gemiddelde dikte	17	0,17	800	1880	-	-	-
4	Minerale wol isolatie	150	0,035	35	1030	-	-	-
5	Vezelversterkte gipsplaat	25	0,35	1200	1000	-	0,6	0,9
-	Onderzijde: binnen	-	-	-	-	-	-	-
Rc	[m2K/W]	4,78						
Rtot	[m2K/W]	4,95						
Noten	-							

B.4.1.7.4 HSB, houtvezel, Rc BBL

Laag	Type / materiaal	Dikte [mm]	Lambda [W/mK]	Dichtheid [kg/m3]	C [J/(kg.K)]	Thermisch actief?	Absorptie [-]	Emissie [-]
-	Bovenzijde: buiten	-	-	-	-	-	-	-
1	Metselwerk	100	0,70	1900	840	-	0,6	0,9
2	Spouw	40	Rc 0,15	-	-	-	-	-
3	Houten beplating, ter representatie HSB-stijlen; gemiddelde dikte	17	0,17	800	1880	-	-	-
4	Houtvezelisolatie	163	0,035	35	1030	-	-	-
5	Vezelversterkte gipsplaat	25	0,35	1200	1000	-	0,6	0,9
-	Onderzijde: binnen	-	-	-	-	-	-	-
Rc	[m2K/W]	4,73						
Rtot	[m2K/W]	4,93						
Noten	-							

B.4.1.7.5 HSB, mineraal, Rc ‘passief’

Laag	Type / materiaal	Dikte [mm]	Referentiemateriaal	Referentiemateriaal - WUFI
1	Buitenaafwerking	10	Cementpleister	Cement Plaster (stucco, A-value: 0,51 kg/m2h0,5)
2	Buitenwand isolatie, achter render	50	Minerale wol (WAP)	ROCKWOOL Coverrock II
3	Buiten afwerking	12,5	Vezelcementplaat	Fibercementboard
4	Isolatie	140	Minerale wol (WZ)	ROCKWOOL Klemmrock 035
5	Diffusieweerstandslaag	0,1	Dampremmende folie sd = 100 m	Vapour retarder (sd = 100 m)
6	Installatielaag / isolatie	50	Minerale wol (WZ)	ROCKWOOL Klemmrock 035
7	Binnenaafwerking	12,5	Gipsplaat	Gypsum Board
Rc	[m2K/W]	6,9		
Rtot	[m2K/W]	7,1		
Sd; tot	[m]	100,0		
Cm	[kJ/m²K]	15,7		
Noten	Steenwol i.p.v. regulier glaswol ivm gelijkstellen Rc en warmtecapaciteit (verschil ca. 1 kJ/m2/K). Steenwol toegepast ivm doelstelling warmtecapaciteit gelijk te stellen aan houtvezel.			

B.4.1.7.6 HSB, biobased, Rc BBL

Voor deze gevel is de opbouw gebaseerd op ISSO-referentiedetail 301.4.2.01.

Laag	Type / materiaal	Dikte [mm]	Lambda [W/mK]	Dichtheid [kg/m3]	C [J/(kg.K)]	Thermisch actief?	Absorptie [-]	Emissie [-]
-	Buitenzijde	-	-	-	-	-	-	-
1	Houten gevelbekleding ¹	19	0,17	800	1880	-	0,6	0,9
2	Geventileerde spouw	28	Rc 0,15	-	-	-	-	-
3	Houten beplating, ter representatie HSB-stijlen; gemiddelde dikte	10	0,17	800	1880		-	-
4	Houtvezelisolatie	166	0,038	50	2100		-	-
5	Spaanplaat ²	10	0,2	750	1880		-	-
6	Vezelversterkte gipsplaat	15	0,35	1200	1000		0,6	0,9
-	Binnenzijde	-	-	-	-	-	-	-
Rc	[m2K/W]	4,70						
Rtot	[m2K/W]	4,90						
Noten	¹ Gebaseerd op hardhout ² Afwijkend van standaarddetail; keuze op basis van feedback belanghebbenden							

B.4.1.7.7 HSB, biobased, Rc BBL, woongebouw

Voor deze gevel is de opbouw gebaseerd op ISSO-referentiedetail 252.1.2.01.G1.

