



Gezonde businesscase voor biobased bouwen



Inhoudsopgave

1	Samenvatting	3
2	Biobased Bouwen	5
	Achtergrond	5
	Aanpak onderzoek	6
3	Biobased Het Bouwproces	7
	Het circulaire bouwproces voor biobased bouwen	7
	Lineair ontwerpproces	7
	Circulair ontwerpproces	7
4	Biobased Gezond Bouwen	9
	Bouwbiologische principes voor een gezond gebouw	10
	Certificaten natuurlijk en gezond bouw materiaal	10
5	Biobased Bouwmethodiek	11
5.1	Dampopen bouwen versus dampdicht bouwen	11
5.2	Dampdicht bouwen	11
5.3	Dampopen bouwen	11
5.4	Temperatuur in woningen	12
6	Biobased Low-tech Bouwen	15
	Randvoorwaarden combinatie biobased en low-tech bouwen	15
	Milieu-impact van installaties	15
	Kosten van installaties	16
	Low-tech bouwen en het huidige beleid	16
	Voldoen aan TOJuli met biobased bouwen	16
6.1.1	Gebruik van gelijkwaardigheidsbepaling	17
6.2	Modelleren van installatiebehoefte	17
7	Biobased Low-tech Economy	18
7.1	Kostenvoordelen biobased materiaalgebruik	18
7.2	Biobased woning zonder ventilatie	19
7.3	Biobased woning zonder ventilatie	20
7.4	Kantoorgebouw 2226 geen installaties	21
7.5	Strohuis Dornbirn	22
7.6	Kapstee	22
8	Advies	23
8.1	Advies aan beleidsmakers	23
8.2	Advies opdrachtgevers	23
8.3	Advies aan opdrachtnemers	23



1 Samenvatting

2

3 Aanleiding

4

5 RVO heeft Aveco de Bondt gevraagd onderzoek te doen naar de voordelen van
6 biobased bouwen in relatie tot gezondheid, binnenklimaat en de impact daarvan
7 op de businesscase. Momenteel ervaart de markt biobased bouwen nog als
8 kostenverhogend ten opzichte van traditioneel. Deze kostenverhoging hoeft er
9 niet te zijn wanneer je op een andere manier kijkt naar het gebouwontwerp, het
10 ontwerpproces en de *Total Cost of Ownership*. In dit rapport beschouwen wij deze
11 aspecten op integrale wijze en bieden daarmee een handvat voor een gezonde
12 businesscase voor biobased bouwen.

13

14 Conclusies

15

16 **Gebruikers van gebouwen presteren beter in een gezonde omgeving.** Biobased
17 materialen zoals vlas, stro, houtvezel en natuurlijke afwerkmaterialen zoals leem
18 en kalk dragen hieraan bij doordat:

- 19 • Zij in veel gevallen geen schadelijke stoffen uitstoten die het
20 binnenklimaat vervuilen.
- 21 • De luchtvochtigheid binnen een aangename bandbreedte van 40 en 60%
22 houden. Een te vochtige ruimte leidt tot benauwdheid en een te droge
23 ruimte tot hoofdpijn bij gebruikers.
- 24 • Afwerkmaterialen zoals leem en kalkstuc werken antibacterieel en zijn
25 schimmelwerend. Leemstuc kan fijnstof uit de lucht opnemen en
26 afbreken.

27

28 **Biobased materialen zijn gezonder voor vakmensen tijdens de productie, bouw en**
29 **sloop. Vakmensen hoeven hierdoor minder persoonlijke beschermingsmiddelen te**
30 **dragen dan bij de verwerking van traditionele materialen zoals PIR, PUR en**
31 **minerale wol.**

32

33

34

35

36

37



38

39

40 **Biobased bouwen draagt bij aan gezonde woningen en het benutten van hun**
41 **bouwfysische eigenschappen maakt het mogelijk om low-tech te bouwen.**

42 Biobased materialen zijn in staat om warmte te bufferen en het binnenklimaat te
43 reguleren. Hierdoor is het mogelijk om low-tech, met minder of zelfs geen
44 installaties, te bouwen zonder dat er wordt ingeleverd op het comfort van de
45 woningen.

46

47 **Een van de eigenschappen van biobased materialen is de vochtregulerende**
48 **werking. Dit heeft invloed op de faseverschuiving, temperatuurregulatie en**
49 **warmteopname van de woning. Door te rekenen met deze bouwfysische aspecten**
50 **kan de woning koel worden gehouden met een minimum aan installaties (een low-**
51 **tech installatieconcept).**

52

53 De randvoorwaarden voor de combinatie tussen biobased en low-tech bouwen
54 zijn:

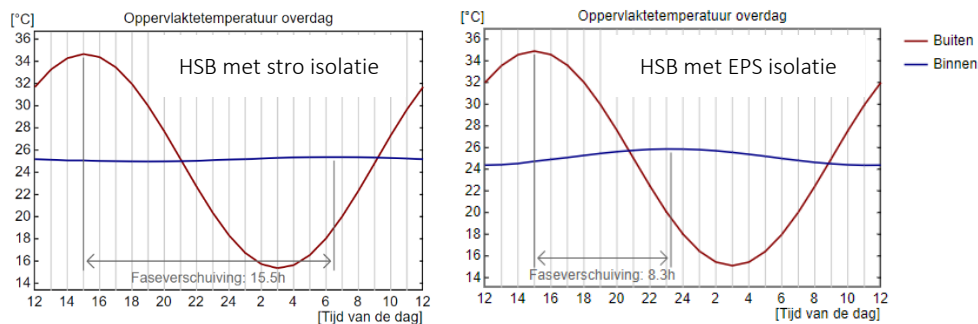
- 55 • De eigenschappen van biobased materialen zijn leidend in het
56 ontwerpproces voor alle disciplines
- 57 • Alle disciplines zitten vanaf het begin aan de ontwerptafel
- 58 • Een dampopen biobased constructie
- 59 • Natuurlijke en zomernachtventilatie (bijv. sensorgestuurd)
- 60 • De zon als warmtebron benutten
- 61 • Hoge isolatiewaarden toepassen



62
63
64

65 **Biobased materialen hebben in veel gevallen een langere faseverschuiving, hogere**
66 **temperatuuramplitudedemping en hogere interne opslagcapaciteit. Hiermee**
67 **beschermen ze de constructie tegen oververhitting.** Dit effect op de temperatuur
68 van de binnenzijde van de gevel is goed te zien in onderstaande grafieken, waar
69 een HSB-gevel met stro-isolatie en een HSB-gevel met EPS-isolatie vergeleken
70 worden. De stro-opbouw heeft een faseverschuiving van 15,5 uur, en is houdt
71 daarmee de warmte bijna 2x zo lang buiten als de EPS-opbouw met 8,3 uur. Beide
72 gevels hebben een isolatiewaarde (Rc) van 4,8 conform NTA8800.

73



75

76 Hieronder een overzicht van de faseverschuiving, temperatuur amplitudedemping
77 en interne opslagcapaciteit van verschillende isolatiematerialenaantal
78 isolatiematerialen.

79

Materiaal	Dikte (mm)	Rd-waarde (m²K/W)	Faseverschuiving (uren)	Temperatuur amplitude demping (1/TAV)	Interne opslagcapaciteit (KJ/m²K)
Houtvezel isolatie	195	4,8	13	15,5	34
Stro isolatie (ingeblazen)	265	4,8	12	12	30
Cellulose isolatie	180	4,8	6,5	2,7	8,5
Steenwol	168	4,8	6	2,3	7,2
Vlaswol isolatie	185	4,8	5,1	1,8	5,3
EPS	168	4,8	4,1	1,5	3,9
PIR	130	4,8	3,2	1,3	2,8

80
81

82
83
84

85 **De kostenvoordelen door te bouwen zonder installaties kunnen oplopen tot 50%**
86 **over de gehele levenscyclus van een gebouw.** Het principe van low-tech bouwen is
87 erop gericht om technische installaties voor verwarming, koeling en ventilatie te
88 verminderen.

89

90 **Het gebruik van een woning is goedkoper wanneer het binnenklimaat niet**
91 **afhankelijk is van installaties maar vanuit het ontwerp door biobased materialen**
92 **en sensor gestuurde gevelopeningen wordt geregeld.** Het verminderen van
93 installatie-vervangingen en exploitatiekosten zorgen voor een lagere Total Cost of
94 Ownership (TCO).

95

96 **De methode voor het bepalen van de energieprestatie van gebouwen neemt**
97 **momenteel onvoldoende het vochtregulerend en warmteaccumulerend**
98 **vermogen van biobased materialen mee in de berekening.** Hierdoor worden lichte
99 biobased constructies afwaardeert in de bepalingen over energie, koeling en de
100 milieuprestatie. Andere landen in Europa hebben deze natuurlijke eigenschappen
101 van biobased materialen wel al sinds meer dan 10 jaar in de normering
102 opgenomen om voor alle bouwmaterialen een gelijk speelveld te creëren. Het
103 volledige potentieel van biobased materialen kan dan inzichtelijk gemaakt en
104 benut worden. Door met de hygroscopische eigenschappen van biobased
105 materialen te kunnen rekenen kan de beheersing van het binnenklimaat zonder
106 installaties gesimuleerd worden. Wanneer deze systeemverandering ook in
107 Nederland heeft plaatsgevonden, versnelt dit de transitie naar biobased woningen
108 zonder installaties met een gezond en natuurlijk binnenklimaat.

109

110

111

112



113 2 Biobased Bouwen

114

115 Achtergrond

116 De Rijksoverheid heeft als doelstelling om tot aan 2030 ruim 900.000 woningen te
117 bouwen. Deze woningen moeten betaalbaar zijn en daarnaast staat de bouw voor
118 een grote opgave om als sector de milieu-impact te verlagen. Uit recent
119 onderzoek blijkt dat de inzet van biobased producten een effectieve strategie is
120 voor het verlagen van de milieu-impact naar een MPG van 0,5¹. Voor de transitie
121 naar een circulaire bouweconomie wordt biobased bouwen daarom steeds
122 belangrijker om klimaat- en circulariteitsdoelen te behalen.

123

124 De transitie naar biobased bouwen is een zoektocht naar oude kennis. Al sinds het
125 bestaan van de mensheid wordt er met natuurlijke materialen gebouwd. Vroeger
126 was biobased bouwen in Nederland heel gebruikelijk, zo had de gemiddelde
127 woning in 1800 een houtskelet met houten jukken van staanders en balken met
128 wanden van leem of eikenhouten planken². Concrete voorbeelden van
129 bouwmethoden uit die tijd zijn de Amsterdamse grachtenpanden en verschillende
130 monumentale panden zoals het Rijksmuseum.

