

## De invloed van duurzaam, energiezuinig en circulair bouwen op de brandveiligheid van gebouwen



Nederlandse Academie voor  
Crisisbeheersing en Brandweezorg  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
Kemperbergerweg 783, Arnhem  
[www.nipv.nl](http://www.nipv.nl)  
[info@nipv.nl](mailto:info@nipv.nl)  
026 355 24 00

## Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2022

Auteurs	R. van Liempd, J. Ebus, J. Reinders, J. van der Graaf
Contactpersoon	J. van der Graaf
Datum	26 september 2022
Foto cover	Artist's Impression van de Trudo-toren (bron: VB&T, 2018)

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

# Samenvatting

Klimaatverandering en zorg voor het milieu spelen een steeds grotere rol in de bouwwijzen en de bouwmaterialen die in Nederland toegepast worden. In het voorliggende document wordt een beeld geschetst van de ontwikkelingen op dit terrein die op dit moment gaande zijn in de bouw. Nadrukkelijk beperkt de huidige publicatie zich niet alleen tot circulair bouwen (ofwel het hergebruik van grondstoffen en producten), maar gaat ze ook in op het bredere streven naar duurzaamheid, waaronder energiezuinigheid en klimaatadaptatie. Hierbij wordt ingezoomd op concrete voorbeelden van ander materiaalgebruik en andere bouwwijzen. Doelstelling is om brandveiligheidsadviseurs van veiligheidsregio's inzicht te geven in de brandveiligheid van nieuwe materialen en methoden die als gevolg van strengere duurzaamheidseisen in de bouw gebruikt (zullen) worden.

Voor het onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd. Ook is informatie ingewonnen bij deskundigen en betrokkenen, zoals projectontwikkelaars, ontwerpers, bouwers, adviseurs en medewerkers van veiligheidsregio's. Allereerst wordt beschreven wat de ontwikkelingen zijn rond duurzaam, energiezuinig, circulair en klimaat adaptief bouwen (hoofdstuk 1) en op welke wijze deze in Nederland zijn terug te vinden in bouwmethoden en materiaalgebruik, gerealiseerd of in plannen (hoofdstuk 2). Hierbij wordt ingegaan op biobased, energiezuinige, klimaatadaptieve en demontabele gebouwen. In hoofdstuk 3 wordt nagegaan wat de invloed van deze ontwikkelingen is op de brandveiligheid. In hoofdstuk 4 wordt ingezoomd op enkele concrete voorbeelden van bouwprojecten waar specifieke elementen van duurzaam bouwen centraal staan. Hierbij worden de verschillen met de meer traditionele bouwwijzen beschreven, met nadruk op de aspecten die van invloed zijn op de bouwkundige brandveiligheid.

Hoewel nieuwe en innovatieve bouwmaterialen moeten voldoen aan de eisen van het Bouwbesluit, betekent dit nog niet noodzakelijkerwijze dat toepassing van innovatieve materialen en methodes ook een brandveilig gebouw oplevert. Allereerst is het zo dat uitgangspunten van de testmethodes die worden gebruikt vaak zijn gebaseerd op de traditionele toepassingen en bouwwijzen, die mogelijk niet meer van toepassing zijn. Ook kunnen elementen worden toegevoegd die buiten de scope van het bouwbesluit vallen, maar wel van invloed zijn op de brandveiligheid. Ten slotte is het zo dat de eisen van het Bouwbesluit uitsluitend gericht zijn op een veilige ontvluchting bij brand en op het voorkomen van brandoverslag naar een ander perceel. Over de wijze waarop nieuwe en innovatieve materialen zich precies zullen gedragen wanneer ze bij brand betrokken raken en hoe de brandweer dan moet optreden is nog veel onbekend.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Ontwikkelingen rond duurzaam bouwen</b>	<b>8</b>
1.1	Terminologie	8
1.2	Omgevingsregelgeving	10
1.3	Stimuleringsregelingen	12
1.4	Ambities van de overheid	13
<b>2</b>	<b>Toepassing van nieuwe bouwwijzen en materialen</b>	<b>14</b>
2.1	Biobased gebouwen	14
2.2	Energiezuinige gebouwen	16
2.3	Klimaatadaptieve en groene gebouwen	16
2.4	Demontabele, remontabele en modulaire gebouwen	18
<b>3</b>	<b>Invloed op brandveiligheid</b>	<b>20</b>
3.1	Biobased gebouwen	20
3.2	Energiezuinige gebouwen	23
3.3	Klimaatadaptieve / Groene gebouwen	24
3.4	Demontabele, remontabele en modulaire gebouwen	25
<b>4</b>	<b>Voorbeelden van duurzame gebouwen</b>	<b>26</b>
4.1	Houten gebouw: Sawa	26
4.2	Groene gebouwen: de Trudo-toren	30
4.3	Demontabele en modulaire gebouwen: Ferlem	34
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>	<b>38</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>39</b>

# Inleiding

## Achtergrond

De laatste jaren is het steeds evidentier geworden dat het klimaat verandert, dat deze verandering steeds sneller gaat en dat ze kan worden toegeschreven aan de uitstoot van broeikasgassen (IPPC, 2021). Het gaat hierbij met name om de uitstoot van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen (aardgas, aardolieproducten en steenkool). Deze klimaatverandering brengt allerlei effecten met zich mee, die velen als ongewenst beschouwen. Zo neemt wereldwijd de biodiversiteit sterk af (WWF, 2020). Ook de stijging van de zeespiegel en de toename van weersextremen zijn ongewenste gevolgen van de klimaatverandering (KNMI, 2015). Naast een ethische kant, kent klimaatverandering ook een financiële kant. In 2012 berekende Deltares dat de directe economische schade die Nederland tot 2050 zal ondervinden als gevolg van klimaatverandering 71 miljard euro kan bedragen, onder meer doordat droogte, extreme neerslag en overstromingen schade kunnen toebrengen aan gebouwen, infrastructuur en vitale functies (Van de Leemkolk, Jongma, Dekker, & Handgraaf, 2020).

Klimaatverandering, afname van biodiversiteit en het instabiel worden van ecosystemen hebben allemaal te maken met de levenswijze van mensen in hooggeïndustrialiseerde samenlevingen. Steeds meer dringt het besef door dat die huidige levenswijze, gekenmerkt door een ongelimiteerd gebruik van grondstoffen, het gebruiken van milieubelastende middelen en een grote energieconsumptie, niet eindeloos voortgezet kan worden. Steeds vaker en steeds luider klinkt de roep om een 'duurzamere' manier van leven, waarbij meer rekening wordt gehouden met de impact op klimaat en op ecosystemen. Veel mensen en bedrijven kiezen uit eigen beweging voor een meer duurzame manier van consumeren en produceren. Dergelijke ontwikkelingen worden soms door de overheid gestimuleerd (bijvoorbeeld met subsidies of belastingvoordelen) en soms afgedwongen met regelgeving.

Het streven naar meer duurzaamheid is echter een weg van lange adem, omdat het de hele economie en de hele samenleving raakt (Verbong, Selm, Knoppers, & Raven, 2001). Ondertussen zet de klimaatverandering door en worden de gevolgen daarvan steeds duidelijker. Zo zullen burgers, bedrijven en overheden steeds meer rekening moeten houden met weersextremen zoals lange periodes van droogte en hitte of juist periodes met zeer veel neerslag. Misoogsten, drinkwatertekorten, verzakkingen en overstromingen kunnen hier het gevolg van zijn. Hierop anticiperen door bijvoorbeeld andere bouwwijzen, het aanleggen van een aangepaste infrastructuur, de teelt van andersoortige gewassen en ander waterbeheer wordt 'klimaatadaptatie' genoemd.



