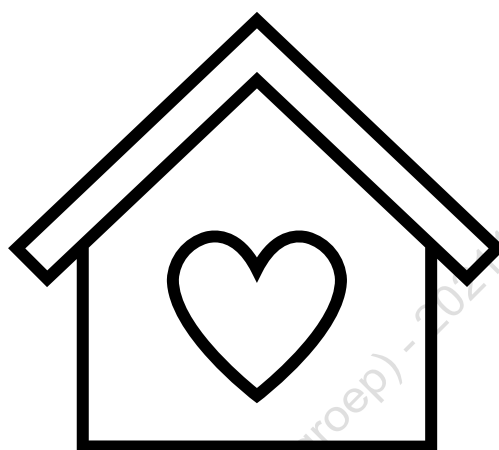


1  
2  
3  
4  
5  
  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23

# Programma van Eisen

## Gezonde Woningen 2022



*M. Loomans<sup>1</sup>,*  
*T. Beuker<sup>2</sup>,*  
*L. Hensen-Centnerová<sup>1</sup>,*  
*P. Jacobs<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven

<sup>2</sup> bba binnenmilieu, Den Haag

<sup>3</sup> TNO, Delft

Versie: 0.9 (versie voor klankbordgroep)

Datum: 2021-12-06

1	Inhoudsopgave	
2	Inleiding .....	3
3	Keuze indicatoren .....	4
4	Vanuit de literatuur .....	4
5	Vanuit bestaande PvEs .....	7
6	Overige uitgangspunten indicatoren .....	7
7	Samenvatting indicatoren .....	8
8	Eisen (hoofdtabellen) .....	8
9	Toelichting bij de gestelde eisen .....	9
10	LUCHT .....	9
11	CO <sub>2</sub> concentratie & Luchtverversing .....	9
12	Luchtafvoer in keukens .....	10
13	Spuiventilatie .....	10
14	Luchtvochtigheid .....	11
15	Schimmels & Bacteriën .....	11
16	Vluchtige Organische Stoffen: formaldehyde & TVOC .....	12
17	Verbrandingsgassen .....	13
18	Fijnstof .....	13
19	Hygiëne ventilatiesysteem .....	14
20	Tabaksrook .....	14
21	Radon .....	14
22	KLIMAAT .....	14
23	Introductie .....	14
24	Aanpak .....	15
25	LICHT .....	17
26	Introductie .....	17
27	Aanpak + resultaten .....	17
28	Keuze eisen .....	20
29	Tot slot .....	25
30	GELUID .....	25
31	Introductie .....	25
32	Toelichting eisen .....	25
33	Verificatie/Borging .....	28
34	Toetsing & gebruikstijd .....	28
35	Dankwoord .....	29
36	Referenties .....	29
37		

## 1 Inleiding

2 Gezondheid is meer dan de fysieke leefomgeving. Woningen dragen hierin op verschillende  
3 vlakken bij. UK Green Building Council (UKGBC) [1] geeft bijvoorbeeld aan dat dit  
4 onderscheiden kan worden in mentale gezondheid, sociaal welzijn en fysieke gezondheid. In  
5 het ultieme geval wil een Programma van Eisen (PvE) Gezonde Woningen aan alle drie deze  
6 aspecten een bijdrage leveren. In dit PvE zijn bijvoorbeeld maatregelen opgenomen die  
7 binnen de woning een positief effect hebben op de mentale gezondheid. Denk hierbij aan  
8 uitzicht op groen en de beschikbaarheid van een stille slaapkamer, Veel maatregelen die  
9 gericht zijn op de mentale en sociale gezondheid hebben echter ook betrekking op een wijk  
10 of stadsdeel (denk aan de mix van woningen, de beschikbaarheid van natuur, voorzieningen  
11 etc) en vallen daarmee buiten de scope van dit PvE. Mogelijk dat in toekomstige versies van  
12 het PvE aanvullende eisen worden opgenomen die zich verder richten op de sociale en  
13 mentale gezondheid. Dit zal worden ondersteund door het beschikbaar komen van meer  
14 kennis hierover [2]

15 Een PvE Gezonde Woningen zal dus vooralsnog niet compleet zijn, maar dat betekent niet  
16 dat er geen start mee gemaakt kan worden. Een gezonde woning laat zich echter niet 1-op-1  
17 vergelijken met een gezond kantoor of een frisse school. Een programma van eisen voor  
18 gezonde woningen zal dan ook afwijken ten opzichte van de PvEs Gezonde Kantoren [3] en  
19 Frisse Scholen [4].

20 Verschillen zijn onder andere te vinden in (niet uitputtend):

- 21 - Verschillende typen ruimtes (woon-, slaap-, werkkamer, keuken,  
22 verkeersruimte...)
- 23 - De variatie aan gebruikers en de eigendomssituatie is veel groter dan bij een  
24 kantoor of school is te verwachten.
- 25 - De gebruiker/bewoner heeft tov een kantoor/school meer handelingsperspectief.  
26 Onder dit handelingsperspectief wordt ook gerekend de inrichting van de woning.  
27 Een PvE Gezonde Woningen kan hier in principe geen invloed op uitoefenen,  
28 maar hopelijk kan het PvE wel de keuzes die gemaakt worden ondersteunen en  
29 de manier waarop de woning wordt gebruikt.
- 30 - Door de combinatie van verschil in bewoners en het handelingsperspectief lijkt het  
31 opteren voor een vaste waarde, voor zover het comfort gerelateerde parameters  
32 zijn, minder voor de hand te liggen. Eerder zou een range aan waarden gegeven  
33 moeten worden die de bewoner zelf kan instellen. De veronderstelling is derhalve  
34 dat hoe ruimer deze range is waarbinnen het effect van de inrichting en de  
35 wensen van de gebruiker kan vallen hoe beter dit is.
- 36 - Verificatie van de woningprestaties tijdens de gebruiksfase is door een zeer divers  
37 gebruikersgedrag in woningen minder eenvoudig te realiseren dan in kantoren of  
38 scholen, waar het gebruik toch uniformer is. In eerste instantie lijkt een PvE  
39 Gezonde Woningen voor de toepassing dan ook met name interessant voor  
40 partijen die een x-aantal woningen willen bouwen volgens een bepaald ontwerp.  
41 Dit neemt niet weg dat een individuele gebruiker het PvE Gezonde Woningen kan  
42 gebruiken om zijn/haar wensen inzichtelijk te krijgen en te communiceren.

43 Hoewel er dus duidelijke verschillen zijn tussen een woning en een kantoor of een school is  
44 in het kader van eenduidigheid er echter wel voor gekozen om de opzet van de genoemde  
45 PvEs [3,4] te volgen. Deze opzet dwingt ook om op een zo compact mogelijke wijze de  
46 informatie samen te vatten. In de toelichting op de tabellen, die het feitelijke PvE Gezonde  
47 Woningen weer geven, is in deze rapportage ruimte gevonden voor meer detail en  
48 onderbouwing bij de gemaakte keuzes voor deze eerste versie (versie 0.9). Het is overigens

1 niet de bedoeling dat deze uitgebreide toelichting straks ook wordt opgenomen in een  
2 publieke versie. Echter, voor de discussie voorafgaand daaraan wordt dit wel als nuttig  
3 beschouwd.

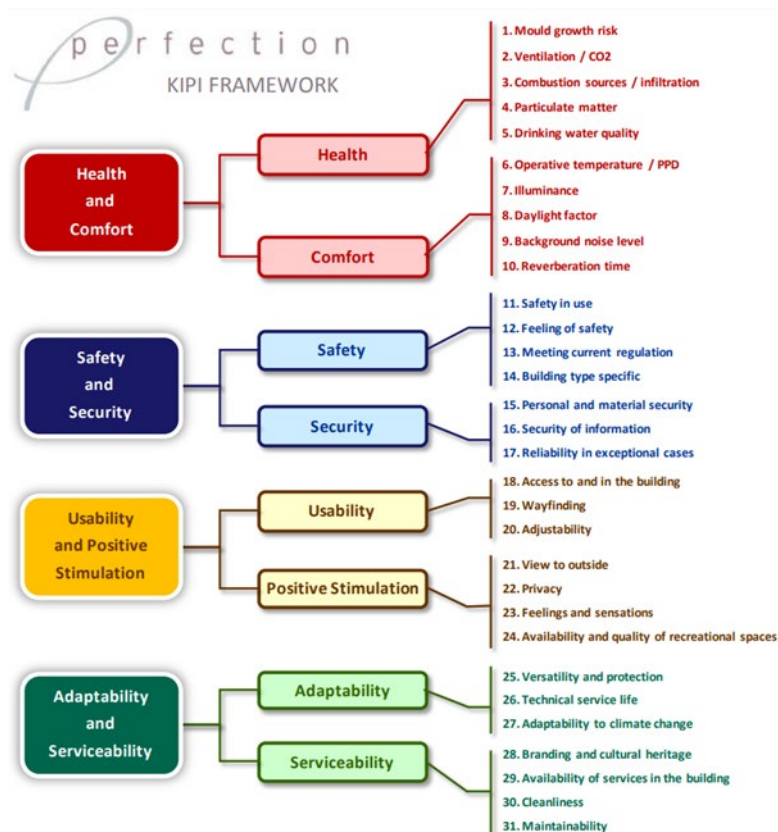
4 In het verleden is er al veel aandacht geweest voor woningen en de intentie om gezonde  
5 woningen te realiseren [5]. In het PvE dat voor u ligt wordt een woning als 'gezond'  
6 beschouwd wanneer deze de gezondheid van zijn bewoners niet negatief beïnvloedt.  
7 Aspecten zoals brandveiligheid en constructieveiligheid worden gezien als  
8 veiligheidsaspecten en vallen daarmee buiten de scope van dit PvE. De focus van dit PvE is  
9 gericht op het fysische binnenmilieu van woningen.

## 11 Keuze indicatoren

### 12 Vanuit de literatuur

13 Wanneer er wordt gesproken over een gezonde woning, dan gaat het al snel vooral over het  
14 binnenmilieu. Het binnenmilieu wordt in het algemeen gedefinieerd als de combinatie van  
15 thermisch comfort, luchtkwaliteit, visueel comfort en akoestisch comfort. Dit is in principe een  
16 redelijk beperkte benadering, met een focus op de fysieke leefomgeving. Echter, naast de  
17 fysische factoren, lijkt het juist ook in woningen belangrijk om extra aandacht te geven aan  
18 andere aspecten die de waarde van de woning ondersteunen wanneer het gaat om de  
19 gezondheid van de bewoner. In het verleden zijn er in verschillende publicaties aanvullende  
20 indicatoren ontwikkeld/bepaald die verder gaan. Als voorbeeld kan genoemd worden de Key  
21 Indoor Performance Indicators (KIPI) zoals gedefinieerd binnen het project Perfection [6]  
22 (Figuur 1). Maar ook een meer recent label-systeem zoals Well Building [7] omvat veel meer  
23 dan enkel de fysische factoren.

24 Ook de lijst met een selectie van prestatie indicatoren zoals opgesteld door DHV geeft  
25 enkele indicatoren die verder gaan dan het fysieke binnenmilieu [5,8] (Tabel 1). Een  
26 vergelijking laat echter vooral aanvullende indicatoren in het fysieke deel zien. De insteek  
27 van UKGBC [1] lijkt wat meer in lijn met Perfection [6], en gaat wellicht nog wat verder  
28 (Figuur 2).



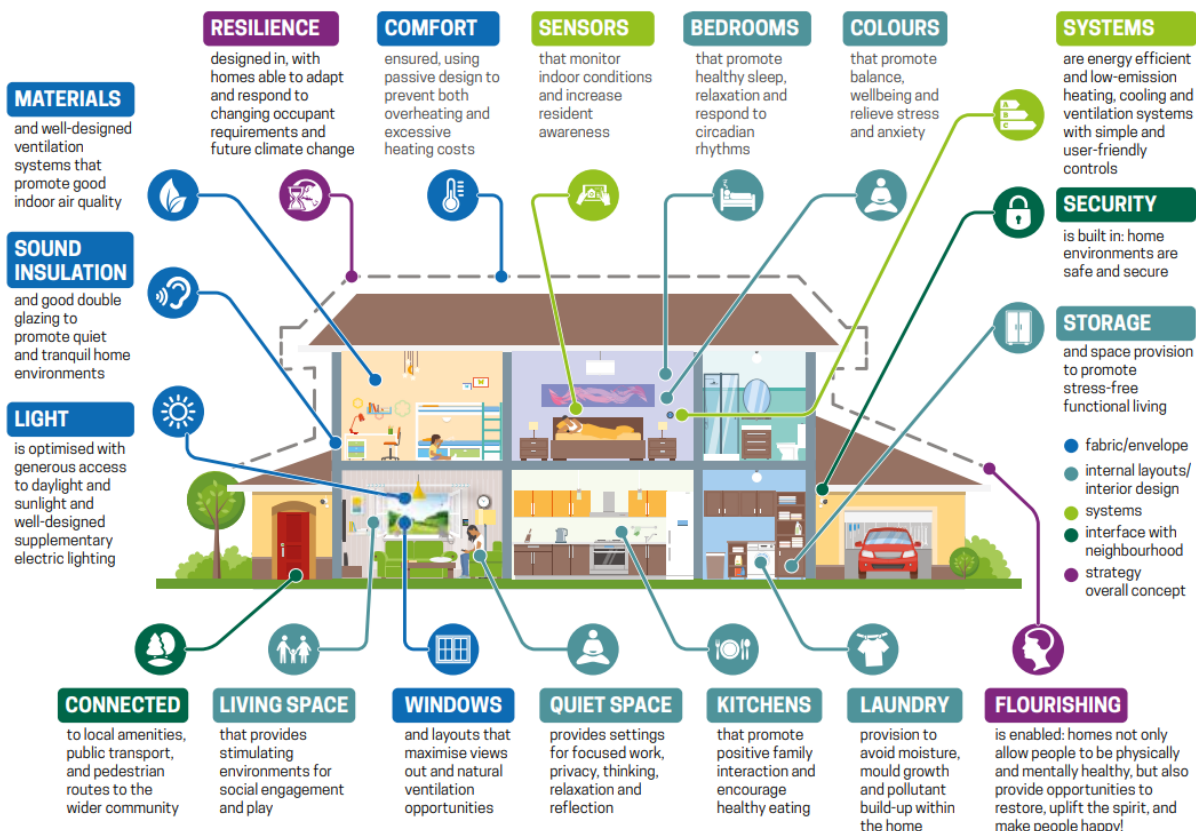
1

2 *Figuur 1. Perfection Key Indoor Performance Indicators (KIPI) lijst [6].*

3 *Tabel 1. Lijst prestatie indicatoren binnenmilieu DHV (de kolom categorie (cat) is afkomstig uit het EU-project*  
 4 *HOPE [Health optimization Protocol for Energy efficient dwellings]) [5,8].*

nr.	Deelaspect (agens)	effect	cat.	nr.	Deelaspect (agens)	effect	cat.
1	Emissies t.g.v. bodemverontreiniging	70	2	15	Geur	10	3
2	Te hoge temperatuur	30	3	16	Onvoldoende daglicht	10	3
3	Tocht	10	3	17	Bezonning	10	3
4	Emissies wegverkeer (NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , fijn stof)	90	1	18	Belemmering uitzicht	10	3
5	Emissies bouwmaterialen: radon	90	1	19	Visuele privacy	10	3
6	formaldehyde	70	2	20	Inbraakveiligheid	30	3
7	asbest	90	1	21	Sociale privacy	10	3
8	pollen	10	3	22	Burengeluid	30	3
9	VOS	70	2	23	Verkeerslawaaai	30	3
10	Radon uit kruipruimte	90	1	24	Installatielawaai	30	3
11	Biologische agentia: schimmel, vocht	70	2	25	Ruimtelijke kwaliteit	10	3
12	Koolmonoxide (CO)	90	1	26	Legionella	90	1
13	Stikstofdioxide (NO <sub>2</sub> )	90	1	27	Lood	70	2
14	Benzeen	90	1	28	ELF-velden	90	1

5



Figuur 2. Schematische weergave Healthy Home zoals benaderd door UKGBC [1].