131

132 Echter laat de huidige realiteit iets anders zien. Momenteel is het aandeel
133 biobased materiaal in de bouwsector erg laag. Onderzoek heeft laten zien dat dit
134 7% van het huidige volume betreft en slechts 2% van het gewicht aan
135 bouwmaterialen dat in gebruik is³. Nederland is een mineraal land door de
136 aanwezigheid van meerdere rivieruitmondingen en zorgde de productie van
137 baksteen om te bouwen met regionale grondstoffen. Later wordt beton voor de
138 woningbouw een interessant verdienmodel in onze economie omdat de
139 opschaling van het snel bouwen van woningen vanaf de jaren 1950 noodzakelijk
140 was. Wel was er ooit ook in Nederland een houtbouw traditie en zijn bijna alle
141 gebouwen voor 1950 gebouwd in een hybride constructie. Buitengevels uit
142 bakstenen gecombineerd met houten vloeren, trappen en daken. We moeten als

143 land dus vooruit gaan naar vroeger om het vertrouwen in natuurlijke materialen
144 en de ambachtelijke verwerking te herstellen.

145

146 De markt ervaart biobased bouwen momenteel als duurder dan traditionele bouw
147 en dit vormt een barrière in de opschaling van biobased bouwen. De oorzaak
148 hiervan is meestal een traditioneel ontwerp te maken en dit dan te willen 1-op-1
149 transformeren naar een houten en biobased ontwerp. Hier gaat het mis omdat
150 een biobased gebouw heeft een andere detaillering als een stalen of betonnen
151 gebouw waardoor dubbel werk wordt verzet wat de kosten verhoogt. Om op te
152 schalen is het van belang dat we biobased gebouwen vanuit het detail ontwerpen.
153 Door deze andere manier van benaderen en het onderzoeken welke voordelen
154 deze materialen met zich meebrengen kunnen wij snel en kostenneutraal
155 opschalen naar om toekomstbestendige, gezonde en milieuvriendelijke woningen
156 te bouwen.

157



158

¹ W/E adviseurs (2023). Verkenning MPG-score ≤ 0,5

² Lintsen (1993) Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890.

³ NIBE (2019). Potentie biobased materialen in de bouw



159 Aanpak onderzoek

160 Er is al veel onderzoek gedaan binnen Nederland en andere landen naar biobased
161 bouwen. In dit onderzoek steunen we op (wetenschappelijk) onderzoek dat is
162 gedaan naar de effecten van biobased materialen op het binnenklimaat van
163 gebouwen en de gezondheidsvoordelen die daarbij komen kijken. Hiervoor
164 gebruiken we verschillende databronnen. Dit zijn zowel onderzoeken in
165 Nederland, maar we maken ook gebruik van onderzoeken en instituten in het
166 buitenland, waaronder het Fraunhofer Instituut, die een stuk verder zijn op het
167 gebied van biobased bouwen.

168

169 Daarnaast maken we ook gebruik van praktijkvoorbeelden uit binnen- en
170 buitenland. Op deze manier complementeren we wetenschappelijke kennis met
171 voorbeelden uit de praktijk die laten zien dat het anders kan. Deze inzichten
172 vertalen we naar een business case en laten hiermee zien hoe een biobased
173 gebouw kan concurreren met een traditioneel ontwerp. Vervolgens zetten we de
174 technische kennis om tot praktische en concrete adviezen richting beleidsmakers,
175 opdrachtgevers en de markt.

176

177 De onderzoeksvraag die in dit onderzoek centraal staat is: Hoe komen we tot een
178 gezonde businesscase voor biobased bouwen voor nieuwbouwwoningen?

179

180



181





182 3 Biobased | Het Bouwproces

183

184 Het circulaire bouwproces voor biobased bouwen

185 Na het formuleren van de visie en strategie, is het belangrijk om deze te vertalen
186 naar een concreet concept voor een biobased gebouw. Op conceptniveau moeten
187 er keuzes gemaakt worden over bijvoorbeeld welke bouwsystemen gebruikt
188 worden? Ga je bijvoorbeeld voor massief hout, HSB of een hybride constructie? Bij
189 het kiezen van een concept is het nodig om kennis vanuit verschillende te
190 combineren vanuit verschillende disciplines. Dit komt doordat materialen
191 bepaalde specifieke eigenschappen en specificaties hebben. Deze kennis is vaak
192 verspreid over verschillende stakeholders in het ontwerpproces, zoals aannemers,
193 leveranciers, architecten en ingenieurs. Om deze inzichten te bundelen en
194 vroegtijdig de juiste keuzes te maken is daarom een ander ontwerpproces nodig
195 dan wat momenteel veelal wordt gebruikt in bouwprojecten.

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

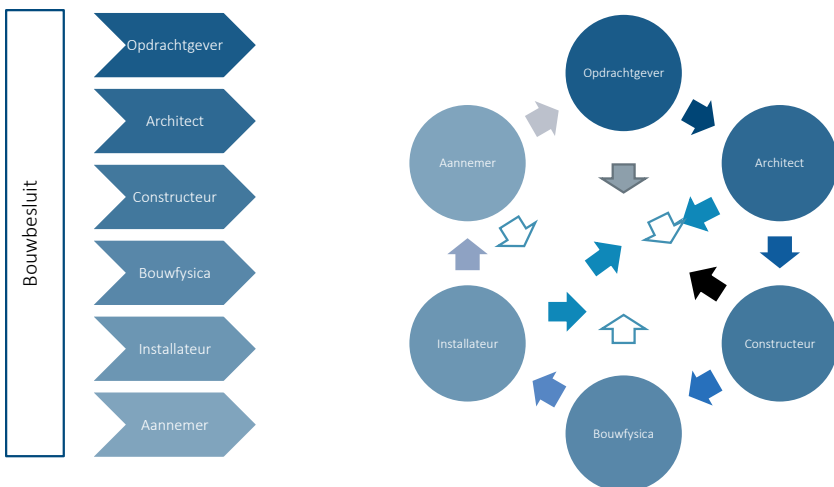
211

212

213

214

215



216 Lineair ontwerpproces

217 Over het algemeen richt de traditionele bouw zich op het voldoen aan de
218 minimumeisen van wet- en regelgeving. Dit zijn de eisen zoals benoemd in het
219 bouwbesluit, zoals het behalen van de gewenste isolatiewaarden en om ervoor te
220 zorgen dat er voldoende frisse lucht is in de woningen. In het ontwerpproces zien
221 we dan vaak dat de architect op basis van het Programma van Eisen (PVE)
222 woningen schetst, de constructeur geeft aan wat er nodig is om deze constructief
223 te laten voldoen. Vervolgens geeft bouwfysica aan met welke isolatiediktes op
224 welke vlakken voldaan wordt aan de minimumeisen in het bouwbesluit. Daarna
225 komt de installateur om verwarmings-, koel-, en ventilatie-installaties te
226 ontwerpen. Wederom met als uitgangspunt het voldoen aan wet- en regelgeving.
227 Dit lineaire proces is monodisciplinair en benut niet alle potentieel van het project
228 en het gebouwontwerp. Deze aanpak wordt veroorzaakt door de wijze waarop
229 projecten worden uitgevraagd door overheden en projectontwikkelaars, in
230 combinatie met het wettelijk kader en risicomijdende ontwerp strategieën. De
231 verschillende disciplines bouwen voort op de uitgangspunten van hun voorganger
232 in het lineaire ontwerpproces.

233

234 Circulair ontwerpproces

235 Biobased bouwen begint met een heldere visie en strategie die zich richt op
236 materialen. Materialen en hun eigenschappen zijn van cruciaal belang omdat deze
237 invloed hebben op factoren zoals de milieuprestatie van het gebouw, het
238 binnenklimaat en de bouwkosten. Wanneer een gebouw vanaf de eerste
239 penstreep is ontworpen als een biobased gebouw, is de kans op succes het
240 grootst.

241

242

243

244

245

246

247

“De aannemer en leveranciers moeten eerder aan tafel om tot de ontwerprandvoorwaarden te komen. Dat resulteert in de spelregels die je gebruikt tijdens de rest van het ontwerpproces”

- Emile van Vught, FAAM Architecten



248 Een integraal of circulair bouwproces betekent dat de disciplines samenwerken
249 om de puzzel die in het project schuilt op te lossen en zo maximale waarde
250 creëren. Een constructeur kan bijvoorbeeld bijdragen aan een stabiele
251 temperatuur en luchtvochtigheid door bepaalde materialen voor de wanden te
252 kiezen. De keuze van het bouwsysteem door de aannemer heeft een raakvlak met
253 bouwfysica en installaties. In een dampopen bouwsysteem zijn bijvoorbeeld
254 minder installaties nodig, wat de installatieadviseur uitdaagt uit om zo low-tech
255 mogelijk te ontwerpen. Passieve en low-tech oplossingen ontstaan veelal vanuit
256 architectonisch ontwerp door rekening te houden met zon-oriëntatie en
257 zoninstraling. Het is mogelijk om zeer aangename, gezonde en energiezuinige
258 gebouwen te realiseren waarbij de klimaatbeheersing grotendeels door de
259 materialen in het casco en het gebouwoontwerp plaatsvinden. In dat geval fungeert
260 het gebouwoontwerp als klimaatmachine. Dit vraagt om een vroege samenwerking
261 tussen de ontwerpdisciplines wat een grotere ontwerpinvestering in een fase
262 waarin er nog geen zekerheid is over het winnen of bouwen van het project,
263 waardoor het risico hoger wordt.

264
265 We zijn het niet gewend met andere materialen te werken en ontwerpen en
266 duurzaamheid is nog niet lang een relevant ontwerpuitgangspunt; het proces is
267 daar nog niet op aangepast. Bij aanbestedingen met een grote
268 duurzaamheidsimpact op de selectie en gunning zien we dat deze circulaire
269 integrale aanpak regelmatig wel toegepast wordt omdat het een vereiste is om te
270 winnen en te bouwen. Wanneer deze aanpak niet beloofd wordt kiezen veel
271 partijen voor een risicomijdende strategie en richten ze zich op het voldoen aan
272 minimum eisen. De overheid heeft met het wettelijk kader rond bouwprojecten en
273 de uitgifte van bouwgrond een belangrijke rol bij het benutten van het potentieel
274 van bouwprojecten zonder dat de prijzen voor de consument stijgen. Er is echter
275 wel een systeemverandering nodig in het ontwerpproces wat risico's met zich
276 meebrengt voor de bouwende partijen. Om deze transitieperiode te versnellen en
277 de maximale waarde te bereiken, kan de overheid regelingen met
278 vangnetconstructies invoeren waarmee het risico tussen bouwer en overheid
279 gedeeld wordt.

280
281



282



283 4 Biobased | Gezond Bouwen

Gezond bouwen wordt steeds belangrijker omdat mensen hun grootste deel van hun tijd in binnenruimtes zijn. Biobased bouwen vanuit een bouwbiologisch perspectief vermindert schadelijke stoffen in het binnenklimaat van gebouwen om een gezonde leefomgeving te creëren. Biobased bouwmaterialen zijn hiervoor uiterst geschikt omdat deze hoofdzakelijk uit natuurlijke grondstoffen gemaakt maar toch moet de bouwbioloog hier goed naar toeslagstoffen kijken.