Zowel klimaatadaptatie als het streven naar duurzaamheid zullen invloed hebben op de (woning)bouw. Een duurzame productie van bouwmaterialen en de mogelijkheid om bouwmaterialen opnieuw te gebruiken worden steeds belangrijker, om zo uitputting van grondstoffen en uitstoot van CO<sub>2</sub> tegen te gaan. Hierbij moet bedacht worden dat de bouwsector wereldwijd meer dan 40 % van het grondstofverbruik voor zijn rekening neemt (Rau & Oberhuber, 2019) en het kabinet in Nederland tot en met 2030 900.000 woningen wil laten bouwen en daarmee toegroeien naar 100.000 woningen per jaar (BZK, 2022).

Bestaande huishoudens verbruikten in 2018 zo'n 13 % van alle energie in Nederland, voor een belangrijk deel in de vorm van aardgas voor verwarming (Compendium voor de Leefomgeving, 2019). Om het energieverbruik van huishoudens te reduceren, stelt de overheid strenge eisen aan de warmte-isolatie van woningen; deze eisen worden met enige regelmaat verzaamd. Om minder afhankelijk te zijn van fossiele brandstoffen komen er steeds meer aardgasloze woningen en zelfs aardgasloze wijken. Ook wordt gekeken naar de bouwmaterialen zelf, aangezien voor de productie van de gangbare bouwmaterialen als beton en staal zeer veel energie nodig is en de grondstoffen hiervoor op een gegeven moment uitgeput zullen raken. 'Natuurlijke' en 'hergroeibare' materialen zoals hout en vlas zijn dan wellicht betere alternatieven. Ook demontabel bouwen is een vorm van hergebruik van materiaal; weliswaar niet van het bouw materiaal, maar wel van het samengestelde product. Daarnaast wordt er bij de bouw van woningen en woonwijken steeds meer rekening gehouden met het veranderende klimaat, door bij het ontwerp bijvoorbeeld meer rekening te houden met regenwaterafvoer en -berging of door woningen zo te ontwerpen dat ze bij hitte relatief koel blijven.

In het voorliggende document wordt een beeld geschetst van de ontwikkelingen op dit terrein die op dit moment gaande zijn in de bouw. Voor het NIPV is dit relevant, omdat het aanneemelijk is dat deze ontwikkelingen gevolgen hebben voor de brandveiligheid, zowel met betrekking tot het ontstaan van brand als met de wijze waarop branden zich kunnen ontwikkelen en bestreden moeten worden. Deze publicatie bouwt voort op het eerder gepubliceerde *Infoblad circulaire economie voor veiligheidsregio's* (IFV, 2019). Nadrukkelijk beperkt de huidige publicatie zich niet alleen tot circulair bouwen (ofwel het hergebruik van grondstoffen en producten), maar gaat ze ook in op het bredere streven naar duurzaamheid, waaronder energiezuinigheid en klimaatadaptatie. Hierbij wordt ingezoomd op concrete voorbeelden van ander materiaalgebruik en andere bouwmethoden. Of dit materiaalgebruik of deze bouwmethoden gelabeld moeten worden onder het kopje 'circulair', 'energiezuinig', 'klimaatadaptief' of anderszins, is daarbij van secundair belang.

## Doel en doelgroep

Doelstelling van dit onderzoek is om brandveiligheidsadviseurs van veiligheidsregio's inzicht te geven in de brandveiligheid van nieuwe materialen en methoden die als gevolg van strengere duurzaamheidseisen in de bouw gebruikt (zullen) worden. Uiteraard kunnen ook andere partijen die betrokken zijn bij de ontwikkeling en realisatie van nieuwe gebouwen deze publicatie gebruiken.

## Methode en afbakening

Voor het onderzoek is een literatuurstudie uitgevoerd. Ook is informatie ingewonnen bij deskundigen en betrokkenen, zoals projectontwikkelaars, ontwerpers, bouwers, adviseurs en medewerkers van veiligheidsregio's.

Binnen het kader van dit project was het onmogelijk om alle brandveiligheidsaspecten van nieuwe bouwwijzen en bouwmaterialen diepgaand te behandelen. Deze publicatie beoogt daarom slechts een schets te geven van de recente ontwikkelingen en de aandachtspunten voor brandveiligheid daarbij. Hierbij wordt uitgegaan van de belangrijkste ontwikkelingen en inzichten zoals die op het moment van schrijven van het rapport bekend waren. Toekomstige of nog weinig bekende innovaties kunnen uiteraard niet meegenomen worden in dit rapport. Ook het onderzoek naar nieuwe materialen, nieuwe toepassingen van materialen en de brandveiligheid daarvan is volop in ontwikkeling. Ook wat dat betreft moet dit rapport gezien worden als een (niet-uitputtende) momentopname.

In de toekomst zullen voortdurend nieuwe bouwmaterialen -en methoden worden geïntroduceerd in de bouw. Daarom zal deze publicatie worden doorontwikkeld en regelmatig worden geactualiseerd en uitgebreid.

Het project richt zich op relevante, nieuwe ontwikkelingen in nieuwe bouwprojecten. Het gaat dus niet om brandveiligheid in bestaande bouw, hoewel het mogelijk is dat ook in bestaande bouw vergelijkbare issues spelen. Tot slot is het belangrijk op te merken dat dit project zich alleen richt op de *bouwkundige* brandveiligheid en niet op de installatietechnische brandveiligheid. Ontwikkelingen als zonnepanelen, warmtepompen en energieopslagsystemen worden in deze publicatie dus niet behandeld.

## Leeswijzer

Allereerst wordt beschreven wat de ontwikkelingen zijn rond duurzaam, energiezuinig, circulair en klimaat adaptief bouwen (hoofdstuk 1) en op welke wijze deze in Nederland zijn terug te vinden in bouwmethoden en materiaalgebruik, gerealiseerd of in plannen (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 wordt nagegaan wat de invloed van deze ontwikkelingen is op de brandveiligheid. Zijn deze onderwerpen in hoofdstuk 2 en 3 in vrij algemene zin behandeld, in hoofdstuk 4 wordt ingezoomd op enkele concrete voorbeelden van bouwprojecten waar specifieke elementen van duurzaam bouwen centraal staan. Hierbij worden de verschillen met de meer traditionele bouwwijzen beschreven, met nadruk op de aspecten die van invloed zijn op de bouwkundige brandveiligheid. In hoofdstuk 5 worden de belangrijkste bevindingen nog eens kort beschouwd.

# 1 Ontwikkelingen rond duurzaam bouwen

Zoals in de Inleiding geschetst, zijn veel burgers en bedrijven in Nederland gemotiveerd om hun ecologische voetafdruk te verkleinen, te zoeken naar andere manieren om met grondstoffen om te gaan en zich voor te bereiden op de gevolgen van klimaatverandering. Ook de overheid draagt bij aan deze omslag door middel van regelgeving en stimuleringsmaatregelen (BZK, 2020). Het merendeel van de fiscale steun voor circulair bouwen gebeurt via de Milieu-investeringsaftrek (Mia), via de Regeling groenprojecten en via de fiscale innovatieregeling Wet bevordering spur- en ontwikkelingswerk (Wbso).

Het Bouwbesluit 2012 (Bouwbesluit, 2012) kent voorschriften met het oog op energiezuinigheid (afdeling 5.1) en milieu (afdeling 5.2). Voor 2021 zijn deze eisen verder aangescherpt (BZK, 2020). Wanneer het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) in werking treedt, krijgen gemeenten de mogelijkheid om zwaardere eisen te stellen aan de milieu- en de energieprestatie van gebouwen.

## 1.1 Terminologie

Er wordt veel gesproken en geschreven over allerlei manieren om anders om te gaan met energie en grondstoffen en met het veranderende klimaat. Hiervoor worden verschillende, niet eenduidig gedefinieerde en elkaar vaak overlappende termen gebruikt. Er wordt zelfs wel van een ‘Babylonische spraakverwarring’ gesproken (Korbee, 2018). In deze publicatie wordt pragmatisch met de verscheidenheid aan definities en begripsomschrijvingen omgegaan en gaat het vooral om de vraag welke gevolgen alle ontwikkelingen op het gebied van klimaat en duurzaamheid hebben voor bouwwijzen en gebruikte bouwmaterialen en, afgeleid daarvan, voor brandveiligheid.