Interessant aan de DHV lijst is dat hier ook een weging wordt gegeven aan het risico dat een bepaalde parameter heeft op de gezondheid. Het potentiële gezondheidsrisico voor de individuele indicatoren is niet zondermeer gelijk. Vergelijkbaar is in het HOPE-project [9] ook een drietal categorieën onderscheiden die het verwachte effect op de gezondheid en de kans dat het risico optreedt, weergeeft:

- **Categorie 1:** gezondheidsrisico's met kans op overlijden of ziekten met grote overlijdenskans (bijv. longkanker).
- **Categorie 2:** gezondheidsrisico's met kans dat deze ziekten veroorzaken (met name luchtwegziekten).
- **Categorie 3:** gezondheidsrisico's met kans dat deze minder ernstige ziekten dan wel discomfort veroorzaken.

Met het DALY (Disability Adjusted Life Year) concept [10] is een maat geïntroduceerd om de ziektelast te kwantificeren. Het effect van interventies kan daarmee bepaald worden. Het is niet terug te herleiden tot een individueel persoon of individuele woning, maar is bedoeld voor beoordeling van het effect op grote groepen. Interventies op een individuele woning zijn derhalve ook niet echt te kwantificeren. In [5] is een vertaling van de DHV-indicatoren naar de HOPE categorieën gemaakt door te kijken naar de ernst van een gezondheidseffect ten gevolge van een bepaalde indicator (10% = comfort aantasting/gematigde hinder/ lichte klachten; 30% = serieuze a-specifieke/subklinische klachten/ernstige hinder; 50% = herstelbare klachten/ gezondheidsaandoeningen; 70% = chronische gezondheidsaandoeningen; 90% = overlijden/niet herstelbare ernstige aandoeningen). Het DALY-concept is hierbij als onderlegger gebruikt. In Tabel 1 zijn zowel de categorisering van DHV (0-100) als van HOPE (1-3) toegevoegd in de kolom.

## 1 Vanuit bestaande PvEs

2 Een overzicht van de indicatoren zoals die in het PvE Gezonde Kantoren en Frisse Scholen  
3 worden gehanteerd zijn in de betreffende publicaties terug te lezen. Er is sprake van een  
4 grote overlap in de indicatoren, maar qua terminologie zijn er wel wat verschillen te zien. Ten  
5 behoeve van de positionering van het PvE Gezonde Woningen binnen de bestaande PvEs  
6 lijkt het logisch om vrij dicht bij de opzet van deze PvEs te blijven. Een deel van de  
7 indicatoren kan overgenomen worden, maar door het onderscheid in gebouwgebonden en  
8 inrichtingseisen zijn er wel enkele duidelijke verschillen. Met name die laatste kan in het PvE  
9 Gezonde Woningen niet zondermeer worden meegenomen, waar dat in kantoren en scholen  
10 wel mogelijk is. Daarnaast is de insteek van de eisen die gesteld worden ook anders door  
11 het uitgangspunt dat een grotere range waarbinnen geregeld kan worden een beter resultaat  
12 is. Dit is een invulling van het gegeven dat in het PvE Gezonde Woningen het niet goed  
13 mogelijk is om inrichtings- en regeleisen op het niveau van de gebruiker te stellen. Dit is nu  
14 vertaald in handelingsperspectief.

## 15 Overige uitgangspunten indicatoren

16 In principe zijn de eisen aan alle indicatoren zoveel als mogelijk prestatiegericht  
17 geformuleerd. Dit om te voorkomen dat nieuwe (innovatieve) oplossingen niet meegenomen  
18 kunnen worden. Soms zijn de eisen echter zo gesteld dat bepaalde bekende oplossingen  
19 impliciet niet ingezet kunnen worden omdat deze niet de gestelde eis kunnen realiseren. In  
20 dat geval is er sprake van een bewuste keuze. Als voorbeeld kan genoemd worden de eis  
21 dat de temperatuur in een slaap-/werkkamer met minimaal 2K/uur geregeld moet kunnen  
22 regelen. Dit voorkomt, impliciet, de toepassing van een lage temperatuur verwarming met  
23 een lange reactietijd, zoals vloerverwarming.

24 In de toelichting bij eisen in de tabel wordt in een enkel geval gerefereerd aan een  
25 oplossingsrichting, maar een equivalente andere oplossing blijft, vergelijkbaar aan het  
26 bouwbesluit, te allen tijde mogelijk. Dit uitgangspunt betekent wel dat bij de verificatie er in  
27 het algemeen teruggevallen moet worden op metingen om aan te tonen dat aan de eis  
28 voldaan wordt.

29 In het PvE Gezonde Woningen wordt gewerkt met drie klassen: klasse A, klasse B en klasse  
30 C. De klasse C eisen komen min of meer overeen met het kwaliteitsniveau dat door het  
31 Bouwbesluit vereist wordt bij nieuwbouwwoningen. De klasse B eisen streven een 'gewoon  
32 goede' woning na. Dit ambitieniveau kan het beste gebruikt worden voor nieuwe woningen of  
33 bij grootschalige renovatie. De klasse A eisen zijn een verdere verbetering ten opzichte van  
34 klasse B en zijn bedoeld voor woningen met een gevoelige doelgroep (zoals bewoners met  
35 luchtwegaandoeningen of een verminderde weerstand) en/of voor woningen waar het  
36 hoogste kwaliteitsniveau wordt nagestreefd.

37 Het is de bedoeling om per aspect een bewuste keuze te maken voor de klasse A, B of C  
38 eisen. Zo kan men bijvoorbeeld kiezen voor daglichttoetreding op C-niveau, thermisch  
39 comfort op klasse B niveau en luchtkwaliteit op klasse A-niveau. Het is maar net welke  
40 aspecten door de opdrachtgever (bewoner) voor de specifieke situatie, het meest belangrijk  
41 worden geacht.

42 Een woning telt een aantal verschillende kamers (ruimtes) met hun duidelijke (afgebakende)  
43 functie(s); bijvoorbeeld de slaapkamer versus de woonkamer. Voor sommige indicatoren  
44 kunnen, als gevolg van dit verschil in functie, specifieke eisen gedefinieerd worden. Daar  
45 waar dit wenselijk wordt geacht is zo een onderscheid in de eisen opgenomen. Het spreekt  
46 voor zich dat het in principe ook mogelijk is per ruimtelfunctie apart een kwaliteitsniveau te  
47 kiezen: bijvoorbeeld luchtkwaliteit klasse A in de slaapkamer en klasse C in de woonkamer.



In dit PvE Gezonde Woningen is met name gefocust op fysieke indicatoren. Echter, vanuit het oogpunt van gezondheid zijn aanvullende indicatoren te benoemen die ook een bijdrage leveren aan de gezondheid, zoals factoren die gericht zijn op mentale en sociale gezondheid. In deze versie (0.9) is hieraan nog vrijwel geen invulling gegeven (behalve bijvoorbeeld aan uitzicht). Het is mogelijk dat eisen voor deze onderdelen van gezondheid in toekomstige versies van dit PvE worden toegevoegd.

## Samenvatting indicatoren

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de indicatoren die in deze versie (0.9) van het PvE Gezonde Woningen zijn opgenomen. Er is tevens aangegeven of er een onderscheid is gemaakt voor de indicator voor wat betreft de verschillende ruimtes in een woning. Een gedetailleerde invulling van de eisen voor de indicatoren is weergegeven in de tabellen (zie aparte document – pdf). Een uitgebreide toelichting ten aanzien van de gemaakte keuzes voor de indicatoren en de eisen wordt hieronder gegeven.

*Tabel 2. Overzicht indicatoren zoals opgenomen in het PvE Gezonde Woningen (versie 0.9). Per indicator, voor zover van toepassing, is aangegeven of vergelijkbare eisen zijn gesteld voor verschillende ruimtes. Leeswijzer: X betekent dat prestatie-eis X is gesteld voor de betreffende ruimte, Y prestatie-eis, etc.*

Indicator	Ruimte		
	Woonkamer Keuken	Slaapkamer Werkkamer	Badkamer Verkeersruimte
<b>LUCHT</b>			
CO <sub>2</sub> concentratie & luchtverversing	X	X	
Luchtafvoer	X		Y
Spuiventilatie	X	Y	
Luchtvochtigheid			X
Schimmels & bacteriën	X	X	Y
VOS	X	X	X
Verbrandingsgassen	X	X	X
Fijnstof	X	X	X
Hygiene ventilatiesysteem	Nvt	Nvt	Nvt
Asbest	X	X	X
Legionella	Nvt	Nvt	Nvt
<b>KLIMAAT</b>			
Comfort Winter	X	Y	Z
Comfort Zomer & tussenseizoen	X	Y	Z
Tocht	X	X	X
Lokale behaaglijkheid (overig)	X	X	X
<b>LICHT</b>			
Daglichttoetreding	X	X	Y
Beglazing	X	X	X
Uitzicht	X	X	
Bezonning	X	X	
Verblinding	X	X	X
Kunstlicht	X	Y	Y
<b>GELUID</b>			
Geluidwering gevel	X	X	X
Geluidisolatie tussen woningen	X	X	X
Geluidisolatie binnen woning	X	X	X
Installatiegeluid	X	Y	
Ruimte akoestiek	X	X	

## Eisen (hoofdtabellen)

Zie Excel “Basistabel PvE Gezonde Woningen (versie 0.9 - 20211206).pdf”



## Toelichting bij de gestelde eisen

### LUCHT

Om een goede luchtkwaliteit te bereiken is het van belang dat eerst alle bronnen van luchtverontreiniging worden weggenomen waar dat mogelijk is. Denk bijvoorbeeld aan het vervangen van een gaskookplaat door een elektrische kookplaat, het stoppen met roken of aan het toepassen van materialen en meubels waar aantoonbaar weinig vluchtige organische stoffen (VOS) uit vrijkomen. Vervolgens kan ventilatie gebruikt worden om de concentratie aan resterende verontreinigingen te beperken. Hierbij zal het dan voornamelijk gaan om verontreinigingen van personen, de zogenaamde bio-effluenten.

### CO<sub>2</sub> concentratie & Luchtverversing

Aangezien ventilatie voornamelijk tot doel heeft om de concentratie aan verontreinigingen afkomstig van personen te beperken, gaat het PvE Gezonde Woningen uit van een ventilatiehoeveelheid per persoon. Hierbij wordt uitgegaan van de volgende bezetting:

•	Hoofdslaapkamer:	maximaal 2 personen
•	Slaapkamers:	maximaal 1 persoon
•	Woonkamer:	aantal slaapkamers + 1, met een minimum van 4 personen

Merk op dat de opgenomen ventilatie-eisen resulteren in een verhoging van de ventilatiehoeveelheid in de hoofdslaapkamer ten opzichte van wat gebruikelijk is in woningen die volgens het Bouwbesluit worden ontworpen. Dit is nodig omdat er in de hoofdslaapkamer over het algemeen twee personen slapen terwijl de ruimte normaal gesproken slechts op basis van één persoon wordt geventileerd. Hierbij wordt aangesloten bij de eis die is opgenomen in de ontwerpversie van NEN 1087:2019 [11].

Geadviseerd wordt om in elke verblijfsruimte een gecontroleerde (veelal betekent dit mechanische) toe- en/of afvoervoorziening te installeren. Ter illustratie, in het TKI Monicair project [12] is vastgesteld dat ventilatiesystemen met een actieve luchttoe- of luchtafvoercomponent in de verblijfsruimtes minder slecht presteren voor wat betreft de CO<sub>2</sub>-overschrijdingsdosis ten opzichte van systemen zonder actieve ventilatievoorziening in elke verblijfsruimte.

Ter indicatie wat betreft de prestatie van huidige ventilatiesystemen, zie Figuur 3 [12]. Deze resultaten laten zien dat, voor de onderzochte woningen, respectievelijk gedurende 22,7 (Type C) en 7,1% (Type D) van de thuis aanwezige tijd overschrijding van 1200 ppm plaats vindt. Betrokken op 24 uur aanwezigheid bedraagt de overschrijding respectievelijk 14,2 en 4,4%.

GEMIDDELDE CO <sub>2</sub> OVERSCHRIJDING SYSTEEM C.2c			uren/dag
	Gem. aantal inwoners/woning	3.33	[h/dag]
	Zolder		3.55
	Slaapkamer 3		4.10
	Slaapkamer 2		2.02
	Slaapkamer 1		2.66
	Woonkeuken		2.46
	Totale tijd		
	Woning		12.42
	Gemiddeld per persoon		3.41
	Percentage v.d. thuis aanw. tijd		22.74%

Tabel 4.2.2.3 : Gemiddelde CO<sub>2</sub>-overschrijding Systeem C.2c

GEMIDDELDE CO <sub>2</sub> OVERSCHRIJDING SYSTEEM D.2			uren/dag	g
	Gem. aantal inwoners/woning	3.33	[h/dag]	
	Slaapkamer 3		0.82	
	Slaapkamer 2		0.73	
	Slaapkamer 1		1.12	
	Woonkeuken		0.86	
	Totale tijd			
	Woning		3.52	
	Gemiddeld per persoon		1.06	
	Percentage v.d. thuis aanw. tijd		7.10%	

Tabel 4.2.2.6 : Gemiddelde CO<sub>2</sub>-overschrijding Systeem D.2

Figuur 3. Resultaten CO<sub>2</sub> overschrijding zoals gemeten in het TKI Monicair project [12]. Links resultaten voor een systeem met mechanische afvoer (Type C) en rechts voor een systeem met mechanische toe- en afvoer (Type D).