284

285 Prettig en comfortabel wonen doen we in een omgeving die ons de kracht geeft.
286 Hier moet voldoende frisse lucht en licht zijn om onze activiteiten uit te voeren en
287 onze energieniveaus op peil te houden. Het ontwerp van de woning is hierin
288 bepalend. Dit heeft namelijk invloed op het binnenklimaat van de woning waar wij
289 veel tijd in doorbrengen. Dit hoofdstuk gaat in op de factoren die bijdragen aan
290 een gezond binnenklimaat: temperatuur, frisse lucht, luchtvochtigheid, licht en
291 geluid.

292

293 Het Instituut voor Bouwbiologie en Duurzaamheid heeft hiertoe 25 richtlijnen
294 opgesteld. Hoewel het hoge ambities vereist om alle 25 richtlijnen te realiseren,
295 kunnen we voor de woningbouwopgave waar we momenteel in Nederland voor
296 staan veel leren van deze benadering. Verschillende onderzoeken laten namelijk
297 zien dat een gezonde werk en leefomgeving een positief effect hebben op
298 prestaties van mensen.

299

300 *“Een gezond gebouw is altijd een duurzaam gebouw
301 maar een duurzaam gebouw is niet altijd gezond”*

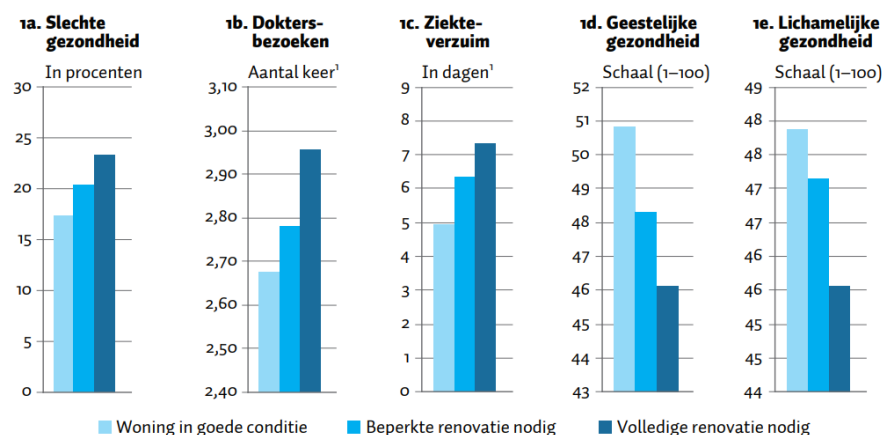
302 Max Drath, Specialist biobased bouwen | architect & bouwbioloog

303 Aveco de Bondt

304

305

306



307 ¹ In de afgelopen drie maanden

308 Figuur 2: Woningonderhoud en gemiddelde gezondheidsuitkomsten⁴

309

310 Bovenstaande cijfers laten zien dat de omgeving waarin wij veel tijd doorbrengen
311 effect heeft op de gezondheid van de mens. Zo gaan mensen in de
312 leeftijdscategorie 31 tot 40 jaar en 41 en 50 jaar circa 25% vaker naar de dokter
313 wanneer zij in een slecht onderhouden woning wonen. Bij de leeftijdscategorie
314 vanaf 64 jaar is dat 24% bij een matig onderhouden woning en zelfs 77% meer bij
315 een slecht onderhouden woning⁵.

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

⁴ Palacios et al. (2020). The impact of housing conditions on health outcomes






⁵ Eichholtz (2020). Binnenblijven schaadt de gezondheid








326 Bouwbiologische principes voor een gezond gebouw

327




BINNENKLIMAAT

-  Irriterende en schadelijke stoffen vermijden, en zorgen voor voldoende frisse lucht
-  Schadelijke schimmels, gisten, bacteriën, stof en allergenen vermijden
-  Bouwmaterialen gebruiken met een neutrale of prettige geur
-  Zorgen voor zo min mogelijk elektromagnetische velden
-  Voorkeur geven aan vloer- of wandverwarming

BOUWMATERIALEN EN INRICHTING

-  Toepassen van natuurlijke materialen zonder schadelijke stoffen en met zo min mogelijk radioactiviteit
-  Een goede verhouding tussen warmte-isolatie, warmteopslag, oppervlakte- en luchttemperatuur
-  Materialen toepassen die zorgen voor een goede luchtvochtigheidsbalans
-  Materialen gebruiken waarbij zo min mogelijk vocht vrijkomt
-  Goede akoestiek van de ruimte en geluidsisolatie [inclusief infrageluid]

ONTWERP EN ARCHITECTUUR


-  Aandacht besteden aan harmonieuze verhoudingen en vormen
-  Zintuiglijke indrukken bevorderen, zoals zien, horen, ruiken en aanraken
-  Licht en kleuren op een natuurlijke manier toepassen. En verlichting gebruiken die niet knippert


328

329


330 Certificaten natuurlijk en gezond bouw materiaal


331 Aanvullend bestaan er ook meerdere Europese er ook meerdere Europese
332 certificaten die aantonen dat materialen geen vervuילend effect hebben op het
333 binnenklimaat hebben. Een voorbeeld hiervan is het Nature Plus certificaat dat al
334 aan meer dan 600 Europese bouwproducten een kwaliteitslabel heeft toegekend.
335 Dit label heeft hoge kwaliteitseisen en bestaat uit drie onderdelen: (1) gezondheid,
336 (2) milieu-impact en (3) verkrijgbaarheid van materialen. De gezondheid van
337 materialen wordt getest in een laboratorium op het uitstoten van VOS aan de
338 hand van Europese criteria. Certificering is een belangrijk aspect in de transitie
339 naar gezonde gebouwen, aangezien certificering een garantie geeft dat materialen
340 niet vervuילend zijn en daarmee risico's van opdrachtgevers vermindert


 Rekening houden met fysiologische en ergonomische inzichten


 Gebruikmaken van regionale bouwbedrijven

MILIEU, ENERGIE EN WATER

 Energieverbruik verminderen en duurzame energiebronnen gebruiken


 Tijdens het bouwen en renoveren negatieve gevolgen voor het milieu vermijden


 Geen roofbouw op de natuur plegen. Flora en fauna beschermen


 Gebruikmaken van regionale bouwbedrijven. Materialen gebruiken met zo min mogelijk milieubelasting


 Voor optimale drinkwaterkwaliteit zorgen


ECO-SOCIALE LEEFOMGEVING

 Bij de infrastructuur op een goede verdeling letten: korte afstanden tot de werklocatie, openbaar vervoer, scholen en winkels

 De leefomgeving menswaardig en milieuvriendelijk inrichten

 Zorgen dat er voldoende groene gebieden zijn in dorpen en steden

 Regionale economie en zelfvoorziening stimuleren. Regionale dienstverleners en leveranciers gebruiken

 Bouwgrond kiezen die bij voorkeur niet belast is met verontreinigde stoffen, straling of lawaai.

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

“Certificering van gezonde materialen is een belangrijk aspect in de transitie naar gezonde gebouwen. Dit geeft een garantie dat materialen niet vervuילend zijn en vermindert het risico's van opdrachtgevers”

Tilmann Kramolisch, directeur Nature Plus



351 **5 Biobased | Bouwmethodiek**

352

353 In dit hoofdstuk beschouwen we verschillende eigenschappen van biobased
354 bouwmaterialen die we kunnen benutten in de bouwmethodiek.

355

356 **5.1 Dampopen bouwen versus dampdicht bouwen**

357 In Nederland is dampopen bouwen een nog vrij onbekende bouwmethode: alle
358 grootschalige bouwprojecten worden dampdicht gebouwd. In tegenstelling tot
359 traditionele materialen beschikken biobased materialen over eigenschappen die
360 dampopen bouwen mogelijk maken. In de volgende alinea's gaan we nader in op
361 het verschil tussen dampopen en dampdicht bouwen, en beschrijven we de
362 voordelen die een dampopen constructie bieden voor het binnenklimaat.

363

364 **5.2 Dampdicht bouwen**

365 Vanaf de jaren 1975 zijn we in Nederland woningen gaan isoleren en de
366 eisen rondom isoleren zijn sinds de jaren 2000 steeds strenger geworden. Het
367 goed afdichten van kieren en naden zorgt voor een betere energieprestatie van de
368 woning maar voorkomt dat overtollig vocht niet naar buiten afgevoerd wordt door
369 de kieren. Daarnaast zorgt het toepassen van luchtdichte isolatieoplossingen zoals
370 PIR, PUR of steenwol met een dampdichte folie er voor dat lucht en waterdamp
371 niet door de constructie afgevoerd wordt. Dit is gunstig voor de energieprestatie
372 van een woning aangezien er ook minder warmteverlies ontstaat, maar kan
373 nadelig zijn voor de gezondheid van de gebruikers van de woning wanneer er te
374 weinig luchtverversing is of waterdampconcentraties te hoog worden en
375 schimmelvorming optreedt.

376

377 Om dampdichte woningen gezond te houden, worden steeds meer installaties
378 voor ventilatie toegepast wat leidt tot een verhoging van de bouw- onderhouds-
379 en exploitatiekosten en vraagt om het toepassen van energie-intensieve
380 materialen zoals staal, koper, en kunststof.

381

382 **5.3 Dampopen bouwen**

383 Voordat we de huizen in Nederland gingen isoleren bouwden we alle woningen
384 dampopen. De materialen baksteen, kalkpleister en hout zijn in staat om

385 waterdamp op te nemen en te transporteren. Hierdoor kan waterdamp zich zowel
386 van binnen naar buiten als van buiten naar binnen verplaatsen door de constructie
387 heen. Bij een dampopen gebouw kan het overtollig waterdamp dat vrijkomt door
388 activiteiten van gebruikers zoals ademen, koken of douchen door de constructie
389 naar buiten trekken zonder dat de isolatiewaarden van de woning negatief
390 worden beïnvloed. De constructie werkt hierdoor als een buffer voor waterdamp
391 waardoor een zeer evenwichtig binnenklimaat ontstaat met een gezonde relatieve
392 luchtvochtigheid van 40% tot 60%.

393

394 De constructieopbouw is belangrijk bij dampopen bouwen. Van binnen naar
395 buiten moeten dampopen en capillair actieve materialen worden gebruikt die
396 vocht uit de lucht onttrekken en transporteren. Diverse materialen zijn in
397 verschillende mate dampopen: de meest dampopen materialen moeten aan de
398 buitenzijde van de gevelopbouw toegepast worden zodat een damptransport naar
399 buiten geforceerd wordt. Dampopen materialen kunnen bijvoorbeeld hout,
400 houtwol, cellulose, vlas of stro zijn, maar ook minerale producten zoals leem of
401 kalk zijn hygroscopisch en kunnen het overtollige vocht uit de ruimte opnemen,
402 opslaan en transporteren. Er worden geen dampdichte folies toegepast in
403 dampopen constructies.