In dit rapport worden onderstaande begripsomschrijvingen gehanteerd:

**Duurzaam**<sup>1</sup> is het meest omvattende en (zeker in marketingtermen) meest gebruikte begrip. Het is een containerbegrip waar allerlei andere begrippen geheel of gedeeltelijk in onder te brengen zijn. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat activiteiten duurzaam zijn als ze ook op lange termijn kunnen worden volgehouden zonder tegen irreversibele beperkingen aan te lopen op het gebied milieuvervuiling, klimaatverandering, grondstofschaarste, verlies van biodiversiteit, of ziektes en pandemieën. Zorgvuldig gebruik en hergebruik van grondstoffen en het beperken van het gebruik van fossiele brandstoffen horen hierbij. In dit verband wordt ook wel gesproken van het verkleinen van de ecologische voetafdruk.

---

<sup>1</sup> De Engelse term voor ‘duurzaam’ is ‘sustainable’. Een veel gehanteerde definitie komt uit het ‘Brundtland Report’ (Brundtland, 1987, p. 41): “Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.



In de bouw heeft duurzaamheid zowel betrekking op de gebruiksfase van het gebouw (energiezuinigheid) als op de milieubelasting van de grondstoffen en materialen die tijdens de bouw worden gebruikt.

Met **klimaatadaptief bouwen** wordt bedoeld dat er bij de planning en de bouw van nieuwe panden (of de verbouw van bestaande panden) rekening wordt gehouden met de gevolgen van klimaatverandering. Klimaatadaptieve maatregelen hoeven niet noodzakelijkerwijze gericht te zijn op de oorzaken van klimaatveranderingen. Voor Nederland betekent dit dat rekening moet worden gehouden met hogere temperaturen, extremere neerslag, drogere zomers en een grotere kans op overstromingen (NAS, 2018; Van de Leemkolk et al., 2020). In dit kader past ook het streven naar meer *groen* in de leefomgeving; ook wel 'groene adaptatie' genoemd (RIVM, 2021). Vergroening betekent meer bomen in steden, meer parken met groen en planten op daken en aan muren. Planten en bomen kunnen de hoge temperaturen tijdens hittegolven in de stad verlagen, zorgen voor schaduw, hebben effect op vochtigheid en verminderen zo het 'hitte-eiland-effect'. Hierdoor is het prettiger leven in de stad en ondervinden mensen minder last van hitte. Bovendien dragen planten en bomen ook bij aan de opvang van water: het groen zorgt ervoor dat het water gedoseerd aan de grond wordt afgegeven.

**Energiezuinig bouwen** gaat over het beperken van het energieverbruik van gebouwen en is grotendeels gericht op het verbeteren van de thermische isolatie van gebouwen, waardoor er minder energie nodig is om een woning te verwarmen (of te koelen). Aangezien de meeste gebouwen (nog) door middel van aardgas verwarmd worden, staat minder energie vaak gelijk aan minder aardgas. Dit betekent minder uitstoot van CO<sub>2</sub>, het gas dat als de belangrijkste veroorzaker van klimaatverandering wordt gezien.

Bij **circulair bouwen** staat hergebruik van materialen centraal. Het streven naar hergebruik komt voort uit de gedachte dat grondstoffen niet onuitputtelijk zijn en dat bij de productie van bouwmaterialen veel CO<sub>2</sub> vrijkomt. Dit vergt een andere omgang met en een andere waardering van materialen (Bosch, 2017; Rau & Oberhuber, 2019). Met betrekking tot nieuwbouw betekent dit dat al bij het ontwerp van een gebouw moet worden nagedacht over de manier waarop onderdelen van het gebouw opnieuw gebruikt kunnen worden wanneer dat gebouw aan het einde van zijn levenscyclus komt. Het gebouw is dan niet slechts demontabel maar ook remontabel (Rau & Oberhuber, 2019). Voor bestaande bouw betekent dit dat bij de sloop getracht moet worden de hoeveelheid afval te minimaliseren door te kijken hoe materialen en grondstoffen zodanig verwerkt kunnen worden dat ze geschikt zijn voor hergebruik in nieuwe gebouwen.<sup>2</sup> Toepassen van het concept van **modulair bouwen** zal hergebruik nog meer stimuleren. Door modulair te bouwen is het mogelijk om een bestaand pand relatief eenvoudig aan te passen aan veranderende wensen of functies (bijvoorbeeld een kantoorpand ombouwen tot een woongebouw). Ook kunnen bij modulair bouwen onderdelen eenvoudig hergebruikt worden voor nieuwe panden. Als zodanig kan modulair bouwen als een vorm van circulair bouwen worden gezien.

Een andere vorm van duurzaam bouwen die soms onder circulair bouwen wordt geschaard, is **biobased bouwen**. Hierbij wordt zoveel mogelijk gebruikgemaakt van bouwmaterialen die voor het overgrote deel bestaan uit grondstoffen van biologische (meestal plantaardige, maar soms ook dierlijke) oorsprong die binnen hun levens- of gebruiksduur kunnen bijgroeien; de basisgedachte achter circulariteit in dit verband.

---

<sup>2</sup> Al valt dit volgens sommigen niet onder 'circulair bouwen' maar onder 'circulair slopen' (Bosch, 2017).

Dit voorkomt uitputting van (in eindige hoeveelheden aanwezige) grondstoffen. Door het gebruik van natuurlijke<sup>3</sup>, 'hernieuwbare' materialen wordt ook minder een beroep gedaan op energie-intensieve (CO<sub>2</sub>-uitstotende) materialen zoals beton en staal. Bij biobased grondstoffen wordt zelfs CO<sub>2</sub> 'vastgelegd' in de bouwmaterialen, die in veel gevallen ook nog eens herbruikbaar ('remontabel') zijn.

## 1.2 Omgevingsregelgeving

### 1.2.1 Het Bouwbesluit 2012

Voor de onderwerpen 'energiezuinigheid en milieu' geeft het Bouwbesluit 2012 voorschriften in hoofdstuk 5 ('Technische voorschriften uit het oogpunt van energiezuinigheid en milieu'). Daarin komen de onderwerpen duurzaam, circulair en energiezuinig direct of indirect aan de orde.

#### **Energiezuinigheid (Afdeling 5.1 in het Bouwbesluit 2012)**

Het Bouwbesluit 2012 geeft minimale prestatie-eisen voor de energiezuinigheid van nieuw te bouwen bouwwerken. De gestelde eisen spelen een belangrijke rol bij het realiseren van de klimaat- en energiedoelstellingen. Tot 1 januari 2021 hanteerde het Bouwbesluit 2012 de energieprestatie-coëfficiënt (EPC) als maatstaf, maar vanaf 1 januari 2021 moeten alle nieuwe gebouwen in Nederland 'bijna energieneutrale gebouwen' zijn (BENG). De energieprestatie bij BENG wordt bepaald aan de hand van drie individueel te behalen eisen (BENG 1 t/m 3):

1. BENG 1: de maximale energiebehoefte in kilowattuur per vierkante meter gebruiksoppervlak per jaar (kWh/m<sup>2</sup>/jr)
2. BENG 2: het maximale primair fossiele energiegebruik, eveneens in kilowattuur per vierkante meter gebruiksoppervlak per jaar (kWh/m<sup>2</sup>/jr)
3. BENG 3: het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten (%).

BENG 1 is bepalend voor de gebouwschil (gevel, dak, vloer van de begane grond), waarbij het gaat om de thermische isolatie en de luchtdichtheid van het gebouw. Eén van de mogelijkheden om te voldoen aan de BENG 1 is het toepassen van materialen met een hogere isolatiewaarden dan de minimumeisen van het Bouwbesluit 2012. BENG 1 heeft daarmee invloed op de materiaalkeuze en detaillering van een gebouw en daarmee op de bouwkundige brandveiligheid. BENG 2 en BENG 3 zijn vooral bepalend voor de keuzes die worden gemaakt voor de installaties en vallen daarmee buiten de scope van dit onderzoek.