Additionele informatie m.b.t. functie en materiaalselectie in WUFI

Laag	Type / materiaal	Dikte [mm]	Referentiemateriaal	Referentiemateriaal - WUFI
1	Buiten pleister	10	Cementpleister	Cement Plaster (stucco, A-value: 0,51 kg/m2h0,5)
2	Buitenwand isolatie	35	Houtvezelplaat (WZ)	Pavatex – Isolair
3	Isolatie	230	Strobalen	Straw bales
4	Diffusieweerstandslaag	0,1	Dampremmende laag sd = 2 m	Vapour retarder (sd = 2 m)
5	Installatielaag / isolatie	40	Houtvezelisolatie (WZ)	Pavatex – Pavaflex
6	Binnenafwerking	12,5	Gipsplaat	Gypsum Board

B.4.1.8 Ramen en deuren, BBL

B.4.1.8.1 *Transparante delen*

- Kozijnpercentage: 25%
- Triple glas
- U-waarde: 1,4 [W/(m².K)]
- G-waarde (ZTA-waarde): 0,55
- LTA-waarde: 0,80

B.4.1.8.2 *Deuren*

- U-waarde: 2,0 [W/(m².K)]
- G-waarde (ZTA-waarde): 0,00

B.5 Uitgangspunten simulaties

B.5.1.1 Simulaties ‘Energieprestatie’

Thema	Invoerwaarde	
	Variant: 'C1'	Variant 'C4A'
Buitenklimaat	NEN 5060-A2-2018 referentiejaar energie (Nederlandse interpretatie van NEN-EN-ISO 15927)	NEN 5060-A2-2018 referentiejaar energie (Nederlandse interpretatie van NEN-EN-ISO 15927)
Tijdschema installaties	24/7	24/7
Totale bezetting Bepaald conform NTA 8800 formules 7.23 en 7.24	Afhankelijk van geometrie: BESTEST: 1,3 personen Woning 10: 2,38 personen Woning 14: 3,09 personen Woongebouw 15: 70,41 personen Data Report (Not Editable) General 00_Livingzone_Occ Source Category Region Schedule type UK NCM Residential spaces General 2-Compact Schedule Profiles Schedule Compact Dwell_DomCirculation_Occ Fraction Through: 31 Dec For Weekdays Until 07:00, 0 Until 10:00, 1 Until 19:00, 0 Until 23:00, 0.2 Until 24:00, 0 For Weekends Until 07:00, 0 Until 23:00, 1 Until 24:00, 0.3 For Holidays Until 07:00, 0 Until 23:00, 1 Until 24:00, 0.3 For WinterDesignDay AllOtherDays SummerDesignDay Until 24:00, 0 Data Report (Not Editable) General 00_Sleepingzone_Occ Source Category Region Schedule type UK NCM Residential spaces General 2-Compact Schedule Profiles Schedule Compact Dwell_DomCirculation_Occ Fraction Through: 31 Dec For Weekdays Until 07:00, 1 Until 10:00, 0 Until 19:00, 1 Until 23:00, 0.8 Until 24:00, 1 For Weekends Until 07:00, 1 Until 23:00, 0 Until 24:00, 0.7 For Holidays Until 07:00, 1 Until 23:00, 0 Until 24:00, 0.7 For WinterDesignDay AllOtherDays SummerDesignDay Until 24:00, 0	Afhankelijk van geometrie: BESTEST: 1,3 personen Woning 10: 2,38 personen Woning 14: 3,09 personen Woongebouw 15: 70,41 personen Data Report (Not Editable) General 00_Livingzone_Occ Source Category Region Schedule type UK NCM Residential spaces General 2-Compact Schedule Profiles Schedule Compact Dwell_DomCirculation_Occ Fraction Through: 31 Dec For Weekdays Until 07:00, 0 Until 10:00, 1 Until 19:00, 0 Until 23:00, 0.2 Until 24:00, 0 For Weekends Until 07:00, 0 Until 23:00, 1 Until 24:00, 0.3 For Holidays Until 07:00, 0 Until 23:00, 1 Until 24:00, 0.3 For WinterDesignDay AllOtherDays SummerDesignDay Until 24:00, 0 Data Report (Not Editable) General 00_Sleepingzone_Occ Source Category Region Schedule type UK NCM Residential spaces General 2-Compact Schedule Profiles Schedule Compact Dwell_DomCirculation_Occ Fraction Through: 31 Dec For Weekdays Until 07:00, 1 Until 10:00, 0 Until 19:00, 1 Until 23:00, 0.8 Until 24:00, 1 For Weekends Until 07:00, 1 Until 23:00, 0 Until 24:00, 0.7 For Holidays Until 07:00, 1 Until 23:00, 0 Until 24:00, 0.7 For WinterDesignDay AllOtherDays SummerDesignDay Until 24:00, 0
Interne warmtelast Interne warmtelast: warmte van personen en apparatuur * Geen dag, nacht of week patroon, de waarde wordt continue gehanteerd (24 uur per dag). ** De rekenwaarde betreft 100% voelbare warmte.	180 W per persoon	180 W per persoon
Interne warmtelast door verlichting	0 [W/m²]	0 [W/m²]
Infiltratie bij 1 Pa	Constant debiet; afhankelijk van geometrie:	Constant debiet; afhankelijk van geometrie:

