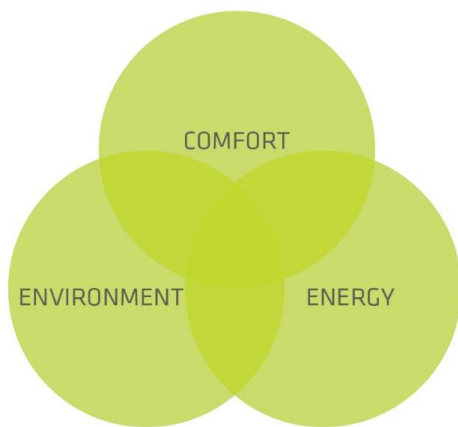




ONTWERP EEN ACTIVE HOUSE

*Een zoektocht naar de mogelijkheden waarop
het "Active House" concept bij het
ontwerpen van een gebouw
geïmplementeerd kan worden.*

De wereld staat momenteel voor een aantal milieu uitdagingen. Natuurlijke en traditionele energiebronnen zijn schaars en raken uitgeput, de aarde warmt op en het milieu vervuilt. Tegelijkertijd heeft de mens essentiële behoefte aan een gezond en comfortabel leefklimaat binnenshuis. 'Active House' probeert beide factoren met elkaar te verenigen.

M. Leegwater

21 mei 2018

ONTWERP EEN 'ACTIVE HOUSE'

Een zoektocht naar de mogelijkheden waarop het 'Active House' concept bij het ontwerpen van een gebouw geïmplementeerd kan worden

Colofon

Auteur

Naam:	Mark Leegwater
Studentnummer:	554456
School:	Hogeschool Inholland
Locatie:	Bergerweg 200
Postcode:	1817 MN Alkmaar
Opleiding:	Bouwkunde
Afstudeerrichting:	Ontwerp & Bouwtechniek
E-mail:	554456@student.inholland.nl

Afstudeerbedrijf

Naam bedrijf:	Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde
Adres bedrijf:	Dorpsstraat 231a
Postcode bedrijf:	1733 AK Nieuwe Niedorp
Tel. nr. bedrijf:	0226 427 920

Bedrijfsbegeleider

Naam:	Dhr. ing. N. (Nico) Dekker
Tel. nr.:	0226 427 920
E-mail:	info@nicodekker.com

Docentbegeleider

Naam:	Dhr. ir. K. (Karel) Fouraschen
Tel. nr.:	06 348 733 18
E-mail:	Karel.Fouraschen@inholland.nl

Datum eindschrijving:	21 mei 2018
-----------------------	-------------

VOORWOORD

Voor u ligt mijn bachelor scriptie als afronding van de studie Bouwkunde VT aan de Hogeschool Inholland te Alkmaar. De opleiding is voor mij de afsluiting van een lange en vooral ook leerzame periode geweest: de praktische scholing op de praktijkopleiding voor de bouwbranche ESPEQ, waar ik het timmermansdiploma heb behaald (in het minimum van twee jaar). De MBO opleiding op het Horizoncollege te Heerhugowaard tot middenkaderfunctionaris bouwkunde (in het minimum van vier jaar) en tenslotte bouwkunde aan de Hogeschool Inholland welke ik binnen het minimum van vier jaar heb afgerond. De opleiding Bouwkunde heeft mijn kennis en vaardigheden verdiept en theoretisch onderbouwd, en ik voel mij daardoor toegerust om als bouwkundig ingenieur aan de slag te kunnen gaan.

Het onderwerp van mijn scriptie is voortgekomen uit mijn interesse over duurzaamheid en de visie van het bedrijf 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde' op het realiseren van gebouwen, zonder het klimaat en milieu negatief te willen beïnvloeden.

De afgelopen jaren heeft duurzaamheid mijn aandacht getrokken: er was steeds meer berichtgeving in de media over het onderwerp, en de maatschappelijke discussie over duurzaamheid en de opwarming van de aarde veranderde. Als aankomend bouwkundig ingenieur wil ik graag een positieve bijdrage aan duurzaamheid leveren en kan ik bij het ontwerpen van gebouwen wellicht een verschil maken.

Deze afstudeerscriptie is bedoeld voor lezers met een bouwkundige achtergrond. De lezer hoeft echter geen deskundige te zijn op het gebied van het principe van 'Active House' om deze scriptie te kunnen lezen.

Graag wil ik Nico Dekker in het bijzonder bedanken voor de totstandkoming van deze opdracht. Daarnaast wil ik hem en mijn andere collega's Sanne, Jasper en Mark bedanken voor de gesprekken die we hebben gevoerd over het 'Active House' concept en de begeleiding die ik daarbij van hen heb gekregen. Ook wil ik Bas Hasselaar bedanken voor zijn adviezen en de telefoongesprekken die we hebben gevoerd. Daarnaast wil ik Reimar von Meding bedanken voor het openstellen van zijn eigen massief houten 'Active House' en het enthousiasme waarmee hij hierover vertelde.

Ten slotte wil ik mijn begeleider Karel Fouraschen bedanken voor de begeleidingssessies die we samen hebben gehad, de vragen die hij hierbij heeft gesteld en de kritische, maar behulpzame houding die hij heeft aangenomen om de scriptie op een hoger niveau te tillen.

Alkmaar, mei 2018

Mark Leegwater

SAMENVATTING

De wereld staat momenteel voor een aantal milieu uitdagingen. Natuurlijke en traditionele energiebronnen zijn schaars en raken uitgeput, de aarde warmt op en het milieu vervuult. Tegelijkertijd heeft de mens essentiële behoefte aan een gezond en comfortabel leefklimaat binnenshuis. 'Active House' probeert beide factoren met elkaar te verenigen. Het ontwerpen van een 'Active House' vraagt veel kennis over de maatregelen die in het ontwerp genomen kunnen worden en de manier waarop een 'Active House' wordt beoordeeld. De doelstelling van dit onderzoek luidt als volgt: Het ontwerpen van een woning, zodanig dat deze gebaseerd is op de prestatie eisen die gesteld worden aan een 'Active House'.

Om het doel van dit onderzoek te bereiken moet er kennis bestaan over de verschillende parameters en criteria die van belang zijn bij het maken van strategische keuzes binnen het ontwerpen van een 'Active House'. Daarom is de volgende probleemstelling geformuleerd:

“Wat zijn de mogelijkheden waarop het 'Active House' concept bij het ontwerpen van een gebouw geïmplementeerd kan worden, zodat deze voldoet aan de criteria die gesteld worden aan een 'Active House'?”

Een vergelijking tussen twee houtbouw methodieken, de traditionele houtskeletbouw en de massieve houtbouw, heeft uitgewezen dat een traditionele houtskeletbouw methode beter geschikt is als bouwsysteem voor een 'Active House'. Aangezien de massieve houtbouw methode toch regelmatig wordt toegepast in een 'Active House' en vanwege de ontbrekende kennis hierover bij het afstudeerbedrijf 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde' is er voor gekozen om hierop verder door te gaan.

Uit het literatuur- en praktijkonderzoek is gebleken dat er verschillende maatregelen genomen kunnen worden om scores te behalen binnen het 'Active House' principe. Deze maatregelen hangen samen met het ontwerp, de wensen van de opdrachtgever en de kosten. De 'Active House' scores op de parameters binnen het 'Active House' concept van de sleutelprincipes Comfort, Energie en Milieu zijn genummerd van 1 t/m 4, waarbij 4 de slechtste score weergeeft. Een goede score op de parameters hoeft niet per definitie een betere woning te betekenen maar de woning voldoet wel meer aan de principes van een 'Active House'.

Dit onderzoek is gebaseerd op een structuurontwerp, gemaakt door het ontwerp bureau 'Nico Dekker ontwerp & Bouwkunde'. Door een uitgevoerde Casestudy zijn over het structuurontwerp de 'Active House' scores op de negen parameters bekend geworden. Dit heeft inzicht gegeven in welke maatregelen er nodig zijn om aan de minimale voorwaarden van een 'Active House', bij dit structuurontwerp te voldoen. Uit de Casestudy bleek bijvoorbeeld dat de woning moet worden voorzien van minimaal vijf zonnepanelen om te voldoen aan de 'Active House' parameter Energievoorziening.

Als vervolg op deze Casestudy zijn andere ontwerpmaatregelen toegepast om de 'Active House' scores te verbeteren en aanvullingen op het ontwerp gedaan die de parameters naar verwachting positief beïnvloeden. Door toevoeging van bijvoorbeeld 13 extra zonnepanelen aan de Casestudy woning (totaal 18 zonnepanelen) kan de hoogste score behaald worden op de parameter Energievoorziening. Deze maatregel heeft daarentegen wel een negatieve invloed op de parameter Milieubelasting, die hierdoor zakt van score 2 naar score 3.

De 'Active House' Radar is een visualisatie van de scores op de parameters binnen de Sleutelprincipes Comfort, Energie en Milieu. Op basis van deze Radar zou een opdrachtgever concreet en onderbouwd geadviseerd kunnen worden over een ontwerp.

INHOUDSOPGAVE

1.	Probleembeschrijving.....	6
1.1	Aanleiding.....	6
1.2	Doel- en probleemstelling	6
1.3	Onderzoekopzet.....	7
1.4	Leeswijzer	8
2.	‘Active House’	9
2.1	Introductie	9
2.2	Meerwaarde	14
3.	Bouwmethodiek	15
3.1	Inleiding	15
3.2	Houtskeletbouw	15
3.3	Massieve houtbouw	17
3.4	Vergelijking bouwsysteem.....	20
3.5	Alternatieven	21
4.	Maatregelen scores ‘Active House’	22
4.1	Comfort.....	22
4.2	Energie.....	25
4.3	Milieu.....	34
5.	Casestudy	36
5.1	Inleiding	36
5.2	Structuurontwerp	37
5.3	Comfort.....	39
5.4	Energie.....	43
5.5	Milieu.....	45
5.6	‘Active House’ Radar.....	50
6.	Verbeteren van parameter scores	51
6.1	Comfort.....	51
6.2	Energie.....	53
6.3	Milieu.....	54
6.4	‘Active House’ Radar.....	55
7.	Conclusies, beperkingen en aanbevelingen	56
	Bibliografie	59
	Bijlagen.....	61

1. PROBLEEMBESCHRIJVING

1.1 AANLEIDING

De wereld staat momenteel voor een aantal milieu uitdagingen. Natuurlijke en traditionele energiebronnen zijn schaars en raken uitgeput, de aarde warmt op en het milieu vervuult. Tegelijkertijd heeft de mens essentiële behoefte aan een gezond en comfortabel leefklimaat binnenshuis. 'Active House' probeert beide factoren met elkaar te verenigen.

'Nico Dekker ontwerp & bouwkunde' houdt zich bezig met het ontwerpen van vrijstaande woningen. De visie van het bedrijf is gebouwen te realiseren die de levens van hun bewoners gezonder en comfortabeler maakt, zonder het klimaat en milieu negatief te beïnvloeden - op weg naar een schonere, gezondere en veiligere wereld'.

'Active House' is een concept dat aansluit op de visie van 'Nico Dekker ontwerp & bouwkunde'.

Bij het ontwerpen van een 'Active House' is er veel ontwerpvrijheid. Deze bouwvisie schrijft geen specifieke oplossingen of producten voor, maar gaat uit van prestatie-eisen van het gehele gebouw. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Een relevant onderzoek naar de mogelijkheden voor het ontwerpen van een 'Active House' kan helpen om strategische keuzes te maken binnen een ontwerp, die aansluiten op de visie van 'Nico Dekker ontwerp & bouwkunde'.

'Nico Dekker ontwerp & bouwkunde' ziet mogelijkheden en kansen in de toepassing van het 'Active House' concept als uitgangspunt voor het ontwerpen van woningen om zijn opdrachtgevers beter te kunnen bedienen en advies te kunnen geven, en daardoor tevens zijn marktaandeel te vergroten.

1.2 DOEL- EN PROBLEEMSTELLING

Doelstelling

Het ontwerpen van een woning, zodanig dat deze gebaseerd is op de prestatie eisen die gesteld worden aan een 'Active House'.

Om deze doelstelling te laten slagen moet er kennis bestaan over de verschillende parameters en criteria die van belang zijn bij het maken van strategische keuzes binnen het ontwerpen van een 'Active House'. Daarom is de volgende probleemstelling geformuleerd:

Probleemstelling

"Wat zijn de mogelijkheden waarop het 'Active House' concept bij het ontwerpen van een gebouw geïmplementeerd kan worden, zodat deze voldoet aan de criteria die gesteld worden aan een 'Active House'?"

Onderzoeksvragen

De bovenstaande probleemstelling kan opgedeeld worden in de volgende onderzoeksvragen:

1. Wat is 'Active House'?
2. Aan welke criteria dient een 'Active House' te voldoen?
3. Wat is de meest geschikte bouwmethode voor een 'Active House'?
4. Met welke maatregelen kunnen de 'Active House' scores worden behaald?
5. Op welke manier kunnen de 'Active House' scores worden verbeterd?
6. Wat zijn de invloeden op overige parameters door de verbeteringen?

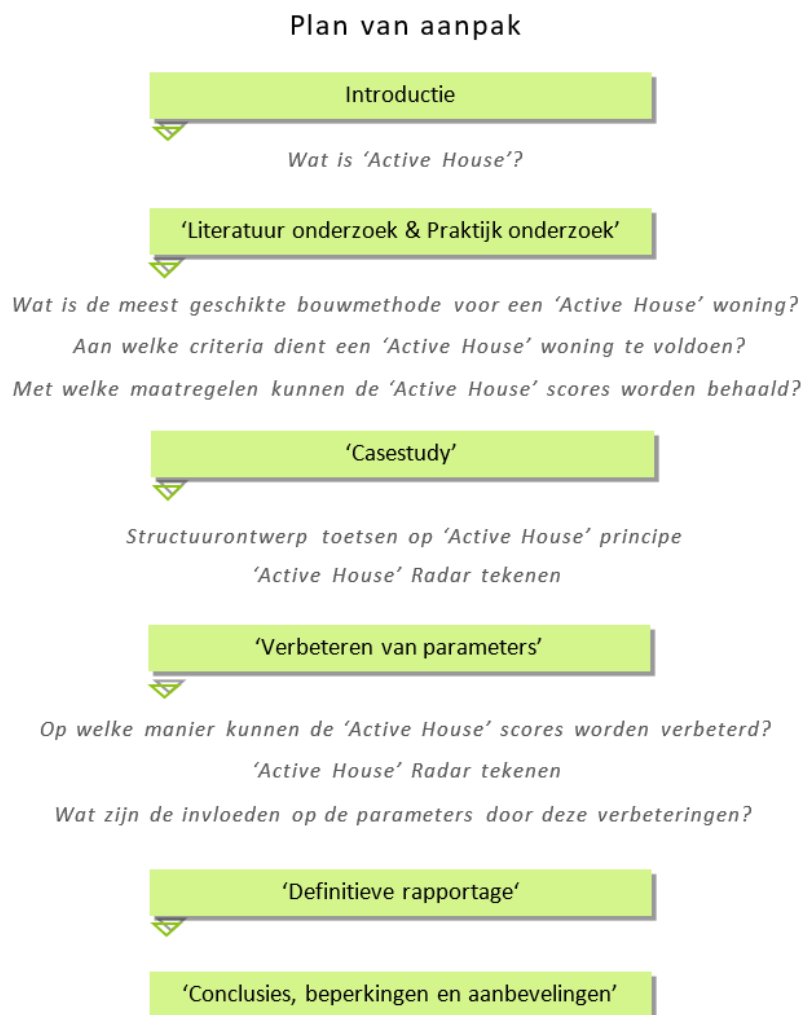
1.3 ONDERZOEKSOPZET

In figuur 1.1 is het plan van aanpak weergegeven. Het onderzoek bestaat uit verschillende delen. De hoofdstukken zijn hierop gebaseerd en zijn in een chronologische volgorde in het onderzoeksrapport(scriptie) verwerkt. Allereerst wordt beschreven wat het 'Active House' principe inhoudt en wat de meerwaarde is, hiervoor worden de 'Active House' ontwerprichtlijnen en technische specificaties uitvoerig gebruikt.

Vervolgens zijn er twee houtbouw methodieken, de traditionele houtskeletbouw en de massieve houtbouw beschreven en is er een vergelijking gemaakt tussen deze twee bouwmethoden.

Middels een literatuur- en praktijkstudie zijn er verschillende maatregelen naar voren gekomen die meegenomen kunnen worden in een ontwerp om te voldoen aan het 'Active House' principe. Vervolgens is er een Casestudy van een structuurontwerp opgezet volgens de minimale eisen van het bouwbesluit en deze is getoetst aan het 'Active House' principe. Van de behaalde scores in deze Casestudy is de 'Active House' Radar ingetekend.

Vervolgens is beschreven op welke manier de scores kunnen worden verbeterd. Ook dit is gevisualiseerd in een 'Active House' Radar.



Figuur 1.1 Plan van aanpak

1.4 LEESWIJZER

Het onderzoek heeft een logische volgorde en de hoofdstukken sluiten hier op aan. Per hoofdstuk zijn de hoofdpunten beschreven. Het onderzoek bestaat uit verschillende delen, in het eerste hoofdstuk wordt het probleem geformuleerd.

In hoofdstuk twee wordt een introductie gegeven over de materie van het 'Active House' concept en de wijze waarop een 'Active House' wordt beoordeeld. Tevens wordt het planningsproces en de meerwaarde van een 'Active House' beschreven.

In het derde hoofdstuk worden twee houtbouw methodieken beschreven en met elkaar vergeleken. Geconcludeerd zal worden wat de beste houtbouw methode zal zijn voor een 'Active House'.

In hoofdstuk vier worden verschillende maatregelen beschreven die meegenomen kunnen worden in het ontwerpproces om te voldoen aan de 'Active House' richtlijnen.

In hoofdstuk vijf is een structuurontwerp van een woning, gemaakt door het bedrijf 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde', getoetst aan het 'Active House' principe door middel van een Casestudy. Hieruit zijn ontwerpmaatregelen naar voren gekomen die nodig zijn om aan de minimale eisen van een 'Active House' te voldoen. Het structuurontwerp, inclusief de nodige maatregelen zijn vertaald naar de 'Active House' Radar.

In hoofdstuk zes worden maatregelen voorgesteld om de Casestudy beter te laten scoren op het 'Active House' principe. Deze verbeterde Casestudy is vervolgens vertaald naar een nieuwe 'Active House' Radar.

Ter afsluiting worden in hoofdstuk zeven conclusies getrokken en beperkingen beschreven. Ook worden aanbevelingen gedaan voor een mogelijk vervolgonderzoek.

2. 'ACTIVE HOUSE'

2.1 INTRODUCTIE

Visie

'Active House' is een visie op gebouwen die de levens van hun bewoners gezonder en comfortabeler maakt, zonder het klimaat en het milieu negatief te beïnvloeden – op weg naar een schonere, gezondere en veiligere wereld.

'Active House' doet een voorstel over hoe gebouwen zijn te ontwerpen en te renoveren om een positieve bijdrage te leveren aan de gezondheid, veiligheid en welzijn van zijn gebruikers. Dit is te bereiken door het voorstel zowel te richten/concentreren op het binnen- en buitenklimaat als op het efficiënt gebruik van energie. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Holistische benadering

Een 'Active House' wordt beoordeeld op de mate van interactie tussen binnenklimaat, energiegebruik en milieubelasting, waarbij wordt gestreefd naar de optimale balans.

Comfort – stimuleert een gezond en comfortabel leven.

Een 'Active House' creëert een gezond en comfortabel binnenklimaat voor de bewoners, met veel daglicht en verse lucht. Gebruikte materialen hebben een neutrale impact op het comfort en binnenklimaat.

Energie – heeft een positieve energiebalans van het gebouw.

Een 'Active House' is zeer energie-efficiënt. Alle, of bijna alle, benodigde energie wordt opgewekt door hernieuwbare bronnen geïntegreerd in het gebouw, of door lokale collectieve energievoorzieningen en het (landelijke) elektriciteitsnet.

Milieu – heeft een neutrale invloed op het milieu.

Een 'Active House' past in zijn omgeving door optimale afstemming op de lokale situatie, bewust gebruik van grondstoffen en de algehele milieubelasting gedurende de levensduur van het gebouw.

(Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Een 'Active House' wordt tevens beoordeeld aan de hand van drie sleutelprincipes. Dit zijn Comfort, Energie en Milieu. Elk principe bevat drie parameters waarop getoetst kan worden. Hierdoor zijn er in totaal negen parameters voor de beoordeling van de drie sleutelprincipes. Een 'Active House' wordt beoordeeld op de volgende negen kwantitatieve parameters:

Comfort

Daglicht:	-Daglichtfactor. -Beschikbaarheid direct zonlicht.
Thermische omgeving:	-Maximale kamertemperatuur. -Minimale kamertemperatuur.
Binnen lucht kwaliteit:	-Standaard hoeveelheid frisse lucht.

Energie

Energievraag:	-Jaarlijkse energievraag.
Energievoorziening:	-Bron van de energievoorziening.
Jaarlijkse energieprestatie:	-Jaarlijkse energieprestatie voor het gebouw.

Milieu

Milieubelasting:	-De mate waarin het milieu wordt beïnvloed door het gebouw. Op basis van de LCA- methode (levenscyclusanalyse).
Drinkwaterverbruik:	-Verminderen van het drinkwaterverbruik tijdens de levensduur van het gebouw.
Duurzaam materiaalgebruik:	-Gerecyclede content en verantwoorde bronnen

Kwantitatieve criteria

Van een gebouw dient ieder van de negen kwantitatieve parameters berekend of bepaald te worden. Met de verkregen getallen kan vervolgens uitgezocht worden of het gebouw in aanmerking komt om een 'Active House' genoemd te worden (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015).

De kwantitatieve parameters op de sleutelprincipes Comfort, Energie en Milieu worden onderverdeeld in verschillende criteria. Op ieder criterium is een score te behalen op een schaal van één tot vier. Deze scores zijn per Sleutelprincipe in de onderstaande tabellen weergegeven.

Comfort

Daglicht

1.1.1 Daglichtfactor

De hoeveelheid daglicht in een kamer wordt geëvalueerd via de gemiddelde daglichtfactor op een werkbladniveau:

1. $DF > 5\%$ gemiddeld
2. $DF > 3\%$ gemiddeld
3. $DF > 2\%$ gemiddeld
4. $DF > 1\%$ gemiddeld

1.1.2 Beschikbaarheid direct zonlicht

Minimaal één van de belangrijkste woonruimten moet van de lente tot de herfst direct zonlicht hebben.

1. Minimaal 10% van de verwachte zonne-uren
2. Minimaal 7,5% van de verwachte zonne-uren
3. Minimaal 5% van de verwachte zonne-uren
4. Minimaal 2,5% van de verwachte zonne-uren

Thermische omgeving

1.2.1 Maximale kamertemperatuur

Voor verblijfsruimten zonder mechanische koeling

1. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 20,8 \text{ C}$
2. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 21,8 \text{ C}$
3. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 22,8 \text{ C}$
4. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 23,8 \text{ C}$

Voor verblijfsruimten met mechanische koeling

1. $T_{i,o} < 25,5 \text{ C}$
2. $T_{i,o} < 26 \text{ C}$
3. $T_{i,o} < 27 \text{ C}$
4. $T_{i,o} < 28 \text{ C}$

1.2.2 Minimale kamertemperatuur

Voor verblijfsruimten

1. $T_{i,o} > 21 \text{ C}$
2. $T_{i,o} > 20 \text{ C}$
3. $T_{i,o} > 19 \text{ C}$
4. $T_{i,o} > 18 \text{ C}$

Binnenluchtkwaliteit

1.3.1 Standaard hoeveelheid frisse lucht

Standaard hoeveelheid frisse lucht in ppm boven de CO² concentratie buiten

1. 500 ppm boven de CO² concentratie buiten
2. 750 ppm boven de CO² concentratie buiten
3. 1000 ppm boven de CO² concentratie buiten
4. 1200 ppm boven de CO² concentratie buiten

Energie

Energievraag		1. $< 150 \text{ MJ} / \text{m}^2 = < 41,7 \text{ kWh} / \text{m}^2$
2.1.1	Jaarlijkse energievraag voor het gebouw in MJ / m^2	2. $< 225 \text{ MJ} / \text{m}^2 = < 62,5 \text{ kWh} / \text{m}^2$
		3. $< 300 \text{ MJ} / \text{m}^2 = < 83,3 \text{ kWh} / \text{m}^2$
		4. $< 450 \text{ MJ} / \text{m}^2 = < 125 \text{ kWh} / \text{m}^2$
Energievoorziening		1. 100% of meer
2.2.1	Aantal% van de door het gebouw gebruikte energie wordt op het perceel of door een nabijgelegen systeem geproduceerd	2. $> 75\%$
		3. $> 50\%$
		4. $> 25\%$
2.3.1	Jaarlijkse energieprestatie	1. $< 0 \text{ MJ} / \text{m}^2$
	Jaarlijkse energieprestatie voor het gebouw in MJ / m^2	2. $0 - 55 \text{ MJ} / \text{m}^2$
		3. $55 - 110 \text{ MJ} / \text{m}^2$
		4. $> 110 \text{ MJ} / \text{m}^2$

Milieu

Millieubelasting		1. $< -150 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ a}$
3.1.1	<u>Primair energieverbruik gedurende de gehele levenscyclus van het gebouw in $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ a}$</u>	2. $< 15 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ a}$
		3. $< 150 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ a}$
		4. $< 200 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ a}$
3.1.2	<u>Klimaatverandering (GWP) tijdens de levensduur van het gebouw in $\text{kg CO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$</u>	1. $< -30 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		2. $< 10 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		3. $< 40 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		4. $< 50 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
3.1.3	<u>Aantasting van de ozonlaag (ODP) tijdens de levensduur van het gebouw in $\text{kg R11-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$</u>	1. $< 2,25\text{E-}06 \text{ kg R11-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		2. $< 5,3\text{E-}06 \text{ kg R11-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		3. $< 3,7\text{E-}06 \text{ kg R11-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		4. $< 6,7\text{E-}06 \text{ kg R11-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
3.1.4	<u>Foto chemische oxidantvorming (POCP) tijdens de levensduur van het gebouw in $\text{kg C}_2\text{H}_4\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$</u>	1. $< 0,0025 \text{ kg C}_2\text{H}_4\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		2. $< 0,0040 \text{ kg C}_2\text{H}_4\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		3. $< 0,0070 \text{ kg C}_2\text{H}_4\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		4. $< 0,0085 \text{ kg C}_2\text{H}_4\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
3.1.5	<u>Verzuring (AP) tijdens de levensduur van het gebouw in $\text{SO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$</u>	1. $< 0,010 \text{ kg SO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		2. $< 0,075 \text{ kg SO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		3. $< 0,100 \text{ kg SO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$
		4. $< 0,125 \text{ kg SO}_2\text{-eq.}/\text{m}^2 \text{ a}$

3.1.6 Vermesting (EP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg PO4-eq./m² a

1. < 0,0040 kg PO4-eq./m² a
2. < 0,0055 kg PO4-eq./m² a
3. < 0,0085 kg PO4-eq./m² a
4. < 0,0105 kg PO4-eq./m² a

Drinkwaterverbruik

3.2.1 Verminderen van het drinkwaterverbruik tijdens de levensduur van het gebouw in verbetering in % versus het gemiddelde nationale waterverbruik

1. Verbetering > 50%
2. Verbetering > 30%
3. Verbetering > 20%
4. Verbetering > 10%

Duurzaam materiaalgebruik

3.3.1 Gerecyclede content in%

1. > 50%
2. > 30%
3. > 10%
4. > 5%

3.3.2 Verantwoorde bronnen in%

Het percentage (%) gebruikte hout dat gecertificeerd (FSC, PEFC) is.