#### Luchtafvoer in keuken

De luchtafvoer van klasse C is gebaseerd op het halen van de klasse C eis voor PM2.5 fijnstof van 10 µg/m<sup>3</sup> en een binnenconcentratie fijnstof ten gevolge van infiltratie uit de buitenlucht van 5 µg/m<sup>3</sup>. Dit vereist volgens TKI VentKook [13] een vangstefficiëntie van minimaal 65%. Uitgaande van een efficiënte schouwkap is hiervoor een afzuigdebiet van minimaal 125 m<sup>3</sup>/uur vereist.

De luchtafvoer van klasse B is gebaseerd op het halen van de klasse B eis voor PM2.5 fijnstof van 7,5 µg/m<sup>3</sup> en een binnenconcentratie fijnstof ten gevolge van infiltratie uit de buitenlucht van 5 µg/m<sup>3</sup>. Dit vereist volgens TKI VentKook [13] een vangstefficiëntie van minimaal 80%. Uitgaande van een wat betreft efficiëntie gemiddelde schouwkap is hiervoor een afzuigdebiet van minimaal 300 m<sup>3</sup>/uur vereist.

De luchtafvoer van klasse A is gebaseerd op het halen van de klasse A eis voor PM2.5 fijnstof van 5 µg/m<sup>3</sup> en een binnenconcentratie fijnstof ten gevolge van infiltratie uit de buitenlucht van 2,5 µg/m<sup>3</sup>. Dit vereist volgens TKI Efficiënte kookapparatuur als een service [14] een vangstefficiëntie van minimaal 80%. Uitgaande van eilandkappen en down-draft is hiervoor een afzuigdebiet van minimaal 425 m<sup>3</sup>/uur vereist.

Hoewel elektrisch koken, inductie, wordt aanbevolen om het aantal bronnen in de woningen te beperken, maakt het voor de afzuiging niet uit of er sprake is van koken op gas of met inductie. Dit heeft te maken met de ontwikkeling van de pluim boven de kookplaat. Bij gas is deze wat meer ontwikkeld en is de afvang beter ten opzichte van inductie. Bij inductie worden echter minder verontreinigingen geproduceerd.

#### Spuiventilatie

Deze eis voor klasse C is strenger dan het Bouwbesluit waarin uitgegaan wordt van ten minste 6 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte van het verblijfsgebied. Voor een verblijfsruimte wordt in het bouwbesluit uitgegaan van ten minste 3 dm<sup>3</sup>/s per m<sup>2</sup> vloeroppervlakte. Aangezien er in de praktijk weinig gebruik wordt gemaakt van het principe van vrije indeelbaarheid wordt voorgesteld om de verblijfsgebied eis ook toe te passen op de eis voor de verblijfsruimte.

De spuiventilatie kan worden gebruikt voor het snel afvoeren van verontreinigingen in de lucht. Daarnaast kan de spuiventilatie worden gebruikt voor het halen van de thermisch comfort eisen. Tot slot kan het openen van geveldelen bijdragen aan nachtkoeling/vrije

1 koeling in warmere periodes. In het algemeen zal spuien plaatsvinden op ruimteniveau,  
2 terwijl nachtkoeling/vrije koeling meer op woningniveau geschiedt.

3 Voor klasse B wordt aan de woonkamer de eis gesteld dat er dwarsventilatie mogelijk dient  
4 te zijn via inbraak- en regenwerende openingen in minimaal twee zijden van de woning die  
5 met elkaar in verbinding staan. Openslaande tuindeuren in combinatie met een draaikiep  
6 raam in de keuken voldoen dus niet. Wel voldoet bijvoorbeeld een klapraam of een  
7 ventilatieluik in de achtergevel. Dit is in principe op ruimteniveau. Als de woonkamer slechts  
8 aan één gevel ligt, dan zullen in de woning zelf de binnendeuren open moeten staan om  
9 dwarsventilatie effectief te maken. Dat geldt ook voor het toepassen van vrije koeling. Hier  
10 zitten we dan wel op het spanningsveld van gebruiker en effectiviteit van de oplossing. Het  
11 instrueren van de bewoner voor het effectief gebruik van zo een oplossing is dan wenselijk.

## 12 Luchtvochtigheid

13 Voor de verblijfsruimten worden, vergelijkbaar met het PVE Frisse Scholen, geen eisen  
14 geformuleerd voor de relatieve luchtvochtigheid. De achterliggende reden hiervoor is dat in  
15 het Nederlandse klimaat luchtbevochtiging in woningen voor de meeste mensen niet  
16 noodzakelijk is. Daarnaast kunnen luchtbevochtigers, bij onvoldoende onderhoud, de  
17 luchtkwaliteit ook verslechteren. Denk hierbij aan legionella.

18 Discussiepunt is of er eisen gesteld moeten worden aan de maximale RV in de badkamer.  
19 Adan [15] stelt als richtlijn dat er een hoog risico op schimmeligroei is als de maximale  
20 relatieve luchtvochtigheid in de badkamer maximaal 50% van de tijd 80% of hoger is. Als de  
21 relatieve vochtigheid minder dan 50% van de tijd 80% of hoger is, dan is de kans op  
22 schimmeligroei klein. In Monicair [12] laten de metingen in 62 woningen zien dat een  
23 overschrijding van 70% RV (de gebruikte grenswaarde in het onderzoek) slechts gemiddeld  
24 een half uur tot twee uren per dag voorkomt in het stookseizoen. Hiermee lijkt schimmeligroei  
25 in de badkamer met de huidige bouwregelgeving voldoende voorkomen te kunnen worden.  
26 Lokale schimmelvorming die ontstaat op bijvoorbeeld kitranden rondom een douchebak  
27 wordt hier niet toe gerekend.

## 28 Schimmels & Bacteriën

29 In de verblijfsruimten (dus uitgezonderd de badkamer) mag geen zichtbare schimmel op de  
30 wanden of plafonds aanwezig zijn. Wat betreft schimmelvorming op binnenmuren van woon-  
31 en slaapkamers kan worden gesteld dat dit in woningen die na 2000 zijn gebouwd onder  
32 normale omstandigheden geen probleem meer is [16].

33 De heersende consensus is dat vocht en schimmel in de verblijfsruimten van een woning  
34 (woon- en slaapkamers) in hogere mate bepalend zijn voor gezondheidsklachten dan  
35 vocht/schimmel in de badkamer. Onderzoek van Pekkanen et al. [17] lijkt dit te bevestigen. In  
36 dit onderzoek is de vochtschade in woningen met kinderen met en zonder astma onderzocht  
37 door het uitvoeren van inspecties. Hieruit bleek een verhoogd risico op astma in woningen  
38 met vochtschade en zichtbare schimmel in de vertrekken waar de kinderen veel tijd  
39 doorbrachten: de woonkamer, de keuken en met name de eigen slaapkamer. Uit het  
40 onderzoek bleek geen verband tussen vochtschade en schimmel in andere ruimtes zoals de  
41 kelder, de zolder of de badkamer en het risico op astma.

42 De GGD richtlijn Schimmel- en vochtproblemen in woningen uit 2012 [18] geeft aan dat de  
43 Huurcommissie als criterium aanneemt dat schimmelplekken niet groter mogen zijn dan 0,25  
44 m<sup>2</sup>. Dit criterium betreft de som van alle oppervlakken met vocht en schimmel per  
45 verblijfsruimte. Vanuit het oogpunt van gezondheid kunnen zichtbare schimmelplekken  
46 echter niet worden geaccepteerd.

Ondanks dat vocht en schimmel in de badkamer niet direct bijdragen aan de gezondheidsklachten wordt er toch een eis gesteld om de kans op vocht- en schimmelproblemen in deze speciale ruimte te beperken. Dit wordt gedaan door een effectieve (automatische) regeling te vereisen, voor alle klassen, waarmee binnen twee uur na gebruik van de badkamer de luchtvochtigheid onder 70% RV kan worden gebracht. (TNO 2018; vocht en schimmelvorming in woningen).

In geval van balansventilatie is het van belang dat de ventilatie continu aan staat om schimmelvorming op bijvoorbeeld filters te voorkomen.

#### Vluchtige Organische Stoffen: formaldehyde & TVOC

De maximaal toegestane formaldehydeconcentratie volgens het Bouwbesluit is  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dit omvat ook de bijdrage vanuit de inrichting van de woning. De tijdsduur waarover dient te worden gemiddeld wordt echter niet vermeld. WHO [19] (blz 169) geeft aan dat zowel voor kortdurende (30 minuten) als langdurige blootstelling een waarde van maximaal  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  kan worden aangehouden.

Naast bouwmaterialen kunnen ook inrichtingsmaterialen (vloerbekleding, plaatmateriaal van kasten en meubilair) een belangrijke bron zijn van formaldehyde. Uit metingen in keukens en andere ruimtes met plaatmateriaal zijn door Vos en van Dongen [20] gemiddelde waarden van  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gerapporteerd (formaldehyde). Bij metingen in bewoonde toestand zullen technieken moeten worden ingezet die het mogelijk maken om de bijdrage van de formaldehyde afkomstig van bouwmaterialen te bepalen, bijvoorbeeld een FLEC-cell.

In Canada wordt voor woningen een 8 uursgemiddelde grenswaarde van maximaal  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aangehouden. Onderbouwing voor deze waarde is een artikel van Rumchev et al [21] waarin ze meer kinderen met astma zagen in woningen met formaldehydeconcentraties hoger dan  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Deze waarde, en daarmee de conclusie van Rumchev [21], is echter niet door de WHO overgenomen omdat zij in de studie verschillende versturende factoren hebben geïdentificeerd, waaronder het gebruik van nieuwe materialen en gasketels in de onderzochte woningen en een buitenomgeving met een relatief lage luchtkwaliteit [19] (blz. 118). Factoren die door Rumchev et al. als de bron van de verhoogde formaldehydeconcentratie worden gezien.

Om de eis voor formaldehyde los te koppelen van de inrichting en gebruik zijn lagere eisen gesteld dan in het Bouwbesluit aangenomen. Met de informatie uit Vos en van Dongen wordt daarmee nog steeds (gemiddeld) ruim onder de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gebleven. De nog lagere eis voor Klasse B en A is opgenomen om potentieel extra ruimte te geven aan de bewoner ten aanzien van de inrichting. Echter, uitgaande van een gemiddelde inrichting, wordt nagestreefd dat de gemiddelde concentratie in Klasse A en B woningen duidelijk lager ligt ten opzichte van Klasse C, inclusief de inrichting.

Vluchtige organische stoffen (VOS) zijn stoffen die vrijkomen uit bijvoorbeeld meubels, inrichtingsmaterialen, schoonmaakmiddelen (o.a. de geur men ruikt), cosmetica en verbrandingsprocessen (koken op gas, verbranden wierook etc.). Bij lage concentraties zorgen deze stoffen voor irritatie van de slijmvliezen (droge ogen, geïrriteerde neus etc.). De Gezondheidsraad [22] adviseert een TVOC-grenswaarde van  $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$  om irritatie aan neusslijmvlies en ogen te voorkomen.

Aangezien er geen eenduidige eisen voorhanden zijn is onder andere ook gekeken naar een recente database met richtlijnen wereldwijd (<https://ieagguidelines.org>). Maar uiteindelijk is gekozen voor de eis zoals gesteld door de Gezondheidsraad. De specifieke eis is voor alle klassen gelijk en exclusief inrichting.

## Verbrandingsgassen

De eis voor CO is identiek aan het PvE Gezonde Kantoren [3]. Indien een CV-ketel aanwezig is dient in die ruimte een CO-melder aanwezig te zijn. Indien men normaal gesproken niet in die ruimte komt, is het advies de CO-melder zo te plaatsen dat het alarm beter gehoord kan worden.

Toegevoegd is een eis voor stikstofdioxide ten gevolge van koken op gas en buitenlucht als bronnen. De klasse C grenswaarde is gebaseerd op de wettelijke grenswaarde voor de buitenlucht. Stikstofdioxide op zichzelf is schadelijk en wordt daarnaast ook als indicator gezien voor luchtverontreiniging ten gevolge van wegverkeer zoals roet en ultrafijnstof.

De klasse A grenswaarde is gebaseerd op de 2021 WHO advieswaarde [23]. Om deze waarde te halen is elektrisch koken of, bij koken op gas, zeer goede kookafzuiging een vereiste. Ook woningen die aan drukke wegen zijn gelegen zullen niet eenvoudig aan deze klasse kunnen voldoen, zeker niet bij gebruik van de tuin of toepassing van nachtventilatie. Het gevolg hiervan is dat nieuwbouw en/of renovatie van woningen op een belaste locatie niet aan klasse A zal kunnen voldoen.