404

405 ***“Biobased materialen zijn dampopen en capillair***
406 ***actief. Daarmee zijn ze geschikt voor het reguleren***
407 ***van het binnenklimaat van woningen”***

408

408 *Max Drath, Specialist biobased bouwen | architect & bouwbioloog*
409 *Aveco de Bondt*

410

411 De bouwmeesters van vóór de systeembouwrevolutie hebben deze bouwfysische
412 eigenschappen bewust laten meewerken in het ontwerp van woningen. Een
413 concreet voorbeeld hiervan zijn de woningen uit de periode van de Amsterdamse
414 School waarbij bouwmeesters hebben geëxperimenteerd met verschillende diktes
415 van kalkpleister, variërend van 1,5 tot 4 centimeter of oude musea waar dikke
416 lagen kalkpleister zijn aangetroffen om een evenwichtig binnenklimaat te
417 realiseren voor de kunstcollecties. De constructie van het gebouw neemt in feite



418 de functie van een aantal klimaatinstallaties over. Wanneer wij in de hedendaagse
419 bouw met deze bouwfysische aspecten van de bouwmaterialen ontwerpen is het
420 mogelijk om minder installaties toe te passen. De duurdere constructie en hogere
421 ontwerpkosten zijn zo terug te verdienen door te besparen op de
422 installatiekosten. Daarnaast zit in de exploitatie- en onderhoudskosten van de
423 installaties zit nog een stuk extra kosten- en milieuwinst voor in de toekomst.
424
425 Het vochtregulerende effect van een dampopen woning werkt ook de andere kant
426 op. Bij een lage luchtvochtigheid in huis, zoals dat vaak in de winter het geval is
427 door het verwarmen van woningen en droge buitenlucht, kan het opgeslagen
428 waterdamp deels ook weer terug in de binnenruimte uitdampen. Hierdoor blijft in
429 een dampopen gebouw het vochtgehalte in de binnenruimte op een niveau van
430 50% relatieve luchtvochtigheid en ontstaat in feite een gezond gebouw dat op een
431 natuurlijke manier de vochtuithouding van het binnenklimaat zelf reguleert. Bij
432 een dampopen gebouw moet er overigens nog steeds geventileerd worden, maar
433 de ventilatiebehoefte is door het vochtregulerend vermogen van de constructie
434 wel aanzienlijk lager. Het vochtregulerend vermogen van dampopen constructies
435 wordt steeds belangrijker voor historische gebouwen aangezien deze ook steeds
436 energiezuiniger moeten worden, maar waarbij vochtophoping bij dampdichte
437 isolatiemethoden kunnen leiden tot schade aan deze gebouwen.

438

439 5.4 Temperatuur in woningen

440 Een prettige binnentemperatuur is belangrijk voor de gezondheid en het comfort
441 van gebruikers. Zowel een te hoge als een te lage temperatuur heeft een negatief
442 effect op aanwezig in de ruimte. Daarom zijn eisen aan de binnentemperatuur
443 vastgelegd in het bouwbesluit. Een te lage binnentemperatuur is een van de
444 grootste risico's voor het binnenklimaat in woningen, als gevolg van slechte
445 isolatie, inefficiënte verwarming en de sociaaleconomische status van de
446 gebruikers (VELUX, 2022; WHO, 2011). Met name sinds de recente energiecrisis is
447 dit probleem toegenomen. Te lage binnentemperaturen leiden tot een hogere
448 relatieve luchtvochtigheid, wat kan leiden tot schimmelgroei en een verslechtering
449 van de luchtkwaliteit (VELUX, 2022). Ook is de kans op verkoudheidsklachten en
450 neus, keel en andere bovenluchtweginfecties groter wanneer het koud is in een
451 ruimte en zich virussen gemakkelijker verspreiden in koude lucht (Dabisch et al.,

452 2020; VELUX, 2018; 2022). Tegelijkertijd kunnen mensen zich minder goed
453 concentreren in een te warme ruimte, en is productiviteit lager (VELUX, 2020).
454

455 Te hoge temperaturen in woningen, kantoorpanden en scholen zijn in onderzoek
456 in verband gebracht met hittestress, verhoogde bloeddruk,
457 ademhalingsproblemen, snellere overdracht van virussen en ziektes, slechtere
458 mentale gezondheid en verminderde concentratie (Tham et al., 2020). Dampdicht
459 bouwen kan ook leiden tot te hoge binnentemperaturen. Het gebruik van
460 dampdichte materialen zoals beton als constructiemateriaal, het gebruik van folies
461 en dampdichtdichte isolatiematerialen zoals EPS en PIR, kan ervoor zorgen dat de
462 warmte die zich in de constructie bevindt niet kan ontsnappen. Het gevolg is dat
463 binnenruimten opwarmen en wanneer dit te warm wordt, moet er gekoeld
464 worden. Hier worden installaties in de vorm van airconditioning aangebracht om
465 aan de TOJuli eis te voldoen, met een hoger energiegebruik en het gebruik van
466 schaarse metalen als gevolg. De materiaalkeuzes die tijdens het ontwerp worden
467 gemaakt zijn daarom van groot belang om temperatuuroverschrijding te
468 voorkomen. Om extreme temperaturen in een gebouw te voorkomen, zijn twee
469 eigenschappen van materialen essentieel: een lage warmteoverdracht en een
470 grote warmtebufferingcapaciteit.

471

472 Bufferen van waterdamp in dampopen biobased constructies

473 Dampopen constructies zijn in staat om waterdamp te bufferen en hebben
474 daarmee twee belangrijke voordelen ten opzichte van dampdichte woningen: (1)
475 waterdamphuishouding in woningen reguleren en (2) daarmee beter bestendig
476 zijn tegen hoge temperaturen dan dampdichte gebouwen.

477

478 Biobased materialen zijn dampopen en capillair-actief materialen waardoor ze
479 hygroscopisch kunnen reguleren. Deze twee eigenschappen maken het mogelijk
480 om onder andere vocht (waterdamp) uit de lucht te onttrekken. Dit zorgt voor een
481 regulerend effect en houdt de luchtvochtigheid van het binnenklimaat permanent
482 tussen de 40% en 60% zonder hiervoor installaties te gebruiken. Traditionele
483 bouwmaterialen zoals kalkzandsteen, beton of minerale wol zijn ook deels
484 dampopen maar omdat ze niet capillair-actief zijn, kunnen ze geen waterdamp
485 transporteren en ontstaat er condensvorming. Door het gebruik van bitumen,



486 folies of andere waterafstotende materialen moeten traditionele bouwmaterialen
487 worden beschermd tegen condens omdat dit schadelijk is voor deze materialen.
488 Schuimisolaties zoals PIR en PUR hoeven niet beschermd worden omdat ze van
489 zichzelf waterafstotend zijn.

490

491 Biobased isolatiematerialen hebben gemiddeld een isolatiewaarde dat
492 vergelijkbaar is met minerale wol, maar kunnen nooit de waardes bereiken van
493 sommige kunstmatige schuimplaten (zie tabel Y). Om dezelfde isolatiewaarde te
494 bereiken zijn er daarom bij biobased materialen iets dikkere isolatielagen nodig.
495 Hoewel dit een voordeel biedt voor traditionele bouwmaterialen in de zomer,
496 staat hier tegenover dat biobased isolatie een betere zomerhittebescherming
497 heeft waardoor geen of minder koeling nodig is. Dit komt doordat
498 biobased materialen vocht en warmte kunnen reguleren, bufferen en
499 transporteren door hun grote opslagcapaciteit, kunnen zij ernaast zonder
500 installaties in de zomer het gebouw koelen.

501

Hoe lager het temperatuurgeleidingsvermogen van een bouw materiaal hoe hoger de faseverschuiving van een bouwdeel.

Bouw materiaal	Materiële dichtheid [kg/m ³]	Warmtegeleidingsvermogen [W/(m*K)]	Warmtecapaciteit [J/(kg*K)]	Temperatuurgeleidingsvermogen [a cm ² /h]
Massief hout – naaldhout	600	0,13	2500	3
Houtvezel plafond- en gevelplaat (binnen)	270	0,048	2100	3
Houtvezel isolatiesysteemplaat buiten inclusief wapening en pleister	265	0,048	2100	3
Houtvezel - renovatieplaat	140	0,040	2100	5
Houtvezel -drukvaste plaat	160	0,038	2100	4
Houtvezel -flexible klemplaat	60	0,036	2100	11
PU-schuim	40	0,040	1380	26
PIR-schuim	30	0,030	1380	26
Minerale wol glas- en steenwol	30	0,035	800	53
Baksteen (massief)	1800	0,8	1000	16
Gewarpend beton	2200	1,4	1050	22
Bouwstaal	7800	58	600	446
Aluminium	2700	200	921	2895

502

503 Tabel Y: Overzicht van verschillende bouwmaterialen en bouwfysische waarden

504 **Faseverschuiving**

505 De faseverschuiving in lichte bouwconstructies heeft te maken met de vertraging
506 waarmee warmte door het materiaal heen gaat. Lichte bouwconstructies, zoals
507 houten of stalen constructies, hebben vaak een lage thermische massa, wat
508 betekent dat ze relatief weinig warmte kunnen opslaan. Thermische massa en de
509 faseverschuiving worden gebruikt om te hoge temperaturen te voorkomen.

510

511 Wanneer er warmte aan de constructie wordt toegevoegd, bijvoorbeeld door de
512 zon of door verwarming, zal deze warmte in eerste instantie worden
513 geabsorbeerd door de oppervlaktelagen van het materiaal. Bij zonlicht op de gevel
514 zal het gevelmateriaal snel opwarmen, maar de warmte zal vervolgens langzaam
515 door het materiaal heen gaan naar de binnenste lagen van de constructie.