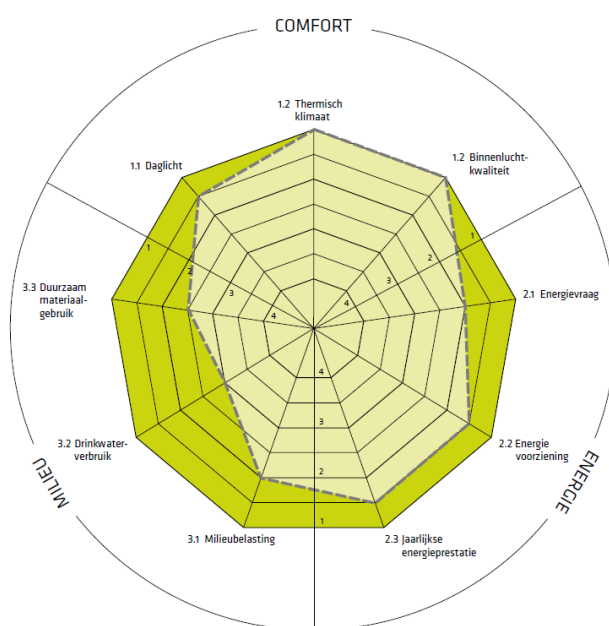
Het percentage (%) van de leveranciers van nieuwe materialen dat gecertificeerd (EMS) is.

- | | |
|-------------------|---------|
| 1. 100% FSC, PEFC | 80% EMS |
| 2. 80% FSC, PEFC | 50% EMS |
| 3. 65% FSC, PEFC | 40% EMS |
| 4. 50% FSC, PEFC | 25% EMS |

(Active House, Een internationale richtlijn, 2013)

Berekening

De evaluatie van een 'Active House' is gebaseerd op de eerdergenoemde negen kwantitatieve parameters, ieder onderverdeeld in vier prestatieniveaus (1 t/m 4) waarbij 1 de hoogste prestatie weergeeft. Iedere parameter wordt berekend volgens de 'Active House' specificaties. Wanneer de resultaten van de scores op de parameters van het 'Active House' berekend zijn kan een Radar worden ingetekend. In figuur 2.1 is een voorbeeld van deze Radar weergegeven.



Figuur 2.1 'Active House' Radar (Active House, Een internationale richtlijn, 2013)

Communicatie

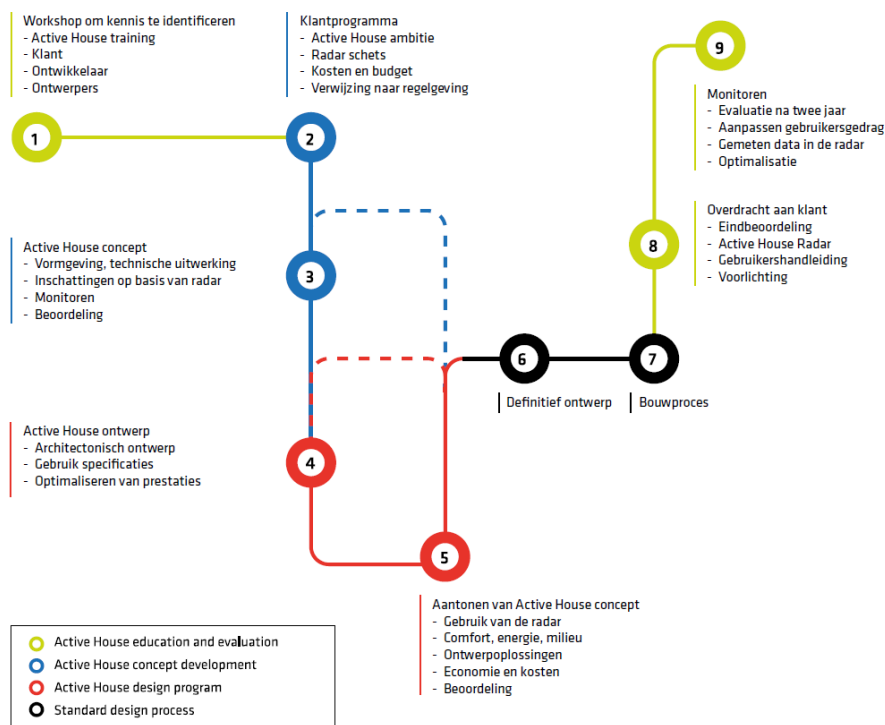
De Radar kan ook gebruikt worden als communicatiemiddel tussen de klant en de ontwerpers, waarbij de eisen en specificaties voor het specifieke gebouw zeer vroeg in de ontwerpfase kunnen worden meegenomen. De ambitieniveaus kunnen met behulp van de Radar worden vastgesteld en hier kan tijdens het ontwerpen rekening mee worden gehouden.

Referentie naar nationale standaarden

De normale referentie voor een project kan gebaseerd worden op minimale eisen volgens het bouwbesluit en nationale standaarden. Deze waarden kunnen in de 'Active House' Radar worden getekend, zodat zichtbaar wordt hoeveel beter een 'Active House' presteert ten opzichte van de nationale standaard. Dit betekent dat er dus twee spinnen in één Radar getekend zijn.

Planningsproces

Er zijn aanbevolen stappen voor het plannen van een 'Active House' volgens de 'Active House' ontwerprichtlijnen. In figuur 2.2 worden deze stappen weergegeven:



Figuur 2.2 Aanbevolen stappen planningsproces 'Active House'.

(Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Het planningsproces begint bij de verzameling van kennis over het 'Active House' concept in de vorm van bijvoorbeeld een workshop of een training met het ontwerpteam en het verzamelen van voldoende informatie over het concept. Met de verzamelde informatie kunnen de ambities van een opdrachtgever worden vastgesteld, kan de 'Active House' Radar worden geschetst en de daarbij behorende indicatie van de kosten worden gegeven. Deze fase kan worden afgesloten met het vaststellen van de ambitieniveaus van de opdrachtgever.

Vervolgens kan een ontwerp gemaakt worden op basis van de geschetste 'Active House' Radar. De verwachte scores op de 'Active House' criteria kunnen hierbij worden ingeschat. Als de te verwachte scores overeen komen met de gestelde ambitieniveaus, kan het voorlopig ontwerp uitgewerkt worden en vervolgens het definitief ontwerp. Na het definitief ontwerp volgt het bouwproces en bij voltooiing van de woning/het gebouw kan de overdracht aan de klant/ opdrachtgever plaatsvinden. Tenslotte kan worden getoetst of de scores op de 'Active House' criteria voldoen aan het gestelde ambitieniveau.

Een andere benadering is de toetsing van het 'Active House' concept en het aantonen van de scores op de gestelde parameters vóór te doen aan het bouwproces. Hierdoor kan nog nauwkeuriger in kaart worden gebracht hoe het ontwerp na voltooiing naar verwachting zal scoren op de criteria binnen het 'Active House' concept. Wanneer de te verwachten prestaties bekend zijn kunnen deze nog verder worden geoptimaliseerd. Deze benadering van het 'Active House' concept wordt in hoofdstuk 5, de Casestudy, toegepast.

Kwalitatieve criteria

Naast de kwantitatieve criteria wordt een 'Active House' ook beoordeeld op kwalitatieve criteria. Deze kwalitatieve criteria staan voor een percentage waarin een ontwerp/woning voldoet aan het concept en kan worden bepaald aan de hand van de beantwoording van vragen met 'Ja' of 'Nee' en een argumentatie op het antwoord. De kwalitatieve criteria zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

2.2 MEERWAARDE

Een 'Active House' heeft op bepaalde aspecten meer te bieden dan andere bouwconcepten zoals een passiefhuis. Passiefhuis en 'Active House' hebben raakvlakken op het gebied van energieverbruik, zijn daarentegen ook sterk verschillend in aspecten als Comfort en Milieubelasting. Uit een onderzoek van Iris de Goijer naar de afstemming van de 'Active House' specificaties op de Nederlandse regelgeving en bouwmethodiek zijn de volgende overeenkomsten en verschillen tussen een 'Active House' en passiefhuis geconstateerd.

Beide concepten betreffen energiezuinige gebouwen en dienen te voldoen aan een aantal minimale eisen. Voor een passiefhuis geldt dat de jaarlijkse energievraag voor ruimteverwarming en koeling beperkt moet blijven tot 15 KWh/m². Dit getal staat gelijk aan een 'Active House' score van 2. Naast deze concrete eis dient er bij beide bouwconcepten ook rekening gehouden te worden met een aantal andere belangrijke onderdelen. Door zeer goede isolatie en een zeer goede luchtdichting worden de warmteverliezen beperkt. De warmtewinsten worden geoptimaliseerd door het gebruik van passieve energie, denk aan warmte van de zon. Ten slotte wordt de luchtkwaliteit gewaarborgd bij beide concepten. Bij een passiefhuis door ventilatie met warmteterugwinning (WTW) en bij een 'Active House' door de minimale eis van 1200 ppm boven de CO² concentratie buiten te stellen.

Bij het principe van 'Active House' worden er naast verschillende eisen aan energiegebruik ook eisen gesteld met betrekking tot het comfort en het milieu. Bij het onderdeel comfort hebben een passiefhuis en een 'Active House' overeenkomsten op het gebied van luchtkwaliteit, beide concepten houden hier rekening mee. Het principe van 'Active House' geeft echter specifieke eisen aan de binnen luchtkwaliteit, terwijl een passiefhuis dit niet geeft. Naast luchtkwaliteit wordt er bij het principe van 'Active House' ook nog eisen gesteld aan de daglichttoetreding, en de minimale en maximale kamertemperaturen in het gebouw.

Op het onderdeel energie hebben de beide principes ook raakvlakken, maar ook verschillen. Zo wordt er bij allebei gestreefd naar een zo laag mogelijke energiebehoefte en ook een eis gesteld aan de jaarlijkse energievraag. Voor een passiefhuis geldt dat de jaarlijkse energievraag ten hoogste 120 KWh/m² mag bedragen. Dit staat gelijk aan $120 * 3,6 = 432$ MJ/ m². Om een minimale score van 4 bij 'Active House' te behalen, mag de jaarlijkse energievraag ten hoogste 450 MJ/ m² bedragen.

Bij een passiefhuis mag de jaarlijkse energievraag voor verwarming slechts 15 KWh/m² bedragen. Bij het principe van 'Active House' zijn er verder geen specifieke eisen beschreven omtrent de jaarlijkse energievraag voor verwarming. Daarentegen stelt het principe van 'Active House' wel meer eisen aan het onderdeel duurzaam energiegebruik. Zo dient minimaal 25% van de door het gebouw gebruikte energie op het perceel of door een nabijgelegen systeem geproduceerd te worden. Ook wordt er een eis gesteld aan de jaarlijkse energieprestatie voor een gebouw bij 'Active House'. Op het onderdeel energie hebben de beide principes dus zowel raakvlakken als enkele verschillen.

Het laatste onderdeel is milieu. Om aan het bouwconcept van een passiefhuis te voldoen, hoeft er aan geen enkele milieueis te worden voldaan. Om een 'Active House' te worden, dient er echter wel aan een aantal milieueisen voldaan te worden. Dit zijn niet alleen eisen met betrekking tot de milieubelasting van de toegepaste materialen, maar ook eisen die betrekking hebben op het drinkwaterverbruik en het duurzaam materiaalgebruik.

De meerwaarde van een 'Active House' is dat er niet alleen gekeken wordt naar hoeveel energie een gebouw verbruikt, maar ook of het prettig is om in een gebouw te verblijven en wat de impact van het gebouw op het milieu is. Deze twee laatste belangrijke onderdelen zijn niet terug te vinden in andere bouwconcepten zoals passief bouwen. Bij andere bouwconcepten worden er alleen eisen gesteld aan het energieverbruik en niet aan bijvoorbeeld de hoeveelheid daglicht dat de woning binnen dient te komen of hoe warm het maximaal in de ruimtes mag worden in de zomer. (Goijer, 2014)

3. BOUWMETHODIEK

3.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan verschillende bouwmethodes. Er zijn twee verschillende houtbouw methodes en een aantal alternatieve bouwsystemen.

De twee houtbouw methodes zijn de traditionele houtskeletbouw (HSB) en het nog minder bekende bouwsysteem met massieve houten verlijmden platen (CLT). Het massief houten bouwsysteem is interessant omdat het vaker wordt toegepast als hoofddraagconstructie van een 'Active House'. De houtbouw methodes worden met elkaar vergeleken op thermische eigenschappen, constructieve eigenschappen, het installatiegemak, de belasting op het milieu en de kosten.

Voor beide methoden worden de uitgangspunten volgens NIBE gehanteerd:

De hoofddraagconstructie van een eengezinswoning met een beukmaat van 5,4 m. De woning is gefundeerd met prefab funderingspalen met een draagkracht van 500kN. De hoofddraagconstructie voldoet aan de sterkte-, geluids- en brandwerendheidseisen. Het gebruikte hout en plaatmateriaal is uitsluitend afkomstig uit de duurzame bosbouw. De volledige materialisatie is teruggerekend naar 1 m² BVO. (NIBE, 2018)

Het hoofdstuk wordt afgesloten met een keuze voor een bepaalde houtbouw methode op basis van de bevindingen. Deze houtbouw methode wordt vervolgens toegepast als uitgangspunt van de bouwmethodiek voor het ontwerp.

3.2 HOUTSKELETBOUW

Oorsprong en verspreiding

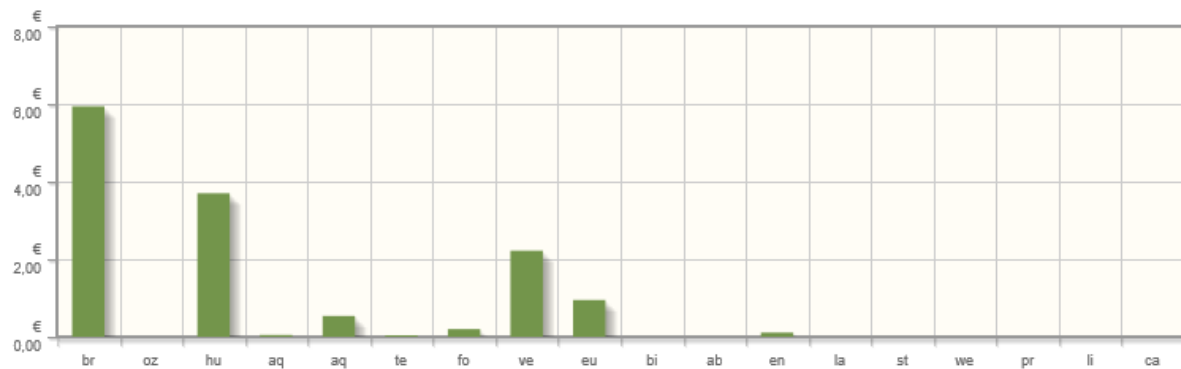
Houtskeletbouw wordt vaak toegepast in gebieden waar veel hout beschikbaar is, of gebieden die niet over voldoende steenachtige materialen beschikken. De bekendste vorm is het vakwerk, dat sinds de middeleeuwen in Midden-Europa en op de Britse eilanden eeuwenlang de belangrijkste bouwmethode voor woonhuizen was. Geografisch gezien is er sprake van een sterke spreiding van houtskeletbouw als constructiemethode. Zo is 90% van alle woonhuizen in Canada en de Verenigde Staten opgetrokken in houtskeletbouw. Ook in de bosrijke gebieden van de tropen is hout in overvloed beschikbaar. Ten noorden van de Pyreneeën en de Alpen wordt traditioneel veel met hout(skeletbouw) gebouwd. In Scandinavië en Midden-Europa is veel hout beschikbaar en isoleert het relatief goed tegen de kou vergeleken met steen.

In Nederland was houtskeletbouw oorspronkelijk erg populair in gebieden met een weinig draagkrachtige bodem. Een goed voorbeeld hiervan is de Zaanstreek. Door de aanvoermogelijkheden over zee en de rivieren was hout eenvoudig te vervoeren naar de lage landen. Het voordeel van hout is dat het een relatief licht bouw materiaal is. Dit vereenvoudigt het transport van zowel grondstof als bouwelement. Bovendien kan met een lichtere fundering worden volstaan; reden waarom bij het uitbreiden van gebouwen met een extra verdieping (ook wel optoppen genoemd) vaak gebruikgemaakt wordt van HSB.

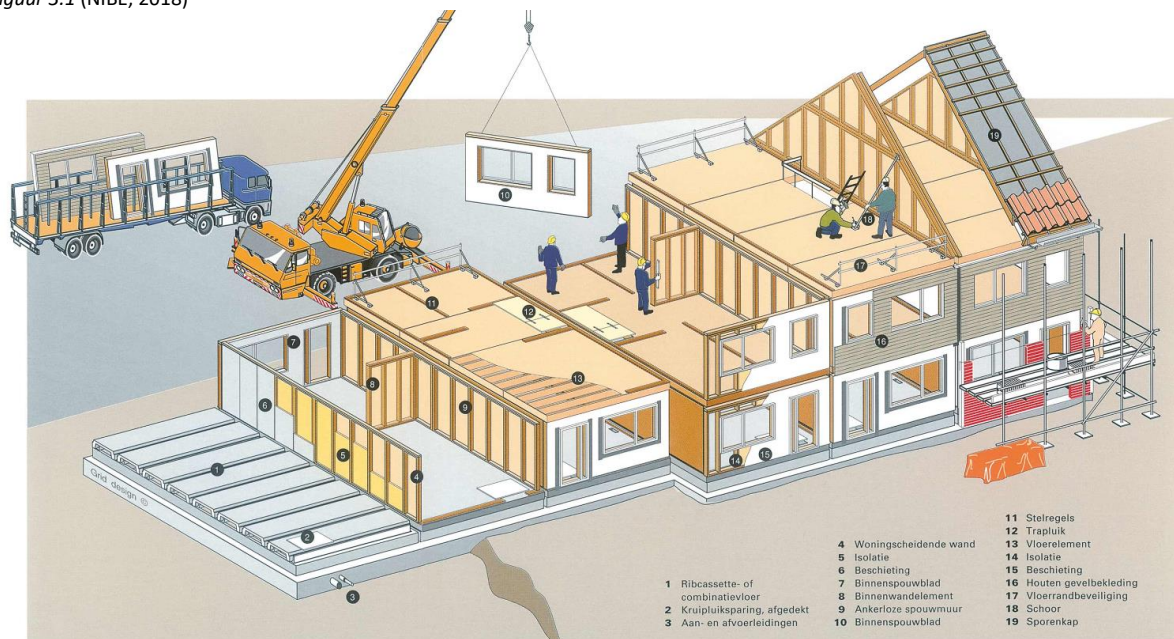
Tegenwoordig wordt in Nederland houtskeletbouw veel toegepast voor het maken van gevel- en dak elementen. De elementen worden in een fabriek geproduceerd en worden per vrachtauto naar de bouwplaats gebracht. Vervolgens zijn de elementen relatief eenvoudig te plaatsen, waardoor een gebouw snel wind- en waterdicht kan worden gemaakt.

Milieubelasting

De houtskeletbouw methode valt onder NIBE milieuklasse 1A met een totale schaduwkosten van €13,74 en is daarmee de eerste keus voor de hoofddraagconstructie wanneer het milieu het belangrijkste criterium vormt. De schaduwkosten zijn weergegeven in figuur 3.1. Hierbij wordt uitgegaan van een houtskeletbouw draagconstructie en een houten balklaag.



Figuur 3.1 (NIBE, 2018)



Figuur 3.2 (Vree, 2018)

Voordelen:

- snel bouwsysteem en mogelijkheid tot complete prefabricage.
- droog bouwsysteem, bijkomende reductie van de uitvoeringstermijn.
- volledig recycleerbaar en dus ecologisch materiaal.
- de dragende en isolerende functie kunnen in één gezamenlijke dikte in de wandopbouw zitten.
- voorzien van een houtvezelplaat aan de buitenzijde en een OSB- of spanplaat aan de binnenzijde is de wand dragend, isolerend, lucht- en winddicht.
- alle mogelijke vlakken zijn eenvoudig uit te voeren: verticaal, hellend, vlak maar ook ronde of andere speelse vormen.
- licht bouwsysteem, ideaal als uitbreiding in de hoogte bij renovatie of voor nieuwbouw op zwak dragende grond.
- minder coördinatie nodig, één aannemer kan verantwoordelijk zijn voor de hele dragende constructie (muren en dak), isolatie en luchtdichtheid.

(Knack, 2018)

Aandachtspunten:

- architectuur met grote overspanningen is niet mogelijk; voor grotere openingen zijn vaak enkele gelamelleerde houten of staalkolommen of -liggers nodig.
- om technieken te voorzien en voor de esthetische afwerking wordt er een bijkomende voorzetwand met leidingspouw voorzien: voor de technieker minder werk (geen slijp- en cementeringswerken) maar wel extra timmerwerk van de leidingspouw en afwerkingsplaat.

- weinig tot geen thermische massa waardoor grotere temperatuurschommelingen in het binnenklimaat zullen optreden; met gepaste isolatiematerialen (bijv. cellulose) kan de thermische inertie wel verhoogd worden.
 - akoestische isolatie tussen ruimtes onderling is een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp (stapelgeluiden op een houten vloer, ontbreken van massieve muren tussen ruimtes).
- (Knack, 2018)

Kosten

De kosten van een traditioneel houtskeletbouwsysteem zijn weergegeven in figuur 3.3. Deze kosten bestaan uit de constructie, de isolatie en de afwerkingen. Hierbij is uitgegaan van een houtskeletbouw systeem met CLS 40x170mm.

Overzicht					
Totalen bouwdeelen					€ 142,32
Bouwdeel	Omschrijving	Aantal	1h	Prijs / 1h	Bedrag
212412 401	spouwwand rabatdelen-steenwol-houtskelet 20-170-25mm	1	m2	142,32	€ 142,32
	geschaafd vuren 40x170mm, cls	2,59	m1	6,71	€ 17,41
	geschaafd vuren 32x75mm, verduurzaamd	1,66	m1	4,77	€ 7,90
	gipsvezelplaat, dikte 12,5mm	2,00	m2	19,23	€ 38,46
	gemodificeerd houten rabatdeel 141x20mm, zweedsrabat, horizontaal	6,60	m1	8,33	€ 55,01
	steenwolplaat [Rd 4,50], dikte 170mm	1,00	m2	15,26	€ 15,26
	gewapende lpde folie, dampremmend en waterdicht	1,00	m2	2,46	€ 2,46
	gewapende [geperforeerde] lpde folie, dampdoorlatend en waterkerend	1,00	m2	2,49	€ 2,49
	steiger	0,40	m1	8,35	€ 3,34

Toelichting condities: alle bedragen zijn exclusief abk, ak, winsten, risico en bijkomende kosten en exclusief BTW
Het gemiddelde uurloon bedraagt: € 38,00

Figuur 3.3 (Bouwkosten Online, 2018)

Wanneer de onderdelen worden ingevoerd in de begroting Excel sheet van 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde' zijn de kosten per m² complete houtskeletbouw gevel inclusief afwerking €136,70,- exclusief de kosten van de werkvoorbereiding. Ook de kosten van een eventuele steiger zijn niet opgenomen.

Wanneer de gemiddelde kosten worden opgenomen is de rekensom als volgt: €142,32,- + €136,70,- / 2 = €139,51,-.

De gemiddelde prijs van een complete houtskeletbouw wand is daarmee €140,- per m².

3.3 MASSIEVE HOUTBOUW

Oorsprong en verspreiding

Een ander voorbeeld van bouwen met hout is de massieve houtbouw, dit is een veel minder courant voorkomend systeem van houtbouw met daarbinnen het onderscheid tussen massieve houtbouw met balken of met platen. De massieve houtbouw met balken is al een eeuwenoud systeem, vaak ook houtstapelbouw genoemd. In de Oostenrijkse of Zwitserse bergen is dat het bouwsysteem bij uitstek voor berghutten. Qua esthetiek associëren mensen het daar ook mee, hoewel het er heel hedendaags kan uitzien.

De massieve houtbouw met platen is een relatief nieuw bouwsysteem dat overgewaaid is uit de Scandinavische landen. Het grote voordeel van een massieve houtbouw met platen is stabiliteit technisch: er kunnen gebouwen uit hout opgetrokken worden tot wel zeven verdiepingen. Met een traditionele houtskeletbouw is dat niet mogelijk.

De massieve houten platen of Cross Laminated Timber (CLT) lijken op een uitvergroete versie van een multiplexplaat. Verschillende houten planken worden kruiselings over elkaar gelijmd, zoals ook bij gelamelleerde balken gebeurt. Zo ontstaat een dikke, druk vaste plaat waarin de openingen al in de fabriek uitgezaagd worden.