Data Report (Not Editable)

General

00_Sleepingzone_Occ

Source

Category

Region

Schedule type

UK NCM

Residential spaces

General

2-Compact Schedule

Profiles

Schedule Compact

Dwell_DomCirculation_Occ

Fraction

Through: 31 Dec

For Weekdays

Until 07:00, 1

Until 10:00, 0

Until 19:00, 1

Until 23:00, 0.8

Until 24:00, 1

For Weekends

Until 07:00, 1

Until 23:00, 0

Until 24:00, 0.7

For Holidays

Until 07:00, 1

Until 23:00, 0

Until 24:00, 0.7

For WinterDesignDay AllOtherDays SummerDesignDay

Until 24:00, 0

Thema	Invoerwaarde			
	Variant: ‘C1’		Variant ‘C4A’	
Bepaald op basis van een forfaitaire Qv10-waarde van 0,40; conform NTA 8800 formule 11.85	BESTEST: 14,78 m³/h Woning 10: 33,87 m³/h Woning 14: 55,72 m³/h Woongebouw 15: 934,68 m³/h		BESTEST: 14,78 m³/h Woning 10: 33,87 m³/h Woning 14: 55,72 m³/h Woongebouw 15: 934,68 m³/h	
Ventilatiedebit Bepaald conform NTA 8800 formule 11.56	Afhankelijk van geometrie: BESTEST: 73 m³/h Woning 10: 166 m³/h Woning 14: 273,7 m³/h Woongebouw 15: 4590 m³/h Altijd aan.		Afhankelijk van geometrie: BESTEST: 73 m³/h Woning 10: 166 m³/h Woning 14: 273,7 m³/h Woongebouw 15: 4590 m³/h Altijd aan.	
Ventilatiesysteem	C1: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. Geen CO2-sturing. Geen voorverwarming.		C4a: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer. CO2-sturing alleen in de woonkamer (1200 ppm). Geen voorverwarming.	
Setpoints verwarming slaapzone*	08:00 – 17:00 = 18 °C 17:00 – 20:00 = 20 °C 20:00 – 22:00 = 18 °C 22:00 – 08:00 = 16 °C		08:00 – 17:00 = 18 °C 17:00 – 20:00 = 20 °C 20:00 – 22:00 = 18 °C 22:00 – 08:00 = 16 °C	
Setpoints verwarming woonzone* * Geen verschil tussen weekdays, weekenddagen en vakantiedagen. ** De temperatuurverlaging geldt voor 10 uur per dag. Van 22.00 uur 's avonds tot 08.00 uur 's ochtends.	Dag 20 °C	Nacht 16 °C **	Dag 20 °C	Nacht 16 °C **
Setpoints koeling* * Geen verschil tussen weekdays, weekenddagen en vakantiedagen. ** continu gebruik.	Dag 24 °C	Nacht 24 °C **	Dag 24 °C	Nacht 24 °C **