516

517 Als gevolg hiervan is er een vertraging, ook wel faseverschuiving genoemd, tussen
518 het moment waarop de warmte op de oppervlakte van het materiaal wordt
519 toegevoegd en het moment waarop de warmte de binnenkant van de constructie
520 heeft bereikt. Deze faseverschuiving heeft invloed op het thermisch comfort

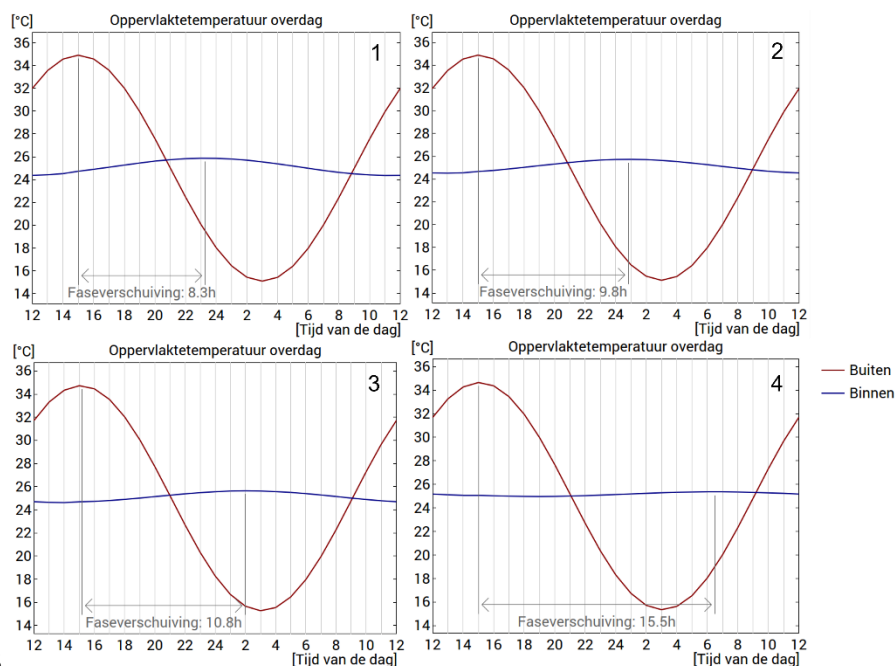
521 binnen het gebouw, omdat de piektemperaturen in de ruimte later optreden dan
522 de piektemperaturen buiten. Hiermee zorgt de constructie en isolatiematerialen
523 voor een bescherming die kan oplopen van 10 tot 15 uur tegen hoge
524 buitentemperaturen.

525

526 Om de invloed van de faseverschuiving te verminderen, kunnen lichte
527 bouwconstructies worden gecombineerd met biobased materialen met een
528 hogere faseverschuiving (zie tabel Y). Hierdoor wordt de warmte gelijkmatiger
529 verdeeld over de constructie en zorgt het ervoor dat het thermisch comfort van
530 het gebouw wordt verbeterd. De vertraagde warmte wordt door toepassing van
531 natuurlijke nacht-ventilatie kleppen aan het einde van de dag en in de nacht als de
532 buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur uit het gebouw gevoerd.

533

534



535
536 Figuur X: Faseverschuiving van een HSB constructie met 4 verschillende isolatiematerialen. (1)
537 HSB met EPS, (2) HSB met steenwol, (3) HSB met cellulose en (4) HSB met stro.

538

539 De effecten van materialen op de faseverschuiving worden hierboven in figuur X
540 geïllustreerd. Dit figuur laat de faseverschuiving van een HSB-constructie zien met
541 vier verschillende isolatiematerialen. De bovenste twee figuren, met
542 isolatiematerialen EPS en steenwol, laten een faseverschuiving zien van
543 respectievelijk 8,3 uur en 9,8 uur. De faseverschuiving van cellulose en stro, in de
544 onderste twee figuren, hebben een faseverschuiving van 10,8 en 15,5 uur. Dit
545 voorbeeld laat zien dat het binnenklimaat in woningen met HSB-constructies met
546 biobased isolatiematerialen zoals cellulose en stro minder snel opwarmen dan
547 wanneer een HSB-constructie wordt gekozen met EPS of steenwol. De HSB-
548 constructie met EPS warmt bijna twee keer sneller op dan wanneer er voor stro als
549 isolatiemateriaal wordt gekozen. Cellulose, stro en andere biobased materialen
550 hebben in veel gevallen een hogere warmteopslagcapaciteit dan schuimachtige

551 isolatiematerialen en minerale wol. Dit komt doordat biobased materialen een
552 hoger vochtgehalte hebben en het vocht in deze materialen kan warmte bufferen.
553

554 Geluid in biobased gebouwen

555 Akoestiek en geluiddemping zijn belangrijke aspecten van de bouw, vooral in
556 drukke omgevingen zoals kantoren, scholen, ziekenhuizen en woonhuizen.
557 Biobased bouwmaterialen kunnen een goede oplossing bieden voor deze
558 problemen, omdat ze duurzamer zijn dan traditionele bouwmaterialen en vaak
559 betere akoestische eigenschappen hebben. Enkele voorbeelden van biobased
560 bouwmaterialen die kunnen worden gebruikt voor akoestiek en geluiddemping
561 zijn:

- 562 • **Houtvezelisolatie:** Dit materiaal is gemaakt van houtvezels en heeft
563 uitstekende akoestische eigenschappen. Het is gemakkelijk te installeren en
564 kan worden gebruikt voor muur-, plafond- en vloerisolatie.
- 565 • **Schapevool:** Schapevool is een natuurlijk isolatiemateriaal dat uitstekend
566 werkt voor akoestische isolatie. Het heeft ook een hoge thermische
567 isolatiewaarde en kan worden gebruikt voor zowel binnen- als buitenmuren.
- 568 • **Kurk:** Dit is een natuurlijk isolatiemateriaal dat uitstekende akoestische
569 eigenschappen heeft. Het is ook brandwerend, vochtbestendig en duurzaam,
570 waardoor het een uitstekende keuze is voor gebruik in commerciële en
571 residentiële gebouwen.

572

573 Over het algemeen zijn biobased bouwmaterialen een goede keuze voor akoestiek
574 en geluiddemping omdat ze duurzaam, milieuvriendelijk en vaak effectief zijn in
575 het verminderen van geluidsoverlast. Het is echter belangrijk om ervoor te zorgen
576 dat de materialen voldoen aan de vereiste normen en dat ze op de juiste manier
577 worden geïnstalleerd om de beste resultaten te behalen. Er zijn ook onderzoeken
578 gedaan naar lucht- en contactgeluid in houten gestapelde modules, waarbij
579 verschillende testen zijn uitgevoerd. Uit deze onderzoeksresultaten kan
580 geconcludeerd worden dat er minimale voorzieningen nodig zijn om aan
581 geluidswerende eisen te voldoen. Door een trilling dempend materiaal ter
582 ontkoppeling van bouwdelen toe te passen zoals wij het van traditionele
583 detaillering gewend zijn is het akoestische deel opgelost.



584 **6 Biobased | Low-tech Bouwen**

585

Een low-tech gebouw is een gebouw dat zo min mogelijk installaties gebruikt. Het doel van is om gebouwen te creëren die minder afhankelijk zijn van dure en energie-intensieve technologieën. Dit verlaagt de bouwkosten, vermindert de impact op het milieu tijdens de hele levenscyclus van de gebouwen.

586

587 **Randvoorwaarden combinatie biobased en low-tech bouwen**

588 Om low-tech is erop gericht om de energiebehoefte van een gebouw te
589 minimaliseren zonder dat dit ten koste gaat van het comfort voor de gebruikers.

590 Een low-tech gebouw moet in staat is om zonder een actief verwarmings- of
591 koelsysteem comfortabel te blijven bij verschillende weersomstandigheden. Om
592 dit te realiseren moet men bij het ontwerp bewust omgaan met de volgende
593 zaken:

594

595 • **De eigenschappen van biobased materialen zijn leidend in het ontwerpproces**
596 **voor alle disciplines:** om de unieke eigenschappen van biobased materialen te
597 benutten, moeten alle disciplines hier rekening mee houden tijdens het
598 ontwerpproces. Een verkeerde detaillering of verkeerde materiaalkeuzes
599 kunnen de effectiviteit van dampopen biobased constructies negatief
600 beïnvloeden.

601

602 • **Alle disciplines zitten vanaf het begin aan de ontwerptafel:** om bovenstaande
603 fouten te voorkomen is het van belang dat alle disciplines vroegtijdig
604 aangesloten zijn. De partijen zijn dan op de hoogte van de spelregels van het
605 ontwerpproces, wat de kans op fouten reduceert en daarmee de effectiviteit
606 van dampopen biobased constructies beïnvloedt.

607

608 • **Dampopen biobased constructie:** de dampopen capillair actieve constructie
609 de waterdamp in de biobased constructie buffert het overschot aan warmte
610 in de zomer. De warmte wordt in de nacht bij koelere temperaturen aan de

611 buitenlucht afgegeven. Om de constructie en binnenruimten af te koelen is
612 natuurlijke en zomernachtventilatie essentieel.

613

614 • **Natuurlijke en zomernachtventilatie:** om de warmte die overdag in de
615 constructie is gebufferd in de zomernacht uit de woning te ventileren, is het
616 gebruik van natuurlijke en zomernachtventilatie van belang. Deze kleppen of
617 roosters kunnen 's avonds en 's nachts handmatig en door middel van
618 sensoren worden geopend.

619

620 • **De zon als warmtebron:** de zon is een natuurlijke warmtebron die moet
621 worden benut in koudere perioden zoals de herfst en winter, maar om
622 oververhitting in woningen te voorkomen is het buitenhouden van de zon in
623 warme zomermaanden essentieel. Door het gebruik van overstekken,
624 lamellen en luifels kan de zomerzon worden geweerd terwijl de laaghangende
625 winterzon als verwarmingsbron dient.

626

627 • **Hoge isolatiewaarden:** door de woning goed te isoleren wordt het
628 binnenklimaat minder beïnvloed door invloeden van buitenaf, zoals extreme
629 kou of warmte. Naast hoge isolatiewaarden voor de schil wordt het gebruik

630

631 **Milieu-impact van installaties**

632 Woningen worden vandaag de dag uitgerust met installaties die verwarmen,
633 koelen en ventileren. De gebouwen van vandaag de dag zijn geoptimaliseerd op
634 het verlagen van de warmtebehoefte in de winter maar houden geen rekening
635 ermee wat hierdoor in het zomer de gevolgen zijn. Deze dampdichte manier van
636 isoleren met traditionele bouwmaterialen zoals schuimproducten of minerale wol
637 houdt de warmte in de zomer binnen in het huis vast. Hierdoor stijgt de
638 koelbehoefte van het gebouw en de winst in energiebesparing in de winter wordt
639 nu door de hoge koelbehoefte in de zomer tenietgedaan worden. Ventileren kan
640 in een dampopen en biobased gebouw op een natuurlijke manier zonder techniek.