#### **Duurzaamheid en circulariteit (artikel 5.9 in Afdeling 5.2 in het Bouwbesluit 2012)**

De voorschriften in afdeling 5.2 van het Bouwbesluit 2012 (Milieu, waaronder artikel 5.9, 'duurzaam bouwen') hebben als doel de milieuprestatie van te bouwen woningen, woongebouwen en kantoorgebouwen (MPG) te verbeteren, ofwel de milieubelasting van de gebruikte bouwmaterialen te verminderen. Aan de berekening van de materiaalgebonden milieueffecten van het bouwen, beheren en slopen van gebouwen en bouwwerken ligt de *levenscyclusanalyse* ten grondslag. Dit is een bepalingswijze die al geruime tijd in de bouw wordt gebruikt om de mate van duurzaamheid van gebouwen en bouwwerken te berekenen.

<sup>3</sup> Met een 'natuurlijk materiaal' wordt gewoonlijk een materiaal bedoeld dat zonder veel bewerking en conform zijn oorspronkelijke eigenschappen gebruikt kan worden.

### Levenscyclusanalyse (LCA)

Milieugerichte Levenscyclusanalyse (LCA of Life Cycle Assessment) is een methode voor het in kaart brengen van de invloed van producten en menselijke activiteiten op het milieu. Daarbij wordt gebruikgemaakt van speciale rekenmodellen. In LCA wordt doorgaans de levenscyclus van een product of activiteit bekeken, vanaf de winning van grondstoffen via productie en (her)gebruik tot en met de verwerking als afval.<sup>4</sup> Omdat het hierbij gaat om een keten van processen wordt LCA beschouwd als een vorm van ketenanalyse.<sup>5</sup>

Met de bij de LCA gebruikte rekeninstrumenten is in de sector bouw de afgelopen jaren al de nodige ervaring opgedaan bij het formuleren van de milieuambitie van een project, het maken van afspraken over de te realiseren milieuprestatie van een gebouw of bouwwerk en het aantonen van de gerealiseerde milieuprestatiewaarde (Berghuis, 2019). Artikel 5.9 'Duurzaam bouwen' van het Bouwbesluit 2012 geeft een landelijk geharmoniseerde bepalingmethode: de *Bepalingmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken*.<sup>6</sup> Hiermee kan de milieuprestatie op eenduidige en controleerbare wijze worden vastgesteld. De berekening vindt plaats op basis van het materiaalgebruik met gebruikmaking van milieu-data uit de Nationale Milieu Database. Deze wordt beheerd door de Stichting Bouwkwiteit (SBK). Deze systematiek maakt het mogelijk te kiezen voor het materiaal met de kleinste milieubelasting. In het Bouwbesluit 2012 worden voor woningen en bepaalde kantoor-gebouwen eisen gesteld aan de milieuprestatie. Naar verwachting zal dit in de toekomst ook voor andere bouwtypen gaan gelden.

Om het circulair bouwen te bevorderen en knelpunten weg te nemen, neemt de overheid maatregelen, waaronder het verscherpen van de milieuprestatie-eisen voor nieuwe gebouwen. In een brief aan de Tweede Kamer van 29 september 2020 (BZK, 2020) zegt de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, als eerste stap naar de feitelijke halvering van de milieuprestatie-eis, de eis voor nieuwe woningen van 1,0 naar 0,8 te willen verlagen in 2021. Ten behoeve van de uniforme berekening van milieuprestaties van circulaire maatregelen komt er een handreiking beschikbaar voor het werken met indicatoren voor circulariteit. Hierdoor kan de milieu-impact van maatregelen voor circulair bouwen zoals hoogwaardig hergebruik en recycling op een uniforme manier worden gewaardeerd binnen de Bepalingmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken (Stichting Bouwkwiteit, 2019).

### 1.2.2 Omgevingswet

Na de inwerkingtreding van de Omgevingswet krijgen gemeenten meer ruimte om op lokaal niveau hogere eisen te stellen aan de energiezuinigheid en milieuprestatie van gebouwen. Het toekomstige Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl, 2018) biedt gemeenten namelijk de mogelijkheid om in een omgevingsplan een maatwerkregel op te nemen waarmee een hogere eis kan worden gesteld aan de energiezuinigheid en milieuprestatie van gebouwen.

<sup>4</sup> De keten grondstofwinning – gebruik – hergebruik – verwerking als afval wordt vaak als Cradle-to-Grave (C2G) aangeduid. Bij 100% hergebruik is er geen afval. Dit wordt vaak aangegeven met de term Cradle-to-Cradle (C2C).

<sup>5</sup> <https://www.rivm.nl/life-cycle-assessment-lca/wat-is-lca>.

<sup>6</sup> GWW = Grond-, weg- en waterbouw.

## 1.3 Stimuleringsregelingen

### 1.3.1 Subsidieregelingen en fiscale regelingen

In de eerdergenoemde brief van de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties van 29 september 2020 (BZK, 2020) wordt verwezen naar een aantal rijkssubsidieregelingen en fiscale regelingen voor het bevorderen van circulaire dan wel duurzame maatregelen. Het merendeel van de fiscale steun gebeurt via de Milieu-investeringsaftrek (MIA) / Vamil voor ondernemers<sup>7</sup>, via de Regeling groenprojecten-duurzaam bouwen<sup>8</sup> en via de fiscale innovatieregeling Wet Bevordering Speur- en Ontwikkelingswerk (WBSO). De MIA bevat al meerdere jaren de categorie duurzame gebouwen. In genoemde brief is expliciet aangegeven dat deze categorie een breed palet aan maatregelen bevat op het gebied van duurzaam en energiezuinig bouwen, maar dat niet alle maatregelen in deze categorie specifiek circulair te noemen zijn.

Het realiseren van een betere energiezuinigheid dan volgens het Bouwbesluit 2012 verplicht is, kan één van de voorwaarden zijn om voor een dergelijke regeling in aanmerking te komen.

### 1.3.2 Certificeren

Het is mogelijk om bouwprojecten (vrijwillig) te laten certificeren op het gebied van duurzaamheid. Een veelgebruikte methode om dit te doen is BREEAM, dat staat voor *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM, 2021). De organisatie BREEAM-NL certificeert duurzame nieuwbouwprojecten of grootschalige renovaties. De eisen om in aanmerking te komen voor zo'n certificaat zijn strenger dan de eisen in het Bouwbesluit 2012. Een dergelijk certificaat wordt vanuit de overheid niet verplicht gesteld, maar particulieren en bedrijven kunnen vanuit eigen motivatie kiezen voor zo'n certificaat, bijvoorbeeld omdat zij denken dat het gebouw hierdoor meer toekomstbestendig is of in waarde stijgt.

### 1.3.3 Materialenpaspoorten

Bij circulair bouwen is er veel aandacht voor materiaalgebruik. Daarom is er behoefte om inzichtelijk te krijgen welke materialen bij de bouw zijn gebruikt en hoe ze zijn verwerkt. Dat maakt hergebruik en terugwinning van materialen bij de sloop of demontage veel eenvoudiger en geeft bouwwerken meer waarde. Dit kan bereikt worden met een 'materialenpaspoort' (Stolk, 2019). Het idee van een materialenpaspoort werd in 2011 gelanceerd in het boek *Material matters* van Thomas Rau en Sabine Oberhuber (Rau & Oberhuber, 2019). De laatste jaren wordt er binnen de Rijksoverheid steeds meer gesproken over de noodzaak tot het invoeren van materialenpaspoorten (Transitieteam CBE, 2020), en worden in de private sfeer al diverse soorten materialenpaspoorten gebruikt. Het kabinet stimuleert dit door bijvoorbeeld bedrijven fiscaal voordeel te geven via MIA/Vamil<sup>7</sup>, indien onder meer een materialenpaspoort van een gebouw beschikbaar is (BZK 2020).

<sup>7</sup> <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/miavamil/ondernemers>.

<sup>8</sup> <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/regeling-groenprojecten/voorwaarden/projectcategorie%C3%ABn/duurzaam-bouwen>.