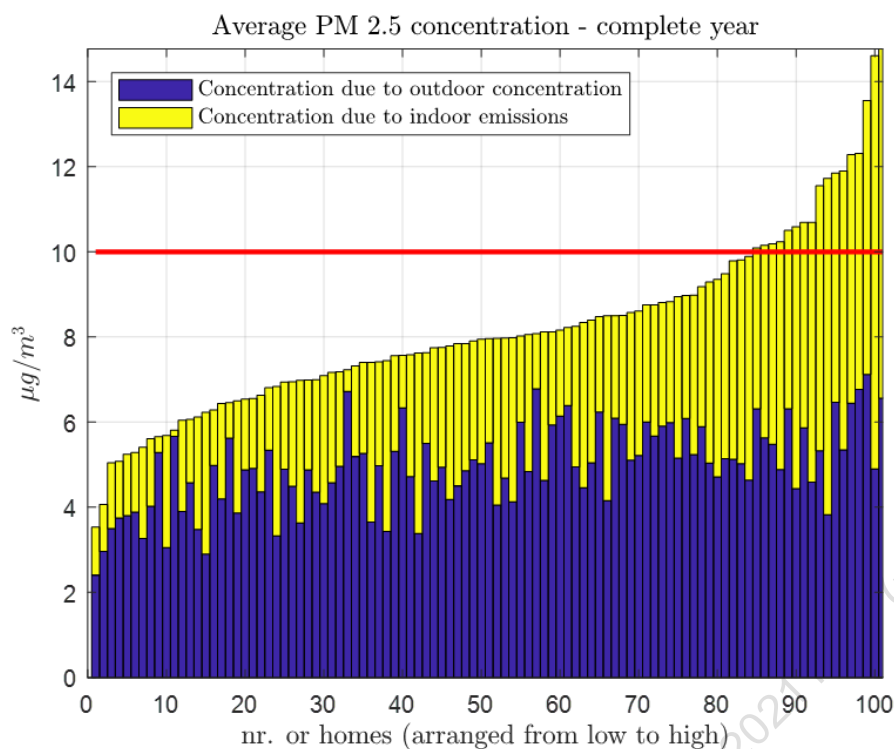
## Fijnstof

Als indicator wordt net als in [3] PM<sub>2.5</sub> gebruikt. Reden hiervoor is dat hiervoor grens- en advieswaarden zijn en dat deze fijnstof fractie in de buitenlucht wordt gemeten. PM<sub>1</sub> en ultrafijnstof worden momenteel nog niet standaard in de buitenlucht gemeten en hiervoor zijn ook geen grens- en advieswaarden. Er zijn voor de binnenlucht geen eisen gesteld voor de PM<sub>10</sub> fractie. Deze fractie wordt minder zinvol geacht omdat een groot aandeel van deze concentratie wordt veroorzaakt door resuspensie door o.a. loopbewegingen en de concentratie dus vooral wordt bepaald door de aanwezigheid van personen.

PvE Frisse Scholen [4] stelt in geval van een zogenaamde belaste locatie eisen aan het gebouw en de installatie, bijv. de luchtdichtheid van de gevel, de kwaliteit van de luchtfiltering en de aanwezigheid van mechanische koeling. Het PvE Gezonde Kantoren [3] stelt prestatie eisen op basis van de uurgemiddelde PM<sub>2.5</sub> concentratie en de indoor/outdoor ratio.

Voor woningen wordt voorgesteld om de prestatie-eis te baseren op de jaargemiddelde PM<sub>2.5</sub> concentratie. Voor klasse A wordt de 2021 WHO advieswaarde [23] toegepast. Voor klasse C de 2005 WHO [24] advies waarde. En voor klasse B een waarde hier tussenin.

Ter illustratie, uitgaande van klasse C (10 µg/m<sup>3</sup>) zal circa één op de zeven (bestaande) woningen hieraan niet voldoen (zie Figuur 4 [25]).



Figuur 4. Voorbeeld jaargemiddelde PM2.5 concentratie zoals gemeten in een 100-tal woningen [25].

De indoor-outdoor ratio eis maakt een objectieve toetsing van de fijnstofwerende werking van de woningschil en eventuele fijnstof filters mogelijk. Indirect wordt daarmee ook extra ruimte gecreëerd om activiteiten van de gebruiker die PM produceren te ondervangen. Echter, gemiddeld genomen zal gesteld kunnen worden dat de PM-concentratie in de woning hiermee verder wordt verlaagd. Door de Indoor/outdoor ratio eis voor klasse A zal toepassing van natuurlijke toe- en mechanische afvoer normaal gesproken niet voldoen.

#### Hygiëne ventilatiesysteem

De VLA heeft in 2017 de Onderhoudsnorm woningventilatie uitgebracht [26]. Van belang is de visuele controle van luchttoevoerkanalen op blz 15/16.

#### Tabaksrook

Uitgangspunt is dat er binnen niet wordt gerookt.

#### Radon

In eerste instantie wordt radon op dit moment niet als een stof gezien waarvoor eisen/maatregelen noodzakelijk zijn. In vrijwel alle Nederlandse woningen is de concentratie van zowel radon als thoron laag. Dat blijkt uit onderzoek naar radon en thoron dat het RIVM in ruim 2500 woningen in Nederland (bouwjaar 1930 en later) heeft uitgevoerd [27].

## KLIMAAT

### Introductie

Thermisch comfort wordt vaak genoemd als de belangrijkste fysische parameter van het binnenmilieu. Tegelijkertijd is het ook de parameter waarover vaak de meeste klachten zijn. Dat komt omdat thermisch comfort wordt bepaald door velerlei aspecten en er ook een grote mate van verscheidenheid tussen personen bestaat ten aanzien van wat thermisch comfortabel wordt geacht.



1 In een gezonde woning moet een conditie gecreëerd kunnen worden die leidt tot een  
2 thermisch comfortabele (gewenste) situatie. Heel simpel kunnen we zeggen dat er sprake is  
3 van thermisch comfort (een thermisch behaaglijk binnenklimaat) wanneer men geen  
4 behoefte heeft om de temperatuur aan te passen.

5 In de praktijk zijn er meerdere factoren die het thermisch comfort beïnvloeden. Vier fysische  
6 basisparameters (luchttemperatuur, stralingstemperatuur (straling van de zon,  
7 vloerverwarming of vloerkoeling, etc.), luchtvochtigheid en luchtsnelheid) zijn hierbij  
8 richtinggevend. Persoonlijke parameters zoals kleding en activiteitsniveau bepalen de  
9 gewenste condities in belangrijke mate mede. Als alle genoemde parameters in balans zijn,  
10 is er een grote kans dat men zich thermisch comfortabel zal voelen.

11 De woning verschilt ten opzichte van een kantoor of een school in die zin dat men normaal  
12 gesproken een veel grotere mate van vrijheid heeft om de temperatuur te controleren en  
13 naar wens in te stellen. Hierbij wordt meegenomen dat kleding- en activiteitsniveau ook een  
14 ruimere variatie kennen. Om deze redenen wordt in het PvE Gezonde Woningen gestreefd  
15 naar een brede beschikbare temperatuurrange in de woning zodat de bewoner zelf de  
16 gewenste temperatuur kan kiezen. Merk op dat hierbij wel het uitgangspunt is dat de  
17 gewenste temperatuur ook kan worden bereikt. Dit betekent dat men moet *ontwerpen* op het  
18 leveren van de instelbare temperatuur bandbreedte zodat de door de gebruiker ingestelde  
19 temperatuur binnen redelijke tijd en binnen een bepaalde marge wordt bereikt.

## 20 Aanpak

21 De eisen voor het thermisch binnenklimaat zijn verdeeld in twee seizoensgebonden  
22 categorieën – eisen voor de winter en eisen voor het zomer- & tussenseizoen. In  
23 tegenstelling tot het PvE Gezonde Kantoren zijn hier geen aparte categorieën voor  
24 gebouwen (woningen) met en zonder actieve koeling, voor klasse C en B worden beide  
25 mogelijkheden toegestaan. Dat wil niet zeggen dat het zomercomfort in woningen minder  
26 belangrijk is. Het tegenovergestelde is waar. Door klimaatverandering krijgen wij naar  
27 verwachting ook in de Nederland vaker te maken met warme zomers en hittegolven. Dit, in  
28 combinatie met een toenemende thermische isolatie van woningen, zal ertoe leiden dat de  
29 thermische condities in het tussenseizoen en de zomer steeds bepalender zullen worden  
30 [28,29].

31 Om oververhitting van woningen tegen te gaan is het belangrijk om (bij nieuwbouw en  
32 renovatie) de woning zo te ontwerpen dat er een intrinsiek laag risico is op overmatige  
33 opwarming. Denk hierbij aan de toepassing van buitenzonwering, zonwerend glas, de  
34 oriëntatie en afmetingen van de ramen en voldoende spuivoorzieningen. Hiermee zijn  
35 randvoorwaarden gegeven aan de bewoner om oververhitting te voorkomen of te beperken.  
36 Het daadwerkelijke en goede gebruik van de voorzieningen kan echter niet afgedwongen  
37 worden. Een vorm van actieve koeling wordt echter niet uitgesloten om het zomercomfort te  
38 waarborgen. Een onderscheid in de klassen wordt gemaakt door voor klasse A uit te gaan  
39 van een actief systeem waarmee een maximumtemperatuur ingesteld kan worden. Voor  
40 klasse B en C moet worden aangetoond dat het woningontwerp, bij goed gebruik, de  
41 maximumtemperatuur niet overschrijdt. Hier wordt dus een deel van de verantwoordelijkheid  
42 gelegd bij de gebruiker om de beschikbare gebouwgebonden elementen goed te bedienen  
43 om de oververhitting te beperken. De mogelijkheid van een actief systeem blijft voor klasse B  
44 en C echter mogelijk en in dat geval is de stap om voor dit onderdeel op klasse A uit te  
45 komen relatief klein.

46 De aanbevolen temperatuurgrenzen voor de woonkamer zijn voor het zomer- &  
47 tussenseizoen gebaseerd op de temperatuureisen voor  $\beta$ -gebouwen uit ISSO-publicatie 74  
48 [30] ( $\beta$  – bovengrens bij actieve koeling). Deze temperatuurgrenzen worden geëist bij een



1 daggemiddelde buitentemperatuur lager dan 23°C. Met 'daggemiddelde buitentemperatuur'  
2 wordt hier bedoeld: (dagmaximum + dagminimum)/2.

3 Om te voldoen aan de klasse A in het PvE Gezonde Woningen wordt verondersteld dat  
4 actieve koeling nodig is. Bij woningen die uitgerust worden met een warmtepompsysteem is  
5 dit geen probleem omdat er met het systeem zowel verwarmd als gekoeld kan worden. Voor  
6 bestaande woningen en nieuwe woningen zonder een actief koelsysteem, derhalve vallend  
7 onder klasse B of C, zouden eventueel voorzieningen gebruikt kunnen worden die de  
8 luchtsnelheid verhogen (ventilatoren). Wanneer de bewoners de luchtsnelheid naar wens  
9 kunnen verhogen met 0,5 of 1,0 m/s dan levert dit een koeffect op dat te vergelijken is met  
10 een temperatuurverlaging van 1-2 K. Dergelijke voorzieningen zijn echter niet  
11 gebouwgebonden en wordt derhalve niet als een geaccepteerde oplossing in de eis  
12 opgenomen. Om toch enigszins aan deze oplossing tegemoet te komen is bij de verificatie  
13 echter de mogelijkheid geïntroduceerd om bij aanwezigheid van een (effectieve) ventilator,  
14 gedefinieerd als een ventilator die in de leefzone een luchtsnelheid van >0,5 m/s kan  
15 genereren, een  $\Delta T$  van +1K op de temperatuureis toe te staan. Het is duidelijk dat we hier  
16 een compromis maken ten aanzien van gebouwgebonden versus gebruikersgedrag.

17 Beide seizoensgebonden categorieën zijn verder verdeeld in typische verblijfsruimtes in de  
18 woning, zoals woonkamer; slaapkamer/werkkamer en badkamer. Onder woonkamer wordt  
19 ook de keuken geschaard. Specifiek voor de woning worden strengere eisen voor de  
20 temperatuur in slaapkamers gesteld. Er is steeds meer bekend over de relatie tussen  
21 slaapkwaliteit en het thermisch binnenklimaat. Als men in de zomer nog enige nachtkleding  
22 draagt, dan is de temperatuur waarbij gemiddeld genomen 80% van de mensen de  
23 temperatuur nog net acceptabel vindt 27,5 °C. Door het gebruik van een dekbed en/of  
24 nachtkleding vormen mensen eigen microklimaat en heeft men het bij een lagere  
25 ruimtetemperatuur al voldoende warm. Veel Nederlanders geven daarom voorkeur aan een  
26 wat koelere slaapkamer [31,32]. Door eisen te stellen aan de slaapkamertemperatuur  
27 (ruimte) wordt meer ruimte geboden aan de gebruiker hoe deze bij voorkeur slaapt. Klasse A  
28 geeft derhalve de grootste mogelijkheid aan de bewoner om de gewenste luchttemperatuur  
29 in te stellen (het hele jaar). Wanneer een actief systeem wordt ingezet om de gewenste  
30 temperatuur te bereiken dan zijn daar nog aanvullende eisen aan gesteld. Omdat  
31 verondersteld is dat een slaapkamer ook steeds vaker als werk-/studeerkamer wordt  
32 gebruikt, wordt een dergelijke eis als belangrijk gezien. Het aanwezige systeem moet daarin  
33 dus voorzien, zonder dat er sprake is van de noodzaak om een raam te openen. Wil de  
34 gebruiker slapen met een open raam, dan zijn dergelijke eisen in principe niet van  
35 toepassing.

36 De badkamer is een aparte specifieke ruimte omdat hier sprake zal zijn van een situatie met  
37 een naakte, natte huid. In principe zouden hier hogere temperaturen wenselijk zijn om  
38 tegemoet te kunnen komen aan de thermische comfort eisen. Door Peeters et al. [33] wordt  
39 een analyse beschreven van de temperatuur die in een badkamer zou kunnen worden  
40 aangenomen. Hierbij wordt de adaptieve comforttheorie ingezet. Vanuit de literatuur wordt  
41 door Peeters et al. een temperatuur range van 24-28°C aangehaald die leidt tot 90%  
42 acceptatie. In de klassen wordt deze temperatuurrange ingezet om de eisen voor deze  
43 ruimte vast te stellen. In principe gelden deze eisen gedurende het gehele jaar. Dit kan  
44 betekenen dat een optie voor (kortdurende) verwarming in de badkamer noodzakelijk is.  
45 Merk op dat de hoge eis voor klasse A is ingegeven door de doelgroep die wordt  
46 verondersteld voor deze klasse (bijvoorbeeld ouderen).

47 Eisen aan het thermisch comfort vanuit het oogpunt van niet-uniformiteit of dynamiek in de  
48 tijd kennen een nauwe link met de gebruiker. Vanuit het oogpunt van gezondheid is onder

andere de dynamiek in temperatuur een interessante nieuwe ontwikkeling [34]. Hieruit blijkt dat wanneer men aan meer temperatuurvariatie wordt blootgesteld dit een positief effect heeft op het lichaam (de weerstand). Dit zou ervoor pleiten om de toegestane regelmarges te vergroten. Echter, er is uiteindelijk voor gekozen om dit niet te doen. Verondersteld wordt dat in een woning de gebruiker normaal gesproken aan een ruimere temperatuurband wordt blootgesteld dan in een andere omgeving. Voor de niet-uniforme condities (lokale behaaglijkheid) worden de eisen uit ISO 7730:2005 [35] aangehouden, met dien verstande dat het oppervlaktetemperatuur geldt voor een niet ingerichte situatie. Daarmee wordt een verdere vrijheid gegeven aan de inrichting zonder dat dit de prestatie beïnvloed.