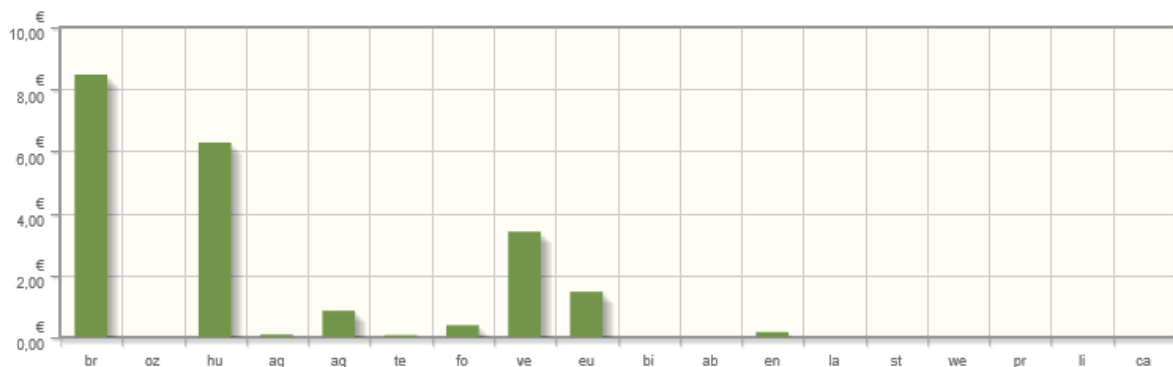
De plaat kan niet alleen als wand maar ook als vloer of dak toegepast worden. Het gebruik van die wanden levert een uniek en eigentijds interieurbeeld op.

Het grote nadeel van dit houtbouwsysteem is dat er wel gewerkt wordt met ecologisch basismateriaal, maar dat door de gebruikte volumes en afmetingen vaak een vijfvoud van het hout gebruikt wordt als bij een traditionele houtskeletbouw. Bij de massieve constructieplaten is er bovendien veel lijm toegevoegd.

Milieubelasting

De massieve houtbouw methode valt onder NIBE milieuklasse 1C met een totale schaduwkosten van €21,21,- en is daarmee de vierde keus bij het 'Active House' concept voor de hoofddraagconstructie wanneer het milieu de belangrijkste criterium vormt. De schaduwkosten zijn weergegeven in figuur 3.4.

Hierbij wordt uitgegaan van een houtskeletbouw draagconstructie en massief houten vloeren. Deze draagconstructie is gekozen omdat er (nog) geen massief houten wanden in de NIBE classificaties zijn opgenomen.



Figuur 3.4 (NIBE, 2018)

Voordelen:

- stevig en modulair bouwsysteem, gemakkelijk tot zeven verdiepingen.
- volledige prefabricage van de massieve houten platen in grote maten.
- droog bouwsysteem.
- volledig recyclebaar en dus ecologisch materiaal.

(Knack, 2018)

Aandachtspunten:

- massieve houtbouw heeft alleen een dragende functie, dezelfde dikte kan niet ingezet worden als isolerende laag.
- architectuur met grote overspanningen is niet mogelijk; voor grotere openingen zijn vaak enkele gelamelleerde houten of staalkolommen of -liggers nodig.
- alle technieken moeten vooraf op de werf voorzien worden, in de houten platen of achter de houten balken.
- de massieve houten binnen afwerking levert een erg specifieke architectuur op die niet voor iedereen weggelegd is; de muren en plafonds kunnen ook worden bedekt met gipsplaten.
- weinig thermische massa waardoor grotere temperatuurschommelingen in het binnenklimaat zullen optreden.
- met gepaste isolatiematerialen kan de thermische inertie verhoogd worden.
- de akoestische isolatie tussen ruimtes onderling is een belangrijk aandachtspunt bij het ontwerp (stapgeluiden op een houten vloer).
- beperkt marktaandeel, dus vaak hogere investering en langere wachttijden.
- zware bouwmethode waardoor een kraan voor de montage altijd noodzakelijk is.
- hoog materiaalverbruik (veel hout maar ook veel verlijming).

(Knack, 2018)

Kosten

De kosten van een massief houtbouwsysteem zijn weergegeven in figuur 3.5. Deze kosten bestaan enkel uit de kosten van de 'kale' constructie inclusief de montage. Hierbij is uitgegaan van een massieve wanddikte van 115mm.

Overzicht				
Totalen bouwdelen				€ 124,30
Bouwdeel	Omschrijving	Aantal	1h	Prijs / 1h
212161 502	massief houten wandelement, dikte 115mm 5-lagen	1	m2	124,30
	massief constructief element, dikte 125mm	1,00	m2	100,80
	montage element	1,00	m2	20,00
	bevestigingsmidden	1,00	m2	3,50
	koppellijsten tbv verbinding elementen	0,00	m1	€ 0,00
	meerprijs extra opening <15m2	0,00	st	€ 0,00
	meerprijs freeswerk elektraleiding	0,00	st	€ 0,00
	meerprijs boring wcd	0,00	st	€ 0,00
Toelichting condities: alle bedragen zijn exclusief abk, ak, winsten, risico en bijkomende kosten en exclusief BTW Het gemiddelde uurloon bedraagt: € 38,00				

Figuur 3.5 (Bouwkosten Online, 2018)

Met deze kosten van de massief houtbouw wand zijn de totalen nog niet compleet. De isolatie en afwerking aan de buitenzijde is nog niet in deze kosten inbegrepen.

Voor de isolatie en afwerking aan de buitenzijde worden, om een goed inzicht te krijgen in de kosten, dezelfde materialen toegepast als bij het eerder genoemde houtskeletbouw systeem. De kosten van de isolatie worden daarmee €15,26 Rabat €8,33 en geschaafd vuren €4,77 Totale kosten welke worden toegevoegd aan het massief houtbouwsysteem zijn: €15,26 + €8,33 + € 4,77 = €28,36 per m².

Wanneer de totale kosten worden genomen is de rekensom als volgt: €124,30 + €28,36 = €152,66
De gemiddelde prijs van een complete massief houtbouw wand is daarmee €153,- per m².

Volgens Nieman raadgevende Ingenieurs BV. kunnen de volgende conclusies getrokken worden betreffende CLT kruislaaghout:

- CLT heeft een hogere warmtecapaciteit dan een HSB-element.
- CLT heeft een hogere contacttemperatuur.
- Bij een dampopen buitenzijde heeft CLT geen dampremmende laag nodig.
- Een binnenblad van CLT is luchtdichter dan bij HSB.
- CLT kent eenvoudigere details, dus grotere kans op luchtdichtheid.
- CLT is Kwetsbaar ten aanzien van vocht tijdens uitvoering.

(Starink, 2015)

Het 'Active House' in Schiedam, ontworpen voor en door opdrachtgever en architect Reimar von Meding van KAW architecten, heeft een massief houten constructie. Reimar heeft tijdens het ontwerpen van zijn woning de keuze gemaakt voor een constructie van massieve houtbouw wegens een vergelijking met een betonnen casco, dit was oorspronkelijk de bedoeling. (Meding, 2018)

"Houtbouw is duurder dan een beton- of kalkzandsteencasco. Maar bouwen met hout is behoorlijk exact. De buitenzijde van een houten casco is vlak. Dat betekent dat je uitvoeringsvoordelen hebt bij het aanbrengen van de spouwisolatie. Je kunt makkelijker hoogwaardige producten met stijve eigenschappen toepassen. En je kunt één hele handeling overslaan. Normaal gesproken moet je in een casco een gat boren, een plug slaan en daar een anker in schroeven. Bij dit houten casco kun je gewoon direct een anker in het casco schroeven. En dat is in dit gebouw ongeveer tweeduizend keer gebeurd – dat is winst." (Meding, 2018)

3.4 VERGELIJKING BOUWSYSTEEM

In de voorgaande paragrafen is een nadere beschrijving gegeven van het houtskeletbouw systeem en de massieve houtbouw methode. Aan de hand van verschillende criteria wordt in de onderstaande tabel, figuur 3.6 een vergelijking gemaakt om te komen tot het bouwsysteem dat het beste past binnen de visie van 'Active House'. In de tabel staat een + voor de betere keuze en een – voor de mindere keuze.

Criterium	Bouwmethode	
	Houtskeletbouw	Massief houtbouw
Thermische eigenschappen	-	+
Constructieve eigenschappen	-	+
Installatiegemak	+	-
Milieubelasting	+	-
Kosten	+	-
Totaal	V	

Figuur 3.6 Vergelijkingstabel houtbouw systemen

Thermische eigenschappen

De massieve houtbouw methode scoort beter op het criterium thermische eigenschappen. Vanwege de hogere warmtecapaciteit en contacttemperatuur dan bij traditionele houtskeletbouw. Daarnaast heeft een massief houten constructie een betere luchtdichtheid dan de traditionele houtskeletbouw. De luchtdichtheid van een massief houten constructie is gelijk aan die van een passiefhuis met een qv10 waarde van wel 0,10

Constructieve eigenschappen

De massieve houtbouw methode scoort beter op het criterium constructieve eigenschappen. Door de grotere massa van de constructieplaten kunnen grotere overspanningen worden bereikt en meerdere verdiepingen worden gebouwd. Dit is bij traditionele houtskeletbouw niet mogelijk. Massieve houtbouw is dan ook beter geschikt voor het bouwen in grotere hoogten.

Installatiegemak

De traditionele houtskeletbouw methode is beter geschikt voor het aanbrengen en aanpassen van installaties tijdens de bouw. Met deze manier van bouwen is het mogelijk om nog in een later stadium wijzigingen aan te brengen. Dit is bij massieve houtbouw niet mogelijk aangezien de massieve wanden geprefabriceerd worden in de fabriek.

Milieubelasting

De traditionele houtskeletbouw methode scoort beter op het criterium milieu. In de basis is er voor deze manier van bouwen minder hout nodig, waardoor minder productie plaatsvindt. Voor de massieve houtbouw is er wel een vijfvoud aan hout nodig dan bij de traditionele houtskeletbouw.

Kosten

De traditionele houtskeletbouw methode is goedkoper dan de massieve houtbouw methode. Doordat er minder hout wordt gebruikt (wel een vijfvoud minder) en het systeem bekender is bij meerdere bouwers/ aannemers is het marktaandeel hierdoor groter en de prijs lager.

Een traditionele houtskeletbouwmethode scoort op een aantal criteria beter dan de massieve houtbouw methode. Met name de kosten en de belasting op het milieu scoren minder goed bij de massieve houtbouw. Aangezien de massieve houtbouw methode regelmatig wordt toegepast in een 'Active House' en vanwege de ontbrekende kennis hierover bij het afstudeerbedrijf 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde', pas ik deze methode toe binnen het ontwerp/de Casestudy.

Opvallend genoeg zijn er ook steenachtige materialen die beter of nagenoeg gelijk scoren in de milieuclassificatie dan de massieve houtbouw methode. Wanneer de milieucriteria de belangrijkste criteria vormen kunnen deze bouwmethoden met steenachtige materialen als alternatief worden gezien. Deze alternatieven worden in het volgend hoofdstuk behandeld.

3.5 ALTERNATIEVEN

Er zijn nog een aantal alternatieve bouwsystemen van verschillende steenachtige materialen. Opvallend is de milieuclassificering van verschillende steenachtige materialen, deze scores als hoofddraagconstructie in enkele gevallen beter of gelijk aan de massieve houtbouw methode. Er zijn vier alternatieve bouwmethoden die (nagenoeg) gelijk scoren aan of beter scoren dan de massieve houtbouw methode. Dit zijn de volgende draagconstructies:

- Draagconstructie HSB & Houtenbalklaag
- Draagconstructie HSB & Houten kanaalplaatvloer
- Draagconstructie Kalkzandsteen en kanaalplaatvloer
- Draagconstructie kalkzandsteen en breedplaatvloer

Draagconstructie HSB & Houtenbalklaag

Deze draagconstructie is eerder behandeld en vormt het beste alternatief voor de massieve houtbouw methode op het milieucriterium.

Dit product valt in milieuklasse 1a en is daarmee milieutechnisch de beste keuze. Het basisprofiel Prefab beton C20/25 XC2, 0% puingranulaat, CEM I veroorzaakt met 29% het grootste deel van de schaduwkosten, daarop volgen het basisprofiel vuren multiplex uit duurzame bosbouw met 27,6% en het basisprofiel vuren schroten uit duurzame bosbouw met 25,2% van de schaduwkosten. (NIBE, 2018)

Schaduwkosten: € 13,74,-

Draagconstructie HSB & Houten kanaalplaatvloer

Dit product valt in milieuklasse 1b en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze. Het basisprofiel gelamineerde grenen planken uit duurzame bosbouw veroorzaakt met 51,4% het grootste deel van de schaduwkosten, daarop volgen het basisprofiel Prefab beton C20/25 XC2, 0% puingranulaat, CEM I met 23,9% en het basisprofiel gipskartonplaat met 6,9% van de schaduwkosten. (NIBE, 2018)

Schaduwkosten: € 16,75,-

Draagconstructie kalkzandsteen en kanaalplaatvloer

Dit product valt in milieuklasse 1c en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze. Het basisprofiel Prefab beton C20/25 XC2, 0% puingranulaat, CEM I veroorzaakt met 64,2% het grootste deel van de schaduwkosten, daarop volgen het basisprofiel kalkzandsteen met 14,1% en het basisprofiel zandcement met 13,4% van de schaduwkosten. (NIBE, 2018)

Schaduwkosten: € 19,05,-

Draagconstructie kalkzandsteen en breedplaatvloer

Dit product valt in milieuklasse 1c en is daarmee milieutechnisch een zeer goede keuze. Het basisprofiel Prefab beton C20/25 XC2, 0% puingranulaat, CEM I veroorzaakt met 64,2% het grootste deel van de schaduwkosten, daarop volgen het basisprofiel kalkzandsteen met 14,1% en het basisprofiel zandcement met 13,4% van de schaduwkosten. (NIBE, 2018)

Schaduwkosten: € 21,43,-

De massieve houtbouw methode valt onder NIBE milieuklasse 1C met een totale schaduwkosten van € 21,21. Deze schaduwkosten liggen dus maar € 0,22 lager dan een bouwmethode kalkzandsteen en breedplaatvloer.

Ongunstige draagconstructie

De slechtste score wordt toegekend aan een draagconstructie van in situatie gestort beton. Hierbij wordt uitgegaan van de wanden en vloeren, beide in de situatie gestort.

Schaduwkosten: € 29,44. Ter vergelijking, dit ligt 28% hoger dan de massieve houtbouw methode.

4. MAATREGELEN SCORES 'ACTIVE HOUSE'

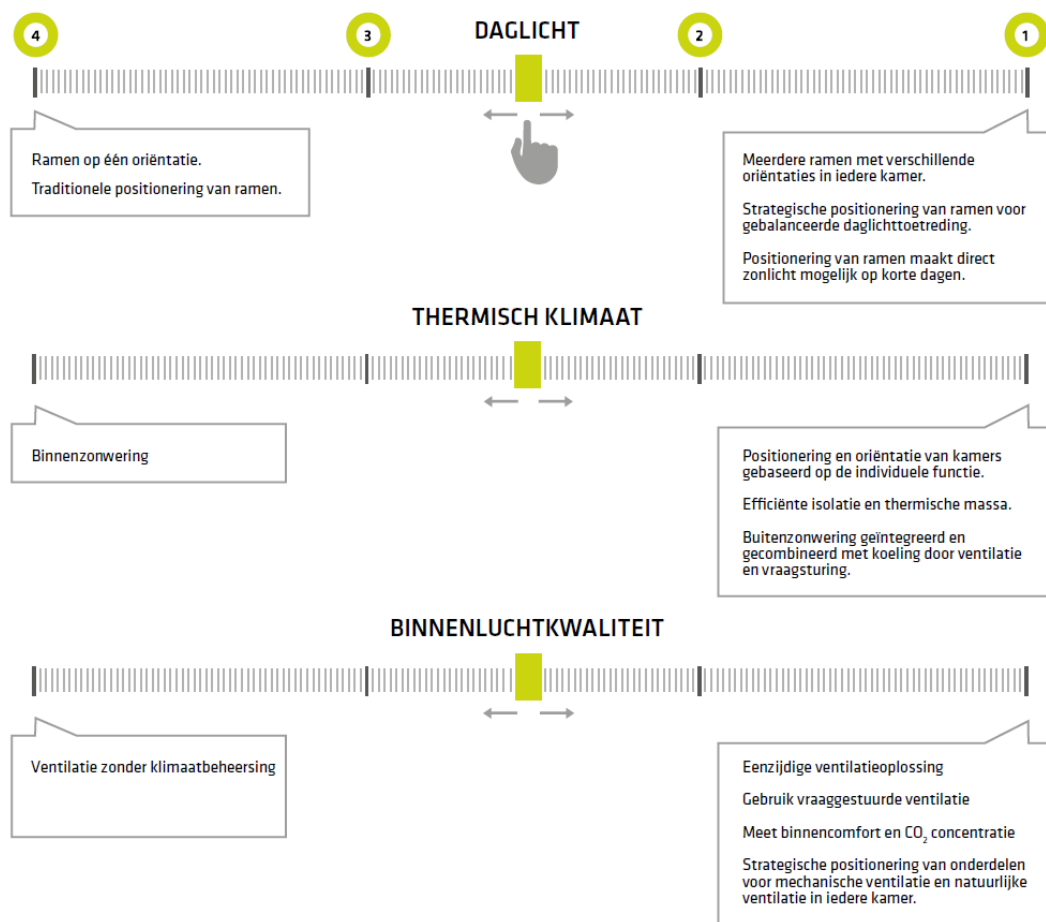
Er kunnen verschillende maatregelen worden toegepast om scores te behalen op de drie sleutelprincipes: Comfort, Energie en Milieu. In de volgende paragrafen worden enkele van deze maatregelen beschreven.

4.1 COMFORT

Om het comfort binnen een 'Active House' te optimaliseren is bijvoorbeeld daglicht te verbeteren door meer ramen of een andere oriëntatie van de ramen. Om de parameter daglicht te verbeteren zijn er bijvoorbeeld meer ramen nodig of is een andere oriëntatie van de ramen nodig. Het structuurontwerp ligt vast en wordt getoetst op het sleutelprincipe Comfort van het 'Active House'.

De minimale- en maximale kamertemperatuur in verblijfsruimtes en de standaard hoeveelheid frisse lucht in ppm boven de CO² concentratie buiten, zijn bijvoorbeeld sterk afhankelijk van de installatie systemen die gebruikt worden in de woning. Het criterium op de parameter binnenluchtkwaliteit van het sleutelprincipe comfort stelt, dat er in een 'Active House' in ieder geval een CO² gestuurd ventilatiesysteem aanwezig dient te zijn. Wanneer er geen CO² gestuurd ventilatiesysteem aanwezig is, kan het aantal ppm in een verblijfsruimte namelijk niet gemeten worden en kan er dus nooit een score 1 of zelfs 4 worden behaald op dit criterium.

Het onderstaande figuur 4.1 geeft de maatregelen weer die mee genomen kunnen worden in een ontwerp om een score 1 of 4 te behalen binnen het sleutelprincipe Comfort.



Figuur 4.1 (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Om goede 'Active House' scores te behalen (score 1) op de criteria binnen de parameters van Comfort kan worden gedacht aan de volgende ontwerpmaatregelen:

- Meerdere ramen met een goede positionering en oriëntatie.
- Efficiënte isolatie, thermische massa en buitenzonwering met vraagsturing.
- Een eenzijdige vraag gestuurde ventilatieoplossing op basis van CO² meting.

Ramen en positie

Zoals in de inleiding van deze paragraaf is aangegeven, worden de maatregelen in de Casestudy met betrekking tot positionering van de ramen, alleen getoetst aan het 'Active House' principe vanwege een vastliggend structuurontwerp. Als tijdens de Casestudy blijkt dat de ambitieniveaus op de parameters van Comfort niet worden behaald door de daglichtfactor of de beschikbaarheid van direct zonlicht, zal een voorstel worden gedaan op welke manier dit verbeterd zou kunnen worden.

Isolatie, thermische massa en zonwering

Isolatie

De isolatie van een 'Active House' voldoet minimaal aan de eisen van het bouwbesluit, bij voorkeur wordt ambitieuzer gekozen. Hoe hoger de isolatiewaarden van de woning, des te beter de woning zal scoren op het sleutelprincipe energie. De eerste parameter van het sleutelprincipe energie behelst namelijk de totale energievraag van het gebouw. Deze energievraag kan worden gereduceerd door goed te isoleren. Het bouwbesluit stelt de volgende minimale eisen aan de isolatiewaarde van een nieuwbouwwoning:

Vloer: Rc 3,5 w/m²K

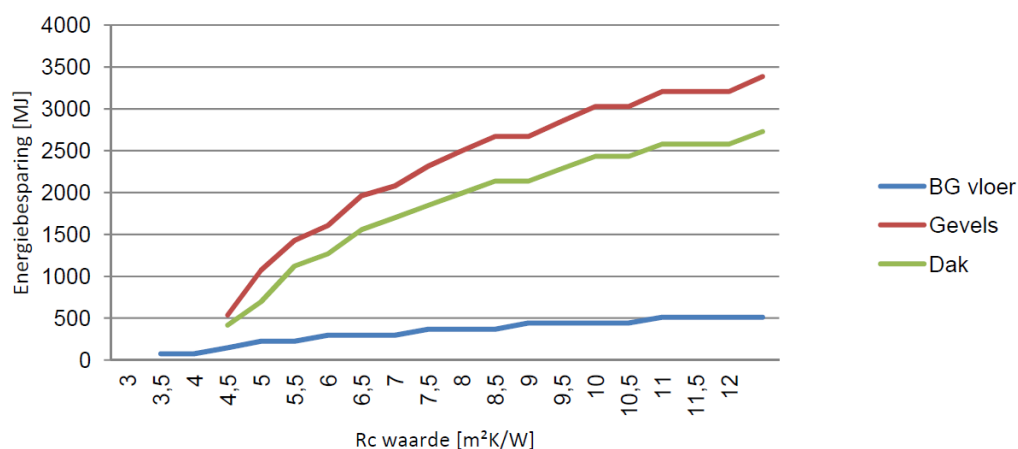
Wand: Rc 4,5 w/m²K

Dak: Rc 6 w/m²K

Uit onderzoek van W.F. Holterman en J.M. Janssen is gebleken dat de energiebesparing minder toeneemt naarmate de warmteweerstand hoger wordt. Er is geen lineair verband tussen de warmteweerstand en de energiebesparing.

In onderstaande grafiek, figuur 4.2 is weergegeven hoe de warmteweerstand van de verschillende delen van de thermische schil zich verhouden tot de energiebesparing. Uit de grafiek blijkt dat er meer energie bespaard kan worden door de warmteweerstand van de gevels en het dak te verhogen. De reden hiervoor is dat dit de grootste transmissie oppervlakken zijn en deze ook rechtstreeks grenzen aan de buitenlucht. De begane grond vloer is een relatief klein verliesoppervlak en grenst aan de lucht in de kruipruimte. Hierdoor gaat er veel minder warmte verloren. Om het warmteverlies te beperken is het dus rendabeler om de warmteweerstand van de gevel en het dak te verhogen. (Holterman, 2012)

Energiebesparing door isolatie



Figuur 4.2 (Holterman, 2012)

Kingspan is een toonaangevende leverancier wanneer het gaat over isolerende producten. Op de website van Kingspan stellen zij het volgende: “Als het gaat om de energiebehoefte, dan is de grootste winst te halen bij goede isolatie in combinatie met luchtdicht bouwen. Waar momenteel de gevel van een woning nog moet voldoen aan de minimale Rc-waarde van 4,5 m²K/W, verwachten we voor BENG dat de Rc -waarde omhoog gaat. Onze verwachting is dat de optimale Rc-waarde voor de gevel rond de 6,0 m²K/W zal zijn”. (Kingspan, 2018)

De conclusie van Kingspan over de optimale Rc waarde van de gevel ligt in dezelfde lijn als de bevindingen uit het onderzoek van Holterman.

Thermische massa

De thermische massa wordt gevormd door de massieve houtbouw methode van CLT. Deze methode van bouwen is eerder beschreven en heeft een hogere thermische massa dan de traditionele houtskeletbouw. Bouwen in CLT heeft als bijkomend voordeel dat de gemiddelde massieve houten platen voor de woningbouw al een Rc waarde hebben van 1,0 m²K/W.

Zonwering

Door een goede zonwering toe te passen kan worden voorkomen dat een gebouw in de zomermaanden direct zonlicht ontvangt en de temperatuur daardoor te hoog oploopt. Er kan een verschil worden gemaakt tussen binnen- en buitenzonwering. Buitenzonwering heeft de voorkeur omdat de warmte direct buiten kan worden gehouden. Bij een binnenzonwering is de warmte praktisch gezien al binnen wanneer deze de zonwering bereikt.

Bij een buitenzonwering systeem heeft een automatische zonwering de voorkeur. Een dergelijk systeem is in staat om op basis van sensoren zelf te bepalen wanneer een zonwering gewenst is en kan volledig automatisch de zonwering activeren. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk dat de zonwering geactiveerd wordt op een warme zomerse dag terwijl er niemand in huis aanwezig is om het systeem te activeren. Bewoners hoeven zelf niets te doen en nergens rekening mee te houden, dit draagt bij aan het comfort.

Ventilatie

Een eenzijdige, vraag gestuurde ventilatieoplossing op basis van de aanwezige CO² in een ruimte wordt aanbevolen om een goede score te behalen op de parameter binnenluchtkwaliteit van het ‘Active House’. Er zijn verschillende manieren waarop een woning geventileerd kan worden. Grofweg kan de volgende onderverdeling worden gemaakt:

- Enkele systemen
 - Natuurlijk
 - Mechanisch, afzuiging of balansventilatie
- Meerdere, of hybride systemen
- Koeling via ventilatie

Een ventilatiesysteem met in ieder geval vraagsturing op basis van CO² is nodig om de minimale ‘Active House’ score (score 4) te behalen.