## 1.4 Ambities van de overheid

In het programma 'Nederland Circulair in 2050' heeft het kabinet drie doelstellingen geformuleerd om de Nederlandse economie zo snel mogelijk circulair te maken (Rijksoverheid, 2022):

1. Bestaande productieprocessen moeten efficiënter gebruikmaken van grondstoffen, zodat er minder grondstoffen nodig zijn. Grondstoffen worden gebruikt voor bijvoorbeeld eten, elektrische apparaten en kleding.
2. Wanneer nieuwe grondstoffen nodig zijn, moet zoveel mogelijk gebruik worden gemaakt van duurzaam geproduceerde, hernieuwbare (onuitputtelijke) en algemeen beschikbare grondstoffen. Een voorbeeld hiervan is biomassa: grondstof uit planten, bomen en voedselresten. Dit maakt Nederland minder afhankelijk van fossiele bronnen en het is bovendien beter voor het milieu.
3. Nieuwe productiemethodes moeten ontwikkeld worden en nieuwe producten circulair ontworpen.



# 2 Toepassing van nieuwe bouwwijzen en materialen

In het kader van de in de inleiding geschetste ontwikkelingen worden er in toenemende mate nieuwe bouwwijzen toegepast in Nederland en worden er nieuwe of andere bouwmaterialen gebruikt, die een kleinere 'ecologische voetafdruk' veroorzaken, leiden tot een lager energieverbruik of beter bestand zijn tegen de gevolgen van klimaatverandering. In dit hoofdstuk wordt een aantal voorbeelden van de 'duurzame' bouwwijzen kort genoemd. Deze zijn geclusterd in een aantal thema's:

- > Paragraaf 2.1: Biobased gebouwen
- > Paragraaf 2.2: Energiezuinige gebouwen
- > Paragraaf 2.3: Klimaatadaptieve en groene gebouwen
- > Paragraaf 2.4: Demontabele, remontabele en modulaire gebouwen.

Hierbij is onderscheid gemaakt naar de verschillende bouwwijzen en materialen. In de praktijk blijkt echter vaak een combinatie van verschillende duurzaamheidsverhogende methoden en materialen te worden toegepast.

## 2.1 Biobased gebouwen

Zoals eerder uiteengezet, zijn biobased gebouwen zoveel mogelijk opgebouwd uit natuurlijke, 'hergroeibare' materialen.<sup>9</sup> Toepassing van biobased materialen in de bouw biedt nog andere voordelen behalve het feit dat ze 'hergroeibaar' zijn. Zo zijn ze licht van gewicht, hebben een korte bouwtijd en bieden de mogelijkheid om modules en elementen te remonteren. Voorstanders van biobased bouwen wijzen verder op het prettige en gezonde karakter van biobased gebouwen.

Hout is het bekendste voorbeeld van een natuurlijk materiaal; het wordt op vele plekken ter wereld al eeuwenlang toegepast. In veel landen is bouwen met hout altijd gebruikelijk gebleven; denk aan de Verenigde Staten, Canada of de Scandinavische landen. Bouwen met hout is aanmerkelijk duurzamer dan bouwen met staal en beton. Tijdens de productie van hout wordt CO<sub>2</sub> opgenomen (door de bomen), terwijl tijdens de productie van de meest gebruikte bouwmaterialen beton en staal juist CO<sub>2</sub> vrijkomt, aangezien voor de productie van deze materialen zeer veel energie nodig is, die veelal wordt verkregen uit fossiele brandstoffen. Hout kan op verschillende manieren gebruikt worden. Traditioneel is het gebruik van houten planken en balken die als één geheel uit een boom worden gezaagd.

---

<sup>9</sup> Om als 'duurzaam' te kunnen worden aangemerkt, moeten deze materialen ook daadwerkelijk kunnen 'hergroeien'. Met name ten aanzien van hout is deze vraag actueel, aangezien een toenemende vraag naar hout tot ontbossing of extra houtkap kan leiden. Ook is voor de productie van plantaardige materialen extra ruimte nodig, die concurreert met andere ruimtevragers. Dat is een flinke uitdaging. Zo kan de productie van biobased materialen voedselproductie of natuur verdringen (Rijksoverheid, 2020).

Steeds gebruikelijker wordt echter de toepassing van verlijmd hout, het zogenaamde kruislaaghout of 'cross laminated timber' (CLT)<sup>10</sup>. In Nederland lijkt er in dit geval sprake te zijn van een herontdekte innovatie uit 1923, die op steeds grotere schaal wordt toegepast, ook voor de verwerking van resthout (Cirkellab, 2020). Door hout op deze manier te verwerken tot CLT, ontstaan er meer gebruiksmogelijkheden zoals bijvoorbeeld toepassing in hoogbouw. De laatste jaren zien we steeds meer (hoogbouw)projecten met CLT in Nederland. Ook houtskeletbouw lijkt met een opkomst bezig te zijn.

Ook andere natuurlijke materialen worden gebruikt in de bouw. Denk hierbij aan stro, riet, vlas, wol, katoen, kurk, schelpen, hennep, bamboe, olifantsgras (*miscanthus*) en zelfs mycelium (schimmels). Soms worden biobased grondstoffen gewonnen uit reststromen uit de landbouw (bijvoorbeeld stro uit de graanteelt of paprikastengels uit de tuinbouw). Het bouwen met biobased kunststoffen (bijvoorbeeld op basis van maïs) wordt gewoonlijk ook onder biobased bouwen gerekend. Veel materialen die als biobased gelabeld kunnen worden, worden in feite al eeuwenlang als bouw materiaal gebruikt. Voor toepassing in de moderne bouw hoeven dan ook niet alleen nieuwe, inventieve bouwmethodes te worden ontwikkeld, maar kan soms gebruikgemaakt worden van kennis uit het verleden.

Hieronder staan enkele voorbeelden van het gebruik van biobased materialen in de bouw in Nederland:

> **Houtskelet en stro**

In de gevels en in het dak van een appartementencomplex in Lent wordt stro verwerkt als isolatiemateriaal in de houtskeletbouwelementen. In combinatie met leemstuc haalt het woongebouw een brandwerendheid van 215 minuten (Bouwwereld, 2014).

> **Vlas**

Woningcorporatie Woongoed Zeeuws-Vlaanderen heeft bij de renovatie van vier huurwoningen de voor- en achtergevel vervaardigd uit vlassisolatie en vlascomposietpanelen op basis van onder andere natuurlijke harsen (Van Dam & Van den Oever, 2019).

> **Houtskelet en schapenwol**

In Geldrop is door ARCHES architecten BNA een damp-open houtskeletwoning, geïsoleerd met schapenwol en vlas. De zwarte gevels zijn gemaakt van gerecycled PET, op het schuine dak ligt riet en op de platte daken is een sedumvegetatiedak gemaakt. De nok van de woning is voorzien van een zonneboiler, een zogeheten econok (Van Dam & Van den Oever, 2019).

> **Hout en schelpen**

Plaza Mediterra in Doetinchem is een project van zestien milieuwoningen van de architecten P. van Gerwen & S. Seitz, waarbij veel hout is toegepast. De woningen zijn geconstrueerd met ankerloze spouwmuren, kruipruimten met schelpenisolatie, cellulose wandisolatie, en ook voorzien van sedumdaken (Van Dam & Van den Oever, 2019).

> **Hout / cellulose**

Het 'Blauwe Huis' in IJburg, Amsterdam is volgens de principes van Trias Energetica en C2C gerealiseerd, met gebruikmaking van zoveel mogelijk CO<sub>2</sub>-neutrale bouwmaterialen (houten constructie, leem, cellulose isolatie, et cetera) (Van Dam & Van den Oever, 2019).

---

<sup>10</sup> Cross laminated timber wordt gemaakt van snelgroeiend hout dat kruislings verlijmd wordt tot houten platen van verschillende diktes. Bouwelementen kunnen op industriële wijze worden geprefabriceerd in diverse afmetingen.