## LICHT

### Introductie

Licht heeft invloed op de gezondheid van de mens. We kunnen niet zonder licht, zij zorgt voor onze biologische klok. We kunnen ook niet zonder voldoende licht om goed onze activiteiten te kunnen uitvoeren. Hoewel de mens ook bij hele lage lichtniveaus taken kan uitvoeren, kost dat meer energie en is de kans op fouten groter. Met het toenemen van de leeftijd neemt ook het benodigde verlichtingsniveau toe om taken goed te kunnen blijven uitvoeren.

### Aanpak + resultaten

Het beschikbare licht, zeer vereenvoudigd samengevat in het verlichtingsniveau, in een ruimte is normaal gesproken een sommatie van het aanwezige daglicht in combinatie met kunstlicht. In een woning is de daglichttoetreding typisch een ontwerpparameter, terwijl kunstlicht volledig aan de gebruiker moet worden overgelaten. Dit is een groot verschil met bijvoorbeeld een situatie in een kantoor of een school.

Desondanks zullen verschillende indicatoren gerelateerd aan licht, zoals die elders worden gevonden, ook bruikbaar zijn voor een Programma van Eisen Gezonde Woningen. In de tabellen hieronder is een samenvatting gegeven van de indicatoren ten aanzien van licht zoals die in verschillende referenties zijn gevonden. Er is tevens een onderscheid gemaakt in dag-/kunstlicht als dat relevant is.

<b>PvE Gezond Kantoren [3]</b>	<b>Daglicht</b> Daglichtfactor Lichttoetredingsfactor (LTA) Uitzicht Helderheidswering (luminatieverhouding)	<b>Kunstlicht</b> Verlichtingssterkte Verblinding armaturen Kleurweergave Flickerfrequentie/-percentage  Dimbaarheid
<b>Bouwbesluit 2012 [36]</b>	<b>Daglicht</b> Equivalent daglichtoppervlakte	<b>Kunstlicht</b>
<b>BREEAM [37]</b>	<b>Daglicht</b> Daglichttoetreding (% glasoppervlak tov vloeroppervlak)	<b>Kunstlicht</b> Verlichtingssterkte  Flikkering
<b>LEED v4 Homes [38]</b>	<b>Daglicht</b>	<b>Kunstlicht</b> Efficiëntie verlichting (lighting power density)
<b>Well Building [39]</b>	<b>Daglicht</b> Daglichtautonomie [lux, %]	<b>Kunstlicht</b> Verlichtingssterkte (incl. leeftijd gebruikers)

	Afstand tot raam	Verlichting gebaseerd op daglicht (biologische klok).(circadian lighting design)
	Daglichtoppervlakte	Luminantieverhoudingen
	Helderheidswering (verblinding)	Kleurweergave
	Zicht (bodem, hemelkoepel)	Controle (niveau, kleurtemperatuur, kleur)

1

<b>DHV/HOPE/ Rapport Indicatoren Binnenmilieu [8,9]</b>	<b>Daglicht</b>	<b>Kunstlicht</b>
	Onvoldoende daglicht/ daglichttoetreding Bezonning Belemmering uitzicht Lichttoetredingsfactor, kleur glas Helderheidswering (verblinding)	

2

<b>NTA 8778:2012 [40]</b>	<b>Daglicht</b>	<b>Kunstlicht</b>
	% vloeroppervlak Kleur lichtinval Individuele regelbaarheid (zoninval verblinding; gebouwgebonden) Uitzicht [afstand zitplek tot gevel, hoogte borstwering, vrij uitzicht op landschap of objecten (>10 m)	

3

<b>NEN-EN 12464-1 (2021) Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 1: Werkplekken binnen [41]</b>	<b>Daglicht</b>	<b>Kunstlicht</b>
	Verlichtingssterkte Uniformiteit Lichtrichting)	Verlichtingssterkte Uniformiteit Luminantieverdeling Verblinding Lichtrichting en schaduwen Gecorreleerde kleurtemperatuur Kleur rendering index

4

<b>NEN-EN 17037 (2018) Daglicht in gebouwen [42]</b>	<b>Daglicht</b>	<b>Kunstlicht</b>
	Daglichttoetreding Uitzicht (hemelkoepel, landschap, grond) Zonlicht blootstelling) Verblinding	

5

De verschillende referenties laten een range aan indicatoren zien, waarbij een zekere mate van overlap ook is terug te vinden. In het PvE Gezonde Woningen is de focus in principe op indicatoren gerelateerd aan het daglicht, omdat deze op het ontwerp gericht zijn en daarmee gebouwgebonden.

Wanneer het gaat om visueel comfort in woningen is de invloed van de gebruiker een belangrijke component. Dit betreft onder andere de aanwezigheid en het gebruik van kunstlicht. Daarnaast is het gebruik van zon- en helderheidswering, voor zover niet geautomatiseerd, ook afhankelijk van het gebruikersgedrag.

In een programma van eisen kan het daadwerkelijke gebruikersgedrag niet worden aangenomen. Dit deels vanwege de grote verschillen die verwacht mogen worden tussen gebruikers en de voorkeuren die zij geven bij een bepaalde situatie. Daarnaast kan het gedrag niet optimaal gestuurd worden vanuit het oogpunt van gezondheid en/of comfort. Wat echter wel benoemd kan en moet worden is of er mogelijkheden zijn voor de gebruiker om daadwerkelijk invloed uit te oefenen op het binnenmilieu, i.e. of er randvoorwaarden zijn die controle daadwerkelijk mogelijk maken. Of die controle uiteindelijk wel of niet positief uitwerkt

is niet onderdeel van het Programma van Eisen. In alle gevallen gaat het om (ontwerp-) oplossingen die gebouwgebonden zijn.

Voor licht is in de verschillende documenten (labeling systemen en overzichten met indicatoren voor een gezond binnenmilieu) nagenoeg geen onderscheid in indicatoren en criteria aangetroffen die een onderscheid maken naar het type ruimte dat in een woning is terug te vinden. Een uitwerking daarvan is in de eerste versie van het PvE in eerste instantie dan ook gemaakt op basis van de ingeschatte activiteiten in de verschillende ruimtes. In de tabel zijn de (veronderstelde) belangrijkste activiteiten gedefinieerd. Dit is niet uitputtend en er is geen prioritering aangegeven omdat in principe alle activiteiten uitgevoerd zouden moeten kunnen worden. In **vet** zijn activiteiten aangegeven waar licht direct een effect op kan hebben. In *italic* is een indirect effect van licht verondersteld. Bijv. bij conversatie is het kunnen gezien van het gezicht van de spreker belangrijk, voor slapen is licht een verstorende factor.

*Tabel. Activiteiten als functie van het type ruimte. (vet direct effect van licht; italic indirect effect).*

Ruimte	Activiteit
Woonkamer	muziek luisteren, <b>televisie/beeldscherm kijken, lezen, conversatie, eten</b>
Werkkamer	<b>Lezen, beeldschermwerk</b> , telefoneren
Keuken	<b>Koken, lezen, eten</b>
Slaapkamer	<i>Slapen, lezen, beeldschermwerk</i>
Badkamer	<b>Verzorging, bad/douche</b>

Voor de activiteiten is onder andere een voldoende verlichtingsniveau van belang, en verder kunnen eisen worden gesteld aan de kwaliteit van de verlichting. Voor het verlichtingsniveau kan een combinatie van dag- en kunstlicht worden verondersteld. Echter, het kunstlichtdeel is zeer afhankelijk van de gebruiker die kunstlicht waarschijnlijk ook zal inzetten voor sfeeraspecten. Hierdoor is het niet mogelijk om directe eisen te stellen aan de kunstverlichting, hoewel adviezen wellicht mogelijk zijn. In praktische zin zou het mogelijk maken van voldoende plekken in een ruimte om kunstverlichting te realiseren een positieve bijdrage kunnen leveren aan het realiseren van een voldoende verlichtingsniveau. Datzelfde geldt voor specifiek aan kunstlicht gerelateerde indicatoren zoals verblinding door armaturen ( $R_{UG}$ ), de kleurweergave index ( $R_a$ ), de flickerfrequentie en het flickerpercentage. Eenzelfde discussie, voor wat betreft kunstlicht, is ook mogelijk daar waar het gaat om luminantieverhoudingen. Luminantieverhoudingen zijn echter ook van belang bij gebruik van daglicht.

Op basis van bovenstaande discussie wordt het volgende voorstel gedaan voor de indicatoren voor daglicht en visueel comfort voor het PvE Gezonde Woningen. Voor de ruimtes wordt aangegeven of er verschil in eisen aan de betreffende indicator verondersteld mogen worden (1: hoogste eis, 2: minder hoog, etc.). Een meer uitgebreide beschrijving volgt na de tabel. Daarin wordt ook besproken welke waarden voor de verschillende klassen gehanteerd kunnen worden.

Indicator	Eenheid	Ruimte	Omschrijving
<i>Daglichtfactor</i>	[%]	1) Woonkamer, Werkkamer, Keuken, Slaapkamer, 2) Badkamer, Verkeersruimte	Een minimale hoeveelheid aan daglicht dient in de ruimte te kunnen intreden. Niet enkel vanuit het oogpunt van verlichtingsniveau, maar ook vanuit bijvoorbeeld het oogpunt van het ervaren van weersveranderingen (dynamiek), kleurbeleving en de biologische klok.
<i>Lichttoetreding</i>	[-] LTA	1) Woonkamer, Werkkamer, Keuken, Slaapkamer, Badkamer	Deze indicator relateert aan de daglichtfactor. Het gaat erom dat de omgeving op een natuurlijke wijze beleefd kan worden.
<i>Bezonning</i>	[-]	1) Woonkamer, Werkkamer, Slaapkamer; 2) Keuken, Badkamer	Het toelaten van zon in de woning heeft niet alleen een visuele (en veronderstelde psychologische) component, maar ook een thermische component (denk bijvoorbeeld aan oververhitting). Daarbij is er ook een duidelijk verschil

			in het seizoen waarover over bezonning wordt gesproken. Hier moet een balans in gevonden worden.
<i>Uitzicht</i>	[-]	1) Woonkamer, Werkkamer, Slaapkamer 2) Keuken, Badkamer	De mogelijkheid tot uitzicht draagt bij aan de ervaring van het daglicht en maakt een connectie met de omgeving mogelijk. Het type omgeving dat wordt gewaardeerd zal per persoon verschillen. In het PvE worden daar geen eisen aan gesteld, maar wel aan het zichtbaar zijn van bijv. het aardoppervlak en de hemel.
<i>Verblinding door daglicht</i>	[-]	1) Woonkamer, Werkkamer, Keuken, Slaapkamer; 2) Badkamer.	Deze indicator is afhankelijk van de indeling van de ruimte (i.e. de positie van de gebruiker van de ruimte). Ook hier zit een behoorlijke gebruikerscomponent. De aanwezigheid van helderheidswering en de kwaliteit bepalen de mogelijkheden. Vertrekpunt is echter de gradiënt in de daglichtfactor die bij een situatie aanwezig is.

1

2 [Keuze eisen](#)

### 3 **Daglichttoetreding**

4 Daglicht wordt als een belangrijke indicator gezien voor gezondheid in de context van een  
5 woning. De eisen die aan de daglichtfactor (D) moeten worden gesteld worden daarom  
6 strenger ingeschaald dan voor bijvoorbeeld een kantoor- of schoolsituatie. Dit is ook  
7 ingegeven door de afmetingen van de ruimtes en wat praktisch realiseerbaar is in kantoren  
8 en scholen. Naast de eis aan de daglichtfactor dient ook het deel van de ruimte dat hieraan  
9 voldoet groter te worden verondersteld. Echter, te hoge waarden voor de daglichtfactor  
10 zullen sneller leiden tot verblinding, voor zover relevant voor specifieke activiteiten, en er  
11 mogelijk in resulteren dat helderheidswering vaker gebruikt moet worden om dit te  
12 voorkomen, los van het feit dat in de zomer bezonning minder wenselijk is. Er is dus in  
13 principe sprake van een balans.

14 In het bouwbesluit [36] wordt gesproken van een equivalent daglichtoppervlakte uitgedrukt in  
15 % van het vloeroppervlak (met een minimum in m<sup>2</sup>; voor woonfunctie 10%/0.5 m<sup>2</sup>). Dit is niet  
16 een volledig prestatie-gebaseerde aanpak en heeft daarom niet direct de voorkeur.

17 Naast de daglichtfactor, wordt ook de indicator daglicht autonomie (daylight autonomy)  
18 gebruikt. Hierbij wordt het percentage van de tijd aangeduid waarbij een bepaald minimum  
19 horizontaal verlichtingsniveau gerealiseerd kan worden met daglicht. Bijvoorbeeld 300 lux in  
20 50% van de tijd. In principe hoort daar ook een oppervlak van de ruimte bij waarover dit  
21 gerealiseerd kan worden. In de Active House specificaties [43] worden beide opties  
22 toegelicht. Het voordeel van daglicht autonomie is dat de indicator uiteindelijk direct relateert  
23 aan het verlichtingsniveau. In NEN-EN 17037-2018 [42] wordt echter de benodigde  
24 daglichtfactor ook gerelateerd aan het beschikbare daglicht op de geografische locatie. Voor  
25 Amsterdam wordt voor de zogenaamde mediaan externe diffuse verlichtingssterkte ( $E_{v,d,med}$ ),  
26 voor verticale en schuine daglichtopeningen, een waarde van 14400 lux gegeven.  
27 Afhankelijk van de gestelde eis aan de interne horizontale verlichtingssterkte levert dat een  
28 minimale daglichtfactor op. Bijvoorbeeld bij minimaal 300 lux is dit 2,1%, bij 500 lux is dit  
29 3,5%. De keuze voor de daglichtfactor krijgt hiermee een betere onderbouwing en vormt een  
30 basis waarmee in een woning een minimum verlichtingssterkte gedurende 50% van de tijd  
31 (gemiddeld over een jaar) gewaarborgd kan worden.

32 Voor de verschillende klassen wordt teruggevallen op de aanbevelingen uit NEN-EN 17037-  
33 2018 [42], waarbij een verschil in horizontale verlichtingssterkte wordt gesteld. De 500 lux eis  
34 voor klasse B geeft ook direct een invulling aan het niveau voor de werkplekverplichting. Ten  
35 aanzien van verblinding spelen in dat geval echter nog wel aanvullende aandachtspunten die  
36 door de gebruiker zullen moeten worden gecontroleerd. De hoge eis van 750 lux voor klasse  
37 A probeert ook invulling te geven aan de mogelijkheid voor mensen, die niet naar buiten

1 kunnen, om hun mentale (biologische) gezondheid op pijl te houden door ze ook in hun  
2 woonomgeving verticaal op oog niveau aan voldoende licht te kunnen blootstellen.