4.2 ENERGIE

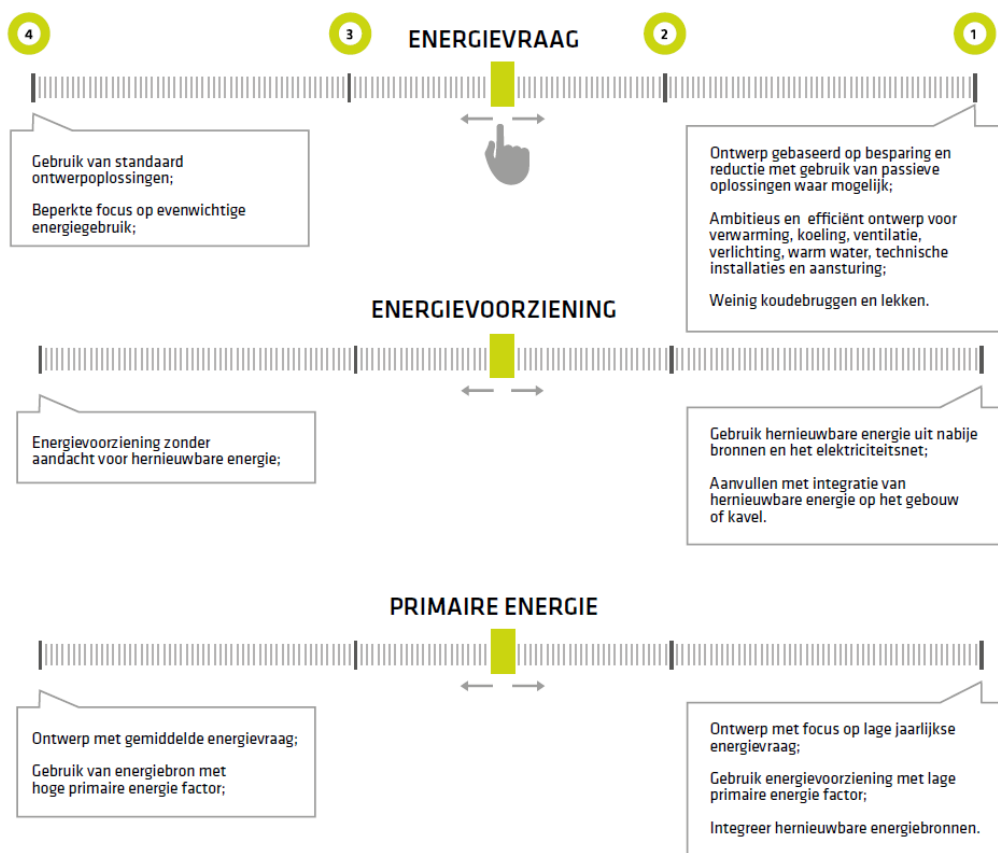
De scores op de criteria binnen de parameters van het sleutelprincipe energie zijn afhankelijk van de som van de jaarlijkse energievraag in MJ/m² en de bron van de energievoorziening. Hoe minder de vraag naar energie is, des te minder energievoorzieningen nodig zijn om in de vraag te voorzien. Deze benadering is gebaseerd op de tris energetica. Binnen dit sleutelprincipe zijn tal van mogelijkheden om de scores te behalen. Het zo goed mogelijk afstemmen van de benodigde verschillende bouwkundige maatregelen en installatiecomponenten is hierbij het uitgangspunt.

De totale energievraag in een 'Active House' omvat het energieverbruik voor verwarming, koeling, verlichting, ventilatie, warm water en andere apparatuur.

In een 'Active House' moet de energievraag voor het gebouw zo laag mogelijk worden gehouden via passieve energiebesparing. De resterende energievraag moet dan op de meest duurzame en kosteneffectieve manier geleverd worden, afhankelijk van welke energiesystemen voorhanden zijn in het gebouw, de directe omgeving of het net.

De energievoorziening voor een 'Active House' moet zoveel mogelijk afkomstig zijn van hernieuwbare bronnen. Hierbij kan gedacht worden aan elektriciteit van windturbines of fotovoltaïsche cellen (PV), zonnecollectoren, waterkrachtcentrales, biogas, warmtepompen (als de energie geleverd aan de warmtepomp uit hernieuwbare bron komt en de primaire bron oneindig is). Niet hernieuwbare bronnen zijn meestal fossiel, zoals steenkool, gas, olie en nucleair. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Het onderstaande figuur 4.3 geeft de maatregelen weer die mee genomen kunnen worden in een ontwerp om een score 1 of 4 te behalen binnen het sleutelprincipe Energie.



Figuur 4.3 (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Energieneutraliteit

De komende jaren gaat er een hoop gebeuren in Nederland op het gebied van duurzaamheid. Kijkende naar de toekomstige bouwregelgeving is het interessant rekening te houden met de aanscherping van de EPC (Energie Prestatie Eis). De huidige eis voor een nieuwbouwwoning is een EPC 0,4. Na 2020 gaat deze norm naar een EPC van circa 0,15, ook wel de nieuwe BENG norm genoemd voor Bijna Energie Neutrale Gebouwen. Zo zullen op nieuwbouw de normen telkens weer worden aangescherpt naar energieneutraal of nul op de meter. Wat betekent dat deze woningen in de toekomst zelfvoorzienend zijn in hun verwarmings- en warmtapwaterbehoefte. Deze woningen krijgen een hoog comfort, lage (of geen) energielasten en voldoen aan de wensen en eisen van de markt.

Iedere woning die vandaag de dag nog conform bouwbesluit wordt gebouwd is na 2020 alweer technisch achterhaald door de aanscherping van de bouwnormen. Het is daarom een gemiste kans als op het gebied van nieuwbouw nog steeds conform de huidige norm (bouwbesluit EPC 0,4) wordt gebouwd. Voor een meer investering van ca. € 15.000,- á € 25.000,- kan een gemiddelde woning al energieneutraal worden gebouwd. (Santibanez, 2018)

Bas Hasselaar, partner en contactpersoon van de 'Active House' Alliance Nederland schrijft in een blog het volgende over energieneutraliteit: "Gemiddeld genomen blijkt de meerinvestering voor een energieneutrale woning ongeveer 10 tot 15 duizend euro ten opzichte van een Bouwbesluit woning. Als je in overweging neemt dat een energieneutrale woning 25 duizend euro extra hypotheekruimte oplevert, en afhankelijk van de bank ook nog een lagere rente, is er eigenlijk geen enkele reden om niet energieneutraal te bouwen". (Hasselaar, Hoeveel extra kost een gezonde, energieneutrale woning?, 2018)

Aardgas

Aardgas is in Nederland op zijn retour. Bij nieuw te bouwen gebouwen wordt vaak al geen aardgasaansluiting meer aangelegd. Al snel behoort het op de meeste nieuwbouwlocaties tot het verleden. Bouwpartijen staan voor de opdracht om duurzame alternatieven te realiseren: comfortabele woningen zonder aardgas die vanaf 2020 bovendien bijna energieneutraal (BENG) moeten zijn. Er zijn verschillende technieken die in combinatie met elkaar goede oplossingen bieden.

Alle concepten beginnen met goed geïsoleerde woningen waar de zon vanzelf al zorgt voor een prettig woonklimaat. Vervolgens zijn toepassing van zonnepanelen en laagtemperatuurverwarming vaste ingrediënten. 'All electric' nieuwbouwwoningen maken daarnaast gebruik van warmtepompen in combinatie met omgevingswarmte uit bodem of buitenlucht. Nieuwbouwwoningen met duurzame externe warmtelevering zijn aangesloten op een warmtenet met warmte-koudeopslag (laag temperatuurnet) of met geothermie (hoog temperatuurnet). In ontwikkeling zijn midden temperatuurnetten, waarbij warmte uit bijvoorbeeld een rioolwaterzuiveringsinstallatie of datacenter afkomstig is.

De keuze voor een energieconcept wordt sterk bepaald door het woningtype en de omgeving waar een gebouw staat. Welke energiestromen zijn er rond het huis en in de directe omgeving beschikbaar? Zijn er collectieve oplossingen te vinden? Er is geen standaard oplossing. Een duurzaam energieconcept zonder aardgas bestaat uit een combinatie van opties. Die op de juiste manier combineren vraagt om maatwerk en creativiteit. (Bouwens, 2018)

De verplichte gasaansluiting van nieuwbouwwoningen vervalt al per 1 juli van dit jaar, het betekent voor de nieuwbouw een verbod op de aansluiting op aardgas. Dit heeft Ferdi Licher, programmamanager Bouwen en Energie bij het Ministerie van Binnenlandse Zaken, onlangs bekend gemaakt op het congres Aardgasvrije nieuwbouw, georganiseerd door het Lente-akkoord. Alleen bij hoge uitzondering is de aardgas ketel na 1 juli 2018 nog toegestaan. Dit korte termijn heeft de aanwezigen verrast. Tot nu toe werd 1 januari 2019 genoemd als datum waarop de aansluitplicht vervalt. (Bouwwereld, 2018)

Deze door de overheid gestelde verplichting van een verbod op de aansluiting op aardgas per 1 juli 2018 betekent dat er geen discussie meer kan bestaan om een nieuwbouwwoning niet te voorzien van een warmtepomp of een aansluiting op een warmtenet. Op dit moment zijn dit namelijk de meest geschikte alternatieven voor een aardgasloze woning.

Er zijn verschillende warmtepomp systemen in combinatie met andere systemen mogelijk, zoals zonnepanelen in combinatie met een bodemwarmtepomp nodig. Welke combinaties het best haalbaar zijn, hangt af van lokale omstandigheden, de woningtypologie en het gekozen energieconcept. Zo zijn er voor een (half)vrijstaande woning andere opties beter geschikt dan voor een rijwoning of hoogbouw appartementen. (Bouwens, 2018)

Onderstaand overzicht in figuur 4.4 toont de oplossingen welke geschikt of juist ongeschikt zijn binnen de verschillen in het soort woning/ gebouw. In de Casestudy wordt het structuurontwerp van een vrijstaande woning gebruikt.

	(Half)vrijstaande woning	Rijwoning	Appartement tot 6 etages	Hoogbouw vanaf 6 etages
Zonneboiler	Geschikt	Geschikt	Lange warmwater-leidingen	Lange warmwater-leidingen
PV	Geschikt	Geschikt	Geschikt, ook PV langs gevel	Geschikt, vooral PV langs gevel
Luchtwarmtepomp	Geschikt	Plaatsing buitenunit vergt aandacht	Plaatsing buitenunit vergt aandacht	Plaatsing buitenunit vergt aandacht
Bodemwarmtepomp	Geschikt	Geschikt	Geschikt	Geschikt
Boosterwarmtepomp	Geschikt voor warm tapwater	Geschikt voor warm tapwater	Geschikt voor warm tapwater	Geschikt voor warm tapwater
Open bodembron (wko)	Hoge aansluitkosten	Geschikt, mits veel afnemers	Geschikt	Geschikt
Warmtenet lage temperatuur	Hoge aansluitkosten	Geschikt, mits veel afnemers	Geschikt	Geschikt
Warmtenet midden-temperatuur	Hoge aansluitkosten	Geschikt, mits veel afnemers	Geschikt	Geschikt
Warmtenet hoge temperatuur	Ongeschikt vanwege te hoge aansluitkosten	Alleen geschikt als de bron hernieuwbaar is	Alleen geschikt als de bron hernieuwbaar is	Alleen geschikt als de bron hernieuwbaar is
Hernieuwbare brandstoffen (optie)	Optie is nog in ontwikkeling	Optie is nog in ontwikkeling	Optie is nog in ontwikkeling	Optie is nog in ontwikkeling
Centrale elektriciteitslevering (aandachtspunt)	Mits duurzaam opgewekt en efficiënt benut	Mits duurzaam opgewekt en efficiënt benut	Mits duurzaam opgewekt en efficiënt benut	Mits duurzaam opgewekt en efficiënt benut

Figuur 4.4 (Bouwens, 2018)

Voor de Casestudy zijn de volgende systemen het meest geschikt voor de toepassing in/op een vrijstaande woning:

- zonneboiler
- PV panelen
- Luchtwarmtepomp
- Bodemwarmtepomp
- Boosterwarmtepomp

Een zonneboiler bevat warm water dat opgewekt wordt door zonnecollectoren. Deze zonnecollectoren zijn meestal op een dak geplaatst en hebben een zwarte plaat. Onder deze plaat bevindt zich een buizensysteem met water. De opwarming van de plaat in de zon zorgt daarmee ook voor een opwarming van het water in het buizensysteem. Wanneer het water voldoende warm is stroomt deze naar een meestal ondergelegen boilervat waarna het gebruikt kan worden voor warm tapwater.

PV panelen zijn panelen voorzien van fotovoltaïsche cellen. Deze panelen kunnen met behulp van de zon stroom opwekken. PV panelen worden meestal op het dak geplaatst en voorzien van een omvormer om de gelijkstroom om te zetten in wisselstroom. In een woning wordt namelijk gebruik gemaakt van wisselstroom.

Een luchtwarmtepomp is een warmtepomp die gebruik maakt van de temperatuur van de buitenlucht om water te verwarmen. Dit gebeurt door middel van een technisch proces van comprimeren en verdampen waardoor water op een hogere temperatuur kan worden gebracht. Dit water kan vervolgens worden afgegeven aan bijvoorbeeld een LTV (Lage Temperatuur Verwarming) vloerverwarmingssysteem.

Een bodemwarmtepomp werkt op hetzelfde principe als de luchtwarmtepomp. Deze warmtepomp haalt zijn warmte alleen niet uit de buitenlucht maar uit de bodem. De temperatuur is daar hoger en meer constant. Deze temperatuur kan worden afgegeven aan water om vervolgens aan bijvoorbeeld een LTV (Lage Temperatuur Verwarming) vloerverwarmingssysteem.

Een boosterwarmtepomp is een warmtepomp speciaal geschikt voor warm tapwater. Deze heeft een inhoud van ca. 20 liter en het formaat van een standaard keukenboiler.

In het figuur 4.5 zijn de kosten weergegeven met betrekking tot de eerdergenoemde oplossingen voor een alternatief op aardgas.

Warmteconcept	luchtwarmte- pomp	bodemwarmte- pomp	warmtenet 10 °C	warmtenet 40 °C met booster- warmtepomp	warmtenet 70 °C
Investering	9.000	11.200	12.800	15.100	6.000
<i>Jaarlasten</i>					
Inkoop warmte	-	-	-	-	364
Elektriciteit	1.205	1.031	1.018	1.180	885
Vastrecht elektra	223	223	223	223	223
Vastrecht warmte	-	-	-	-	446
Heffingskorting	-309	-309	-309	-309	-309
Beheer, onderhoud	250	225	321	312	-
<i>Som jaarlasten</i>	<i>1.369</i>	<i>1.170</i>	<i>1.254</i>	<i>1.407</i>	<i>1.610</i>

Figuur 4.5 (Bouwens, 2018)

De som van de jaarlasten is bij een bodemwarmtepomp het laagst in vergelijking met een luchtwarmtepomp of de aansluiting op een warmtenet.

Verwarming

Aanbevelingen voor het optimaliseren van de temperatuur in het gebouw en het reduceren van de energievraag zijn beschreven in de ontwerprichtlijnen van een 'Active House':

- Optimaliseer de gebouworientatie,
- isoleer de gebouwschil,
- voorkom infiltratie en koudebruggen,
- voeg thermische massa toe,
- win warmte terug uit ventilatielucht.

(Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Om goed aan te sluiten op de 'Active House' ontwerprichtlijnen is een lage temperatuurverwarming aanbevolen. De aankomende verplichting van een verbod op aardgas zorgt er immers voor dat alternatieve manieren van verwarmen moeten worden toegepast dan die van een verwarmingssysteem op aardgas.

Warmtepomp

Er zijn diverse warmtepompen mogelijk en er bestaan verschillen in de toepassing die de uiteindelijke keuze bepalen. In het 'Active House' van Reimar von Meding is bijvoorbeeld een warmtepomp van NIBE aangebracht – met zowel twee bodembronnen als innovatieve panelen op het dak. Als reden voor deze keuze geeft Von Meding: "Probleem bij warmtepompen is dat de bron op termijn uitgeput raakt. Je haalt er in de winter meer warmte uit dan je in de zomer met koeling erin kunt stoppen. Zo ontstaat een disbalans. Je hebt in de loop der jaren steeds meer elektrische energie nodig om je warmtepomp te benutten. Dat is een van de laatste hobbels waarom men in de seriematige bouw terecht soms nog sceptisch tegenover warmtepompen staat."

Op het dak is gekozen voor installatie van VolThera AVP panelen van AliusEnergy. Deze panelen wekken stroom en ook warm water op. "Dat water koelt het paneel waardoor het beter presteert. Maar het warme water wordt ook naar de bodem gevoerd, waar het zorgt voor een hoger rendement van de warmtepomp. Je haalt dankzij dat slimme paneel bijna vier keer zoveel energie uit een vierkante meter dakvlak als bij traditionele zonnepanelen. Dat is het soort oplossingen dat ook voor gestapelde bouw heel interessant wordt, waar het dakoppervlak per woning te beperkt is voor NOM." (Meding, 2018)

Ook hier geldt dat er geen standaard keuze mogelijk is, maar maatwerk. De techniek, met name op het gebied van installaties, staat niet stil. Het is daarom zaak om als ontwerper/architect op de hoogte te blijven met de nieuwste technieken om het juiste advies te kunnen geven aan opdrachtgevers. De huidige oplossingen en ontwerpmaatregelen kunnen anders zijn dan die van morgen.

Douche WTW

Een douche WTW is een simpel systeem dat de warmte uit douchewater terugwint. Van dit systeem zijn drie typen mogelijk. De douchepijp, douchegoot en douche bak.

Bij het douche WTW-systeem zal ik mij beperken tot een toelichting over het douchepijp systeem. Dit is een lange pijp van ruim twee meter, die verticaal geplaatst wordt op een plaats waar deze altijd bereikbaar blijft. De werking van het systeem is gebaseerd op het tegenstroom principe. De pijp wordt aangesloten op het riool en het douchewater stroomt door het binnenste van de pijp, van boven naar beneden. Om de binnenbuis zit een tweede, dunwandige buis. Deze buis heeft over de hele lengte een plooi waardoor een expansiemogelijkheid ontstaat. De buis wordt onder invloed van de waterleidingdruk volledig tegen de binnenbuis gedrukt en veroorzaakt een goede warmteoverdracht. Rondom deze binnenbuis stroomt het koude leidingwater van beneden naar boven. Door het tegenstroomprincipe wordt de warmte van het douchewater overgebracht naar het koude leidingwater. Dit kan een rendement opleveren van 65% afhankelijk van het type en de omstandigheden.

Er zijn wettelijke eisen gesteld aan de warmtewisselaar, het leidingwater mag niet vervuild raken. Om aan deze eisen te voldoen en de douchepijp rechtstreeks op het riool aan te mogen sluiten, is een dubbele scheiding nodig tussen het afvalwater en het leidingwater. Nadat het koude leidingwater is opgewarmd door de douchepijp WTW zijn er drie mogelijkheden:

- Het opgewarmde water gaat rechtstreeks naar de douche en vervangt daarmee de koudwater aansluiting.
- Het opgewarmde water gaat naar de ketel zodat deze minder hoeft bij te verwarmen.
- Een combinatie van beide opties.

Het besparen van energie door middel van een douchepijp WTW is een goede stap richting de energie neutraliteit van een woning. De douchepijp WTW wordt al vele jaren met succes geïnstalleerd in nieuwbouw en bestaande bouw. De besparing is afhankelijk van het type pijp, het douchegebruik en de gezinssamenstelling. Een gemiddeld gezin bespaart 100 tot 200m³ gas per jaar. In gunstige situaties is dat € 125 per jaar, waardoor de pijp binnen vier tot vijf jaar is terugverdiend. (Technea duurzaam, sd)

Koeling

In de zomermaanden kan de temperatuur in een woning hoog oplopen. Het weren van zonnewarmte in de zomer is belangrijk om oververhitting te voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld door openingen op het noorden te gebruiken voor koel natuurlijk licht of door de vorm van het gebouw te gebruiken om schaduw op zuidelijke ramen in de zomer te creëren. Automatische zonwering kan helpen bij het realiseren van een comfortabel binnenklimaat, gunstig energiegebruik en een goede energieprestatie van het gebouw. Ook is natuurlijke beschaduwing door planten en loofbomen te overwegen omdat ze in de zomer in blad staan, terwijl deze bomen in de herfst juist blad verliezen. Hierdoor wordt de woning in de zomer koel gehouden en kan in de winter de zon juist beter indringen.

Voor het optimaliseren van de koeling, zijn de onderstaande maatregelen in de ontwerprichtlijnen van een 'Active House' beschreven:

- Optimaliseer de oriëntatie en vorm van het gebouw,
- isoleer de gebouwschil,
- voeg thermische massa toe,
- verhoog de ventilatievoud,
- Maak gebruik van nachtkoeling via ventilatie.

Andere opties zouden pas in tweede instantie overwogen moeten worden. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Koeling met warmtepomp

Met een grondgebonden warmtepomp kan in de zomer passief worden gekoeld. Dit betekent dat er enkel gebruik gemaakt kan worden van de circulatiepomp als onderdeel van de warmtepomp, door het rondpompen van de koude die in de bodem of waterbron zit. De compressor, ook onderdeel van de warmtepomp, die tijdens wintermaanden gebruikt wordt om de warmte uit het water te halen is hiervoor niet nodig. Dit betekent dat er weinig elektriciteitsverbruik is tijdens het koelen. Het energieverbruik om te kunnen koelen met een passief systeem is vrij laag, omdat er alleen water wordt rondgepompt zonder dat dit naar een lagere temperatuur afgekoeld hoeft te worden. In veel gevallen is het zelfs aan te raden om passief te koelen zodat de bron op 'temperatuur' blijft.

Met een warmtepomp, die gebruik maakt van een grondwaterbron of een bodembron, is het zeer verstandig om gebruik te maken van het koelvermogen. Ook in het geval er niemand thuis is, is het goed om te blijven koelen. In het geval van een grondwater bron is dit zelfs verplicht aangezien de koude en warme bron in evenwicht gehouden moeten worden om een vergunning te krijgen voor de aanleg van een bron.

Bij koeling wordt koude uit de bodem of waterbron gehaald en wordt tegelijkertijd warmte aan de bodem terug geleverd. De bron warmt op naar een hogere temperatuur en de warmtepomp zal efficiënter werken wanneer deze weer gebruikt wordt om de woning mee te verwarmen. Een warmere bron betekent immers een hogere COP. (Greenhome, 2017)

Koeling door zomernacht ventilatie

Veel woningen en utiliteitsgebouwen zijn koel te houden door er 's nachts frisse buitenlucht doorheen te laten stromen. Zomernachtventilatie wordt aangeprezen in de Toolbox energiezuinige woningbouw en het Energievadecum. In de regels voor energieprestatie en inbraakwerendheid heeft het echter nog geen duidelijke status.

Het principe is simpel: zomernachtventilatie houdt woningen behaaglijk door ze 's nachts extra te ventileren met koele buitenlucht. Het idee is dat de koude in de constructie wordt vastgehouden, waardoor de woning in de loop van de dag slechts langzaam opwarmt en lang behaaglijk blijft. Het weer werkt mee, want tijdens de warmste dagen in de zomer is de hemel meestal onbewolkt. Daardoor straalt 's nachts veel warmte weg en koelt de buitenlucht sterk af. Warme dagen gaan dus handig samen met koele nachten.

Het Energievademecum noemt zomernachtkoeling gewenst om te hoge binnentemperaturen in de zomer te voorkomen. Om een woonkamer van 40 m² te koelen, zijn twee openingen van 0,6 m² nodig: een in de gevel en een in het dak. (Vollebregt, 2011)

Verlichting

Er zijn verschillende maatregelen te nemen om minder elektriciteit te gebruiken, deze zijn als volgt omschreven in de ontwerprichtlijnen van 'Active House':

Verhoog de toetreding van natuurlijk licht

Om de behoefte aan kunstlicht te verminderen, kan je het best een ruime en lichte binnenruimte ontwerpen. Natuurlijk licht gebruiken is de beste manier om kunstlicht te vermijden. Gebruik systemen gebaseerd op daglichtzones: lichten gaan uit nabij ramen, dieper in het gebouw blijven ze aan. Gebruik schakelaars gekoppeld aan bewegingssensoren op plekken waar verlichting maar af en toe nodig is, zoals bijvoorbeeld in gangen.

Gebruik diffuus natuurlijk licht

De locaties van ramen moeten het gebruik van zoveel mogelijk natuurlijk licht mogelijk maken. Let wel op dat er geen verblinding optreedt. Ramen op het noorden laten voornamelijk diffuus licht door, omdat ze geen directe zontoetreding hebben.

Ontwerp op de richting van het licht

Bewust omgaan met licht in de ontwerpfase is belangrijk. Met kleine trucjes kan de helderheid van een ruimte worden vergroot, waardoor minder kunstlicht nodig is. Een optie is het gebruik van lichte kleuren, zoals wit, voor binnenmuren en/of andere oppervlaktes: het licht wordt zo herhaaldelijk weerkaatst en gelijkmatig verspreid over de ruimtes. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Ventilatie

Er zijn verschillende manieren om te ventileren en er bestaan ook diverse ventilatiesystemen die daarvoor gebruikt kunnen worden. Alleen systeem C, D en een hybride oplossing sluiten het beste aan op de 'Active House' ontwerprichtlijnen en zullen daarom worden behandeld. Systeem C staat voor een natuurlijke luchttoevoer en een mechanische luchtafvoer. Systeem D staat voor een mechanische lucht toevoer en een mechanische luchtafvoer.

Systeem C

De DucoBox Eco is een ventilatietoestel met warmteterugwinning. Op dit moment wordt dit ventilatietoestel getest en staat in proefopstelling in een 'Active House'.

Systeem D

Een voorbeeld van een ventilatiesysteem D is de DucoBox Energy. Dit is een balansventilatietoestel met warmteterugwinning. Het toestel voert mechanische verse lucht toe aan de woning en voert vervuilde lucht mechanisch af uit de woning aan de hand van geïntegreerde ventilatoren. Hierbij wordt de warmte gerecupereerd uit de afgevoerde lucht en overgedragen aan de toegevoerde lucht. De DucoBox Energy is beschikbaar in een linker variant (= schuine zijde links) en rechter variant (= schuine zijde rechts). Op de schuine zijde wordt een afvoer- en toevoerkanaal naar de woning aangesloten (ETA en SUP). De kosten zoals weergegeven in figuur 4.6 hebben alleen betrekking op de Ducobox Energy zelf.