> **Schelpen en kurk**

De Waddenwoningen in Kollum zijn voorbeeldwoningen waarin schelpen in vele vormen zijn toegepast als experimenteel biobased bouw materiaal. Daarnaast is ook zogenaamd 'ecobeton' toegepast met hout, kurk en riet (Van Dam & Van den Oever, 2019).

> **Houtskelet en Houtvezel**

Naar ontwerp van ORGA architect is een tandartspraktijk gerealiseerd op basis van lariks spanten, vuren houtskeletbouw en isolatie van houtvezel. Het dak bevat een turflaag met sedum (Van Dam & Van den Oever, 2019).

In paragraaf 3.1 wordt de invloed van biobased bouwen op de brandveiligheid beschreven. Het bouwen met hout of CLT valt hier ook onder. In paragraaf 4.1 komt een voorbeeld van een biobased gebouw aan de orde en wordt gekeken naar de impact op de brandveiligheid, mogelijke maatregelen en aandachtspunten voor dit gebouw.

## 2.2 Energiezuinige gebouwen

Een groot deel van het energieverbruik van een woning wordt besteed aan verwarming, en voor deze verwarming wordt in de meeste gevallen (nog) aardgas (een fossiele brandstof) gebruikt.<sup>11</sup> Veel warmte gaat verloren via uitwendige scheidingsconstructies (muren, ramen en dergelijke), ofwel als gevolg van een slechte warmte-isolatie. De energiereductie in woningen moet daarom vooral gezocht worden in bouwkundige oplossingen zoals betere isolatie.

In hoofdstuk 5 van het Bouwbesluit 2012 worden minimale prestatie-eisen voor het energieverbruik van nieuw te bouwen bouwwerken genoemd. Zoals in paragraaf 1.2 is aangegeven, moeten alle gebouwen die sinds 1 januari 2021 in Nederland gebouwd worden 'bijna-energie neutrale gebouwen' (BENG) zijn. Voor wat betreft de gebouwschil (gevel, dak, begane grondvloer – BENG 1) gaat het daarbij om de thermische isolatie en de luchtdichtheid van het gebouw. De gestelde eisen spelen een belangrijke rol bij het realiseren van de doelstellingen op het gebied van klimaat en energiebeleid.

In paragraaf 3.2 wordt de invloed van energiezuinige gebouwen op de brandveiligheid beschreven.

## 2.3 Klimaatadaptieve en groene gebouwen

Bij klimaatadaptief bouwen gaat het erom zo te bouwen dat ingespeeld wordt op klimatologische veranderingen. Zo kan bij de bouw van bijvoorbeeld een fundering al rekening gehouden worden met langdurige periodes van droogte en kan bij het ontwerpen van de hemelwaterafvoer rekening gehouden worden met extreme neerslag. Waterberging en een minimale vloerhoogte met het oog op overstromingen kunnen wettelijk geëist worden. Uiteraard kan een gebouw tegelijkertijd klimaatadaptief én duurzaam zijn.

---

<sup>11</sup> Het aardgasverbruik wordt gewoonlijk uitgedrukt in het aantal kubieke meter aardgas en het elektriciteitsverbruik wordt gewoonlijk uitgedrukt in het aantal kilowattuur. Ter vergelijking kunnen beide worden omgezet in joules (de eenheid van energie). In 2019 was het aardgasverbruik van particuliere Nederlandse huishoudens volgens het CBS 272,9 pentajoule en het elektriciteitsverbruik 86,8 pentajoule (CBS, 2021).

Klimaatadaptief bouwen heeft zich tot nu toe in Nederland vooral gericht op de gevolgen van hevige regenval en overstromingen, dus op een verbeterde afvoer en infiltratie van water en op een betere waterberging.

Een andere trend is dat gebouwen of steden steeds vaker 'vergroend' worden, in die zin dat er beplanting op, aan, in en om een gebouw aangebracht wordt. Hierbij valt te denken aan 'groene daken' (bijvoorbeeld de eerdergenoemde sedumdaken), maar ook aan tuinen op hoogte, en verticale begroeiing tegen de gevels en op balkons. Groene daken kunnen regenwater opslaan en hebben als zodanig een bufferende werking in geval van zware buien, waardoor een piekbelasting van de riolering kan worden opgevangen. Een reden voor de aanleg van extra groen kan ook de bestrijding van het hitte-eiland-effect zijn (platform 31, 2019): beplanting zorgt door verdamping voor meer koelte tijdens hete periodes. Verschillende plantensoorten kunnen worden gebruikt, waardoor het groen op daken varieert van lage begroeiing tot aan volledige tuinen. In de praktijk is vooral sprake van mos-, sedum-, gras- en kruidendaken. Uit onderzoek is gebleken dat bomen en beplanting op, in en aan een gebouw bijdragen aan een prettiger leefmilieu in dat gebouw (RIVM, 2021). Het aangenamer maken van het leefmilieu in verstedelijkte gebieden is dan ook vaak reden voor het aanleggen van groen.

Enkele voorbeelden van klimaatadaptief en groen bouwen (platform 31, 2019) staan hieronder:

> **Waterberging**

Klimaatadaptief zelfbouweiland, Centrumeiland IJburg, Amsterdam. Ophoging met zand en een goede infiltratie in de zandgrond maakten een goede waterberging mogelijk, waardoor het gebied kon worden aangelegd zonder hemelwaterriool.

> **Waterberging en koelen**

Klimaatadaptieve daken, parkeergarage Spinozalaan en Daltonschool, Voorburg. Op de parkeergarage is een 'polderdak' aangelegd, dat de mogelijkheid biedt 50 m<sup>3</sup> water (tijdelijk) op te slaan. Bij het groendak op de school was de invloed ervan op de temperatuur in het gebouw het uitgangspunt.

> **Waterberging, verdroging, hittestress**

Op het schoolplein van de Jenapleinschool in Zwolle is de bodem grotendeels met zand en houtsnippers bedekt en er is veel groen aangelegd. Regenwater is losgekoppeld van het riool en wordt deels opgevangen in een ondergrondse tank en deels geïnfilteerd in de bodem.

> **Prettiger leefmilieu**

- De Groene Kaap, Rotterdam (De Groen Kaap, 2021): 450 nieuwbouw huur- en koopwoningen in vier havengebouwen met vijf torens worden met elkaar verbonden door hoven, loopbruggen en daktuinen.
- Stadsbos Eindhoven (Theeuwen, 2019): 3500 vierkante meter stadsbos vormt onderdeel van het plan voor het voormalige Van der Meulen-Ansems-terrein.
- Wonderwoods, Utrecht (Wonderwoods, 2019): Het plan bestaat uit twee groene torens met onder andere balkons en gevels met beplanting die geïnspireerd is op soorten die te vinden zijn in het Nationaal Park Utrechtse Heuvelrug. Verder is er ook veel groen aan de binnenkant.

> **Verbetering van de luchtkwaliteit**

Stadskantoor Venlo (Stadskantoor Venlo, 2021): ontworpen en gebouwd volgens het cradle-to-cradle principe. De vervuilde lucht uit het gebouw wordt via de spouw door het 'Modulogreen' gevelsysteem naar buiten geblazen, waarna de beplanting in de gevel de lucht reinigt.

In paragraaf 3.3 komt de invloed van klimaatadaptieve en groene gebouwen op de brandveiligheid aan bod. In paragraaf 4.2 wordt een voorbeeld van een groen gebouw beschreven en gekeken naar de impact op de brandveiligheid en naar mogelijke maatregelen en aandachtspunten voor dit gebouw.

## 2.4 Demontabele, remontabele en modulaire gebouwen

Zoals eerder aangegeven, zal hergebruik van materialen eerder plaatsvinden indien ze eenvoudig kunnen worden gedemonteerd (zonder al te veel moeite of breekwerk) en weer kunnen worden geremonteerd. Zeker als hierbij met (pasklare) modules wordt gewerkt. Denk daarbij aan muurdelen die het mogelijk maken om ruimtes anders in te delen waardoor deze bijvoorbeeld eenvoudig groter of kleiner kunnen worden gemaakt of een andere functie krijgen, zoals de ombouw van kantoren naar woningen. Hiermee kan de levensduur van een gebouw aanmerkelijk verlengd worden. Remontabel en modulair bouwen is derhalve duurzaam door een vermindering van het gebruik van grondstoffen. Ook heeft een dergelijke bouwwijze een lagere milieu-impact (VBI, 2021). Een belangrijke reden om van modules uit te gaan, zijn ook de kosten- en tijdsbesparing die hiermee kunnen worden bereikt.