641

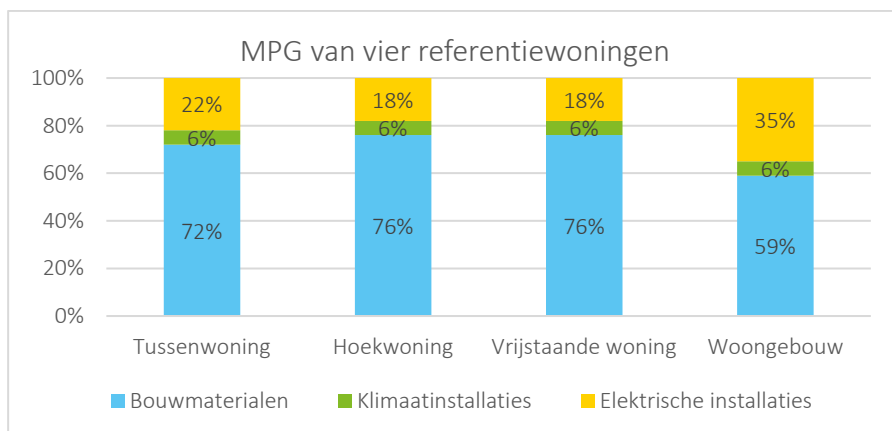
642

643

644



645 Installaties hebben een significant aandeel in de milieu-impact van woningen. Het
646 aandeel van installaties in de MPG kan oplopen van 24% bij een hoekwoning tot
647 41% bij een woongebouw⁶. De elektrische installaties zoals PV hebben hier een
648 groot aandeel in, bij een woongebouw is dat zelfs 35% van de MPG. Installaties
649 zijn nog een witte vlek voor het milieuprestatiestel. Recent werd bekend dat de
650 milieu-impact van een warmtepomp maar liefst elf keer hoger is dan aanvankelijk
651 gedacht. Daarnaast neemt het aantal productkaarten van installaties in de
652 Nationale Milieudatabase ook langzaam toe. Dit komt door de complexiteit van
653 installaties, de hoeveelheid onderdelen en de herkomst van de materialen.
654



655
656 **Figuur X:** Aandeel van bouwmaterialen, klimaatinstallaties en elektrische installaties in de MPG
657 van vier referentiewoningen

658 **Kosten van installaties**

660 Installatiekosten kunnen per woning sterk verschillen. Dit kan oplopen tot 40% van
661 de woning en is sterk afhankelijk van het gewenste comfortniveau in een woning.
662 Hoge comfortwensen worden nu veelal opgelost door het toepassen van meer
663 installaties wat kostenverhogend werkt. Daarnaast is de tijdsperiode waarin je
664 naar gemaakte kosten kijkt bepalend voor de totale omvang van de
665 installatiekosten. Traditioneel kijkt men voornamelijk naar de stichtingskosten van
666 een woning, maar partijen die ook eigenaar blijven van de woningen zoals

⁶ Koplopers in de woningbouw. (2020) W/E adviseurs

667 woningcorporaties en beleggers zijn meer geïnteresseerd in de kosten over de
668 gehele levensduur van een gebouw, de Total Cost of Ownership.

669

670 **Low-tech bouwen en het huidig beleid**

671 Het Bouwbesluit biedt momenteel verschillende mogelijkheden voor low-tech
672 bouwen. Het Bouwbesluit bevat namelijk prestatie-eisen waaraan voldaan moet
673 worden, maar schrijft geen oplossing of specifieke materialen voor. De invulling
674 mag een ontwerpteam dus zelf bedenken. Dit is echter wel vaak waar het fout
675 gaat. Ontwerpteam en de opdrachtgever willen risico's zoveel mogelijk beperken
676 of aan hoge comforteisen voldoen en kiezen daarom voor installaties. In het geval
677 van ventilatie-eisen, kan dit ook worden opgelost met een low-tech oplossing
678 zoals natuurlijke ventilatie.

679

680 **Voldoen aan TOjuli met biobased bouwen**

681 Gepaard met de introductie van de BENG moeten nieuwbouwwoningen ook een
682 score voor opwarming in de maand juli berekenen. De TOjuli-indicator geeft een
683 indicatie van het risico op temperatuuroverschrijving en wordt bepaald aan de
684 hand van de koelbehoefte in deze zomermaand. Een van de factoren die de score
685 bepaald is het thermisch accumulerend vermogen van materialen, ook wel
686 thermische massa genoemd. Dit is het vermogen van materialen om warmte op te
687 nemen, gedurende een periode vast te houden en daarna weer af te geven aan de
688 binnen- of buitenruimte. Zware constructiematerialen zoals beton en
689 kalkzandsteen hebben een hoge thermische massa en daardoor duurt het langer
690 voordat een zware constructie opwarmt. Als een zwaar constructie eenmaal warm
691 is duurt het ook langer voordat het zijn temperatuur kwijtraakt. Biobased
692 constructies zoals hout zijn lichtere constructies en hebben daardoor minder
693 thermische massa. Het gevolg is dat in een standaard BENG berekening
694 houtbouwprojecten een slechtere TOjuli score hebben dan projecten waarbij een
695 zware constructie is gebruikt⁷.

696

697 Bij BENG-berekeningen wordt bij het toepassen van een dampopen constructie de
698 luchtdichtheid vermindert. Dit vang je op door goed te isoleren, zonder dat de
699 passieve isolatiewaarden gehaald moeten worden. Bij houten gebouwen mag er

⁷ Centrum Hout (2021). Woningbouw in hout



700 bij het maken van een BENG-berekening, als deze niet voldoet aan de BENG 1 eis,
701 als gelijkwaardigheid, een voordeel meegenomen worden. Met behulp van bijlage
702 B kan de eis van BENG 1 met ongeveer 5 kWh/m² verhoogd worden. De
703 thermische massa om warmte te accumuleren wordt exacter in bijlage B gezet.
704 Deze bijlage biedt de mogelijkheid om het warmte accumulerend vermogen van
705 houten constructies mee te nemen in de berekening. Hiervoor moet eenvoudig
706 opvraagbare informatie worden ingevoerd zoals het soortelijk gewicht, dichtheid
707 en soortelijke warmte van materialen.

708

709 6.1.1 Gebruik van gelijkwaardigheidsbepaling

710 Binnen het huidige systeem is het toegestaan om af te wijken van de
711 voorgeschreven prestatie-eisen door gebruik te maken van artikel 1.3 van het
712 Bouwbesluit wat gaat over gelijkwaardigheidsbepaling. Dit artikel maakt het
713 mogelijk om andere bouwtechnische, gebruikstechnische of organisatorische
714 oplossingen te kiezen dan die zijn voorgeschreven. Er is wel een belangrijke
715 voorwaarde: *“Bij een beroep op gelijkwaardigheid moet ten genoegen van het*
716 *bevoegd gezag worden aangetoond dat het bouwwerk of het gebruik daarvan ten*
717 *minste eenzelfde mate van veiligheid, bescherming van de gezondheid,*
718 *bruikbaarheid, energiezuinigheid of milieu biedt als is beoogd met het betrokken*
719 *voorschrift. Dit betekent dat bij elk beroep op gelijkwaardigheid moet worden*
720 *getoetst aan alle pijlers die bij een bepaalde prestatie-eis een rol spelen”*
721 (Bouwbesluit, 2012).

722

723 Het is dus van belang dat je gelijkwaardigheid kan aantonen. Dit kan bijvoorbeeld
724 door kwaliteitstesten uit te voeren die laten zien dat de alternatieve oplossing die
725 in het ontwerp wordt gekozen, dezelfde prestaties levert die in het Bouwbesluit
726 worden gevraagd.

727

728 6.2 Modelleren van installatiebehoefte

729 De gelijkwaardigheid bij biobased bouwen te tonen is het simuleren van het
730 gebruik van woningen i.c.m. Het accumulerend vermogen van het gebouwschil.
731 Het gaat hier om dynamische simulaties die inzichtelijk maken wat de
732 temperatuur, luchtvochtigheid en luchtkwaliteit zijn in een woning met de
733 klimaatdata van de laatste 10 jaar. Het weer, activiteiten van gebruikers en de

734 hoeveelheid gebruikers zijn hierin bepalende factoren. Samen met bouwkundige
735 gegevens zoals zonoriëntatie en materiaaleigenschappen zoals vochtopname-
736 capaciteit en warmte bufferend vermogen wordt deze simulatie gemaakt. In deze
737 simulatie is af te lezen hoe de temperatuur, luchtvochtigheid en luchtkwaliteit van
738 een binnenruimte zich ontwikkelt gedurende het jaar. De installatiebehoefte
739 wordt aangetoond door de maximale en minimale waarden van deze indicatoren
740 in kaart te brengen. De maximale en minimale temperatuur die voorkomt in de
741 woning laat bijvoorbeeld de verwarming- en koelbehoefte zien. De
742 luchtvochtigheid en luchtkwaliteit zeggen iets over de ventilatiebehoefte.

743 Vervolgens is het de uitdaging om een installatieconcept te vinden dat ervoor
744 zorgt dat deze indicatoren binnen de voorgeschreven bandbreedte houdt.
745

746 Door de capaciteit van installaties nauwkeurig af te stellen op de benodigde
747 capaciteit wordt over dimensionering voorkomen. Dit is een mes dat aan twee
748 kanten snijdt: (1) het vermindert de milieu-impact van het gebouw doordat er
749 minder installaties nodig zijn die energie verbruiken en (2) dit levert een
750 kostenvoordeel op. Het modelleren van deze installatiebehoefte wordt in
751 Nederland nog beperkt gedaan, maar in het buitenland is dit al een stuk
752 gangbaarder. Een voorbeeld van een softwareprogramma dat in staat is om dit te
753 simuleren is WUFI Plus.

754



755 **7 Biobased | Low-tech | Economy**

756

757 **7.1 Kostenvoordelen biobased materiaalgebruik**

758 Een veel gemaakte fout bij de inkoop van biobased bouwmaterialen is dat de
759 materialen één op één worden vergeleken met traditionele materialen. Door
760 schaalgrootte en procesoptimalisaties zijn traditionele materialen puur kijkend
761 naar materiaalkosten in veel gevallen goedkoper dan biobased materialen. Echter
762 zijn energie-intensieve producten zoals steenwol door stijgende energieprijzen
763 recent aanzienlijk duurder geworden. Biobased materialen hebben relatief weinig
764 energie nodig om geproduceerd te worden en hebben daardoor minder last van
765 deze stijgende energieprijzen. Het gevolg is dat bijvoorbeeld houtvezelisolatie qua
766 materiaalkosten nagenoeg gelijk is. Naast materiaalkosten zijn er twee factoren
767 die in deze vergelijking mee moeten worden genomen om ervoor te zorgen dat
768 appels met appels worden vergeleken: (1) bouwsysteem en (2) arbeid.