LINKS



RECHTS

DucoBox Energy 460-2ZS 460 m³/h 2 zone standaard	0000-4362	0000-4363	€ 2250,00
DucoBox Energy 460-2ZH 460 m³/h 2 zone met heater	0000-4364	0000-4365	€ 2350,00

Toepasbaar in de volgende systemen : Duco Energy System

Communicatie : RF en Wired, uitbreidbaar met ModBus en ethernet via optionele Communication Print (zie 'Opties & toebehoren')

Figuur 4.6 Duco Energy

De geïntegreerde 2-zoneregeling met vraagsturing zorgt voor een uiterst stille, intelligente én energiezuinige werking. Sturingscomponenten kunnen op de DucoBox Energy (= master unit) aangemeld worden. De DucoBox Energy is voorzien van een vorstbeveiliging (al dan niet met heater), een bypass functie en constant flow. De semi-automatische inregeling zorgt voor een snelle installatie van het toestel.

Hybride systeem

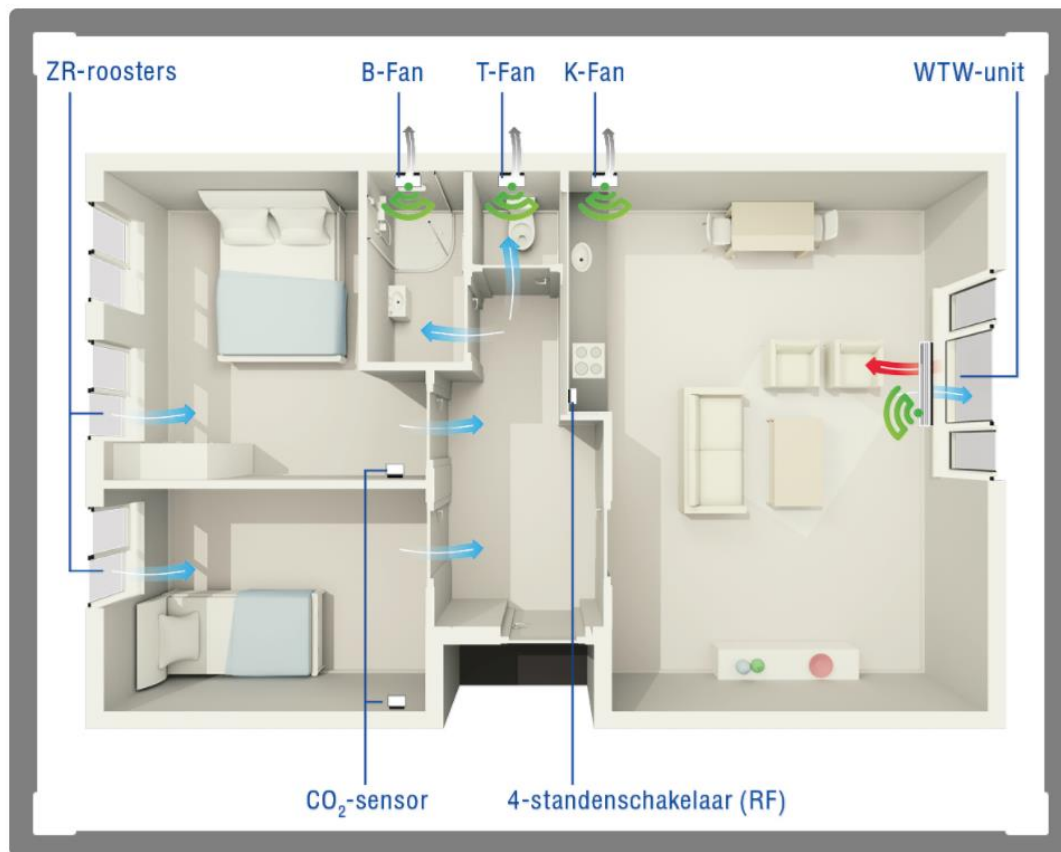
Een voorbeeld van een hybride oplossing is een decentraal ventilatiesysteem. Dit systeem is interessant omdat het wordt gebruikt juist daar waar dat het meest nodig is. Het systeem is uit te rusten met een warmteterugwinning (WTW). Een decentraal ventilatiesysteem met warmteterugwinning wordt meestal geplaatst in de belangrijkste verblijfsruimte, de zogenaamde warme zone. Dit is in de meeste gevallen de woonkamer en/of keuken, in deze ruimten zijn mensen meestal voor het grootste deel van de dag aanwezig. Bij veel stilzitten blijken bewoners/gebruikers in deze ruimten de meeste behoefte aan ventilatie en frisse lucht te hebben.

Door het toepassen van een decentraal WTW systeem kan het afzuigpunt in de keuken vervallen. De toevoer van verse lucht en afvoer van vervuilde lucht vindt plaats in het systeem en er kan ca. 100 m³/h worden geventileerd. De koude zones kunnen via mechanische afzuiging en toevoer via gevelroosters worden geventileerd.

Het systeem heeft geen moeite om ook een vide mee te ventileren en wanneer er bijvoorbeeld een grotere groep mensen in de ruimte aanwezig is geweest en er extra behoefte bestaat aan ventilatie is het systeem uitgerust met een spui functie, het zogenaamde 'doorspoelen'. In een korte tijd kan hierdoor een grote hoeveelheid lucht worden ververst. (Bolkestein, 2018)

Als voorbeeld zijn de posities van een decentraal ventilatiesysteem weergegeven in figuur 4.7. De woonkamer/keuken wordt volledig geventileerd door een box met warmteterugwinning. De overige ruimten worden geventileerd door middel van een mechanische decentrale afzuiging en de toevoer van de ventilatie lucht vindt plaats middels gevelroosters. Het aantal benodigde ventilatieboxen, raamroosters en sensoren is altijd afhankelijk van het soort gebouw, de oppervlakte en de ruimten die daarin aanwezig zijn.

Een decentraal WTW systeem is niet verbonden met lange afvoerkanalen. Daardoor neemt het systeem ook minder ruimte in langs bijvoorbeeld het plafond. Een dergelijk systeem kan een uitkomst bieden wanneer er weinig ruimte aanwezig is voor installaties en gebruikers de afvoerkanalen niet in het zicht willen hebben.



Figuur 4.7 Decentraal ventilatiesysteem Climarad

Warm water

Voor de energiebesparing bij het gebruik van warm water zijn twee maatregelen mogelijk, deze zijn als volgt omschreven in de ontwerprichtlijnen van 'Active House':

Minimaliseer gebruik

Gebruik waterbesparende maatregelen om het gebruik van warm water bij kranen te minimaliseren. Optimaliseer het systeem om de behoefte aan warmte te verminderen en overweeg het gebruik van lokale verwarmingsapparaten dichtbij het tappunt in grotere systemen om het energieverlies bij transport te minimaliseren.

Optimaliseer de systemen

Gebruik een verwarmingssysteem dat is geoptimaliseerd voor het gebruik van hernieuwbare energie, met de mogelijkheid voor gecontroleerde en intelligente vraagsturing. Maak gebruik van geïsoleerde leidingen om warmteverlies te voorkomen. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

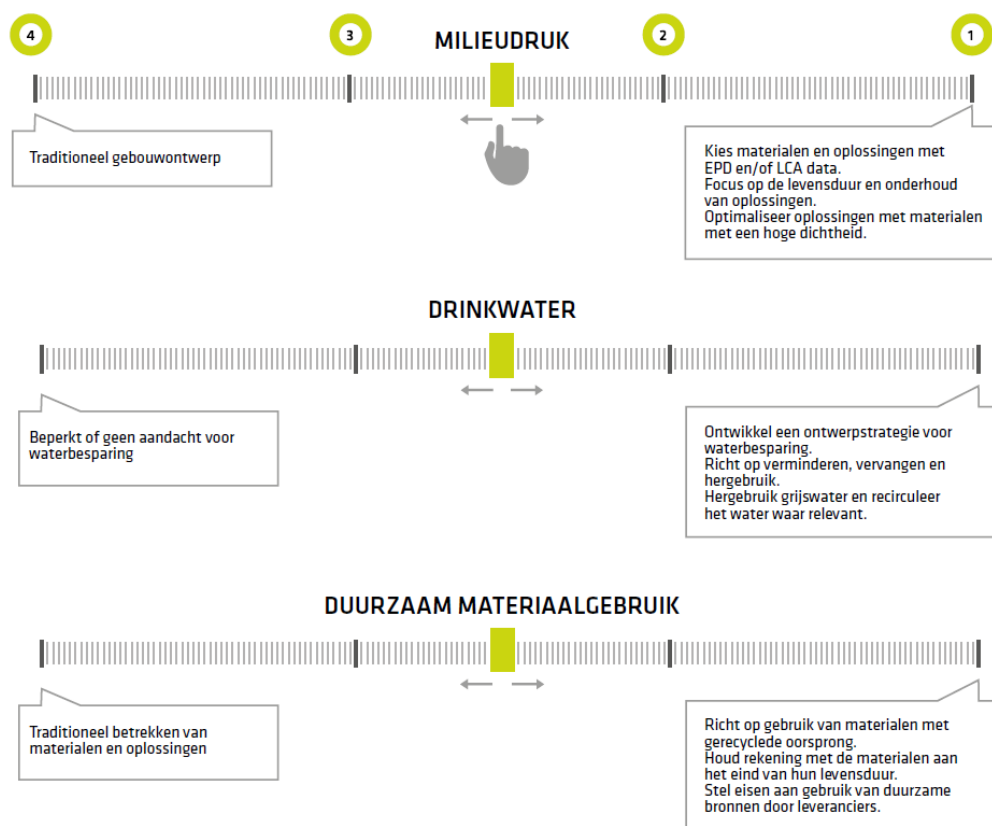
4.3 MILIEU

Grondstoffen en materialen in gebouwen zijn verantwoordelijk voor 24% van het totale wereldwijde grondstoffengebruik. Het milieu is daarom één van de drie belangrijkste thema's binnen 'Active House'. De parameters binnen het sleutelprincipe milieu zijn: milieubelasting/-druk, duurzaam materiaalgebruik en drinkwatergebruik.

Omgaan met klimaatverandering is een grote milieu-gerelateerde uitdaging, die de mensheid tegenkomt. Er is voldoende wetenschappelijk bewijs dat de stijgende concentraties broeikasgassen in de lucht een mondiale temperatuurstijging veroorzaken met sociale, natuurlijke en economische gevolgen. Dit heeft geleid tot wereldwijde acties om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen en beter om te gaan met het milieu. Op dit moment kan ongeveer 33% van de wereldwijde menselijke broeikasgasuitstoot worden gewijd aan de bouwsector.

Voor het milieu zijn niet alleen broeikasgassen schadelijke emissies. De belasting op het milieu is onder te verdelen in vijf verschillende categorieën emissies (equivalenten): klimaatverandering ($\text{CO}_2\text{-eq}$), aantasting van de ozonlaag (R11-eq), fotochemische oxidantvorming (C3H4-eq), verzuring ($\text{SO}_2\text{-eq}$) en vermisting (EP4-eq). Daarnaast is ook de primaire energie (energie benodigd voor verwarming en koeling) onderdeel van de beoordeling met betrekking tot de belasting op het milieu. (Active House, Een internationale richtlijn, 2013)

Het onderstaande figuur 4.8 geeft de maatregelen weer die meegenomen kunnen worden in een ontwerp van een 'Active House' om een score 1 t/m 4 te behalen binnen het sleutelprincipe Milieu.



Figuur 4.8 (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Een 'Active House' heeft een positief effect op het omgevingsmilieu. Bij het ontwerp wordt aantoonbaar rekening gehouden met het optimaliseren van de relatie tussen het gebouw en de lokale omgevingsfactoren. Hierbij wordt gericht gekeken naar het gebruik van grondstoffen en andere hulpbronnen, en de totale invloed op het milieu tijdens de gehele levensduur van het gebouw. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

Milieubelasting

Het gebruik van zonnepanelen heeft voor een deel een negatieve invloed op de belasting van het milieu van een 'Active House'. Het project 'Active ReUse House' van de Circulaire Parkkade op Heijplaat, een initiatief op de RDM Campus, heeft kennis opgedaan over duurzame energieopwekking. In het kader van dit project zijn conceptwoningen gebouwd en getoetst. Zij hebben hierbij een aantal keuzes gemaakt met betrekking tot duurzame energieopwekking en de bevindingen over zonnepanelen en biotische zonnepanelen zijn als volgt:

Zonnepanelen

De keuze voor zonnepanelen werd met betrekking tot de milieu-impact een dilemma. De grondstoffen die in de cellen verwerkt zijn, hebben een grote impact op het milieu. Tegelijkertijd dragen ze wel bij aan een energieneutrale woning. In het project kon men ervoor kiezen om de cellen weg te laten en de energie 100% duurzaam in te kopen. Theoretisch gezien zou de woning dan energieneutraal zijn, maar dit ging in tegen het streven van het consortium om de woning energieneutraal te maken op locatie. Een voorwaarde was dat de hoeveelheid en het soort cellen een weloverwogen keuze moest zijn. Cellen gemaakt van bijvoorbeeld biotische materialen kunnen de impact op het milieu drastisch verlagen. (Vollard, 2016)

Biotische zonnepanelen

De ontwikkeling van biotische zonnepanelen is in volle gang. Er worden tal van onderzoeken gedaan aan verschillende Universiteiten. Het Organic Solar Cells project van de Technical University of Denmark (DTU) bijvoorbeeld, probeerde via kickstarters (vorm van crowdfunding) een organic solar cell (OSC) op de markt te introduceren. Niet alleen de wijze financiering is innovatief geweest, ook de openheid van intellectuele eigendommen is bijzonder in dit project, omdat deze worden gedeeld met de buitenwereld.

Toepassing van de biotische zonnepanelen lijkt de meest effectieve manier te zijn om een lagere milieu-impact te realiseren en tegelijkertijd energie op te wekken.

Een organische zonnecel, uitgevoerd in een bio plastic jasje, is een fotonvoltaïsche cel die organische elektronica gebruikt. Het voordeel hiervan is dat de OSC wordt gezien als cel met een lagere impact en hierdoor potentieel milieuvriendelijk is. Potentieel houdt hierbij in dat de cel niet geheel is opgebouwd uit biotische materialen en hierdoor niet volledig afbreekbaar is. Het gehele proces vraagt nog steeds om abiotische materialen, zoals bijvoorbeeld aluminium en andere metaalsoorten. Wel kan de kern van de OCS vervangen worden door organische semiconductors, deze zijn verantwoordelijk voor het lostrekken van de elektronen uit het zonlicht. De belangrijkste nadelen aan een OCS zijn het lage rendement, de stabiliteit en de sterkte in vergelijking met bijvoorbeeld de silicium zonnecel. (Vollard, 2016)

Het toepassen van zonnepanelen blijkt dus een negatieve invloed te hebben op het onderdeel milieu van een 'Active House'. Een gewogen keuze met betrekking tot het aantal zonnepanelen is nodig om goede scores te behalen binnen het 'Active House' concept.

5. CASESTUDY

5.1 INLEIDING

Als basis voor het onderzoek is een Structuurontwerp van een woning, gemaakt door het ontwerpbureau 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde' gebruikt. De 'Active House' criteria uit de parameters van de technische specificaties worden getoetst aan het structuurontwerp. Met deze resultaten kan worden beschreven hoe het ontwerp voldoet aan het 'Active House' concept. De gekozen (duurzame) oplossingen binnen deze Casestudy en de daarmee behaalde scores op de 'Active House' parameters vormen een basis waaruit meerdere vergelijkingen zouden kunnen volgen. Door resultaten te vergelijken kunnen ambitieniveaus worden vastgesteld waarmee het structuurontwerp verder kan worden uitgewerkt tot definitief ontwerp. In deze scriptie wordt hier een aanzet toe gegeven.

Kenmerken van de Casestudy woning zijn:

- De locatie van de woning is bekend.
- De woning is vrijstaand en heeft geen belemmeringen.
- De woning heeft een inhoud van ca. 590 m³.
- De woning heeft een gebruiksoppervlakte van 131,2 m².
- De woning wordt volledig uitgevoerd in een massief houten bouwsysteem.

De gekozen bouwkundige en installatietechnische componenten binnen de Casestudy zijn gemaakt aan de hand van de minimale eisen uit het bouwbesluit, de 'Active House' ontwerprichtlijnen en toepassingen binnen bestaande 'Active Houses'.

Bouwkundige componenten

De bouwkundige componenten binnen de Casestudy zijn bepalend voor de scores op de 'Active House' parameters. De gekozen componenten zijn de volgende:

Hoofddraagconstructie

Vloeren:	Begane grondvloer: Kanaalplaat, Verdiepingsvloer: Massief hout.
Wanden:	Massief hout.
Dak:	Massief hout.

Thermische schil

Begane gr. Vloer:	Geïsoleerde kanaalplaatvloer Rc 3,5 w/m ² K
Wanden:	Massief hout, resol hardschuim isolatie Rc 4,88 w/m ² K
Dak:	Massief hout, PIR/PUR Rc 6 w/m ² K
Beglazing:	U 1,59 (Glas HR++ 1.1, Kozijnen 2,4).
Zonwering:	Geen.

Materialen afwerking

Gevel:	Hout, gekookt grenen.
Dak:	Kalzip dakplaten aluminium.

Op basis van de bouwkundige componenten en het structuurontwerp zijn voor de verdere verdieping een doorsnede en details uitgewerkt naar DO (Definitief Ontwerp), zie bijlage 7 en 8.

Installatie technische componenten

De installatietechnische componenten binnen de Casestudy zijn bepalend voor de scores op de 'Active House' parameters. De gekozen componenten zijn de volgende:

Verwarming + koeling

Warmtepomp:	type Nibe f1255, (grond- water warmtepomp)
Vloerverwarming:	LTV < 50 gr.

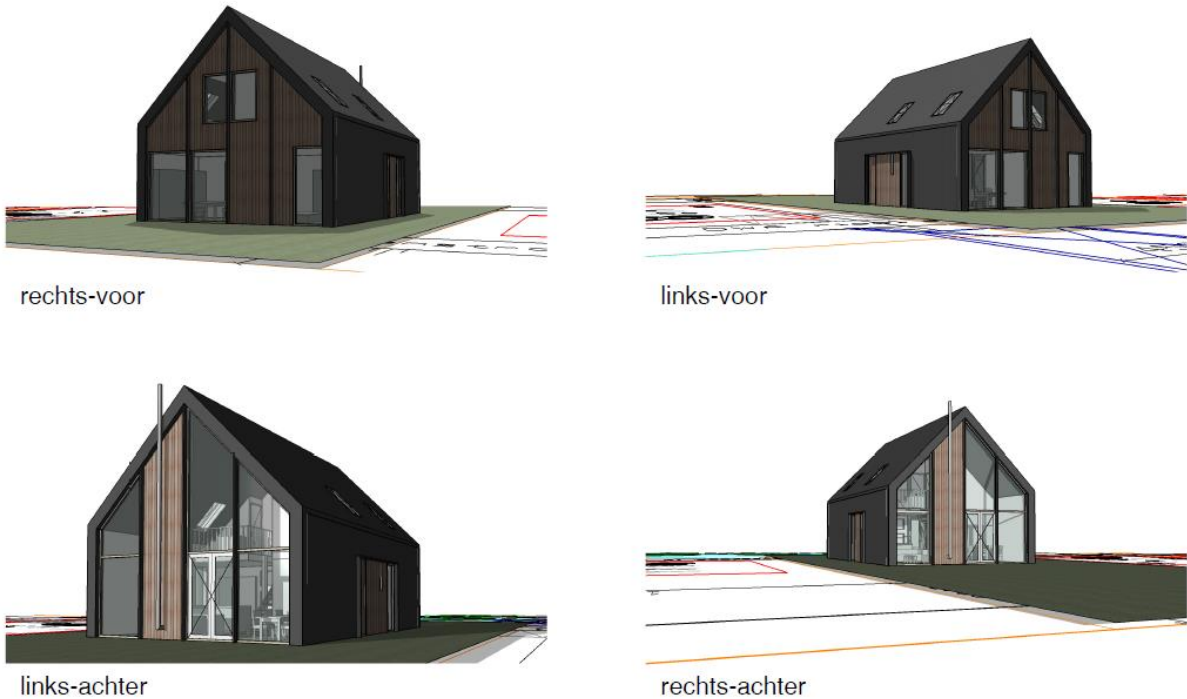
Ventilatie:

systeem C:	natuurlijke toevoer > mechanische afvoer, CO ² gestuurd.
------------	---

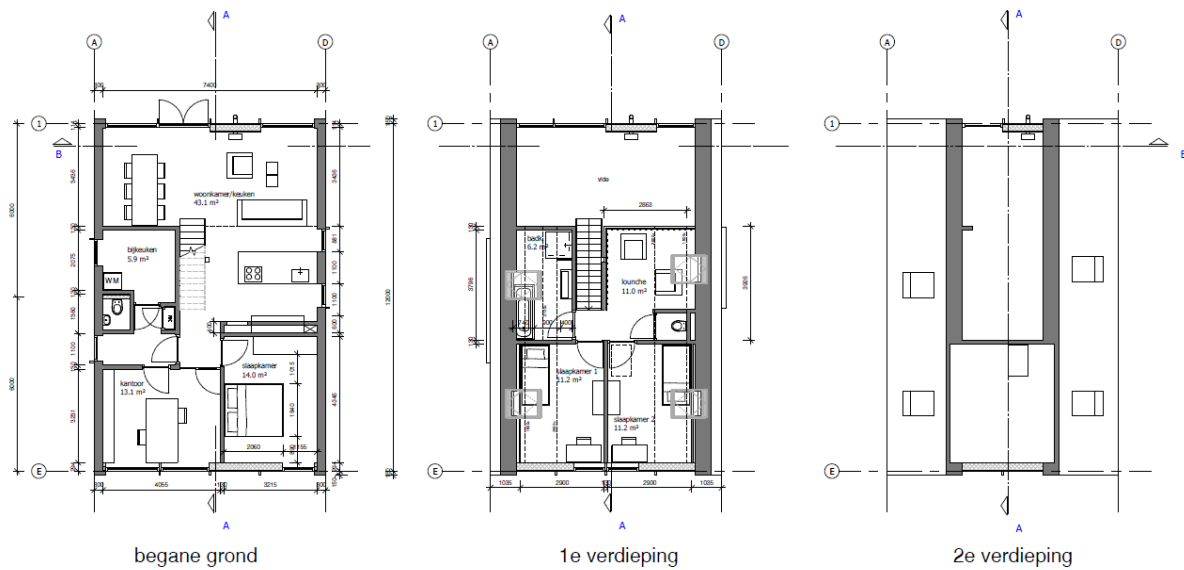
5.2 STRUCTUURONTWERP

Het structuurontwerp is gemaakt door 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde'. Het ontwerp betreft een zogeheten 'schuurwoning' met een zadeldak. De onderstaande perspectieven, plattegronden en gevels in figuur 5.1 geven een impressie van de nieuw te bouwen woning.

Perspectief

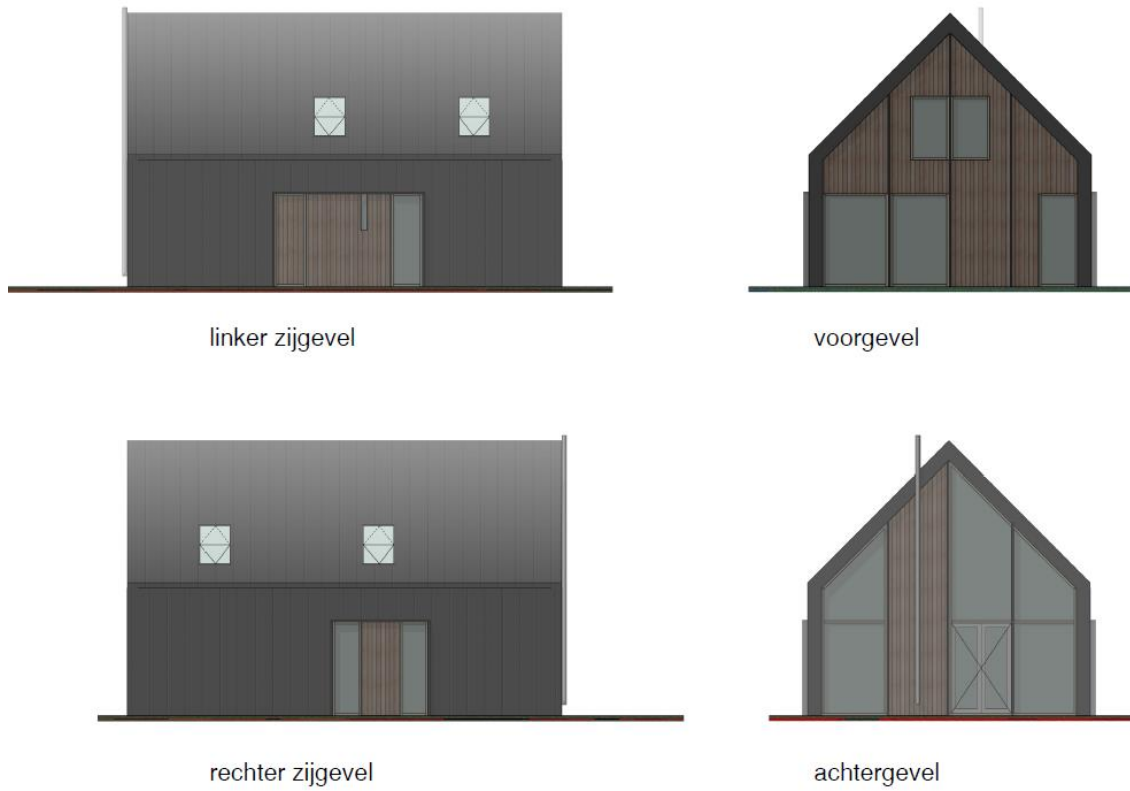


Plattegronden



Figuur 5.1 Structuurontwerp, Perspectief en plattegronden

Gevels



Figuur 5.2 Structuurontwerp, Gevels

5.3 COMFORT

Daglicht

Daglicht is de eerste parameter binnen het onderdeel comfort van een 'Active House'. De criteria op de parameter van daglicht zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

Daglicht

1.1.1 Daglichtfactor

De hoeveelheid daglicht in een kamer wordt geëvalueerd via de gemiddelde daglichtfactor op een werkbladniveau:

1. DF > 5% gemiddeld
2. DF > 3% gemiddeld
3. DF > 2% gemiddeld
4. DF > 1% gemiddeld

1.1.2 Beschikbaarheid direct zonlicht

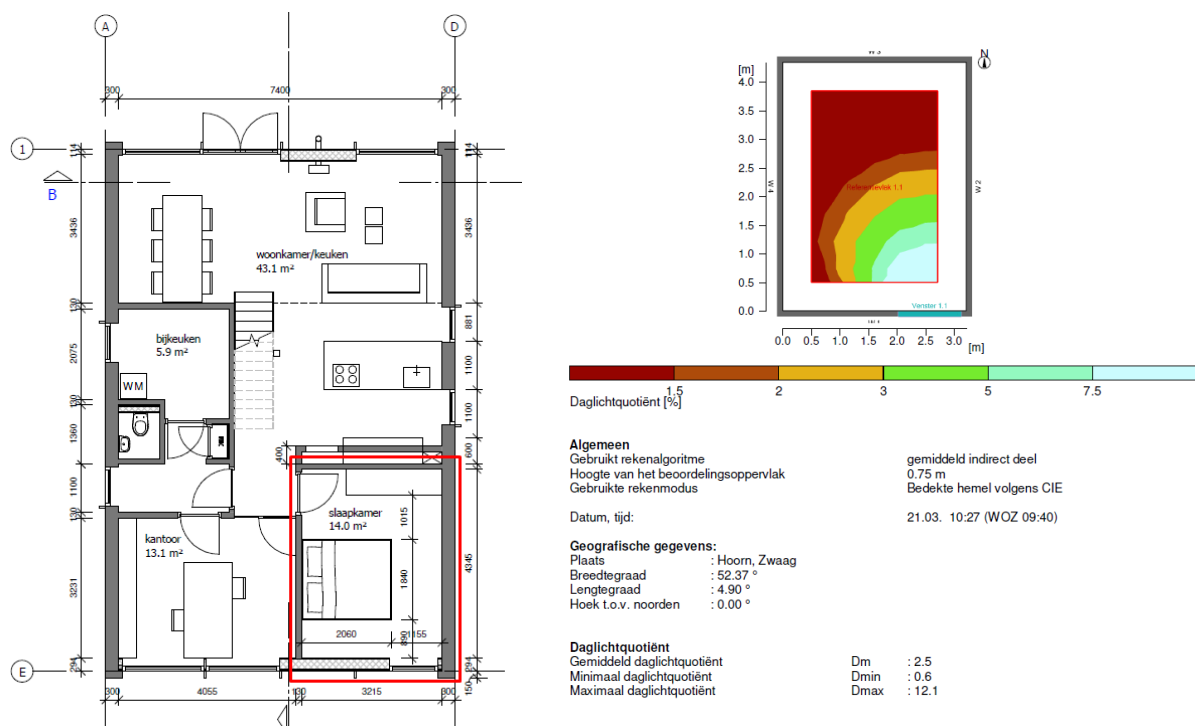
Minimaal één van de belangrijkste woonruimten moet van de lente tot de herfst direct zonlicht hebben.