Hieronder staan enkele voorbeelden van demontabele, remontabele en modulaire gebouwen genoemd. Net als bij de voorbeelden genoemd in de vorige paragraaf, is bij de gebouwen uit deze voorbeelden meestal ook met andere dan de hier uitgelichte duurzaamheidselementen rekening gehouden.

> **Kruislaaghout en modulair**

Woonwaard Alkmaar (Woonwaard, 2020): In dit project worden 129 appartementen gerealiseerd. De appartementen en gemeenschappelijke voorzieningen worden opgebouwd vanuit 260 modules over vijf bouwlagen. Er worden drie verschillende woningtypes gerealiseerd: studio's van 31 m<sup>2</sup>, driekamerappartementen van 61 m<sup>2</sup> en vierkamerappartementen van 81 m<sup>2</sup>. De gevel wordt opgetrokken uit een circulair gevelsysteem en glas. Tussen de twee bouwblokken wordt een gemeenschappelijke binnentuin gerealiseerd.

> **Modulair bouwsysteem met installaties**

Modelwoning Lemelerveld (Lemelerveld, 2020): In een modulair bouwsysteem worden prefab vloerelementen en installaties voor verwarming, warm water, ventilatie en het rioolstelsel in één keer in een woning geplaatst, waardoor in één dag een standaard woning wordt geïnstalleerd.

> **Remontabel en herbruikbaar**

Onderwijsgebouw Saxion Apeldoorn (Saxion, n.d.): Een grote vrije vloerindeling werd verwezenlijkt. Klaslokalen kunnen zo vergroot of verkleind worden als dat nodig is. Ook in de vloerconstructie is rekening gehouden met toekomstig gebruik. Deze kan gemakkelijk uit het gebouw gehaald worden en geheel opnieuw gebruikt worden. De vloeren hebben daarnaast overcapaciteit, waardoor ze een hogere belasting aankunnen dan ze nu te verduren hebben.



> **(Kruislaag)hout, remontabel, herbruikbaar**

Hoofdkantoor van Triodos Bank in Zeist (Stedenbouw, 2019): In het gebouw zijn gelamineerd hout, kruislaaghout (CLT) en vijf originele boomstammen letterlijk aan elkaar geschroefd met 165.312 schroeven. Door alles weer uit elkaar te schroeven is het voor 100% herbruikbaar zonder waardeverlies van materialen, componenten en producten.

> **Remontabel, herbruikbaar**

Een voorbeeld van een volledig demontabel gebouw is het tijdelijke gerechtsgebouw in Amsterdam dat, vijf jaar na ingebruikname, in 2021 werd gedemonteerd om opnieuw te worden opgebouwd in Enschede. Een van de selectiecriteria in het offerteprocés van het Rijksvastgoedbedrijf in 2015 was het voorkomen van afval en het maximaliseren van de restwaarde van het gebouw (Rijksvastgoedbedrijf, 2021). Hierdoor moest vanaf het begin worden nagedacht over alle fases in het bestaan van het gebouw. De vraag van het Rijksvastgoedbedrijf betrof een Design, Build, Maintain & Remove (DBMR)-opdracht. Dit betekende dat de bouwer tijdens de tijdelijke functie van het gebouw verantwoordelijk was voor het gebouw, eigenaar bleef van de materialen die in het gebouw zijn verwerkt en ook verantwoordelijk zou zijn voor de verwijdering van het gebouw na de gebruiksperiode (Van Vlerken, 2017). DBMR-opdrachten zoals bovenstaande leiden tot een veranderend eigenaarschap van gebouwen (en onderdelen daarvan), waardoor het accent op gebruik in plaats van bezit komt te liggen (De Wit, 2019). Zo zijn de liften in het CIRCL-gebouw in Amsterdam eigendom van de producent en wordt het gebruik ervan als dienst afgenomen. Hetzelfde geldt onder meer voor het klimaatsysteem, de tapijttegels en wasmachines in en de zonnepanelen op het gebouw. Na verloop van tijd worden deze onderdelen teruggenomen of vervangen (Van Heel, 2017; IFV 2019)

In paragraaf 3.4 wordt ingegaan op de invloed van demontabele, remontabele en modulaire gebouwen op de brandveiligheid. In paragraaf 4.3 wordt een voorbeeld van een demontabel en modulair gebouw beschreven en gekeken naar de impact op de brandveiligheid, mogelijke maatregelen en aandachtspunten voor dit gebouw.

# 3 Invloed op brandveiligheid

Brandweer Nederland en het Verbond van Verzekeraars hebben in maart 2021 een gezamenlijke ‘position paper’ uitgebracht waarin ze hun zorgen uitspreken over de brandveiligheidsaspecten van verschillende ontwikkelingen op het gebied van verduurzaming. Zij stellen onder meer dat er “een wildgroei aan nieuwe producten, aanbieders en installateurs” is ontstaan, “terwijl de regelgeving en normering vaak nog ontbreken” (Brandweer Nederland & Verbond van Verzekeraars, 2021, p. 3).

Wanneer het om gebouwen gaat, gelden de eisen uit het Bouwbesluit 2012. Ook nieuwe, innovatieve bouwmaterialen en bouwmethodes moeten daaraan voldoen. Deze eisen zijn echter beperkt en richten zich primair op vluchtveiligheid en het voorkomen van brand-overslag naar burens. Innovatieve bouwmaterialen kunnen zich bij brand anders gedragen dan de ‘bekende’ materialen. Daarbij komt dat er nog weinig ervaring is met branden waarbij innovatieve materialen betrokken zijn. Dit alles leidt tot uitdagingen en zorgen bij de Nederlandse brandweer. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op hetgeen er bekend is over de nieuwe bouwwijzen en bouwmaterialen in relatie tot brandveiligheid.

## 3.1 Biobased gebouwen

### 3.1.1 Algemeen

De relatie tussen biobased bouwen en brandveiligheid is complex, enerzijds omdat onder de term biobased een breed scala aan producten valt en anderzijds omdat de wijze waarop ze worden toegepast vaak anders is dan in conventionele bouw. Zo werd een brand in een ‘eco-woning’ in Kampen in 2018 onbeheersbaar, wat ertoe leidde dat deze woning gesloopt moest worden (Tijhaar, 2018). Als isolatiemateriaal was stro gebruikt, dat vlam vatte. Doordat dit stro ‘opgesloten’ zat in de spouw, was brandbestrijding nauwelijks mogelijk en kon de brand zich langzaam en geleidelijk over het hele huis verspreiden. Pas nadat met een grijper de woning als het ware uit elkaar was getrokken, kreeg de brandweer vat op het vuur.

Hoewel de constructieonderdelen die deels of volledig opgebouwd zijn uit biobased bouwmaterialen veelal aan dezelfde brandbaarheidseisen voldoen als de meer gebruikelijke materialen<sup>12</sup>, is daarmee nog niet duidelijk hoe deze biobased materialen zich zullen gedragen wanneer zij op een nieuwe, ongebruikelijke wijze worden toegepast en bij brand betrokken raken. Bij de brand in Kampen voldeed het binnenoppervlak van toegepaste wanden, dat de brandbare spouwmuurisolatie afschermdde, aan de benodigde brandklasse, maar raakte de brandbare spouwmuurisolatie toch bij de brand betrokken. Dit zorgde ervoor dat de brand niet te bestrijden was zonder dat het gebouw vrijwel volledig moest worden gesloopt.

---

<sup>12</sup> De Nederlandse producent van biobased isolatiemateriaal Fairm, claimt dat zijn product brandwerend is (zie <https://www.fairm.nl/>).