B.5.1.2 Simulaties ‘Thermisch comfort’

Thema	Invoerwaarde
Buitenklimaat	Referentiejaar voor temperatuuroverschrijdingen uit NEN 5060:2018 met 5% overschrijdingskans.
Temperatuur aangrenzende grond onder de woning	12°C; warmteweerstand 1,5 m²K/W Grond wordt niet gemodelleerd.
Rekenperiode	30 april t/m 28 september, gedurende 24 uren per dag
Installatie schema	24/7
Thermische bruggen	Conform simulatiemodel
Bezetting (NP;woon). Bepaald conform NTA 8800 formule 7.24	Afhankelijk van geometrie: Woning 14: 3,09 personen
Interne warmtelast: warmte van personen en apparatuur * Geen dag, nacht of week patroon, de waarde wordt continue gehanteerd (24 uur per dag). ** De rekenwaarde betreft 100% voelbare warmte.	Totaal: 180 W per persoon Verdeling: <u>Rekenwaarde</u> = totale interne warmtelast / ((2x vloeroppervlak VR0.1)) + som vloeroppervlakte overige verblijfsruimten VR1.1 t/m VR1.4 + VR2.1) VR0.1 = 2 x <u>rekenwaarde</u> x oppervlak VR0.1 VR1.x t/m VR2.0 = 1 x <u>rekenwaarde</u> x oppervlak VRx
Interne warmtelast door verlichting	0 W/m²
Infiltratie bij 1 Pa	Afhankelijk van geometrie: Woning 14: 55,72 m3/h
Ventilatiedebiet Bepaald conform NTA 8800 formule 11.56	Afhankelijk van geometrie: Woning 14: 273,7 m³/h Continue aan, geen voorverwarming. Gelijkmatig verdeeld over alle verblijfsruimten
Spuiventilatie	Capaciteit: 3 dm³/s/m² per verblijfsruimte. Sputijd: 4 uur per dag: 07.00-08.00 uur en tussen 20.00 en 23.00 uur. Spuien als alle navolgende voorwaarden gelden: 1: binnenluchttemperatuur > 24°C; 2: de buitenluchttemperatuur > 13°C; 3: de buitenluchttemperatuur < binnenluchttemperatuur.
Zomernachtventilatie	Capaciteit: 6 dm³/s/m² per verblijfsruimte. Sputijd: 24 uur per dag, mits voldaan wordt aan: 1: binnenluchttemperatuur > 24°C; 2: de buitenluchttemperatuur > 13°C; 3: de buitenluchttemperatuur < binnenluchttemperatuur.
Zonwering	Beweegbare zonwering, screens buiten toegepast; automatisch geregeld. In werking treding bij zonbelasting 150 W/m² of hoger. Fc-waarde op basis van onbekende kleuren/overig: 0,2. Toegepast op alle oriëntaties.
Afgiftesystemen	

Thema	Invoerwaarde
Ventilatie	D2: Mechanische toevoer, mechanische afvoer. Geen sturing op CO2. F _{ctrl} = 1,00
Verwarming & koeling	Vloerverwarming; geen koeling
Warmteproductie ventilatoren (dissipatie)	0 K (in afwijking van richtlijn; ontwerpspecifiek; uitsluitend afzuiging)
Setpoints verwarming alle zones * * Geen verschil tussen weekdays, weekenddagen en vakantiedagen..	Continue: minimum 20°C
Setpoints koeling	Niet van toepassing in deze simulatie; geen koeling.