769

770 *“Door de stijgende energieprijzen kunnen wij*
771 *houtvezelisolatie nu prijsconcurrerend aanbieden*
772 *tegenover steenwol.”*

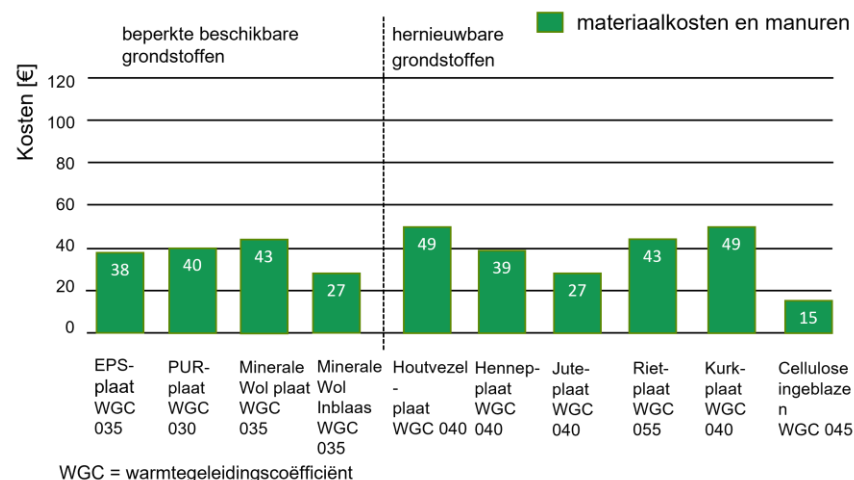
773 - Thomas Pijnenborgh, founder Groene Bouwmaterialen

774

775 Om een eerlijke vergelijking te maken is het beschouwen van materialen in een
776 bouwsysteem van belang. Er wordt regelmatig verondersteld dat biobased
777 materialen een directe vervanging kunnen zijn van een traditioneel bouw materiaal
778 en dat het past in hetzelfde bouwsysteem. Dit is vaak niet het geval. In het geval
779 van bijvoorbeeld houtvezelisolatie in een dampopen HSB-constructie zijn folies
780 overbodig, terwijl dit bij het toepassen van glaswol wel het geval is. Dit levert een
781 kostenbesparing op. De tweede factor belangrijke factor is arbeid. De tijd die het
782 kost om bouwmaterialen aan te brengen is bepalend voor de bouwkosten.
783 Wanneer materialen eenvoudig en snel te verwerken zijn, bespaart dat tijd en dus
784 geld. Biobased materialen kunnen met de hand worden verwerkt en bij
785 isolatiedekens worden bijvoorbeeld grote isolatiemessen gebruikt. Om de snelheid
786 hoog te houden moeten de messen wel regelmatig geslepen worden zodat
787 bouwvakkers geen tijd verliezen door botte messen.

788

789 Een andere methode om efficiënt dikke isolatiepakketten aan te brengen is door
790 gebruik te maken van een inblaasmachine. Daarmee kan in korte tijd grote
791 wandoppervlakten worden geïsoleerd waarbij de het inblazen zelfs tot 3x sneller is
792 dan isolatieplaten met de hand aanbrengen. De effecten van een arbeidsbesparing
793 door een andere installatiemethode worden in het onderstaande figuur duidelijk.
794 Waar de materiaalkosten van bijvoorbeeld een minerale wol plaat per vierkante
795 meter bij gelijke isolatiewaarde in veel gevallen lager zijn dan cellulose, laat het
796 figuur zien dat de materiaalkosten en manuren gezamenlijk tot een
797 kostenbesparing van 65% voor cellulose ten opzichte van minerale wol.
798



799

800 Figuur X: materiaal en arbeidskosten van verschillende isolatiematerialen. Bron: Atlas Recycling

801

802

803

804

805

806

807



808 7.2 Biobased woning zonder ventilatie

809 In project Ziedewij heeft ORGA Architecten verschillende grondgebonden
810 woningen ontworpen waarbij er volledig gebruik wordt gemaakt van natuurlijke
811 ventilatie. Hierdoor is het gebruik van mechanische ventilatie overbodig
812 geworden. Om dit te realiseren is er wel voldoende capaciteit nodig om natuurlijk
813 te ventileren. Dit is gedaan door robuuste ventilatieroosters boven de kozijnen te
814 plaatsen, waarbij een ratio van 1 strekkende meter ventilatierooster ten opzichte
815 van 14 m² vloeroppervlak is aangehouden. Een belangrijke ontwerpvoorwaarde
816 was dat de ruimten die geventileerd moeten worden zoals het toilet, badkamer en
817 de keuken moesten grenzen aan de gevel of aan het dak. Op deze manier kon er
818 een natuurlijke ventilatie worden ingebouwd om te voldoen aan de eisen van het
819 Bouwbesluit. Het nadeel van natuurlijke ventilatie is dat soms de wind niet goed
820 kan staan, waardoor ventileren lastiger is. De woningen hebben alleen een
821 warmtepomp om ze te verwarmen.

822



823
824 Polderwoningen van Project Ziedewij. Beeld: ORGA Architecten

825
826
827
828

829 Effect op de businesscase

830 Door het volledig weglaten van mechanische ventilatie bespaart men in dit project
831 op de (1) investeringskosten van mechanische ventilatie, (2) onderhoud en
832 reparatiekosten en (3) operationele energiekosten.

833 De investeringskosten voor een mechanische installatie bedragen ongeveer
834 €2.500 voor het aanbrengen van het leidingstelsel. Dit heeft maar één keer te
835 gebeuren. Daarnaast wordt de ventilatie unit à €900 geïnstalleerd. Dit betreft
836 materiaalkosten en arbeid.

837

838 Een mechanische ventilatie heeft een levensduur van 15 jaar, wat ervoor zorgt dat
839 het ventilatiesysteem na plaatsing viermaal moet worden vervangen tijdens de
840 levensduur van 75 jaar van een woning. Net als bij de initiële plaatsing van de
841 ventilatie unit wordt ook hier €900 per vervanging gerekend.

842

843 Voor het operationeel energiegebruik gaan we uit van een verbruik van 25 kWh
844 per jaar. Dat komt uit op een totaalgebruik van 1.875 kWh over een periode van
845 75 jaar. De prijs per kWh bedraagt momenteel €0,40.

846

847 Hieronder zijn de besparingen voor een woning zonder mechanische ventilatie op
848 een rijtje gezet:

849 Aanbrengkosten leidingstelsel	€2.500
850 Aanbrengkosten standaard ventilatie unit (5x €900)	€4.500
851 Operationele energiekosten (25 kWh per jaar)	€750
852 Totaal	€7.750

853

854 Op de bouwkosten van €200.000 voor een grondgebonden woning betekent het
855 weglaten van mechanische ventilatie een kostenbesparing van ongeveer 4%.

856

857 *“Dit installatieconcept zonder mechanische ventilatie*
858 *kan prima in Vinex-wijken worden toegepast”*

859 - Steven van Leeuwen, architect bij ORGA Architecten

860



861 **7.3 Biobased woning zonder ventilatie**

862 **Installatie en energiekosten passiefhuis Haarlem**

863 In Haarlem heeft Narrativa architecten een zeer goed geïsoleerde biobased
864 woning gebouwd op het niveau van passief huis. Door deze hoge isolatiewaarden
865 is de energievraag voor het verwarmen van de woning aanzienlijk lager dan bij
866 woningen die minder goed geïsoleerd zijn. Bij een passiefhuis is zonintreding erg
867 belangrijk zodat er in de winter voldoende zonlicht binnenvalt om het huis op
868 natuurlijke wijze op te warmen. Aangezien bij deze woning veel gevel
869 georiënteerd op het zuiden is, was het vooral een aandachtspunt om te
870 voorkomen dat er in de zomer te veel zon binnenvalt. Hier zijn verschillende
871 shutters en screens geplaatst om het zonlicht in de zomer buiten te houden. De
872 architecten zijn opzoek gegaan naar een installatie die zo goed mogelijk aansluit
873 bij de daadwerkelijke verwarmingsbehoefte van de woning. Door verschillende
874 passiefhuis berekeningen uit te voeren, kon men de exacte warmtebehoefte
875 bepalen. Deze was extreem laag en kon daardoor alleen worden voorzien met
876 ingeblazen warmte lucht vanuit een warmtepomp compact toestel. Dit is een
877 balans warmteterugwinning (WTW) gecombineerd met een
878 ventilatiewarmtepomp zonderbuitenunit. Daarnaast hoeven in de woonruimten
879 geen verwarmingstoestellen zoals infraroodpanelen of vloerverwarming worden
880 aangebracht. e investering- en installatiekosten en van de warmtepomp compact
881 unit bedragen €10.000. De levensduur van dit apparaat is 20 jaar wat betekent dat
882 betekent na de initiële installatie drie vervangingen plaatsvinden. De
883 onderhoudskosten voor een warmtepomp bedragen €2.000 en vinden plaats na
884 10 jaar. Daarnaast heeft deze warmtepomp ook de functie als een WTW, wat voor
885 extra onderhoud zorgt. Dit betekent dat er ook jaarlijks filters moeten worden
886 vervangen à €100 per keer en ventilatiekanalen om de 8 jaar moeten worden
887 gereinigd à €400 per keer.

888 Het energieverbruik van passiefhuizen is maximaal 15 kWh per m². Voor een
889 gebruiksperiode van 75 jaar betekent dit dus een totaal energieverbruik van
890 348.750 kWh. De prijs per kWh bedraagt momenteel €0,40.

891

892 **Kostenopsomming**

893 Aanbrengkosten warmtepomp compact unit (4x €10.000)	€40.000
894 Onderhoudskosten warmtepomp compact unit (4x €2.000)	€8.000

895 Filters vervangen (75x €100)	€7.500
896 Inspectie en reiniging ventilatiekanalen (8x €400)	€3.200
897 Operationele energiekosten passiefhuis (€0,40 per kWh)	€139.500
898 Totale kosten	€198.200

899

900 De kostenbesparing die het passiefhuis in Haarlem heeft weten te realiseren
901 bedraagt €342.940 ten opzichte van de A+++ nieuwbouwwoning.

902



903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

“De energievraag van deze woning is zo laag dat we hierin kunnen voorzien met één apparaat. Hierdoor is er geen WKO of warmtepomp buitenunit nodig en hebben de woonruimten geen vloerverwarming of infraroodpanelen nodig”

- Christiaan Gombert, architect bij Narrativa Architecten



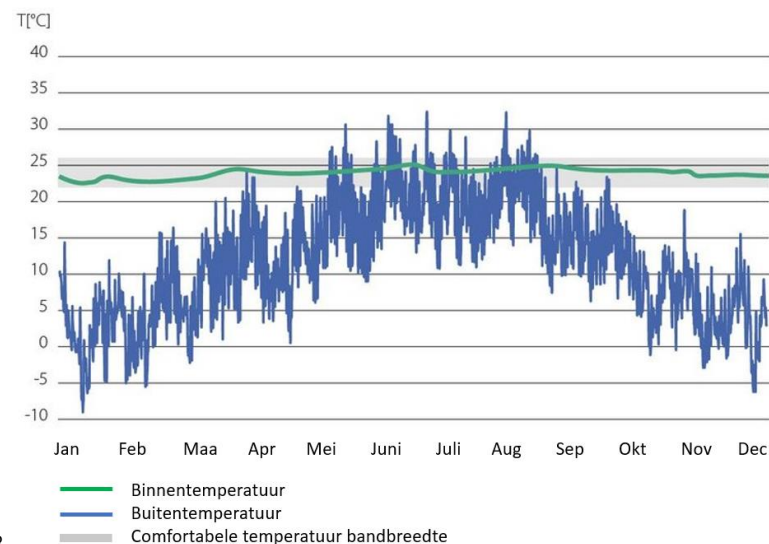
913 **7.4 Kantoorgebouw 2226 geen installaties**

914 Architecten van Baumschlager Eberle hebben in 2013 het gebouw 2226
915 gerealiseerd in Lustenau, Oostenrijk. Dit gebouw ontleent zijn naam aan de
916 bandbreedte van de binnentemperatuur gedurende het gehele jaar: het wordt
917 niet kouder dan 22 maar ook niet warmer dan 26 ° C.