1. Minimaal 10% van de verwachte zonne-uren
2. Minimaal 7,5% van de verwachte zonne-uren
3. Minimaal 5% van de verwachte zonne-uren
4. Minimaal 2,5% van de verwachte zonne-uren

Daglichtfactor

Op basis van het structuurontwerp is een daglichtberekening gemaakt, waardoor de daglichtfactor kan worden bepaald. Deze berekening is gemaakt middels Relux, een gevalideerd daglicht simulatieprogramma. Dit programma is gebruikt omdat het wordt aanbevolen door de 'Active House' Alliance.

De kamer die gekozen is om door te rekenen met het Relux daglicht simulatieprogramma is de slaapkamer rechts aan de voorgevel op de begane grond. In het onderstaande figuur 5.3 is de slaapkamer rood omkaderd. Deze kamer is gekozen omdat deze naar alle waarschijnlijkheid de slechtste score zal behalen. Deze inschatting is gemaakt op basis van het aantal m² raamoppervlak in verhouding tot het oppervlak van de ruimte. De hoeveelheid daglicht in een ruimte wordt middels het programma Relux uitgedrukt in een daglichtquotiënt. Het gemiddeld daglichtquotiënt (Dm) is de daglichtfactor.



Figuur 5.3 Slaapkamer begane grond

Uit de daglicht berekening is gebleken dat de slaapkamer op de begane grond een daglicht factor van 2,5% gemiddeld behaalt. Dat betekent een score tussen de 2 en 3 op de 'Active House' parameter:

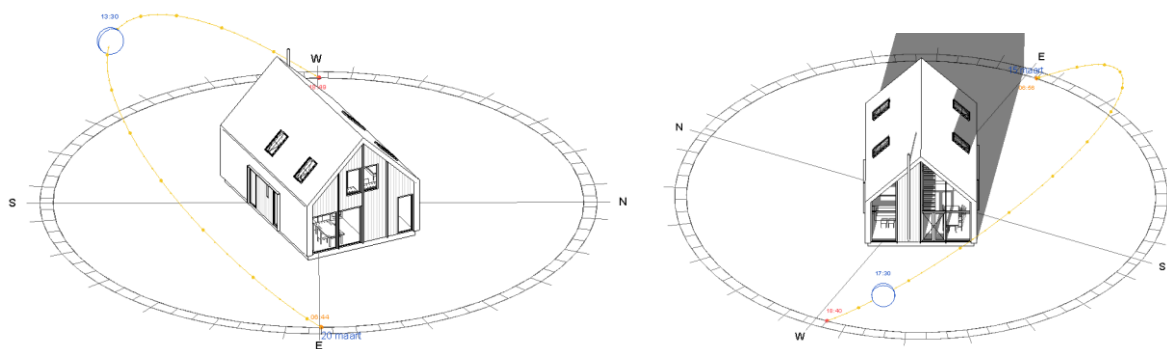
1.1.1 Daglichtfactor 2. DF > 2% gemiddeld.

Een uitgebreide versie van de daglichtberekening is terug te vinden in Bijlage 1.

Beschikbaarheid direct zonlicht

De beschikbaarheid van direct zonlicht in een 'Active House' wordt bepaald door het percentage verwachte zonuren voor minimaal één van de belangrijkste woonruimten. Deze woonruimte moet van de lente tot de herfst minimaal 2,5% van de verwachte zonuren hebben. Hoe hoger het percentage van de te verwachte zonuren, des te beter de 'Active House' score.

In het programma 'Autodesk Revit' is een bezonningsstudie gemaakt om het zonverloop ter plaatse van de woning in kaart te brengen. Hiervoor is begin van de astronomische lente, zomer, herfst en winter ingevoerd. De astronomische lente begint op 20 maart, de astronomische herfst begint op 23 september en de periode hiertussen is ca. 6 maanden.



Figuur 5.4 Zonverloop op 20 Maart 2018

De bovenstaande afbeeldingen, figuur 5.4 toont het zonverloop op 20 maart 2018. De zon komt deze dag op omstreeks 06:30 uur en zal ondergaan omstreeks 18:30 uur. Dat zijn 12 zonne-uren. De verwachting is dat de zon rond 13:30 uur langs de zijgevel van de woning is gekomen en hierna door het glazen achterpui naar binnen zal schijnen. Er zijn geen belemmeringen op het perceel maar een uur voor ondergang zal de zon naar schatting verdwijnen achter het landschap. Tot de zonsondergang schijnt de zon dus nog ca. 17:30 uur – 13:30 uur = 4 uur naar binnen.

$$4 / 12 = 0,33 * 100\% = 33\%$$

Van de score van de woning in de 'Active House' Radar kan op basis van de gemaakte bezonningsstudie geconcludeerd worden dat op deze parameter een score 1 wordt behaald.

1.1.2. Beschikbaarheid direct zonlicht 1. Minimaal 10% van de verwachtte zonne-uren.

Thermische omgeving

Thermische omgeving is de tweede parameter binnen het onderdeel comfort van een 'Active House'. De criteria op de parameter van thermische omgeving zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

Thermische omgeving

1.2.1 Maximale kamertemperatuur

Voor verblijfsruimten zonder mechanische koeling

1. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 20,8 \text{ C}$
2. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 21,8 \text{ C}$
3. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 22,8 \text{ C}$
4. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 23,8 \text{ C}$

Voor verblijfsruimten met
mechanische koeling

1. $T_{i,o} < 25,5 \text{ C}$
2. $T_{i,o} < 26 \text{ C}$
3. $T_{i,o} < 27 \text{ C}$
4. $T_{i,o} < 28 \text{ C}$

1.2.2 Minimale kamertemperatuur
Voor verblijfsruimten

1. $T_{i,o} > 21 \text{ C}$
2. $T_{i,o} > 20 \text{ C}$
3. $T_{i,o} > 19 \text{ C}$
4. $T_{i,o} > 18 \text{ C}$

Maximale kamertemperatuur

De score op de parameter 'maximale kamertemperatuur' wordt in dit onderzoek niet nauwkeurig bepaald. Deze score is namelijk niet te berekenen met het programma ENORM. Wel wordt in het programma ENORM onder resultaten een percentage op het zomercomfort weergegeven.

In een interview met Jappe Goud van WE- adviseurs stelde hij hierover het volgende: "Risico te hoge temperaturen. Dat wordt in ENORM niet berekend. Je hebt in ENORM wel het resultaat voor 'zomercomfort', dat is een indicatie. Als dat meer dan 15% is van het totaal, is er een risico. (Goud, 2018)

Binnen de Casestudy is geen mechanische koeling toegepast voor de verblijfsruimten. Na de invoering van alle gegevens in het programma ENORM is gebleken dat het percentage voor zomercomfort ingeschat wordt met een percentage van 19%.

Van de score van de woning in de 'Active House' Radar kan middels deze gegevens worden gesteld dat op deze parameter een risico is. Er zal daarom worden uitgegaan van de laagste score, een 4.

1.2.1. *Maximale kamertemperatuur voor verblijfsruimten zonder mechanische koeling:*

4. $T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 23,8 \text{ C}$

Minimale kamertemperatuur

De score op de parameter 'minimale kamertemperatuur' is afhankelijk van het gekozen verwarmingssysteem. Iris de Goijer stelt in haar onderzoek naar de afstemming van de 'Active House' specificaties op de Nederlandse regelgeving en bouwmethodiek het volgende over de parameter: 'Hiervoor geldt dat het verwarmingssysteem in verblijfsruimten ontworpen dient te zijn om een bepaalde minimale temperatuur te kunnen halen. De gebruikers kunnen echter wel andere instellingen kiezen'.

'In Nederland worden alle installaties standaard gedimensioneerd op 20 °C. Voor het halen van score 1 moeten de verblijfsruimten, bij een buitentemperatuur van 12 °C of lager, verwarmd kunnen worden tot een temperatuur van ten minste 21°C. Dit is met de huidige verwarmingssystemen een realistische waarde om te halen. Er zal daarom uitgegaan worden van score 1'.

Aan de hand van deze constatering kan van de score van de Casestudy woning op deze parameter ook worden gesteld dat een 1 gehaald wordt.

1.2.1. *Minimale kamertemperatuur voor verblijfsruimten:* 1. $T_{i,o} > 21 \text{ C}$

Binnenluchtkwaliteit

Binnenluchtkwaliteit is de derde parameter binnen het onderdeel comfort van een 'Active House'. De criteria op de parameter van binnenluchtkwaliteit zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

Binnenluchtkwaliteit

1.3.1 Standaard hoeveelheid frisse lucht

Standaard hoeveelheid frisse lucht in
ppm boven de CO² concentratie buiten

1. 500 ppm boven de CO² concentratie buiten
2. 750 ppm boven de CO² concentratie buiten
3. 1000 ppm boven de CO² concentratie buiten
4. 1200 ppm boven de CO² concentratie buiten

Standaard hoeveelheid frisse lucht

De standaard hoeveelheid frisse lucht is de frisse lucht in ppm boven de CO² concentratie buiten. Om deze parameter te berekenen betekent dit dat de CO² concentratie buiten bekend moet zijn. De CO² concentratie van de buitenlucht in Nederland bedraagt circa 350 – 400 ppm. (Goijer, 2014). Hierdoor zal er worden uitgegaan van een gemiddelde concentratie van 375 ppm.

Iris de Goijer stelt in haar onderzoek naar de afstemming van de 'Active House' specificaties op de Nederlandse regelgeving en bouwmethodiek het volgende:

'In het Bouwbesluit staat beschreven dat de CO²-concentratie maximaal 1200 ppm dient te bedragen. Er staat daarbij echter ook beschreven dat er bij een CO²-concentratie van 1000 ppm al klachten kunnen optreden zoals hoofdpijn en slaperigheid. Voor het bepalen van de standaardhoeveelheid frisse lucht zal er daarom uitgegaan worden van een CO²-concentratie buiten van 375 ppm en binnen van 1000 ppm. Het verschil tussen deze twee concentraties is 625 ppm'.

Uit deze gegevens kan worden gesteld dat binnen de Casestudy woning een CO² percentage van 625 ppm boven de CO² concentratie buiten zal worden behaald. Dit betekent een score van 2 op de 'Active House' parameter:

1.3.1. Standaard hoeveelheid frisse lucht:

2. 750 ppm boven de CO² concentratie buiten.

Daarnaast kun je ook stellen dat wanneer er gekozen wordt voor een ventilatiesysteem op basis van CO² sturing, zoals bij de Casestudy woning, en de installatie dusdanig wordt ontworpen dat deze het ppm in de ruimte ten opzichte van de CO² concentratie buiten nooit hoger laat oplopen dan 500 ppm er altijd een score van 1 zal worden behaald op deze parameter.

Hierbij zou het installatiesysteem de waarde alleen niet kunnen behalen/ behouden wanneer er bijvoorbeeld te veel personen in de ruimte aanwezig zijn om de CO² weg te kunnen ventileren of wanneer de bewoners van de woning het systeem uit zetten omdat zij vinden dat het te veel lawaai maakt.

5.4 ENERGIE

Energievraag

Energievraag is de eerste parameter binnen het onderdeel Energie van een 'Active House'. Deze parameter hangt samen met veel bouwkundige en installatietechnische oplossingen. De criteria op de parameter Energievraag zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

<i>Energievraag</i>	
2.1.1 Jaarlijkse energievraag voor het gebouw in MJ / m ²	1. < 150 MJ / m ² = < 41,7 kWh / m ² 2. < 225 MJ / m ² = < 62,5 kWh / m ² 3. < 300 MJ / m ² = < 83,3 kWh / m ² 4. < 450 MJ / m ² = < 125 kWh / m ²

Uit de EPC berekening is gebleken dat de totale jaarlijkse energievraag van de woning 38.810 MJ is. Het totale gebruiksoppervlak van de woning is 131,2 m². De totale energievraag van de woning gedeeld door de gebruiksoppervlakte van de woning maakt de volgende som:

$$38.810 \text{ MJ} / 131,2 \text{ m}^2 = 296 \text{ MJ} / \text{m}^2$$

Omdat veel bouwconcepten en rekenprogramma's (waaronder ook passiefhuis) uitgaan van kWh / m² in plaats van MJ / m² is het in sommige gevallen juist gewenst om de waarde in kWh / m² uit te drukken en niet in MJ / m². Om deze reden staan de kWh / m² achter de waarde in MJ / m². De waarde in kWh kan berekend worden door de waarde in MJ te delen door een factor 3,6. Dat komt neer op een waarde van 82,2 kWh / m².

Van de score van de woning in de 'Active House' Radar kan middels de gemaakte EPC berekening worden gesteld dat op deze parameter een score wordt behaald van 3.

2.1.1. Jaarlijkse energievraag voor het gebouw: 3. < 300 MJ / m²

De EPC berekening is terug te vinden in bijlage 2.

Energievoorziening

Energievoorziening is de tweede parameter binnen het onderdeel Energie van een 'Active House'. Deze parameter is ambitieus gekozen omdat er minimaal 25% van de door het gebouw gebruikte energie op het perceel of door een nabijgelegen systeem moet worden geproduceerd. Er moet dus voor een deel zelfvoorzienend worden gehandeld. De criteria op de parameter Energievoorziening zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

<i>Energievoorziening</i>	
2.2.1 Aantal% van de door het gebouw gebruikte energie wordt op het perceel of door een nabijgelegen systeem geproduceerd	1. 100% of meer 2. > 75% 3. > 50% 4. > 25%

Uit de gemaakte EPC berekening volgt dat er een score van 0,4 (verplichte score) kan worden behaald door drie zonnepanelen toe te voegen. Hierbij wordt uitgegaan van standaard zonnepanelen zoals ze zijn opgenomen in het programma ENORM. Dit zijn mono kristallijne silicium panelen met een afmeting van 1,64 m² en een vermogen van 135 WP / m². Dit komt neer op een vermogen van 220 WP per paneel. De gebouwgebonden en niet-gebouwgebonden elektriciteitsproductie bij elkaar opgeteld gedeeld door het gebruiksoppervlak van de woning geeft het percentage hernieuwbare energie.

$$(2.717 \text{ MJ} + 2373 \text{ MJ}) / 131,2 \text{ m}^2 = 38,8 \text{ MJ} / \text{m}^2 > 38,8 \text{ MJ} / \text{m}^2 / 296 \text{ MJ} / \text{m}^2 = 0,13 * 100\% = 13\%$$

Van de score van de woning in de 'Active House' Radar kan middels de gemaakte EPC berekening worden gesteld dat op deze parameter geen score wordt behaald. Dit zou betekenen dat de woning hierdoor niet meer in aanmerking komt om een 'Active House' genoemd te worden.

Om toch tot een minimale score van 4 te komen kunnen er extra zonnepanelen worden toegevoegd. Door 25% van de jaarlijkse energievraag op te wekken met zonnepanelen kan een score 4 worden behaald. 3 zonnepanelen samen leveren 2373 MJ. Dit betekent ca. 18,1 MJ/ m² op gebouwniveau.

$(0,25-0,13) = 0,12 * 296 \text{ MJ/ m}^2 = 33 \text{ MJ/ m}^2 > \text{Dit betekent } 33/ 18,1 = 1,8 > 2$ panelen zijn hierdoor extra nodig om in 25% van de energiebehoefte te voorzien en daarmee de laagste score (4) te behalen.

Door toevoeging van 2 mono kristallijne silicium panelen, in totaal dus 5 zonnepanelen, wordt een 'Active House' score van 4 behaald op de parameter:

2.2.1. *Energievoorziening:* 4. > 25%

Energieprestatie

Energieprestatie is de derde parameter binnen het onderdeel Energie van een 'Active House'. De criteria op de parameter Energieprestatie zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

2.3.1 <i>Jaarlijkse energieprestatie</i>	1. < 0 MJ / m ²
Jaarlijkse energieprestatie voor het gebouw	2. 0 - 55 MJ / m ²
in MJ / m ²	3. 55 - 110 MJ / m ²
	4. > 110 MJ / m ²

Jaarlijkse energieprestatie

Volgens de 'Active House' technische specificaties kan de jaarlijkse energieprestatie worden berekend met de volgende formule:

(Gebruikte energie – duurzame energieopwekking) * nationale duurzame energiefactoren.

De gebruikte energie = 296 MJ/ m² en de duurzame energieopwekking = 68,7 MJ/ m².

De duurzame energiefactor is (nog) niet bekend voor Nederland. Andere factoren, zoals de primaire energiefactor voor elektriciteit is echter wel bekend voor Nederland. Deze factor bedraagt 2,56%.

Bij deze factor wordt echter alleen de elektriciteit meegenomen en niet de overige onderdelen. Omdat de nationale duurzame energiefactor niet bekend is voor Nederland, zal er bij deze berekening een factor van 1,0 aangehouden worden. (Goijer, 2014)

De formule kan met de gevonden getallen als volgt worden ingevuld:

$(296 \text{ MJ/ m}^2 - 68,7 \text{ MJ/ m}^2) * 1,0\% = 206,3 \text{ MJ/ m}^2$.

Deze uitkomst is groter dan 110 MJ/ m² en daarmee kan worden gesteld dat de Casestudy woning een score van 4 behaald op de parameter:

2.3.1. *Jaarlijkse energieprestatie:* 4. > 110 MJ/ m²

5.5 MILIEU

Milieubelasting

Milieubelasting is de eerste parameter binnen het onderdeel Milieu van een 'Active House'. Deze parameter hangt samen met de gekozen materialen en het primaire energieverbruik van de woning. De criteria op de parameter Milieubelasting zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

<i>Millieubelasting</i>	
3.1.1 Primair energieverbruik gedurende de gehele levenscyclus van het gebouw in kWh/m ² a	1. < -150 kWh / m² a 2. < 15 kWh / m² a 3. < 150 kWh / m² a 4. < 200 kWh / m² a
3.1.2 Klimaatverandering (GWP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg CO ² -eq./m ² a	1. < -30 kg CO²-eq./m² a 2. < 10 kg CO²-eq./m² a 3. < 40 kg CO²-eq./m² a 4. < 50 kg CO²-eq./m² a
3.1.3 Aantasting van de ozonlaag (ODP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg R11-eq./m ² a	1. < 2,25E-06 kg R11-eq./m² a 2. < 5,3E-06 kg R11-eq./m² a 3. < 3,7E-06 kg R11-eq./m² a 4. < 6,7E-06 kg R11-eq./m² a
3.1.4 Foto chemische oxidantvorming (POCP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg C2H4-eq./m ² a	1. < 0,0025 kg C2H4-eq./m² a 2. < 0,0040 kg C2H4-eq./m² a 3. < 0,0070 kg C2H4-eq./m² a 4. < 0,0085 kg C2H4-eq./m² a
3.1.5 Verzuring (AP) tijdens de levensduur van het gebouw in SO ₂ -eq./m ² a	1. < 0,010 kg SO₂-eq./m² a 2. < 0,075 kg SO₂-eq./m² a 3. < 0,100 kg SO₂-eq./m² a 4. < 0,125 kg SO₂-eq./m² a
3.1.6 Vermesting (EP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg PO ₄ -eq./m ² a	1. < 0,0040 kg PO₄-eq./m² a 2. < 0,0055 kg PO₄-eq./m² a 3. < 0,0085 kg PO₄-eq./m² a 4. < 0,0105 kg PO₄-eq./m² a

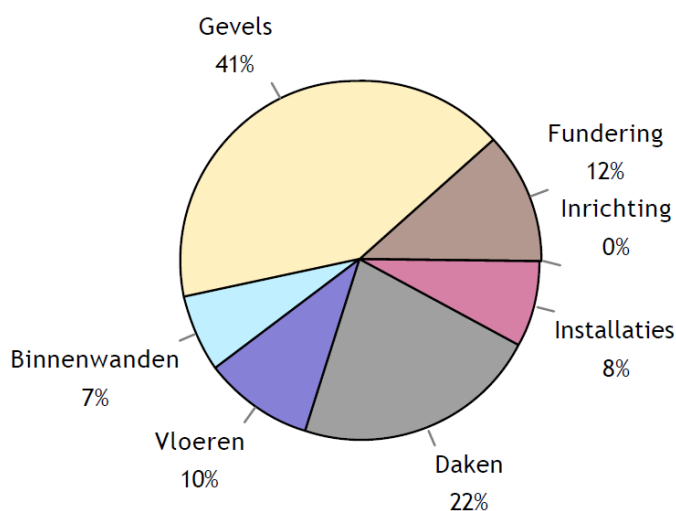
Primair energiegebruik gedurende de gehele levenscyclus van het gebouw in kWh/ m² a

In deze formule staat (a) voor het aantal jaren waarin de woning zal bestaan. Voor woningbouw is dat 75 jaar. Uit de EPC berekening is gebleken dat de Casestudy woning een primair energiegebruik heeft van 58,6 kWh/ m². Dat betekent een score van 3 op deze 'Active House' parameter.

MPG Calc

Met de onlangs uitgebrachte MPGCalc van DGMR software kan de milieu impact van materialen en producten die binnen een gebouw of tijdens de bouw ervan worden toegepast in kaart worden gebracht.

De bovengenoemde resultaten op de parameters 3.1.2. t/m 3.1.6 kunnen hiermee worden berekend. Echter hierbij moet wel worden vermeld dat de software nog niet alle materialen en producten bevat die daadwerkelijk in het gebouw of tijdens de bouw worden toegepast waardoor de precisie van de resultaten op de parameters zich lastiger laat bepalen.



Figuur 5.5 Verdeling milieubelasting in %

De MPG berekening is gemaakt op basis van het structuurontwerp uit de Casestudy. De complete MPG berekening is terug te vinden in bijlage 3.

Bouwdeel	Schaduwkosten per jaar per m ² BVO
Fundering	€ 0,07
Gevels	€ 0,25
Binnenwanden	€ 0,04
Vloeren	€ 0,06
Daken	€ 0,13
Installaties	€ 0,05
Inrichting	€ 0,-
Totaal	€ 0,60

De totale schaduwkosten per jaar per m² BVO op het project zijn weergegeven in de tabel, figuur 5.6. Hierin is het grootste deel van de schaduwkosten afkomstig van de gevel, met € 0,25,-

De resultaten op de criteria van de parameter milieubelasting die zijn voortgekomen uit de MPG berekening zijn weergegeven in onderstaande tabel, figuur 5.7.

Figuur 5.6 Schaduwkosten Casestudy woning per m² BVO per jaar

	Schaduwkosten	Milieu-effecten
Emissies	€ 7.779,-	
Klimaatverandering	€ 2.665,-	53.300 kg CO2 eq.
Aantasting ozonlaag	€ 0,-	0,0038 kg CFC-11 eq.
Humane toxiciteit	€ 2.523,-	28.036 kg 1.4-DB eq.
Zoetwater aquatische ecotoxiciteit	€ 30,-	984 kg 1.4-DB eq.
Mariene aquatische ecotoxiciteit	€ 321,-	3.208.342 kg 1.4-DB eq.
Terrestrische ecotoxiciteit	€ 35,-	575 kg 1.4-DB eq.
Fotochemische oxidantvorming	€ 116,-	58 kg C2H4 eq.
Verzuring	€ 1.431,-	358 kg SO2 eq.
Vermesting	€ 659,-	73 kg PO4 eq.
Uitputting	€ 51,-	
Uitputting abiotische grondstoffen	€ 0,-	2 kg Sb eq
Uitputting fossiele energiedragers	€ 51,-	318 kg Sb eq
Totaal	€ 7.831,-	

Figuur 5.7 Milieueffecten Casestudy woning

Klimaatverandering (GWP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg CO²-eq./m²a

Uit de MPG berekening is gebleken dat de Casestudy woning een GWP heeft van 53.300 kg CO² eq. 53.300/ (131,2*75)= 5,42 kg CO² eq./m² a. Dit staat gelijk aan een score van 2 op deze 'Active House' parameter.