3 De eisen gelden voor een referentievlak op een hoogte van 0,85 m. Het onderscheid in  
4 belang voor de verschillende ruimtes keert eenvoudigweg terug in het verschuiven van de  
5 klassen, waarbij in klasse C geen daglichttoetreding noodzakelijk is. De daglichtfactor laat  
6 zich met beschikbare softwaretools vooraf berekenen.

7 Voor slaapkamers geldt een speciale toevoeging dat de kamer ook goed donker gemaakt  
8 moet kunnen worden. Dat geldt zeker voor mensen die in een nachtdienst werken en  
9 overdag slapen. Maar ook door lichtvervuiling buiten kan het verlichtingsniveau in de  
10 slaapkamer hoger worden dan gewenst voor een goede nachtrust.

11 Momenteel is discussie gaande over het belang van de verticale verlichtingssterkte ten  
12 opzichte van de horizontale verlichtingssterkte en of deze in de normen opgenomen moet  
13 gaan worden. Voor dit moment wordt echter in alle gevallen waar gesproken wordt over  
14 verlichtingssterkte vastgehouden aan de horizontale verlichtingssterkte.

## 16 **Lichttoetreding**

17 De lichttoetreding kan worden geobjectiveerd via de lichttransmissiefactor van het gebruikte  
18 glas (LTA-waarde). Een hoge LTA-waarde betekent dat een groter deel van het daglicht kan  
19 binnenvallen. Een hoge LTA-waarde betekent vaak ook dat de zontoetredingsfactor (ZTA-  
20 waarde) ook hoger zal zijn. Dit is minder wenselijk, aangezien daardoor de warmte van de  
21 zon makkelijker in de woning kan komen. Er is dus sprake van een balans, zolang beide  
22 indicatoren volgens de huidige gangbare oplossingen worden benaderd. Ter illustratie enkele  
23 voorbeelden: LTA-waarde Enkel glas 0,9; Dubbel blank glas 0,8; 3-voudig blank glas of  
24 dubbel blank glas met warmtewerende coating 0,7 - 0,8; Zonwerend glas 0,1 (Lichtdoorlaat  
25 per glastype (verschillende lichttransmissies) [44]. Een andere referentie geeft nog meer  
26 opties [45].

27 De eis dient een afweging te zijn tussen wat praktisch mogelijk is (nieuw/bestaande bouw).  
28 Een LTA-eis  $> 0,7$  maakt het moeilijk om een voldoende lage ZTA te realiseren. Die laatste  
29 wordt in de context van oververhitting als een belangrijke parameter gezien. Daarom wordt in  
30 eerste instantie de keuze gemaakt om niet hoger te gaan dan  $LTA > 0,6$  voor Klasse A. De  
31 lagere waarden voor Klasse B ( $LTA > 0,55$ ) en C ( $LTA > 0,5$ ) maken het keuze pallet om tot  
32 oplossingen te komen die ook een lage ZTA kunnen realiseren groter. Een te lage LTA  
33 reduceert de bijdrage van het daglicht. De lichttoetreding zal ook deels tot uitdrukking komen  
34 in de daglichtfactor, maar op deze manier wordt gewaarborgd dat transparante delen van de  
35 woning een voldoende uitzicht bieden. De ondergrens, klasse C, wordt gelijkgesteld aan die  
36 van PvE Gezonde Kantoren.

## 38 **Uitzicht (zicht op de omgeving)**

39 De omgeving is een belangrijke parameter in het woongenot. Echter, ook hier zal een grote  
40 variatie terug te vinden zijn waar het gaat om welke omgeving door wie meer gewaardeerd  
41 wordt. De ene persoon geniet van een groene omgeving, de andere persoon waardeert de  
42 drukte van de stad. De locatie van een woning kan daarmee geen onderdeel zijn van een  
43 programma van eisen. Echter, de mogelijkheid om zicht op de omgeving te hebben kan wel  
44 worden meegenomen. Hierbij moet gedacht worden aan de mogelijkheid om bijvoorbeeld het  
45 straatleven te kunnen zien of een weiland, maar ook de hemelkoepel. Wanneer de bewoner

de optie heeft om meerdere zaken te zien vanuit de woning, draagt dat bij een beter woongenot en is de kans groter dat een gemiddelde bewoner dit uitzicht waardeert. In NEN-EN 17037-2018 [42] wordt een onderscheid in drie lagen van uitzicht gemaakt: hemelkoepel, landschap (gebouwen, natuur, horizon), bodem (activiteiten). In deze norm worden vervolgens verschillende aspecten benoemd die de kwaliteit van het uitzicht bepalen, zoals de afmetingen van de daglichtopening(en), de horizontale zichthoek, de afstand tot hoever men buiten kan kijken, het aantal lagen dat men kan zien. In het PvE is de toetsing van het uitzicht iets afwijkend opgenomen ten opzichte van NEN-EN 17037-2018. Ten aanzien van het zicht naar buiten wordt de eis in woorden omschreven als: Vanuit de woonkamer (slaapkamer, werkkamer) is vanuit een zittende positie (hoogte 1.1m) het landschap en de bodem direct rondom de woning en/of de hemelkoepel zichtbaar. *De afstand in de ruimte tot de gevel* is daarbij een bepalende factor voor wat betreft hetgeen zichtbaar is. De horizontale vrije zichthoek moet voor klasse C (gesommeerd) tenminste 28 graden bedragen en voor klasse A en B tenminste 45 graden. De afstand in de ruimte tot de gevel is daarbij 2 meter voor klasse C en B en 4 meter voor klasse A. Er moet daarnaast sprake zijn van een natuurlijk zicht (i.e. niet via spiegels). Aangenomen wordt dat de perceelgrens in alle gevallen ten minste 10 meter van de gevel ligt. Dit betekent dus dat in een strook van 10 meter rond de woning/appartement de grond niet zichtbaar hoeft te zijn. De 10 meter zou ook deel uit kunnen maken van de onderverdeling in klassen. Om het niet complexer te maken is dat hier nog achterwege gelaten. Merk op dat hier feitelijk geen objectieve gegevens voor beschikbaar zijn en dit meer een expertoordeel is. Verder geldt dat in appartementen en bij woontorens het steeds lastiger zal worden om het straatleven direct rondom de toren te volgen en daarmee te voldoen aan deze eis. Als aanvulling wordt derhalve gesteld dat voor woningen/kamers die niet op de begane grond gesitueerd zijn de eis wordt verondersteld te gelden alsof zij op de begane grond staan, met een correctie dat de perceelgrens 5 meter van de gevel ligt. Hiermee wordt voor een borstwering, als mogelijke oplossing, de eis dat deze lager zal zijn dan voor een grondgebonden situatie. Ten aanzien van waar uitzicht op is, wordt voor klasse A verondersteld dat dit alle lagen betreft op het moment van ontwerpen/bouwen.

## **Bezonning**

Bezonning heeft een verschillend belang wanneer het gaat om de bijdrage ervan in de seizoenen. In de winter is die typisch positief. In de zomer zou de zon typisch geweerd moeten worden om de kans op oververhitting te beperken. Echter, er wordt verondersteld dat het toelaten van zon in een woning ook een psychologische component heeft. Het feit dat een woning zodanig is ontworpen dat de zon in de woning kan komen lijkt dan ook een belangrijk uitgangspunt. De mogelijkheid om de zon naar behoefte (vanuit thermisch of visueel oogpunt) te weren wordt dan als een belangrijke aanvullende parameter gezien. Voor de bezonning van een woning zijn geen eisen opgenomen in het bouwbesluit. Het is dus mogelijk om een woning/appartement te ontwerpen met alleen uitzicht op het Noorden. Zelfs voor klasse C lijkt dit een niet wenselijke situatie. Er bestaat een richtlijn die door TNO is opgesteld (referentie onbekend) waarin een eis aan het minimum aantal bezonningsuren wordt gegeven gedurende een bepaalde periode van het jaar. In NEN EN 17037-2018 [42] is een dergelijke eis ook opgenomen. Voor het PvE wordt deze eis overgenomen. Hierbij wordt voor een hogere klasse vereist dat het dagelijks aantal uur bezonning groter is. De periode waarin dit moet worden getoetst is tussen 1 februari en 21 maart. De toetsing vindt dan plaats volgens NEN EN 17037-2018. Hiermee wordt ervoor gezorgd dat de oriëntatie van de woning zodanig is dat vanuit de woning de zon het grootste deel van het jaar zichtbaar is. In NEN EN 17037-2018 wordt gesteld dat dit moet gelden voor tenminste één ruimte in de



woning. Echter, aangezien het gebruik van ruimtes in een woning variabel is en bezonning in elke ruimte tot op zekere hoogte wenselijk, is voor het PvE een aanpassing gemaakt door te stellen dat de bezonning de gesommeerde waarde is voor de woonkamer, slaapkamer en werkkamer. Omdat het belang voor daglicht niet in ieder kamer even groot is wordt een wegingsfactor voorgesteld (in eerste instantie wordt hiervoor [43] gebruikt: woonkamer 0,4; keuken 0,3; werkkamer (slaapkamer) 0,3). Hierbij wordt, in geval van meerdere slaap-/werkkamers, het gemiddelde aantal bezonningsuren bepaald alvorens de weging toe te passen. Dit betekent dat in principe nog steeds ruimtes zonder directe bezonning aanwezig kunnen zijn, maar dat dit dan gecompenseerd moet worden in een andere ruimte. Deze aanvullende eis geldt voor klasse A.

Bezonning wordt natuurlijk niet alleen bepaald door het ontwerp van de woning zelf. Ook de omgeving kan hier een (negatief) effect op hebben. De beoordeling zal in principe enkel kunnen plaatsvinden op het moment van het ontwerp. Toekomstige ontwikkelingen kunnen in principe niet worden voorzien. Echter, door in het ontwerp marges op te nemen ten aanzien van het aantal bezonningsuren kan wel geanticipeerd worden op dergelijke situaties. De woning wordt in dat geval robuuster voor externe invloeden. In het programma van eisen zal dit nog niet worden opgenomen, maar de gedachte zou in een verder ontwikkelde versie wel kunnen worden meegenomen.

### ***Verblinding door daglicht/helderheids-, zonwering***

Het toestaan van daglicht en direct zonlicht in een woning draagt bij aan een betere woning, echter daarmee neemt de kans op verblinding door te veel daglicht en, in geval van zon, de kans op oververhitting toe. Er is dus sprake van een balans. Die balans wordt deels vanuit perceptie ingegeven en is dus bewonersafhankelijk, met name wat betreft het visuele comfort. Ten aanzien van oververhitting zouden objectieve criteria gebruikt kunnen worden om zon buiten te houden. In woningen vormt de helderheids-/zonwering een component die in een belangrijke mate de invloed van de gebruiker veronderstelt. Vaste oplossingen, zoals een overstek of een balkon, worden hierbij niet uitgesloten. Vanzelfsprekend heeft de gebruiker in dat geval geen mogelijkheid om iets te regelen. Hoewel potentieel effectief heeft een vaste oplossing een continu effect op de daglichtfactor. Daarnaast beperkt het ook het uitzicht naar de hemelkoepel. Een invloed van de gebruiker hierop wordt derhalve gewaardeerd. Daar waar die invloed van de gebruiker wel verondersteld wordt kan in principe enkel een eis gesteld worden dat deze voorzieningen aanwezig zijn (gebouwgebonden), het gebruik ervan kan niet worden afgedwongen. In dat geval zou dan ook een onderscheid gemaakt moeten worden ten aanzien van voorzieningen in de woning en buiten (aan de gevel). We gaan hierbij uit van voorzieningen aan de gevel (buiten), in de veronderstelling dat dit een intrinsiek onderdeel van de woning vormt. De kleur van bijvoorbeeld een zonwering kan in afstemming met de gebruiker worden afgestemd, echter niet het wel of niet plaatsen ervan. Er zou ook nog een onderscheid gemaakt kunnen worden in zon- en helderheidswering. In dit geval wordt er niet voor gekozen een expliciet onderscheid te maken omdat er steeds meer oplossingen komen die beide aspecten combineren. In de klassen kan wel dit onderscheid worden gemaakt, door voor klasse A bijvoorbeeld een (externe) zon- en helderheidswering voor te schrijven, terwijl voor klasse C het enkel gaat om zonwering. Daarnaast kan een onderscheid gemaakt worden in het gemak waarmee de voorzieningen bediend kunnen worden. Hier zou dan ook weer een onderscheid in klassen gemaakt kunnen worden.

In het type helderheids-/zonwering zou ook nog een onderscheid gemaakt kunnen worden voor wat betreft de mate waarin verblinding mogelijk is. Dit gaat dan in op de

luminantieverhoudingen. Voor een onderverdeling in klassen voor deze verhoudingen kan teruggevallen worden op de eisen hiervoor zoals gesteld in het PvE Gezonde Kantoren 2021 [3]. Evenals in dat document aangegeven is het in alle gevallen (klassen) wenselijk dat enig uitzicht mogelijk blijft, ofwel doordat de helderheids-/zonwering in enige mate transparant is, ofwel doordat door de gekozen oplossing het uitzicht niet wezenlijk wordt belemmerd (hoogstens naar de hemelkoepel). Het gebruik van luminantieverhoudingen in de context van de woning wordt echter te complex ingeschat, naast het feit dat ook hier de invloed van de gebruiker moeilijk uitgesloten kan worden.

Een objectieve maat voor de kans op verblinding ten gevolge van daglicht kan worden bepaald met de DGP (Daylight Glare Probability Index). In de context van de woning en het gerelateerde PvE lijkt echter ook deze indicator te complex en niet realistisch gezien het feit dat verondersteld mag worden dat het gebruikersgedrag, denk ook aan de inrichting, in een woning te zeer zal variëren. Derhalve wordt er dus voor gekozen deze indicator niet te gebruiken. Om toch een indicatie van de kans op verblinding mee te nemen in het PvE wordt teruggevallen op de daglichtfactor en meer specifiek de verdeling daarvan in de ruimte. Indirect mag verondersteld worden dat een grote gradiënt in de ruimte ook de kans op verblinding vergroot. Door een beperking aan de gradiënt te stellen moet in het ontwerp ervoor gezorgd worden dat het daglicht voor zover mogelijk gelijkmatig in de ruimte gebracht wordt. Een onderscheid in klassen is dan eenvoudig mogelijk door de gradiënt te beperken bij klassen B en A.