918
919 De architecten hebben zichzelf de uitdaging gegeven om de gebruikers te voorzien
920 in hoge mate van comfort en luchtkwaliteit zonder gebruik te maken van
921 traditionele verwarmings-, koelings- en ventilatie installaties. Hierin was de een
922 acceptabele luchtkwaliteit tijdens extreme temperaturen in de zomer en winter de
923 grootste uitdaging⁸. Dit heeft men opgelost door in alle 24 kamers sensoren aan te
924 brengen waarmee temperatuur, CO₂-gehalte en luchtvochtigheid in real-time
925 wordt gemonitord. De centrale computer evalueert deze gegevens per ruimte
926 afzonderlijk en wanneer kritieke niveaus op één van de parameters wordt
927 overschreden, opent het systeem automatisch panelen in deze ruimte zodat er
928 frisse lucht naar binnen kan. De opening van het paneel is voor een korte periode
929 om te voorkomen dat er onnodig warmte verloren gaat. Het robuuste ontwerp
930 van Gebouw 2226 met regelmatige natuurlijk ventilatie laat zelfs zien dat de
931 luchtkwaliteit in termen van vervuiling en bacteriën zelfs beter is dan bij het
932 gebruik van traditionele ventilatiesystemen¹⁴.

933
934 **Situatie in de zomer**

935 In dit gebouw is gebruik gemaakt van materialen die een lage warmteoverdracht
936 hebben en een hoge warmtebufferingscapaciteit. Hierdoor warmt de constructie
937 niet snel op en duurt het langer voordat de zomerse buitentemperaturen impact
938 hebben op de temperatuur in de binnenruimten. De beperkte impact van een
939 stijgende buitentemperatuur is te zien in **figuur X**. Wanneer de buitentemperatuur
940 in de nacht afkoelt tot onder het niveau van de binnentemperatuur, openen de
941 panelen om de binnenruimten te koelen met buitenlucht.
942



943
944 **Figuur X.** Verloop van binnen- en buitentemperatuur van gebouw 2226⁹
945

946 **Standaardgebouw**

947 Jaarlijks energiegebruik gemiddeld kantoor van 2.754 m ²	209.304 kWh
948 Energiegebruik 50 jaar	10.465.200 kWh
949 Energiekosten 50 jaar	€4.186.080
950 Energiekosten per m ²	€1.520

951

952 **Gebouw 2226**

953 Jaarlijks energiegebruik 2226 (2.754 m ²)	123.903 kWh
954 Energiegebruik gedurende 50 jaar	6.196.500 kWh
955 Energiekosten 50 jaar	€2.478.600
956 Energiekosten per m ²	€900

957

958 De totale vierkante meterkosten van gebouw 2226 bedragen €3.970 tegenover
959 €7.520 voor het standaardgebouw. Dit betekent een kostenreductie van ongeveer
960 48%.

⁸ The Temperature of Architecture (2015)

⁹ Baumschlager Eberle Architekten GmbH (2023) - How the concept 2226 works



961

962 **7.5 Strohuis Dornbirn**

963 **Bouwjaar:** 2014

964 **Locatie:** Dornbirn, Vorarlberg

965 **Materialisatie:** voornamelijk stro met houten dak met stro isolatie

966 **Low-tech:** geen warmtepomp

967

968 Dit strohuis is een antwoord op de vraag van de particuliere opdrachtgevers om
969 een betaalbare duurzame woning te bouwen. Het unieke aan deze woning is dat
970 stro niet alleen wordt gebruikt als isolatiemateriaal, maar ook de gestapelde
971 strobalen dienen ook als draagconstructie. De 120 cm dikke buitenschil van stro is
972 aan de buitenkant bepleisterd met kalk en aan de binnenkant bepleisterd met klei.
973 Hierdoor is de constructie dampopen. De installaties zijn in deze woning door de
974 uitstekende isolatie tot een minimum beperkt: er zijn geen warmtepompen of
975 vloerverwarming, wat tot kostenbesparing leidt. Het gebouw redt zich met een
976 warmwaterboiler en een tegelkachel die de hele woonruimte verwarmt. In de
977 zomer zorgt de uitkragende houten constructie zorgt voor schaduw en in de
978 winter reiken de lage zonnestrallen tot diep in de woning wat voor extra warmte
979 zorgt.



980

981

982 **7.6 Kapstee**

983 **Bouwjaar:** 2021

984 **Locatie:** Leermens, Nederland

985 **Materialisatie:** voornamelijk stro

986 **Low-tech:** zonwering met luiken en natuurlijke ventilatie met een luik in de nok

987

988 Onix architecten ontwierp deze houten woning in het Groningse Leermens. Door
989 het gebruik van prefab elementen werd deze biobased woning binnen één dag
990 gebouwd. De woning heeft houten vloeren, gevels en wanden en is ook aan de
991 binnenkant met hout afgewerkt. De zon wordt zoveel mogelijk buiten gehouden
992 door luiken toe te passen waardoor de woning niet snel opwarmt. Daarnaast
993 wordt de woning op natuurlijke wijze geventileerd met een luik in de nok van het
994 dak. Door deze te openen ontstaat er een schoorsteeneffect waarbij de warme
995 lucht in de woning opstijgt naar het hoogste punt en daar de woning kan verlaten
996 door een drukverschil.

997



998

999 Deze voorbeelden worden nog verder uitgewerkt



1000 **8 Advies**

1001

1002 Op basis van bovenstaande resultaten komen we tot advies aan drie verschillende
1003 doelgroepen: (1) beleidsmakers, (2) opdrachtgevers en (3) opdrachtnemers

1004

1005 **8.1 Advies aan beleidsmakers**

1006 • Stimuleer biobased bouwen als duurzame en gezonde bouwmethode, die
1007 zorgt voor een lager energiegebruik, lagere MPG, minder CO₂-intensieve
1008 bouwmaterialen en tot een besparing op schaarse en schadelijke
1009 materialen. Daarnaast zorgt biobased bouwen voor een betere
1010 vochtregulatie, minder VOS, en minder installaties.

1011 • Stimuleer de gunstige business case voor biobased bouwen door te
1012 besparen op installaties. Wanneer het aantal installaties wordt
1013 verminderd, bespaar je niet alleen op stichtingskosten maar over de
1014 gehele levensduur worden de kosten lager door minder onderhoud,
1015 vervangingen en energiegebruik.

1016 • Stimuleer de integrale benadering van de milieuprestatie van gebouwen
1017 waarbij er zowel naar materialen als energie wordt gekeken. Biobased
1018 bouwen kan leiden tot low-tech gebouwen met minder installaties die
1019 ook het energiegebruik verlagen. Daarmee biedt het niet alleen een
1020 oplossing voor het dossier circulaire economie, maar ook voor het dossier
1021 klimaat.

1022 • De NTA 8800 neemt momenteel onvoldoende het vochtregulerend en
1023 warmteaccumulerend vermogen van biobased materialen mee in de
1024 berekening. Pas deze aan zodat deze norm net als bij de Duitse DIN-norm
1025 wel deze relevante eigenschappen van biobased materialen worden
1026 gewaardeerd. Dit kan de transitie naar biobased woningen zonder
1027 installaties versnellen.

1028 • Voeg in de BENG berekeningsmethode standaardwaarden in voor
1029 biobased constructies.

1030

1031

1032 **8.2 Advies opdrachtgevers**

1033

1034

1035

1036

1037

1038 **8.3 Advies aan opdrachtnemers**

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

1057

1058

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

• Kijk bij het opstellen van een business case naar de Total Cost of
Ownership in plaats van naar de stichtingskosten.

• Stuur op biobased materialen door bijvoorbeeld in aanbestedingen
voordelen toe te kennen aan biobased materialen.

• Begin het ontwerpproces door te denken vanuit biobased materialen en
hun specifieke eigenschappen;

• Betrek leveranciers van biobased bouwmaterialen en aannemers
vroegtijdig bij het ontwerpproces;

• Houd de keten zo kort mogelijk om kosten van biobased materialen
zoveel mogelijk te beperken;

• Koop biobased materialen, net als traditionele materialen, in bulk in om
kostenvoordelen te krijgen;

• Om biobased materialen eerlijk op kosten te vergelijken met traditionele
materialen moet je naast materiaalkosten ook het bouwsysteem en
arbeid in beschouwing nemen;

• Gebruik bijlage B van de BENG om warmteaccumulerend vermogen van
houtconstructies mee te nemen in de berekening;

• Gebruik dynamische simulaties van het binnenklimaat van woningen om
de exacte installatiebehoefte te bepalen. Deze simulaties kunnen
vervolgens worden gebruikt om aan artikel 1.3 over de
gelijkwaardigheidsbepaling van het Bouwbesluit te voldoen;

• Hiervoor moet de markt meer kennis verwerven van dynamische
simulaties van het binnenklimaat van woningen;



1066 Bronnenlijst

1067

- 1068 1. W/E adviseurs (2023). Verkenning MPG-score $\leq 0,5$
- 1069 2. Lintsen (1993) Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van
1070 een moderne samenleving 1800-1890.
- 1071 3. NIBE (2019). Potentie biobased materialen in de bouw
- 1072 4. Instituut voor Bouwbiologie en Duurzaamheid (IBN). 25 richtlijnen van de
1073 bouwbiologie.
- 1074 5. Osterwalder & Pigneur (2010). Business model generation: a handbook for
1075 visionaries, game changers, and challengers
- 1076 6. CBS (2022). Landbouw: gewassen, dieren en grondgebruik
1077 <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84756NED?q=gewassen>
- 1078 7. Wageningen Universiteit (2021). Weer minder bos in Nederland, trend aan
1079 het ombuigen. [https://www.wur.nl/nl/onderzoek-](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm)
1080 [resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm)
1081 [minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm)
1082 [https://www.wur.nl/nl/onderzoek-](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm)
1083 [resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm)
1084 [minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm](https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/environmental-research/show-wenr/weer-minder-bos-in-nederland-trend-aan-het-ombuigen.htm)
- 1085 8. Eurostat (2021). Wood products – production and trade.
1086 [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Wood_products_-_production_and_trade)
1087 [explained/index.php?title=Wood products - production and trade](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Wood_products_-_production_and_trade)
- 1088 9. Palacios et al. (2020). The impact of housing conditions on health outcomes
- 1089 10. Eichholtz (2020). Binnenblijven schaadt de gezondheid
- 1090 11. Koplopers in de woningbouw. (2020) W/E adviseurs
- 1091 12. Centrum Hout (2021). Woningbouw in hout
- 1092 13. The Temperature of Architecture (2015)
- 1093 14. CBS (2019). Energiekentallen utiliteitsbouw dienstensector
1094 <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83374NED>