Aantasting van de ozonlaag (ODP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg R11-eq./m²a

Uit de MPG berekening is gebleken dat de Casestudy woning een ODP heeft van 0,0038 kg R11-eq. 0.0038/ (131,2*75)= 3,86*10⁻⁰⁷ kg R11-eq./m² a. Voor deze parameter wordt dus de minimale (beste) score behaalt op de 'Active House' Radar. De score is 1.

Foto chemische oxidantvorming (POCP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg C2H4-eq./m² a

Uit de MPG berekening is gebleken dat de Casestudy woning een POCP heeft van 58 kg C2H4-eq. 58/ (131,2*75) = 0,0059 kg C2H4-eq./m² a. Dit staat gelijk aan een score van 3 op deze 'Active House' parameter.

Verzuring (AP) tijdens de levensduur van het gebouw in SO₂-eq./m² a

Uit de MPG berekening is gebleken dat de Casestudy woning een AP heeft van 358 SO₂-eq. 358/ (131,2*75)= 0,04 SO₂-eq./ m² a. Dit staat gelijk aan een score van 2 op deze 'Active House' parameter.

Vermesting (EP) tijdens de levensduur van het gebouw in kg PO₄-eq./m² a

Uit de MPG berekening is gebleken dat de Casestudy woning een EP heeft van 73 PO₄-eq. 73/ (131,2*75)= 0,0074 PO₄-eq./ m² a. Dit staat gelijk aan een score van 3 op deze 'Active House' parameter.

Resultaten

Aan de hand van de gemaakte berekeningen met ENORM en MPGCalc kan op de 'Active House' parameter milieubelasting een gemiddelde score worden bepaald. De scores op de criteria worden hiervoor bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal criteria. Het resultaat op de parameter milieubelasting is hiermee dus:

$$2 + 2 + 1 + 3 + 2 + 3 = 19. > 19 / 6 = 3,2.$$

Van de score van de woning in de 'Active House' Radar kan middels de gemaakte EPC berekening en MPG berekening worden gesteld dat op de zes parameters van milieubelasting een score wordt behaalt van 2.

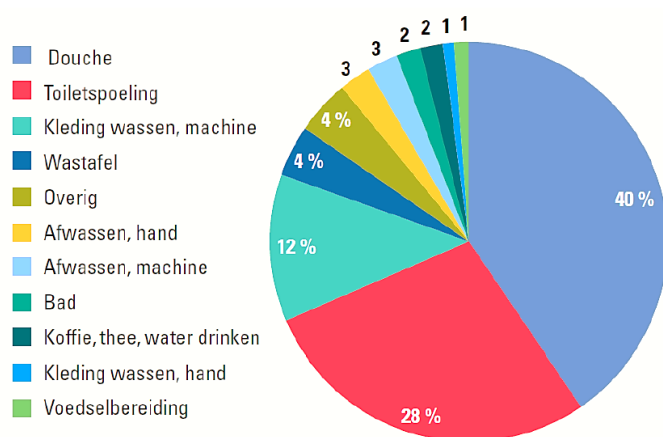
3.1. Milieubelasting: score 2.

Drinkwaterverbruik

Drinkwaterverbruik is de tweede parameter binnen het onderdeel Milieu van een 'Active House'. Deze parameter hangt samen met de gekozen oplossingen binnen een ontwerp/ gebouw tot het verminderen van drinkwaterverbruik. De criteria op de parameter Drinkwaterverbruik zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties.

<i>Drinkwaterverbruik</i>	1. Verbetering > 50%
3.2.1 Verminderen van het drinkwaterverbruik tijdens	2. Verbetering > 30%
de levensduur van het gebouw in verbetering in	3. Verbetering > 20%
% versus het gemiddelde nationale waterverbruik	4. Verbetering > 10%

Een verbetering van 10% op het drinkwaterverbruik in vergelijking met het nationaal gemiddelde is nodig om een score van 4 te behalen op de parameter drinkwaterverbruik van een 'Active House'.



In figuur 5.8 is de verdeling van het drinkwaterverbruik in Nederland weergegeven. Gemiddeld verbruikt een persoon 120 liter per dag. Hiervan gaat: $0,40 \times 120 = 48$ liter naar het douchegebruik en gaat $0,28 \times 120 = 33,6$ liter naar het toiletgebruik. (Goijer, 2014)

Een waterbesparende douchekop met een rendement van ca. 35% (GROHE, 2018) bespaart $0,35 \times 48$ liter = 16,8 liter.

Figuur 5.8 Verdeling drinkwaterverbruik in Nederland, (Goijer, 2014)

Een waterbesparende douchekop met een rendement van 30% en daarmee een besparing van 16,8 liter op het totaal van 120 liter betekend een besparing van $16,8/120 = 0,14 \times 100\% = 14\%$.

Een besparing van het drinkwaterverbruik van 14% op het nationaal gemiddelde tijdens de levensduur van het gebouw kan al worden behaald door de toepassing van een waterbesparende douchekop.

Binnen de Casestudy wordt uitgegaan van een waterbesparende douchekop en daarmee een score behaalt van 4 op de parameter:

3.2.1. Verminderen van het drinkwater verbruik tijdens de levensduur van het gebouw: 4. Verbetering > 10%

Duurzaam materiaalgebruik

Duurzaam materiaalgebruik is de derde parameter binnen het onderdeel Milieu van een 'Active House'. Deze parameter hangt samen met de gekozen materialen binnen een ontwerp/gebouw. De criteria op de parameter Duurzaam materiaalgebruik zijn als volgt omschreven in de 'Active House' specificaties:

<i>Duurzaam materiaalgebruik</i>		1.	> 50%	
3.3.1 <u>Gerecyclede content in%</u>		2.	> 30%	
		3.	> 10%	
		4.	> 5%	
3.3.2 <u>Verantwoorde bronnen in%</u>		1.	100% FSC, PEFC	80% EMS
	Het percentage (%) gebruikte hout dat gecertificeerd (FSC, PEFC) is.	2.	80% FSC, PEFC	50% EMS
		3.	65% FSC, PEFC	40% EMS
	Het percentage (%) van de leveranciers van nieuwe materialen dat gecertificeerd (EMS) is.	4.	50% FSC, PEFC	25% EMS

Gerecyclede content in%

In de 'Active House' technische specificaties wordt het volgende gesteld over de parameter gerecyclede content 'Kijkend naar het gewicht, bedraagt het gemiddelde voor alle gerecyclede bouwmaterialen (in verhouding tot het gebruikte materiaal in het gebouw een bepaald percentage om een score te behalen. 80% van het gewicht van het gebouw moet worden meegenomen. (Hasselaar, Active House ontwerprichtlijnen, 2015)

In de Casestudy wordt ervan uitgegaan dat er in ieder geval 5% gerecyclede bouwmaterialen gebruikt wordt om te voldoen aan de laagste score (score 4) van een 'Active House'. Dit percentage moet haalbaar zijn vanwege de begane grondvloer van de Casestudy woning. Deze zal worden uitgevoerd als een steenachtige vloer waarin betongranulaat is verwerkt. Het percentage betongranulaat kan variëren van ca. 10% tot ca. 50% van het gewicht van de vloer volgens VBI-green. (Consolis VBI Groen, sd)

De onderdelen welke samen zorgen voor het grootste gewicht zijn in onderstaande tabel, figuur 5.9 weergegeven. De fundering is niet meegewogen in het percentage gewicht maar kan ook worden uitgevoerd met betongranulaat waardoor de score naar verwachting zal toenemen.

Onderdeel (-)	Oppervlakte (m ²)	Dikte (m)	Volume (m ³)	Gewicht (kg)
Begane grondvloer	90,4	0,2	18,1	24.498
Dragende wanden	179	0,185	33	14.901
Dak	132,6	0,185	24,5	11.039
Totaal				50.438

Figuur 5.9 Gewicht Casestudy woning

10% van het gewicht van de vloer: $24.498 \text{ kg} * 0,1 = 2.449 \text{ kg}$.

Het percentage betongranulaat van het totale gewicht van de Casestudy woning wordt hiermee:

$2.449 \text{ kg} / 50.438 = 0,048 * 100\% = 4,86\%$ afgerond $> 5\%$

Binnen de Casestudy wordt uitgegaan van een kanaalplaatvloer met betongranulaat als begane grondvloer en daarmee wordt een score behaalt van 4 op de parameter:

3.3.1. Gerecyclede content in%: 4. $> 5\%$

Verantwoorde bronnen in%

De constructie van de woning wordt opgebouwd met massief houten wanden, verdiepingsvloer en dak. Deze massief houten bouwconstructie is volledig afkomstig uit verantwoord beheerde bossen en daarmee FSC, PEFC gecertificeerd. Het percentage van de leveranciers van nieuwe materialen dat EMS gecertificeerd is moet 80% procent zijn om score 1 te behalen. Omdat het een gemiste kans zou zijn om wel voor 100% FSC, PEFC te gaan en niet voor een 80% EMS wordt dit percentage als hoogst ingeschat op 80%. In de besteksfase en uitvoeringsfase dient hier dan wel rekening mee te worden gehouden.

Met de wetenschap dat de totale bouwconstructie afkomstig is uit duurzaam beheerde bossen en de inschatting dat 80% van de leveranciers van de nieuwe materialen EMS gecertificeerd is wordt een score van 1 behaalt op de parameter:

3.3.2. Verantwoorde bronnen in%: 1. 100% FSC, PEFC. 80% EMS

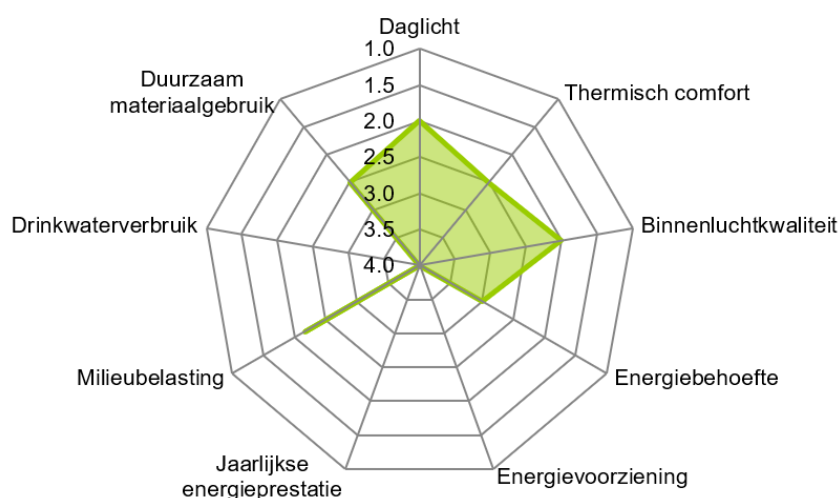
5.6 'ACTIVE HOUSE' RADAR

De behaalde scores op de parameters van het 'Active House' zijn voor de Casestudy woning in figuur 5.10 weergegeven:

<i>Parameters</i>	<i>Uitkomst</i>	<i>Score</i>	<i>Parameter criteria</i>
Comfort			
1.1.1 Daglichtfactor	2,5%	3.	DF > 2% gemiddeld
1.1.2. Beschikbaarheid direct zonlicht	10%	1.	Minimaal 10% van de verwachte zonuren
1.2.1. Maximale kamertemperatuur	23,8 C	4.	$T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 23,8 C$
1.2.2. Minimale kamertemperatuur	21 C	1.	$T_{i,o} > 21 C$
1.3.1. Standaard hoeveelheid frisse lucht	625 ppm	2.	< 750 ppm boven de CO ² concentratie buiten
Energie			
2.1.1. Jaarlijkse energievraag voor het gebouw in MJ/ m ²	275 MJ/ m ²	3.	< 300 MJ/ m ²
2.2.1. Aantal% door gebouw gebruikte energie productie	25%	4.	> 25%
2.3.1. Jaarlijkse energieprestatie voor het gebouw in MJ/ m ²	206,3 MJ/ m ²	4.	> 110 MJ/ m ²
Milieu			
3.1.1. Primair energieverbruik van het gebouw in kWh/ m ² a	0,78 kWh/ m ² a	2.	< 15 kWh/ m ² a
3.1.2. GWP	5,42 kg CO ² -eq./m ² a	2.	< 10 kg CO ² -eq./m ² a
3.1.3. ODP	3,86*10 ^{E-07} kg R11-eq./ m ² a	1.	< 2,25*10 ^{E-06} kg R11-eq./m ² a
3.1.4. POCP	0,0059 kg C2H4-eq./ m ² a	3.	< 0,0070 kg C2H4-eq./m ² a
3.1.5. AP	0,04 SO2-eq./ m ² a	2.	< 0,075 kg SO2-eq./m ² a
3.1.6. EP	0,0074 PO4-eq./ m ² a	3.	< 0,0085 kg PO4-eq./m ² a
3.2.1. Drinkwaterverbruik verbetering in%	10%	4.	Verbetering > 10%
3.3.1. Gerecyclede content in%	5%	4.	> 5%
3.3.2. Verantwoorde bronnen in%	100% - 80%	1.	100% FSC, PEFC. 80% EMS

Figuur 5.10 Behaalde scores Casestudy woning

Op basis van deze resultaten op de verschillende parameters kan de 'Active House' Radar worden ingetekend. Dit is gedaan in figuur 5.11.



Figuur 5.11 'Active House' Radar Casestudy woning

6. VERBETEREN VAN PARAMETER SCORES

In de ontwerpfase voorafgaand aan een project, waarbij een opdrachtgever heeft aangegeven een 'Active House' te willen bouwen is het belangrijk om de 'Active House' ambitieniveaus vast te stellen. Deze ambitieniveaus kunnen worden bepaald door gebruik te maken van de 'Active House' Radar. In de Radar kan worden aangegeven welke scores op de parameters van het 'Active House' gewenst zijn om te behalen. Vervolgens kunnen deze scores worden vertaald naar ontwerpoplossingen. Deze ontwerpoplossingen brengen kosten met zich mee. De kosten van deze ontwerpoplossingen zijn echter wel goed te onderbouwen omdat ze een verband hebben met de vastgestelde ambitieniveaus binnen het 'Active House' concept.

In de volgende paragrafen zullen verbeteringen volgen ten opzichte van de Casestudy op het 'Active House' concept. Dit wordt gedaan aan de hand van de ontwerprichtlijnen en op basis van de toepassingen binnen bestaande 'Active Houses'. Deze worden vervolgens vertaald naar een 'Active House' Radar. Deze Radar laat zien hoe 'Active House' een ontwerp is.

6.1 COMFORT

Comfort creëert een gezonder en comfortabeler leven. Een 'Active House' zorgt voor gezonde en comfortabele condities voor de bewoners. Het gebouw zorgt in ruime mate voor daglicht en frisse lucht, en de binnentemperatuur is aangenaam. De toegepaste materialen hebben een neutraal of positief effect op het comfort en binnenmilieu. (Active House, Een internationale richtlijn, 2013)

Het comfort van een 'Active House' is misschien wel het belangrijkste sleutelprincipe omdat hier ook de kracht ligt van het 'Active House' concept. In veel bouwconcepten wordt het comfort niet meegewogen terwijl 'Active House' hier duidelijke voorwaarden aan stelt. Zoals eerder aangegeven worden de parameters uit het sleutelprincipe Comfort alleen getoetst aan het 'Active House' concept en wanneer mogelijk zal een oplossing tot verbetering worden aangedragen.

Daglicht

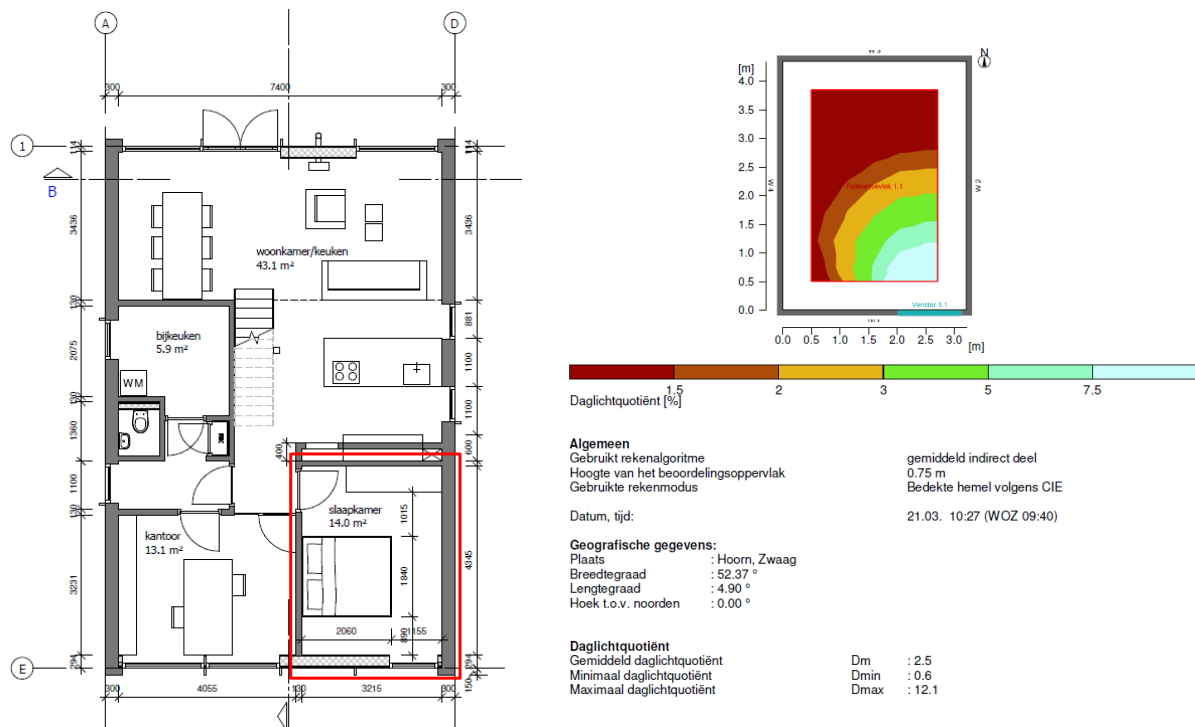
Daglicht is als parameter een onderdeel van het sleutelprincipe; comfort, van een 'Active House'. Een goede score op daglicht is te bereiken door het op de juiste manier plaatsen van ramen en/of dakramen in een gevel. Maar wanneer is de hoeveelheid daglicht van invloed op de kosten van een gebouw? Bas Hasselaar, adviseur van bouw fysica en duurzaamheid bij DGMR-adviesbureau omschrijft het als volgt:

'Het is een complexe vraag. Want waar leg je de grens tussen bouwkundige maatregelen die onderdeel zijn van een ontwerp of beleving, en maatregelen die genomen worden om de energieprestatie te verhogen? En zijn maatregelen die een gezonder, comfortabeler binnenklimaat tot gevolg hebben kostenverhogend omdat ze boven de minimale eisen van het Bouwbesluit uitstijgen, of zouden die sowieso genomen worden omdat de opdrachtgever een huis wil hebben waar hij fijn kan wonen. Waarin het binnenklimaat bijdraagt aan een gezond leven, betere nachtrust, betere concentratie, verminderde astmklachten, een beter bioritme. Is een dakraam dat daglicht tot diep in de woning brengt onderdeel van het ontwerp, of zijn het meerkosten omdat het een besparing op je energieverbruik voor verlichting betekent?' (Hasselaar, Hoeveel extra kost een gezonde, energieneutrale woning?, 2018)

De mate waarin daglicht wordt voorzien in een gebouw lijkt een essentieel onderdeel van het ontwerp. Hiermee zou gezegd kunnen worden dat daglicht, of de plaatsing van voldoende raamvensters voor voldoende daglicht, geen meerkosten zijn. Het spreekt voor zich dat de hoogste ambitieniveaus zouden moeten worden nagestreefd voor de mate waarin daglicht een woning kan toetreden.

Verbeteren parameter 1.1.1 Daglichtfactor

In de Casestudy is de daglichtfactor op de parameter daglicht berekend voor de betreffende woning. Zie figuur 6.1 en bijlage 1 voor de uitgebreide versie. Hier is een waarde uit voortgekomen van Dm 2,5% voor de slechtst scorende ruimte. Dit betekent een score van 3 op de parameter daglicht van het 'Active House' concept.



Figuur 6.1 Daglichtberekening

Opvallend hierbij is de daglichtspreiding. Hoe dieper de ruimte is, des te minder daglichttoetreding in het diepere gedeelte plaatsvindt (het rode gedeelte in de afbeelding van de Relux daglicht simulatie).

Om de parameter daglicht te verbeteren dient het raam in de ruimte te worden vergroot of de ruimte te worden verkleind. Een verkleining van de ruimte levert het meeste resultaat op door de achterwand te verschuiven richting de voorgevel. Aangezien deze optie binnen dit ontwerp erg lastig wordt en een minder riante ruimte oplevert kan er ook worden gekozen voor een vergroting van het raamoppervlak of de plaatsing van een extra raamkozijn met voldoende glasoppervlak. Dit extra raamkozijn kan zowel in de voorgevel als rechter zijgevel worden geplaatst mits het natuurlijk in de betreffende ruimte wordt geplaatst.

Thermische omgeving

Verbeteren parameter 1.2.1 Maximale kamertemperatuur

De parameter maximale kamertemperatuur kan worden verbeterd door het toepassen van zonwering voor het glas van de gevels waarop de meeste bezonning zal plaatsvinden. Uit het programma ENORM is gebleken dat het zomercomfort toeneemt wanneer er zonwering wordt geplaatst. Een automatische zonwering zorgt hierin voor een beter zomercomfort dan een handmatig bediende zonwering. Wanneer alle zuid georiënteerde gevels worden voorzien van automatische zonwering wordt een percentage zomercomfort van 11% gehaald. Uit dit percentage kan worden opgemaakt dat er geen kans is op oververhitting. Het zal daarom worden geïnterpreteerd als een score van 1 op de parameter:

1.2.1. Maximale kamertemperatuur voor verblijfsruimten zonder mechanische koeling:

$$1. \quad T_{i,o} < 0,33 \cdot T_{rm} + 20,8 \text{ C}$$

6.2 ENERGIE

Energievraag

De energievraag vanuit de Casestudy zoals deze berekend is in ENORM is afgestemd op de minimale eisen uit het bouwbesluit. Hierbij is uitgegaan van de minimale Rc waarden voor de begane grondvloer, gevels en dak en is er HR++ beglazing toegepast met een U-waarde van 1,59. Er is een warmtepomp type Nibe f1255, (grondwater warmtepomp) gebruikt en verwarming op lage temperatuur aanvoer. Daarbij is er uitgegaan van een ventilatiesysteem c (natuurlijke toe- en afvoer) en nergens zonwering toegepast. De volledige EPC berekening met verbeteringen op de Casestudy woning is te vinden in bijlage 4.

Verbeteren parameter 2.1.1 Jaarlijkse energievraag

De warmtepomp die gebruikt is in de Casestudy blijft gehandhaafd. De isolatiewaarden en u-waarden worden verhoogd en er wordt een decentraal ventilatiesysteem met WTW van Climarad toegepast. Daarnaast wordt er overall automatische zonwering toegepast en 13 zonnepanelen toegevoegd. In totaal worden er 18 zonnepanelen op de woning geplaatst.

Een aanbieder van het decentraal ventilatiesysteem is Itho Daalderop. In een adviesgesprek met Itho Daalderop is een voorstel gedaan tot de ventilatie doormiddel van een decentraal ventilatiesysteem met warmte-terugwinning, bijlage 6. De gegevens van dit ventilatiesysteem zijn verzameld en ingevoerd in de EPC berekening in ENORM. Uit de EPC berekening in ENORM is door de bovengenoemde veranderingen een totale energievraag van 30.428 MJ naar voren gekomen.

$30.428 \text{ MJ} / 131,2 \text{ m}^2 = 231,9 \text{ MJ} / \text{m}^2$. Dit is minder dan $300 \text{ MJ} / \text{m}^2$ en scoort daarmee een 3 op de 'Active House' Radar. Hiermee kan worden gesteld dat de genomen maatregelen wel een invloed hebben op de energievraag maar niet genoeg invloed om op de parameter een betere score te behalen. Behaalde 'Active House' score:

2.1.1. Jaarlijkse energievraag voor het gebouw: 3. < 300 MJ/ m²

Energievoorziening

Verbeteren parameter 2.2.1 Energievoorziening

De energievoorziening kan worden verbeterd door het toepassen van extra zonnepanelen. Hiervoor zijn er 13 zonnepanelen toegevoegd aan de Casestudy woning wat neerkomt op een aantal van 18 zonnepanelen in totaal. De gebouwgebonden en niet-gebouwgebonden elektriciteitsproductie bij elkaar opgeteld gedeeld door het gebruiksoppervlak van de woning geeft het percentage hernieuwbare energie.

$(14.446 \text{ MJ} + 16.093 \text{ MJ}) / 131,2 \text{ m}^2 = 232,8 \text{ MJ} / \text{m}^2$
 $232,8 / 231,9 = 1,003 * 100\% = 100,4\%$.

Door de Casestudy woning te voorzien van 18 zonnepanelen wordt er dus een score 1 behaalt op de parameter:

2.2.1. Energievoorziening: 1. 100% of meer.

Energieprestatie

Verbeteren parameter 2.3.1 Jaarlijkse energieprestatie

De formule om de energieprestatie te berekenen is onderstaand weergegeven.

(Gebruikte energie – duurzame energieopwekking) * nationale duurzame energiefactoren.

De gebruikte energie = $231,9 \text{ MJ} / \text{m}^2$ en de duurzame energieopwekking = $232,8 \text{ MJ} / \text{m}^2$.

De formule kan met de gevonden getallen als volgt worden ingevuld:

$(231,9 \text{ MJ} / \text{m}^2 - 232,8 \text{ MJ} / \text{m}^2) * 1,0\% = - 0,9 \text{ MJ} / \text{m}^2$.

Deze uitkomst is kleiner dan $0 \text{ MJ} / \text{m}^2$ en daarmee kan worden gesteld dat met de verbeterde Casestudy woning een score van 1 wordt behaald op de parameter:

2.3.1. Jaarlijkse energieprestatie: 1. < 0 MJ/ m²

6.3 MILIEU

De scores op de parameters van het onderdeel milieu kunnen worden verbeterd door materialen met een slechte milieubelasting te vervangen door materialen met een betere milieubelasting, het besparen op drinkwaterverbruik en het gebruiken van zoveel mogelijk duurzame materialen uit verantwoorde bronnen en gerecyclede content.