Samenvattend betekent dit dat voor verblinding door daglicht/zonlicht de volgende indicatoren worden geïntroduceerd: Aanwezigheid van een zon-/helderheidswering, met een onderscheid in de klassen dat voor A beide type wering aanwezig worden verondersteld. Ten aanzien van de bediening geldt dat hoe laagdrempeliger de bediening (binnen, elektrisch) hoe beter, en daarmee een hogere klasse. Tot slot wordt aan de verhouding van de maximum daglichtfactor (op 0.5 m uit de gevel) en de minimum daglichtfactor voor klasse C een eis gesteld van 0,1, voor klasse B van 0,2 en voor klasse A van 0,25. De waarden hiervoor zouden op basis van literatuur/perceptie onderzoek verder vastgesteld moeten worden. Voor alle indicatoren geldt dat er in principe geen onderscheid is voor de verschillende type kamers, met uitzondering van de badkamer en de verkeersruimte wanneer geen eis voor daglicht wordt verondersteld.

### **Kunstlicht**

Zoals eerder besproken kan er voor het PvE Gezonde Woningen geen eis gesteld worden aan het kunstlicht en de indicatoren die daaraan gerelateerd kunnen worden. De bewoner bepaalt zelf de hoeveelheid kunstlicht die wenselijk wordt geacht en alle aspecten die daarbij horen. De woning kan echter wel faciliteren in het aanbrengen van kunstverlichting door de aanwezigheid van aansluitpunten en daarmee het gemakkelijker te maken om voldoende verlichting naar de wens van de bewoner te realiseren. Een keuze wordt gemaakt dat voor Klasse C en B tenminste twee van zulke aansluitpunten aanwezig moeten zijn in de woonkamer, terwijl er vier punten zouden moeten zijn voor Klasse A. Voor de overige kamers wordt uitgegaan van één aansluitpunt (Klasse C) of twee punten (Klasse A en B). Voor de verkeersruimte zou een aanvullende eis gesteld kunnen worden ten aanzien van de mogelijkheid om het kunstlicht te bedienen. Dit is (nog) niet gekwantificeerd, maar gezien het belang is dit wel al opgenomen. Het gaat er met name om dat mensen met een verminderd zichtvermogen veilig gebruik kunnen maken van de verkeersruimte. In een volgende versie van de PvE Gezonde Woningen zou, naast de kamers, ook een onderscheid in de gebruiker

gemaakt kunnen worden voor wat betreft de (minimale) behoefte. Dit wordt in deze fase echter nog niet verder ingevuld.

#### Tot slot

In relatie tot daglicht en uitzicht speelt uiteindelijk niet alleen het visuele comfort een rol. Onderwerpen als privacy en veiligheid zijn nauw hiermee verbonden. Ook deze indicatoren hebben een effect op de bewoner van een woning en zullen zijn gezondheid kunnen beïnvloeden wanneer deze niet goed gewaarborgd kunnen worden binnen het ontwerp. Het stellen van eisen aan privacy en veiligheid is in deze eerste versie van het PvE Gezonde Woningen nog niet aan de orde, echter in een volgende versie zou hier wellicht verdere invulling aan gegeven kunnen (dienen te) worden. Net zoals bij veel ontwerpaspecten zal ook hier sprake zijn van optimalisatie.

## GELUID

### Introductie

Waar eisen ten aanzien van geluid voorheen voornamelijk gericht waren op het voorkomen van comfortklachten, is er nu een toenemende focus op de lange termijn gezondheidsimpact van geluid in de woonomgeving. Zo heeft de WHO gekeken naar de invloed van het geluidniveau 's nachts en de invloed daarvan op slaapkwaliteit en stress [46]. Slaap is ontzettend belangrijk voor onze gezondheid: te weinig slaap kan volgens de WHO de kans op diabetes, obesitas en depressie verhogen. Daarnaast zorgt te weinig slaap ervoor dat we de volgende dag minder goed presteren. De geluideisen van het PvE Gezonde Woningen zijn er daarom in de eerste plaats op gericht om een stille slaapkamer te realiseren.

Om te zorgen dat geluid geen hinder veroorzaakt in de woning, zijn er daarnaast eisen opgenomen voor geluidwering van de gevel, geluidwering tussen woningen, geluidwering in de woning en eisen voor het maximaal toegestane geluidniveau. Hierbij is ervoor gekozen om aan te sluiten bij de bestaande Nederlandse normen [47,48] en regelgeving [36]. De Bouwbesluit-eisen zijn hierbij als absolute ondergrens gehanteerd (klasse C) en de eisen uit NEN 1070 [47] zijn gebruikt om invulling te geven aan de klasse B en A grenswaarden.

### Toelichting eisen

#### **Geluidwering van de gevel**

De eisen voor geluidwering van de gevel zijn gebaseerd op de gezondheidkundige grenswaarden van de WHO voor geluidniveau 's nachts [46]. Volgens de WHO zijn negatieve effecten van geluidblootstelling 's nachts waarneembaar bij piekgeluiden ( $L_{Amax}$ ) van 32 dB tot 35 dB. Bij deze geluidniveaus zijn veranderingen in de slaapstructuur meetbaar en beweegt men meer (een teken van verminderde slaapkwaliteit). Bij piekgeluiden vanaf 42 dB is er volgens de WHO een verhoogde kans om 's nachts wakker te worden en/of 's ochtends eerder wakker te worden. Om verstoring van de slaap te voorkomen is het dus van belang om piekgeluiden van 32 dB of meer in de slaapkamers te voorkomen.

Artikel 3.3.1 van Bouwbesluit 2012 [36] vereist dat de geluidwering van de gevel van een woning ( $G_{A,k}$ ) die wordt blootgesteld aan industrielawaai gelijk is aan het geluidniveau buiten en 35 dB. Dit betekent dat de geluidwering van de gevel er grofweg in moet resulteren dat het geluidniveau binnen niet hoger is dan 35 dB. Op een locatie met verkeersgeluid vereist

1 het Bouwbesluit dat de geluidwering van de gevel zodanig moet zijn dat het  
2 binnengeluidniveau maximaal 33 dB is. Voor locaties zonder bovenmatig verkeers- of  
3 industrielawaai vereist het Bouwbesluit een minimale geluidwering van de gevel ( $G_{A;k}$ ) van 20  
4 dB. De eisen uit het Bouwbesluit komen dus grofweg overeen met de gezondheidskundige  
5 advieswaarden van de WHO.

6 Besloten is om voor de klasse C-eis de strengste eis uit het Bouwbesluit aan te houden ( $G_{A;k}$   
7  $\geq$  buitengeluidniveau – 33 dB). Dit komt overeen met kwaliteitsklasse  $k=3$  (5 klassen, 1 is het  
8 beste, 5 is het slechtste) uit NEN 1070:1999 [47]. Voor de klasse B-eis is uitgegaan van  $G_{A;k}$   
9  $\geq$  buitengeluidniveau – 30 dB. Dit komt overeen met een waarde tussen kwaliteitsklasse 2 en  
10 3 uit NEN 1070. Voor de klasse A-eis is vervolgens de kwaliteitsklasse 1 eis uit NEN 1070  
11 aangehouden:  $G_{A;k} \geq$  buitengeluidniveau – 27 dB.

12 *Opmerking: men dient zich er bewust van te zijn dat de eisen voor geluidwering van de gevel*  
13 *erop gericht zijn om piekgeluiden > 32 dB in de slaapkamer te voorkomen. Bij de bepaling*  
14 *van de benodigde geluidwering van de gevel mag men uitgaan van de beschikbare*  
15 *geluidkaarten maar men dient zich wel te realiseren dat deze kaarten zijn gebaseerd op de*  
16 *jaargemiddelde geluidbelasting en daarmee een onderschatting kunnen geven van de*  
17 *piekgeluiden waar de woning aan wordt blootgesteld. Het kan raadzaam zijn om op locaties*  
18 *met een hoge geluidbelasting metingen van het buitengeluidniveau uit te voeren om de*  
19 *daadwerkelijke piekbelasting te bepalen.*

## 21 **Geluidisolatie wanden en vloeren**

22 Bij de eisen voor geluidisolatie van wanden en vloeren is onderscheid gemaakt tussen de  
23 geluidisolatie van wanden en vloeren *tussen woningen* en de geluidisolatie van wanden en  
24 vloeren *binnen een woning*.

25 Voor de lucht- en contactgeluidisolatie *tussen woningen* is voor de klasse C eisen uitgegaan  
26 van de eisen uit artikel 3.16 en 3.17 van Bouwbesluit 2012 voor nieuwbouwwoningen. Deze  
27 eisen komen grofweg overeen met de kwaliteitsklasse 3 eisen uit NEN 1070. Voor de klasse  
28 A en B eisen van PvE Gezonde Woningen zijn respectievelijk de kwaliteitsklasse 1 en 2  
29 eisen van NEN 1070 [47] aangehouden.

30 Eenzelfde aanpak is gehanteerd voor de lucht- en contactgeluidisolatie *tussen woningen*.  
31 Voor de klasse C eisen is uitgegaan van de eisen uit artikel 3.17a van Bouwbesluit 2012  
32 voor nieuwbouwwoningen. Deze eisen komen grofweg overeen met de kwaliteitsklasse 3  
33 eisen uit NEN 1070. Voor de klasse A en B eisen zijn respectievelijk de kwaliteitsklasse 1 en  
34 2 eisen van NEN 1070 aangehouden.

## 36 **Installatiegeluidniveau**

37 Bij de eisen voor het installatiegeluidniveau is onderscheid gemaakt in het  
38 installatiegeluidniveau in de slaapkamer en het installatiegeluidniveau in de woonkamer. Uit  
39 praktijkonderzoek blijkt dat men in de slaapkamer over het algemeen een lager geluidniveau  
40 als acceptabel acht, alleen al omdat het over het algemeen 's nachts stiller is in en buiten de  
41 woning.

42 Voor de klasse C eisen is uitgegaan van de huidige installatiegeluideisen uit afdeling 3.2 van  
43 Bouwbesluit 2012 voor nieuwbouwwoningen [36]. Hierbij moeten drie opmerkingen worden  
44 gemaakt:

- De eisen voor installatiegeluid gelden voor de stand waarin het ventilatiesysteem voldoet aan de gekozen eisen voor "CO<sub>2</sub>-concentratie en luchtverversing" uit PvE Gezonde Woningen.
- In het PvE Gezonde Woningen wordt uitgegaan van  $L_{i,A}$  : het niet-karakteristieke installatiegeluidniveau. Reden is dat het PvE Gezonde Woningen is gericht op het geluidniveau dat de bewoners van een woning horen als zij in bed liggen. Het karakteristieke installatiegeluidniveau vereist dat het installatiegeluidniveau wordt omgerekend naar een kamer met een volume van maximaal 25 m<sup>3</sup> waarmee een fictief geluidniveau ontstaat dat niet in alle gevallen representatief is voor de geluidblootstelling in de praktijk.
- Het Bouwbesluit vereist dat het installatiegeluidniveau wordt gemeten conform de meetmethode uit NEN 5077:2019 [48]. Deze norm vereist dat installatiegeluidmetingen worden uitgevoerd met een nauwkeurige (klasse 1) geluidmeter en dat er metingen worden uitgevoerd van de nagalmtijd. Om de drempel tot het uitvoeren van installatiegeluidmetingen te verlagen, is ervoor gekozen om ook de meetmethode uit BRL 8010:2019 toe te staan.

Voor de klasse B eisen ten aanzien van installatiegeluid is de eis voor de slaapkamer aangescherpt naar  $L_{i,A} \leq 25$  dB. Deze eis komt overeen met kwaliteitsklasse 2 uit NEN 1070 [47] en is gebaseerd op het geluidniveau dat een groot deel van de bewoners in de praktijk als acceptabel beschouwd (o.b.v. praktijkonderzoek van bba, niet gepubliceerd). Daarbij is deze eis ook goed haalbaar met de huidige stand der techniek.

De klasse A eisen vragen om een nog lager installatiegeluidniveau in zowel de woonkamer als de slaapkamer. Voor de woonkamer wordt uitgegaan van de kwaliteitsklasse 2 eis uit NEN 1070, voor de slaapkamer wordt uitgegaan van een waarde die tussen de kwaliteitsklasse 1 en 2 eisen uit NEN 1070 ligt. De eis voor de slaapkamer komt er in feite op neer dat het installatiegeluid nauwelijks meer te onderscheiden is van het achtergrondgeluidniveau.

## **Ruimte-akoestiek**

In de Nederlandse bouwpraktijk is het niet gebruikelijk om in de verblijfsruimten inrichtingselementen toe te voegen zoals een geluidsabsorberend plafond. De nagalmtijd in een ruimte, de mate van galm/echo in een ruimte, is echter een belangrijke factor voor het akoestisch comfort van de bewoners. Wanneer er meer geluidsabsorberend materiaal in de verblijfsruimten is, dan is het geluidniveau als gevolg van geluid van buiten en installaties lager. Zo draagt de toevoeging van geluidsabsorberend materiaal bij aan een stillere woning.

In de woonkamer heeft geluidsabsorberend materiaal een extra positief effect: de spraakverstaanbaarheid zal er in algemene zin door verbeteren. Praktisch betekent dit dat men elkaar bijvoorbeeld beter kan verstaan als men tijdens een verjaardag met elkaar in gesprek is.

Het PvE Gezonde Woningen gaat er van uit dat er vanaf een klasse B ambitie op het gebied van akoestiek nagedacht moet worden over de nagalmtijd in de verblijfsruimten. Voor nu is een eerste eis gesteld aan de nagalmtijd in de ruimte.

## Verificatie/Borging

Het PvE Gezonde Woningen gaat uit van een verificatie op drie niveaus of een woning aan de gestelde eisen voldoet:

1. **Laagdrempelige verificatie bij oplevering.** Om de verificatiekosten te beperken, wordt aangeraden om alleen de belangrijkste prestatie-eisen bij oplevering te meten, danwel te controleren of de uitvoering in overeenstemming is met het ontwerp dat is gemaakt op basis van het PvE. Voor de metingen kan gebruik gemaakt worden van betaalbare meetapparatuur zoals temperatuurloggers en klasse II geluidmeters. Het is niet mogelijk (en niet nodig) om hiermee alle prestatie-eisen te verifiëren, voor sommige eisen zijn uitgebreidere metingen nodig.
2. **Langetermijn monitoring met sensoren.** Omdat voor enkele indicatoren, bijvoorbeeld temperatuur, kortdurende metingen minder zinvol zijn, wordt een relatief eenvoudig sensornetwerk gebruikt om de langetermijn prestatie van de woning te monitoren en toetsen. Dit sensornetwerk kan een intrinsiek onderdeel van de woning zijn, maar ook tijdelijk worden aangebracht.
3. **Detailmetingen naar aanleiding van klachten.** Sommige indicatoren vereisen relatief complexe metingen. Aangeraden wordt om de prestatie-eisen voor deze indicatoren alleen te verifiëren op het moment dat er klachten zijn. Een voorbeeld van zo een indicator is tocht.