Milieubelasting

De gebruikte materialen zoals in de Casestudy woning worden behouden. De verwachting is juist dat door toevoeging van extra isolatie, installaties als decentrale WTW en zonnepanelen een slechtere milieuscore wordt behaald dan de score vanuit de Casestudy woning. Dit zal blijken na het intekenen van de Radar.

Primair energieverbruik

Met de genomen maatregelen voor aanpassingen/ toevoegingen op de Casestudy is uit ENORM een primair energieverbruik van $-5,1 \text{ kWh/m}^2$ gekomen. Dit betekent een score van 2 op de 'Active House' parameter:

Primair energiegebruik gedurende de gehele levenscyclus van het gebouw in kWh/m² a.

Aan de hand van de gemaakte berekeningen met ENORM en MPGCalc kan op de 'Active House' parameter milieubelasting een gemiddelde score worden bepaald. De scores op de criteria van de parameter worden hiervoor bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal criteria. Het resultaat op de parameter milieubelasting is hiermee dus:

$$2 + 2 + 1 + 4 + 2 + 4 = 15. > 15 / 6 = 2,5.$$

Van de score van de woning in de 'Active House' Radar kan middels de gemaakte EPC berekening en MPG berekening worden gesteld dat op de zes parameters van milieubelasting een score wordt behaald van 2.

3.1. Milieubelasting: score 3.

Drinkwaterverbruik

De parameter drinkwaterverbruik van het onderdeel milieu kan ten opzichte van de Casestudy woning worden verbeterd door het toepassen van extra waterbesparende maatregelen. Hierbij kan worden gedacht aan een waterbesparende douchekop, waterbesparende kranen en een waterbesparend toilet. In de Casestudy woning is een waterbesparende douchekop toegepast met een besparing van 14% ten opzichte van het nationaal gemiddelde. Dit resulteerde in een score 4 op deze 'Active House' parameter. Het douchewaterverbruik en toiletspoeling zijn met 68% gezamenlijk goed voor het grootste drinkwaterverbruik.

Een waterbesparende douchekop met een rendement van wel 60% bespaart $0,60 * 48 \text{ liter} = 28,8 \text{ liter}$. (GROHE, 2018) Ten opzichte van het nationaal gemiddelde van 120 liter is dit een besparing van $28,8/120 = 0,24 * 100\% = 24\%$. Hierdoor wordt een score van 3 behaald op de parameter:

3.2.1. Verminderen van het drinkwater verbruik tijdens de levensduur van het gebouw: 3. Verbetering > 20%

Duurzaam materiaalgebruik

In de Casestudy woning is uitgegaan van een percentage betongranulaat in de kanaalplaatvloer van 10%. Daarmee kon een score van 4 worden behaald op de 'Active House' Radar. Het maximale percentage betongranulaat in een kanaalplaatvloer is 50%. (Consolis VBI Groen, sd)

50% van het gewicht van de vloer: $24.498 \text{ kg} * 0,5 = 12.249 \text{ kg}$.

Het percentage betongranulaat van het totale gewicht van de Casestudy woning wordt hiermee:

$$12.249 \text{ kg} / 50.438 = 0,24 * 100\% = 24\%$$

Als verbetering op de parameter duurzaam materiaalgebruik kan er dus meer betongranulaat (50%) aan de begane grondvloer worden toegevoegd en daarmee wordt een score behaald van 3 op de parameter:

3.3.1. Gerecyclede content in%: 3. > 10%

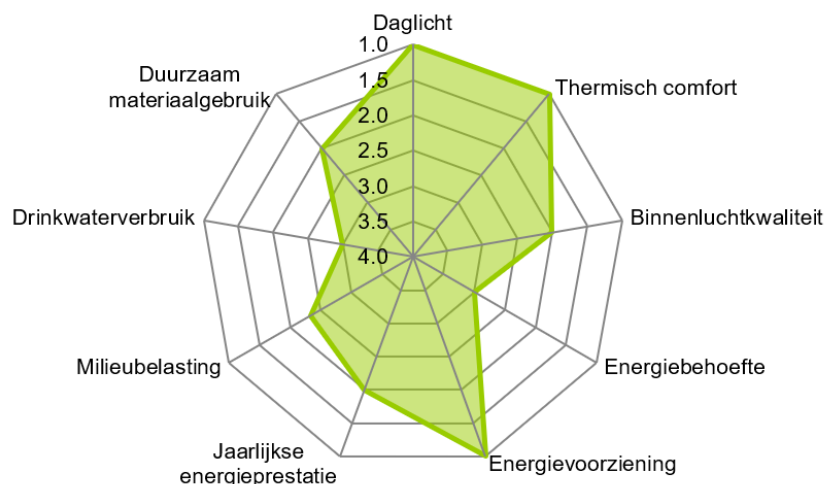
6.4 'ACTIVE HOUSE' RADAR

De behaalde scores op de parameters van het 'Active House' zijn geprobeerd te verbeteren door de toepassing van alle voorgaand genoemde maatregelen. De behaalde scores zijn in de onderstaande tabel, figuur 6.2 weergegeven:

<i>Parameters</i>	<i>Uitkomst</i>	<i>Score</i>	<i>Parameter criteria</i>
Comfort			
1.1.1 Daglichtfactor	5%	1.	DF > 5% gemiddeld
1.1.2. Beschikbaarheid direct zonlicht	10%	1.	Minimaal 10% van de verwachte zonuren
1.2.1. Maximale kamertemperatuur	23,8 C	1.	$T_{i,o} < 0,33 * T_{rm} + 23,8 C$
1.2.2. Minimale kamertemperatuur	21 C	1.	$T_{i,o} > 21 C$
1.3.1. Standaard hoeveelheid frisse lucht	625 ppm	2.	< 750 ppm boven de CO ² concentratie buiten
Energie			
2.1.1. Jaarlijkse energievraag voor het gebouw in MJ/ m ²	231,9 MJ/ m ²	3.	< 300 MJ/ m ²
2.2.1. Aantal% door gebouw gebruikte energie productie	100,4%	1.	100% of meer
2.3.1. Jaarlijkse energieprestatie voor het gebouw in MJ/ m ²	0,9 MJ/ m ²	2.	0 - 55 MJ/ m ²
Milieu			
3.1.1. Primair energieverbruik van het gebouw in kWh/ m ² a	-5,1 kWh/ m ² a	2.	< 15 kWh/ m ² a
3.1.2. GWP	7,49 kg CO ² -eq. /m ² a	2.	< 10 kg CO ² -eq./m ² a
3.1.3. ODP	5,79*10 ^{E-07} kg R11-eq./ m ² a	1.	< 2,25*10 ^{E-06} kg R11-eq./m ² a
3.1.4. POCP	0,0069 kg C2H4-eq./ m ² a	4.	< 0,0085 kg C2H4-eq./m ² a
3.1.5. AP	0,049 SO2-eq./ m ² a	2.	< 0,075 kg SO2-eq./m ² a
3.1.6. EP	0,014 PO4-eq./ m ² a	x	Geen score
3.2.1. Drinkwaterverbruik verbetering in%	20%	3.	Verbetering > 20%
3.3.1. Gerecyclede content in%	24%	3.	> 10%
3.3.2. Verantwoorde bronnen in%	100% - 80%	1.	100% FSC, PEFC. 80% EMS

Figuur 6.2 'Active House' scores verbeterde Case study

Op basis van deze resultaten op de verschillende parameters kan de 'Active House' Radar worden ingetekend. Dit is gedaan in figuur 6.3. Hierin is voor de vermessing (EP) een minimale score (4) aangehouden. Er is in ieder geval een minimale score nodig om aan 'Active House' te voldoen.



Figuur 6.3 'Active House' Radar verbeterde Casestudy

7. CONCLUSIES, BEPERKINGEN EN AANBEVELINGEN

Dit onderzoek is bedoeld om 'Nico Dekker ontwerp & Bouwkunde' inzicht te geven in de mogelijkheden om het 'Active House' concept toe te passen en potentiële opdrachtgevers die overwegen een 'Active House' te laten ontwerpen/bouwen te kunnen adviseren in de keuzes met betrekking tot de negen parameters van het 'Active House'. In dit onderzoek ligt de focus op het implementeren van de te nemen maatregelen binnen een opgezette Casestudy, om aan het 'Active House' principe te voldoen. De belangrijkste conclusies van dit onderzoek komen aan bod en tevens worden aanbevelingen gedaan voor een eventueel vervolgonderzoek.

Conclusies

Met betrekking tot het uitgevoerde onderzoek kunnen verschillende conclusies worden getrokken. De belangrijkste conclusies zullen in deze paragraaf aan de orde komen, voor het overzicht zijn zij gebaseerd op de volgorde van de deelvragen. Tenslotte wordt een antwoord gegeven op de hoofdvraag van dit onderzoek.

In het eerste gedeelte van dit onderzoek is geprobeerd het 'Active House' concept uiteen te zetten. Wat houdt het principe van 'Active House' in, wat is de meerwaarde ervan en op welke manier kan het worden gebruikt bij het ontwerpen van een gebouw. Een 'Active House' is een gebouw/woning die meer geeft dan het neemt. Een 'Active House' wordt beoordeeld aan de hand van drie sleutelprincipes: Comfort, Energie en Milieu. Deze hebben elk drie parameters waardoor er totaal negen parameters zijn. De parameters hebben één of meerdere criteria waarop een 'Active House' kan worden getoetst. Binnen deze criteria zijn de scores 1 t/m 4 te behalen waarin een score 1 staat voor een betere score en een score 4 waar minimaal aan moet worden voldaan. De behaalde scores/ambitieniveaus bepalen hoe 'Active House' een gebouw is. Een 'Active House' voldoet minimaal aan de eisen van het bouwbesluit maar presteert liefst beter ten aanzien van Comfort, Energie en Milieu. De meerinvestering voor een energieneutrale woning loopt nogal uiteen maar het ingeschatte gemiddelde komt neer op € 15.000,- voor een standaard woning.

Het tweede gedeelte van dit onderzoek heeft geleid tot constatering in verschillende houtbouw methoden die bepalend zijn bij het ontwerpen van een 'Active House'. Hierbij is een traditionele houtskeletbouwmethode vergeleken met een massieve houtbouw methode. De traditionele methode heeft minder constructieve en thermische eigenschappen dan de massieve methode maar daarentegen heeft de traditionele methode een veel lagere milieu-impact dan de massieve methode. Dit komt doordat bij de massieve methode wel een vijfvoud aan hout nodig is dan voor de traditionele methode. Bovendien wordt er bij de massieve methode veel lijm toegevoegd. Daarbij heeft het massieve bouwsysteem in Nederland een kleiner marktaandeel waardoor de prijzen hiervan hoger liggen. Er bestaat ook een massief houtbouw systeem waarbij geen lijm wordt gebruikt maar deuken. Wegens ontbrekende milieugegevens hierover is dit systeem in het onderzoek buiten beschouwing gelaten. Ondanks dat de traditionele houtskeletbouwmethode beter is dan de massieve houtbouw methode wordt in het onderzoek wel verder gerekend met de massieve houtbouw methode. Hiervoor is gekozen door het afstudeerbedrijf 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde' om over deze methode meer kennis te verkrijgen.

Maatregelen

Er zijn veel verschillende maatregelen die genomen kunnen worden bij het ontwerpen van een 'Active House'. Hiervoor geldt dat er geen goede of slechte maatregelen zijn maar wel dat de gekozen maatregelen een andere invloed kunnen hebben op het 'Active House' principe. Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat er geen discussie meer kan bestaan over het wel of niet toepassen van een warmtepomp binnen de huidige nieuwbouwwoning. Dit omdat de gasaansluiting op nieuwbouwwoningen per 1 juli 2018 verdwijnt en omdat de warmtepomp op dit moment het meest geschikte alternatief is. Een grondgebonden warmtepomp is het meest geschikt voor de toepassing in nieuwbouwwoningen vanwege het hogere rendement ten opzichte van een luchtwarmtepomp. Deze warmtepomp kan ook worden ingezet om passief mee te koelen in de zomermaanden. Samen met automatische zonwering en bladverliezende loofbomen dragen deze maatregelen bij aan een beter zomercomfort. Een andere manier van koeling is het principe van zomernachtventilatie. Door (dak)ramen en ventilatieopeningen zo te positioneren dat deze een schoorsteeneffect kunnen veroorzaken kan een woning in de zomer passief worden gekoeld. De positie van de dakramen uit de Casestudy woning kan worden verbeterd door de raamvensters hoger in het dak te plaatsen. Hierdoor blijft er geen lucht stilstaan in de punt van het dak en heeft de natuurlijke trek van de lucht een langere weg af te leggen zodat een groter deel van de woning kan

worden gekoeld. Daarnaast moet een 'Active House' worden voorzien van een ventilatiesysteem op basis van CO² sturing in alle verblijfsruimten om de parameter binnenluchtkwaliteit te waarborgen.

Door het ontwerpbureau 'Nico Dekker Ontwerp & Bouwkunde' is een structuurontwerp van een vrijstaande woning gemaakt welke als basis is gebruikt voor een Casestudy. In de Casestudy is uitgegaan van de minimale eisen waaraan voldaan moet worden volgens het bouwbesluit. Het structuurontwerp is middels deze Casestudy getoetst aan het 'Active House' concept en daaruit zijn meerdere conclusies te trekken.

Sleutelprincipes

Op het sleutelprincipe Comfort scoort de Casestudy woning op de parameter daglicht, op het criterium daglichtfactor een 3 en op het criterium beschikbaarheid direct zonlicht een 1. Een score van 1 op het criterium daglichtfactor van de parameter daglicht kan worden behaald door het raam in de voorgevel van de slaapkamer op de begane grond te vergroten of een extra raam in de gevel van deze kamer te plaatsen. Op de parameter thermische omgeving is een score van 4 behaald op het criterium maximale kamertemperatuur vanwege het berekende percentage zomercomfort in ENORM van 19%. Een meer gedetailleerde berekening zal nodig zijn om deze parameter exact te berekenen. Deze parameter kan worden verbeterd door alle ramen te voorzien van zonwering.

Op de parameter standaard hoeveelheid frisse lucht wordt een score van 2 behaald wanneer wordt uitgegaan van de minimale bouwbesluit eisen. Zowel score 3 als 4 (1000 ppm en 1200 ppm boven CO² concentratie buiten) van het 'Active House' zijn dus verkeerd gekozen. Daarnaast kan er met een CO² gestuurd ventilatiesysteem afgezogen worden op basis van de CO² concentratie en kan theoretisch gezien elk gewenst niveau worden behaald zolang de concentratie in de buitenlucht dat toelaat.

Gebleden is dat de Casestudy woning binnen het Sleutelprincipe Energie, op de parameter energievraag, een score behaalt van 3 maar op de parameter energievoorziening geen score. De woning moet minimaal worden voorzien van vijf zonnepanelen om een 'Active House' te worden. Dit zijn er twee meer dan benodigd volgens het bouwbesluit om een EPC van 0,4 te behalen. De jaarlijkse energieprestatie kwam hierdoor neer op een score van 4. Door toevoeging van 13 zonnepanelen is een score van 1 (beste score) te behalen. Bij de berekeningen is uitgegaan van een standaard silicium paneel, zoals beschikbaar in het programma ENORM, met een oppervlakte van 1,64 m² en een opbrengst van ca. 220 WP per zonnepaneel.

De Casestudy woning behaalde binnen het Sleutelprincipe Milieu van het 'Active House' concept een score van 2 op de parameter milieubelasting. Door toevoeging van de 13 zonnepanelen aan de Casestudy woning wordt weliswaar een score van 1 behaald op de parameter energievoorziening maar een score van 3 op de parameter milieubelasting. Dit is lager(slechter) dan de score van 2 die vóór de toevoeging van de zonnepanelen werd behaald. De zonnepanelen hebben dus een negatieve invloed op de parameter milieubelasting van het 'Active House' principe.

Het gebruik van de douche en het toilet zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor 68% van het totale drinkwaterverbruik. Een score van 4 werd behaald op de parameter drinkwaterverbruik door toevoeging van een waterbesparende douchekop aan de Casestudy woning. Door toevoeging van een waterbesparende douchekop met een hoger rendement van 60% kan een score van 3 worden behaald. Om nog hogere scores te behalen kan er een waterbesparend toilet aan worden toegevoegd of een grijswatersysteem worden aangelegd.

Op de parameter duurzaam materiaalgebruik, criterium gerecyclede content in% is door de kanaalplaat op de begane grond uit te voeren met een percentage van 10% betongranulaat van het totale gewicht van de vloer een score behaalt van 4. Door het percentage betongranulaat te verhogen naar het maximum van 50% van het totale gewicht van de vloer kan een score worden behaald van 3. Doordat de totale bouwconstructie exclusief begane grondvloer afkomstig is uit duurzaam beheerde bossen en de inschatting is gemaakt dat 80% van de leveranciers van de nieuwe materialen EMS gecertificeerd is, is er op het criterium verantwoorde bronnen in% van de parameter duurzaam materiaalgebruik een score van 1 behaald.

De volgende conclusies hebben betrekking op de maatregelen die genomen moeten worden binnen een ontwerp om aan de minimale 'Active House' voorwaarden te voldoen:

Een 'Active House' moet in ieder geval geventileerd worden op basis van de aanwezige CO² in verblijfsruimten om de parameter binnenluchtkwaliteit te waarborgen. Er zijn verschillende ventilatiesystemen die geschikt zijn en hiervoor geldt dat er is geen goed of slecht systeem is. Wel is er de mogelijkheid om warmte terug te winnen

uit ventilatielucht. Bij een massieve houtbouw woning is een decentraal WTW systeem geschikt vanwege de minimale ruimte in leidingkanalen, die door dit systeem wordt ingenomen.

Het structuurontwerp/de woning moet worden voorzien van minstens vijf zonnepanelen om een 'Active House' te kunnen zijn. Hierbij is gerekend met standaard silicium zonnepanelen met een afmeting van 1,64 m² en een opbrengst van 135 WP/m² dus ca. 220 WP per paneel.

Daarnaast dient er aan de minimale eis voor drinkwaterverbruik te worden voldaan, wat inhoudt dat er ten minste een verbetering van 10% in drinkwaterbesparing moet zijn ten opzichte van het nationaal gemiddelde. Hiervoor kan een waterbesparende douchekop worden toegepast.

Ten slotte dient er een percentage van minimaal 5% aan gerecyclede content in het structuurontwerp te worden meegenomen. Om dit te behalen kan er 10% betongranulaat worden toegevoegd aan het totale gewicht van de begane grondvloer.

Een woning kan weliswaar op papier en tekeningen een 'Active House' zijn, in de besteksfase en tijdens de uitvoering moeten de voorwaarden en uitgangspunten wél strikt worden nageleefd om de vooraf vastgestelde verwachtingen waar te maken.

Beperkingen

De scores op de criteria minimale- en maximale kamertemperatuur van de parameter thermische omgeving zijn door aannames bepaald. Om de werkelijke waardes te berekenen zou gebruik gemaakt moeten worden van een daarvoor geschikt programma. Vabi UO (Uniforme software) is hiervoor geschikt.

Het criterium beschikbaarheid direct zonlicht van de parameter daglicht is bepaald volgens een inschatting. Om de exacte waardes te verkrijgen zal een geschikt programma moeten worden gebruikt. Vabi UO (Uniforme software) is hiervoor geschikt.

Het criterium verzuring, van de parameter milieubelasting van het 'Active House' principe, voldoet niet meer door de toevoeging van 18 zonnepanelen aan de Casestudy woning. De Radar niet kan worden ingetekend binnen de nZEB-tool als er geen score wordt behaald, hierom is de laagste score (score 4) op dit criterium aangehouden. Theoretisch gezien zou de woning door toevoeging van 18 zonnepanelen dus geen 'Active House' meer zijn.

Op de parameter milieubelasting is in de verbeterde Casestudy geen verhoging van de Rc-waardes meegenomen. Door een tekortkoming in het programma MPGcalc waarmee de milieubelasting is berekend kon dit niet worden gedaan. Het is zeer aannemelijk dat de woning slechter zal scoren op de parameter milieubelasting door de verhoging van de isolatiewaarde (meer isolatiemateriaal benodigd), de score op de parameter milieubelasting zal naar verwachting lager uitvallen.

Aanbevelingen

Binnen dit onderzoek zijn de berekeningen op de verschillende parameters gemaakt met behulp van de programma's Relux daglichtsimulator, ENORM en MPGcalc. Het is aan te bevelen om dezelfde berekeningen ook in andere programma's als Uniec, GPR-gebouw en/of de nZEB-tool te maken. Hierdoor kunnen de verschillen in kaart worden gebracht en/of de betrouwbaarheid van de uitkomsten worden vergroot.

Gebleken is dat door de verhoging van de Rc-waardes van de vloer, gevel en het dak van de Casestudy woning en de toevoeging van een decentraal WTW systeem met warmterugwinning uit de ventilatielucht geen hogere score is behaald op de parameter energievraag. Op de scores van de parameters milieubelasting en drinkwaterverbruik valt ook nog meer winst te behalen binnen het 'Active House' principe.

Een vervolgonderzoek zou er dus op gericht kunnen zijn op welke manier er op alle verschillende parameters de hoogste score kan worden behaald.

Een uiteenzetting van de kosten in score/ambitieniveau per parameter blijkt te veel omvattend om in dit onderzoek een antwoord op te geven. Een vervolgonderzoek zou daarom gericht kunnen zijn op het onderzoeken van mogelijke pakketten aan maatregelen om tot een bepaalde score in de 'Active House' radar te komen. Een uitsplitsing van de kosten per ambitieniveau naar de parameters wordt afgeraden vanwege de holistische benadering die geldt binnen het 'Active House' principe.

BIBLIOGRAFIE

- Active House, Een internationale richtlijn. (2013, 03 05). *De Specificaties*. Brussel.
- Bolkestein, M. (2018, 04 12). Decentraal WTW systeem. (M. Leegwater, Interviewer)
- Bouwens, C. (2018, 03 29). *ZEN brochure: Zeer energiezuinige nieuwbouw zonder aardgas*. Opgehaald van Lente Akkoord: <https://www.lente-akkoord.nl/zen-brochure-zeer-energiezuinige-nieuwbouw-zonder-aardgas/>
- Bouwkosten Online. (2018). *woningbouw*. Opgehaald van binnenspouwblad houtskeletbouw: <https://bouwkosten-bouwformatie-nl.inholland.idm.oclc.org/woningbouw/>
- Bouwkosten Online. (2018). *woningbouw*. Opgehaald van massief constructieve wandelementen: <https://bouwkosten-bouwformatie-nl.inholland.idm.oclc.org/woningbouw/>
- Bouwwereld. (2018, 04 04). *Actueel, Nieuws*. Opgehaald van <https://www.bouwwereld.nl/nieuws/gasaansluiting-nieuwbouw-per-1-juli-verboden/>
- Consolis VBI Groen. (sd). Opgehaald van VBI: <https://vbi.nl/product/groen/>
- Goijer, I. d. (2014). *Active House*. Utrecht.
- Goud, d. i. (2018, 04 17). Interview Active House Installatieadvies. (M. Leegwater, Interviewer)
- Greenhome. (2017, 06 29). *Warmtepomp*. Opgehaald van Greenhome: <https://kennis.greenhome.nl/warmtepomp/koelen-met-warmtepomp/>
- GROHE. (2018). Opgehaald van https://www.grohe.nl/nl_nl/badkamer/waterbesparende-innovaties/waterbesparende-douchekoppen.html
- Hasselaar, B. (2015). *Active House ontwerprichtlijnen*. Delft.
- Hasselaar, B. (2018). Hoeveel extra kost een gezonde, energieneutrale woning?
- Holterman, W. (2012). *Verkoopt duurzaam*. Zwolle.
- Kingspan. (2018). *BENG*. Opgehaald van Kingspan: <https://www.kingspan.com/nl/nl-nl/producten/isolatie/vacuum-resol-pir-isolatie/kenniscentrum/beng>
- Knack. (2018). *houtskeletbouw*. Opgehaald van Ik ga bouwen & renoveren: <http://ikgabouwen.knack.be/bouwen-renovatie/ruwbouw/wat-is-hybride-bouwen-en-hoe-pak-je-het-aan/article-normal-669147.html>
- Meding, R. v. (2018, 04 28). Bezoek aan Active House Schiedam. (M. Leegwater, Interviewer)
- NIBE. (2018). *Draagconstr. HSB & Houtenbalklaag*. Opgehaald van NIBE Experts in sustainability: <https://www.nibe.info/nl/members#product-5355-116-31>
- NIBE. (2018). *Draagconstr. HSB & Massief houtenvloer*. Opgehaald van NIBE Experts in sustainability: <https://www.nibe.info/nl/members#product-5358-116-31>
- Santibanez, R. (2018). *Verslag adviesgesprek duurzaam bouwen*. Stompetoren: Duurzaam bouwloket.

Starink, i. G. (2015, 06 22). *Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.* Opgehaald van Bouwfysische eigenschappen van kruislaaghout: http://www.derix.de/data/5_Gerton%20Starink_Nieman.pdf

Technea duurzaam. (sd). *Technea*. Opgehaald van Douche pijp wtw: <https://www.technea.nl/product/douchepijp-wtw-qb1-21/#omschrijving>

Vollard, P. (2016, 09 06). *Kennispaper Active ReUse House*. Opgehaald van SBRCURnet: <http://www.sbrcurnet.nl.inholland.idm.oclc.org/producten/kennispapers/active-reuse-house/3-environment>

Vollebregt, R. (2011, 05). Koelen zonder energiegebruik door zomernachtventilatie. *koeling & airconditioning*, p. 3.

Vree, J. d. (2018). *joostdevree*. Opgehaald van Houtskeletbouw: http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgb/bouwmethode_4_houtskeletbouw_www_hbobouwkunde_nl_www_thiememeulenhoff_nl.jpg

Winter, P. d. (2016, 09 05). *Megatrends in de bouw*. Opgehaald van Bouwwereld: <https://www.bouwwereld.nl/nieuws/megatrends-in-de-bouw/>

BIJLAGEN

1. Daglichtberekening Relux
2. EPC berekening Casestudy
3. MPG berekening Casestudy
4. EPC berekening verbeterde Casestudy
5. MPG berekening verbeterde Casestudy
6. Decentraal ventilatiesysteem Climarad
7. Doorsnede Casestudy woning
8. Details Casestudy woning
9. Transcript Interview: Reimar von Meding, KAW architecten
10. Transcript Interview: Jappe Goud, WE adviseurs