De **laagdrempelige verificatie** bij oplevering bestaat tenminste uit de volgende metingen en inspecties:

- De eis “CO<sub>2</sub>-concentratie & luchtverversing” wordt geverifieerd aan de hand van debietmetingen met een nuldrukgecompenseerde debietmeter óf door in een gebruik zijnde woning tenminste 3 weken de CO<sub>2</sub>-concentratie in de woonkamer en slaapkamers te meten. De meetafwijking van de CO<sub>2</sub>-sensor moet hierbij  $\leq 50$  ppm +/- 3% van de meetwaarde zijn.
- De eis “Hygiëne ventilatiesysteem” wordt geverifieerd door in alle slaapkamers en de woonkamer foto’s te maken van de inwendige staat van de luchtkanalen.
- De eisen voor “Installatiegeluid” worden geverifieerd met geluidmetingen conform BRL 8010 in de woonkamer en slaapkamers.

De resultaten van alle metingen en inspecties worden in een rapportage weergegeven en vergeleken met de prestatie-eisen uit het PvE.

De **langetermijn monitoring** wordt tenminste uitgevoerd voor de temperatuur.

- De eisen voor “Comfort Winter” en “Comfort Zomer- en Tussenseizoen” worden geverifieerd door in alle slaapkamers en de woonkamer gedurende tenminste een jaar de temperatuur te meten. De meetafwijking van de temperatuursensor moet hierbij  $\leq 0,5$  °C zijn.

De resultaten van de metingen worden in een rapportage weergegeven en vergeleken met de prestatie-eisen uit het PvE.

De meetmethodes voor de **detailmetingen** zijn weergegeven bij de respectievelijke eisen in het PvE Gezonde Woningen. De partij die de verificatie uitvoert zal zelf moeten beoordelen in welke ruimten metingen nodig zijn op basis van de klachten van de bewoners.

## Toetsing & gebruikstijd

Vergelijkbaar met het PvE Gezonde Kantoren en PvE Frisse Scholen wordt voorgesteld dat gedurende 95% van de gebruikstijd in de verblijfsruimten aan de eisen wordt voldaan. Hierbij

wordt voor de woonkamer, keuken een gebruikstijd aangehouden van 7:00-24:00, voor de slaapkamers wordt uitgegaan van 24-uursgebruik (i.v.m. dubbelgebruik als werkkamer).

Een eis kan als behaald beschouwd worden als in iedere ruimte van de woning tenminste 95% van de gebruikstijd aan de eisen wordt voldaan (beoordeling op ruimteniveau).

## Dankwoord

Voor de realisatie van deze eerste versie van het PvE Gezonde Woningen wordt de feedback en input van collega's van de TU Eindhoven, TNO en bba binnenmilieu zeer gewaardeerd.

## Referenties

- [1] . UK Green Building Council, Health and Wellbeing in Homes, (2016) 1–37.
- [2] B.L. Boegheim, R. Appel-Meulenbroek, D. Yang, M.G.L.C. Loomans, Relationships between mental health and indoor environmental quality (IEQ) in the home workplace, in: Heal. Build. Eur., Oslo, Norway, 2021: p. 4.  
<https://research.tue.nl/en/publications/relationships-between-mental-health-and-indoor-environmental-qual> (accessed November 8, 2021).
- [3] A.C. Boerstra, M. te Kulve, Programma van Eisen Gezonde Kantoren 2021, Woerden, The Netherlands, 2021.
- [4] RVO, Programma van Eisen Frisse Scholen 2021, Zwolle, The Netherlands, 2021.  
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/06/PvE-Frisse-Scholen-2021.pdf> (accessed November 12, 2021).
- [5] M. Cox, C., Loomans, Een gezonde woning, een gezonde keuze (conceptversie - 2005-BBE-R085), Delft, 2005.
- [6] M. Loomans, A. Huovila, P.H. Lefebvre, J. Porra, P. Huovila, J. Desmyter, A. Vaturi, Key Performance Indicators for the Indoor Environment, in: P. Huovila (Ed.), World Sustain. Build. Conf. SB11, Helsinki, Helsinki, Finland, 2011: p. 12.
- [7] International WELL Building Institute, WELL Certified | International WELL Building Institute | IWBI, (n.d.). <https://www.wellcertified.com/> (accessed November 8, 2021).
- [8] J.A. Bergs, Eindrapportage Indicatoren binnenmilieu (definitief concept), 2001.
- [9] Cox. C. et al., Health Optimisation Protocol for energy-efficient buildings (HOPE) -, Website (with Final Report). (2005). <https://hope.epfl.ch/index.htm> (accessed November 8, 2021).
- [10] World Health Organization, Disability-adjusted life years (DALYs), (n.d.).  
<https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry/imr-details/158> (accessed November 8, 2021).
- [11] NEN, NEN 1087: 2019 Ventilatie van gebouwen - Bepalingsmethoden voor nieuwbouw, Delft, The Netherlands, 2019. <https://www.nen.nl/nen-1087-2019-ontw-nl-253215>.
- [12] R.C.A. van Holsteijn, W.L. Li, TKI Project Monicair. Eindrapport WP1a - Resultaten van een monitoring onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit- en energieprestaties van ventilatiesystemen in de woningbouw, Delft, The Netherlands, 2014.  
[https://www.monicair.nl/downloads/MONICAIR\\_Werkpakket](https://www.monicair.nl/downloads/MONICAIR_Werkpakket)



WP1a\_Eindrapport\_NL.pdf.

- [13] P. Jacobs, Openbaar eindrapport VentKook Ventilatiesysteem met goede kookafzuiging, Delft, The Netherlands, 2018. <https://projecten.topsectorenergie.nl/storage/app/uploads/public/5c8/683/2e9/5c86832e9f0d8059461253.pdf> (accessed November 26, 2021).
- [14] P. Jacobs, O. Vijlbrief, H.J.M. Cornelissen, Openbaar eindrapport TKI Efficiënte kookapparatuur als een service, (2020) 40. <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3Af37fc65e-cdcf-48a7-97da-b909e7e047e8> (accessed November 26, 2021).
- [15] O.C.G. Adan, On the fungal defacement of interior finishes, PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, 1994. <https://research.tue.nl/en/publications/on-the-fungal-defacement-of-interior-finishes>.
- [16] W. Kornaat, W. Borsboom, T. Kleinepier, R. van Strien, Vocht en schimmelvorming in woningen, Delft, The Netherlands, 2020. <https://www.woningmarktbeleid.nl/documenten/publicaties/2020/11/30/onderzoek-vocht-en-schimmelvorming-in-woningen>.
- [17] J. Pekkanen, A. Hyvärinen, U. Haverinen-Shaughnessy, M. Korppi, T. Putus, A. Nevalainen, Moisture damage and childhood asthma: a population-based incident case-control study, *Eur. Respir. J.* 29 (2007) 509–515. <https://doi.org/10.1183/09031936.00040806>.
- [18] RIVM, GGD-richtlijn medische milieukunde Schimmel- en vochtproblemen in woningen, Bilthoven, The Netherlands, 2012. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609300022.pdf>.
- [19] World Health Organization, Guidelines for indoor air quality - Selected Pollutants, Copenhagen, Denmark, 2010. [www.euro.who.int](http://www.euro.who.int) (accessed November 12, 2021).
- [20] J. van Dongen, H. Vos, Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland, Delft, The Netherlands, n.d. [https://www.volksgezondheidenzorg.info/sites/default/files/tno-rapport\\_gezondheidsaspecten\\_van\\_woningen.pdf](https://www.volksgezondheidenzorg.info/sites/default/files/tno-rapport_gezondheidsaspecten_van_woningen.pdf).
- [21] K.B. Rumchev, J.T. Spickett, M.K. Bulsara, M.R. Phillips, S.M. Stick, Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children, *Eur. Respir. J.* 20 (2002) 403–408. <https://doi.org/10.1183/09031936.02.00245002>.
- [22] Gezondheidsraad, Vluchtige organische stoffen uit bouwmaterialen in verblijfsruimten; publicatie nr 2000/10, Den Haag, The Netherlands, 2000.
- [23] World Health Organization, WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, Bonn, Germany, 2021. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (accessed November 26, 2021).
- [24] World Health Organization, Air Quality Guidelines. Global update 2005, World Heal. Organ. (2006) 484. E90038.pdf (accessed November 26, 2021).
- [25] P. Jacobs, E.C.M. Hoes-van Oeffelen, O. Vijlbrief, W. Kornaat, Openbaar eindrapport TKI Be Aware Bewustwording van binnenluchtkwaliteit in woningen: bronnen en effectieve energie-efficiënte interventie strategieën, TNO, Delft, The Netherlands, 2020. <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A2b40ecf6-f819-4fbb-93a9-514799c27568> (accessed November 26, 2021).
- [26] VLA, Onderhoudsnorm woningventilatie, Zwolle, The Netherlands, 2017.

- [27] RIVM, Radon en thoron in Nederlandse woningen vanaf 1930; RIVM Rapport 2015-0087, Bilthoven, The Netherlands, 2015.  
<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0087.pdf>.
- [28] Rijksoverheid, Isolatiemaatregelen woningen, 1982-2018 | Compendium voor de Leefomgeving, (n.d.). <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0383-isolatiemaatregelen-woningen> (accessed November 26, 2021).
- [29] M.G.L.C. Loomans, J.L.M. Hensen, Natuurlijke ventilatie voor vrije koeling - kort overzicht van de stand van zaken, *Bouwphysica*. 27 (2016) 17–21.  
<https://research.tue.nl/en/publications/natural-ventilation-for-free-cooling-short-overview-of-the-status> (accessed November 26, 2021).
- [30] A.C. Boerstra, J. van Hoof, H. Weele, ISSO 74 Thermische Behaaglijkheid, Rotterdam, The Netherlands, 2013.
- [31] F. Nicol, Temperature and sleep, in: L. Brotas, S. Roaf, F. Nicol, M. Humphreys (Eds.), *Wind. Rethink. Comf.*, NCEUB, Windsor, 2018: pp. 1003–1008.  
[https://windsorconference.com/wp-content/uploads/2019/04/W18\\_PROCEEDINGS-compressed.pdf](https://windsorconference.com/wp-content/uploads/2019/04/W18_PROCEEDINGS-compressed.pdf) (accessed November 12, 2021).
- [32] L. Lan, K. Tsuzuki, Y.F. Liu, Z.W. Lian, Thermal environment and sleep quality: A review, *Energy Build.* 149 (2017) 101–113.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.043>.
- [33] L. Peeters, R. de Dear, J. Hensen, W. D'haeseleer, Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation, *Appl. Energy*. 86 (2009) 772–780. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2008.07.011>.
- [34] Y.M. Ivanova, H. Pallubinsky, R. Kramer, W. van Marken Lichtenbelt, The influence of a moderate temperature drift on thermal physiology and perception, *Physiol. Behav.* 229 (2021) 113257. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSBEH.2020.113257>.
- [35] ISO, ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment; Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, International Organization for Standardization, 2005.
- [36] Bouwbesluit 2012 | Bouwbesluit Online, (n.d.).  
<https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012> (accessed November 12, 2021).
- [37] BREEAM, Daglichttoetreding - BREEAM-NL richtlijn, (n.d.).  
<https://richtlijn.breeam.nl/credit/daglichttoetreding-1134> (accessed November 26, 2021).
- [38] LEED, LEED v4 HOMES DESIGN AND CONSTRUCTION Includes LEED BD+C: Homes and Multifamily Lowrise LEED BD+C: Multifamily Midrise, 2019.  
[https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED\\_v4\\_Homes\\_07.25.19\\_current.pdf](https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED_v4_Homes_07.25.19_current.pdf) (accessed November 26, 2021).
- [39] Well Building, Light; Well v2 pilot, Q4 2021, 15 (2021).  
<https://doi.org/10.1038/NRN3743>.
- [40] NEN, NTA 8778:2012 nl Harmonisatie Begrippenkader - Binnenmilieu in woningen, Delft, The Netherlands, 2012. <https://www.nen.nl/nta-8778-2012-nl-169374> (accessed November 26, 2021).
- [41] Nederlands Normalisatie Instituut, NEN-EN 12464-1:2021 Licht en verlichting - Werkplekverlichting - Deel 1: Werkplekken binnen, (2021). <https://www.nen.nl/nen-en-12464-1-2021-en-286866> (accessed November 26, 2021).

- 1 [42] NEN, NEN-EN 17037:2018 nl Daglicht in gebouwen, Delft, The Netherlands, 2018.  
2 <https://www.nen.nl/nen-en-17037-2018-nl-256823> (accessed November 26, 2021).
- 3 [43] B. Hasselaar, Active House Specificaties 3e Editie, Den Haag, The Netherlands, 2021.  
4 <https://www.activehousenl.info/wp-content/uploads/2018/10/Def-AH-Specificaties.pdf>  
5 (accessed November 12, 2021).
- 6 [44] BINK, Lichttoetredingsfactor LTA, Bink Help. (n.d.).  
7 <https://help.dgmr.nl/bink9/lichttoetredingsfactor-lta.html> (accessed November 28,  
8 2021).
- 9 [45] DGMR, Tabellarium, Nijmegen, 2005.  
10 <http://www.bouwvraagstuk.nl/bouwfysica/tabellen/tabellarium.pdf>.
- 11 [46] World Health Organization, Night noise guidelines for Europe, Copenhagen, Denmark,  
12 2009. [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf)  
13 (accessed November 12, 2021).
- 14 [47] NEN, Geluidwering in gebouwen - Specificatie en beoordeling van de kwaliteit NEN  
15 1070:1999 nl, Delft, The Netherlands, 1999. [https://www.nen.nl/nen-1070-1999-nl-](https://www.nen.nl/nen-1070-1999-nl-35516)  
16 35516 (accessed November 28, 2021).
- 17 [48] NEN, Geluidwering in gebouwen - Bepalingsmethoden voor de grootheden voor  
18 geluidwering van uitwendige scheidingsconstructies, luchtgeluidisolatie,  
19 contactgeluidisolatie en geluidniveaus veroorzaakt door installaties NEN 5077:2019 nl,  
20 Delft, The Netherlands, 2019. <https://www.nen.nl/nen-5077-2019-nl-254078> (accessed  
21 November 28, 2021).
- 22
- 23