Desalniettemin werd in dit geval voldaan aan de fundamentele overheidsdoelen die ten grondslag liggen aan de brandveiligheidsvoorschriften:

- > de brand is beperkt gebleven tot het 'eigen' perceel
- > iedereen heeft veilig kunnen vluchten.

Wanneer dergelijke bouwconcepten niet alleen worden toegepast bij vrijstaande woningen maar ook bij geschakelde woningen of appartementengebouwen, leidt dit tot aanzienlijke vergroting van de risico's en kan de brand zich uitbreiden tot meer dan één woning, waardoor het bouwwerk dus niet meer voldoet aan de fundamentele overheidsdoelen. De toepassing van brandbare biobased materialen kan dus van invloed zijn op het brandverloop en de bestrijdbaarheid van een brand. De brandbaarheidseisen van het Bouwbesluit 2012 zijn echter gericht op de beginfase van de brand en niet op de ontwikkelfase.

De bouwregelgeving gaat uit van een brand die ontstaat *in* een ruimte. Om te voorkomen dat een beginnende brand in een ruimte zich snel uitbreidt langs het binnenoppervlak van constructieonderdelen, of dat zich snel een te grote rookdichtheid ontwikkelt, worden eisen gesteld aan de constructieonderdelen die grenzen aan de binnenzijde van de ruimte. De bouwregelgeving houdt echter geen rekening met een brand die in een (samengesteld) constructieonderdeel ontstaat of met de invloed die brandbare materialen kunnen hebben op het brandverloop als er geen sprake meer is van een beginnende brand. Er wordt vaak niet of maar in beperkte mate rekening gehouden met het brandverloop in relatie tot de bestrijdbaarheid.

Biobased bouwmaterialen kunnen natuurlijk ook minder brandbaar zijn dan materialen die momenteel veel in de bouw gebruikt worden zoals PUR of EPS. Kalkhennep-wanden bijvoorbeeld hebben een brandklasse B (moeilijk brandbaar). De keuze voor het materiaal en de wijze van toepassing zijn sterk van invloed op het verloop van een brand. Bij een traditionele steenachtige woning is de kans laag dat het gebouw zelf betrokken raakt bij een brand. Wanneer brandbare materialen worden gebruikt voor het gebouw neemt deze kans toe.

Verschillende deskundigen waarmee in het kader van deze publicatie gesproken is, stellen dat er meer onderzoek nodig is naar de brandveiligheid van biobased materialen. De biobased-markt is sterk in ontwikkeling en is erg dynamisch en divers. De markt wordt gekenmerkt door veel kleine, innovatieve bedrijven ('startups'). Brandveiligheid is vaak niet het eerste onderwerp waar aan gedacht wordt. Het laten uitvoeren van gecertificeerde laboratoriumtesten om de brandbaarheid te bepalen is vaak kostbaar en is meestal pas interessant bij grootschalige toepassingen.

### 3.1.2 Houten gebouwen met Cross Laminated Timber (CLT)

In de oudheid en de middeleeuwen waren de meeste huizen van hout en bedekt met stro of dakspanen. Stadsbranden werden gevreesd. In de meeste steden werden de huizen pas na een of meer grote branden veiliger gebouwd. In de eeuwen na de vroege middeleeuwen ging men ertoe over om meer in steen te bouwen.

Na diverse grote stadsbranden werd het door de overheid gestimuleerd om te gaan bouwen met steenachtige materialen<sup>13</sup> om stadsbranden te voorkomen. Nu worden er weer gebouwen (bijna) volledig opgebouwd uit hout en wordt de vraag of een houten gebouw met de huidige bouwregelgeving wel brandveilig genoeg is steeds actueler.

<sup>13</sup> Zie bijvoorbeeld [Stadsbrand - Wikipedia](#)

Zoals eerder vermeld, neemt in de bouw het gebruik toe van Cross Laminated Timber (CLT), ook wel kruislaaghout genoemd. CLT bestaat uit kruislings verlijmde eenlaagsplaten die opgebouwd zijn uit vurenhout. Meestal zijn CLT-panelen 3, 5 of 7 laags dik. De belasting waar het constructiedeel aan wordt blootgesteld bepaalt de dikte van het CLT-paneel.

Het is aannemelijk dat een houten gebouw (deels) zelf mee gaat branden wanneer er een brand in woedt. Aandachtspunten bij het bouwen in hout zijn de invloed van het hout op de snelheid van de brandontwikkeling en rookproductie in relatie tot de vluchtveiligheid, de beheersbaarheid en de bestrijdbaarheid van een brand.

In tegenstelling tot de meeste andere biobased materialen, is er relatief veel onderzoek gedaan naar de brandveiligheid van hout als bouw materiaal. Deze onderzoeken zijn vaak gericht op de brandklasse en de constructieve veiligheid bij brand en worden meestal op kleine schaal uitgevoerd.

De volgende concrete punten verdienen de aandacht:

- > CLT-hout wordt als (dragende) wand-, vloer- en plafondconstructie toegepast en voldoet onbehandeld aan brandklasse D.<sup>14</sup> Het Bouwbesluit 2012 geeft eisen voor de bijdrage aan brandvoortplanting van materialen in de vorm van een brandklasse of euroklasse. Deze eisen hebben als doel een snelle brandontwikkeling bij een beginnende brand te beperken om de vluchtveiligheid te kunnen garanderen. De brandklasse wordt vastgesteld op basis van de NEN-EN 13501-1. Deze methode kent echter haar beperkingen en met het toenemende aandeel van hout in de bouw en in gebouwen (tot vrijwel volledig houten gebouwen) kunnen deze beperkingen tot grote risico's leiden. Zo is uit onderzoek gebleken dat de testomstandigheden uit NEN-EN 13501-1 niet representatief zijn voor een daadwerkelijke brand (OVV, 2021). Bij deze testen worden bijvoorbeeld de invloed die een hete rooklaag heeft op de branduitbreiding naar een brandbare plafondconstructie en de snelheid van vlamoverslag (flashover) in een ruimte niet beoordeeld.
- > Hout dat wordt blootgesteld aan temperaturen > 200 °C begint met pyrolyseren waarbij brandbare gassen vrijkomen die kunnen bijdragen aan de brandontwikkeling (Su, Lafrance, Hoehler, & Bundy, 2018). In tegenstelling tot onbrandbare bouwmaterialen blijft hout brandbare gassen produceren zolang de omgevingstemperatuur >200 °C is, ook als er op dat moment geen sprake meer is van brand. Dit vergroot de kans op een rookgasexplosie en de bijbehorende risico's tijdens de brandbestrijding.
- > Onbeschermde toegepast draag CLT-hout bij aan de vuurlast, de brandomvang en de HRR.<sup>15</sup> Dit kan van invloed zijn op de mate en snelheid van aantasting van de CLT-constructieonderdelen door de brand. Uit praktijkexperimenten blijkt dat er bij onbeschermde toepassing van hout in de vorm van CLT-panelen sneller een flashover plaatsvindt (McGregor, 2013). Bij praktijkexperimenten in een ruimte van 385 m<sup>2</sup> met een plafond van CLT vond binnen 5 minuten een flashover plaats, waarbij de brand zich razendsnel via de plafondconstructie uitbreidde. De brand breidde zich bijna twee keer zo snel uit als bij de brandontwikkelingsnelheid 'ultrafast'. Bij deze test beschikte de brand over voldoende zuurstof vanwege open gevelopeningen (ARUP, 2021).

---

<sup>14</sup> Er worden in het Bouwbesluit 2021 eisen gesteld aan de brandklasse van materialen. Deze eisen zijn erop gericht om te voorkomen dat een beginnende brand zich snel uitbreidt langs het (binnen)oppervlak van constructieonderdelen en tevens dat zich snel een te grote rookdichtheid ontwikkelt. Beide aspecten spelen een belangrijke rol bij het veilig kunnen vluchten uit een bouwwerk en het beperken van de ontwikkeling van de omvang van de brand.

<sup>15</sup> HRR = Heat Release Rate (MW).

- > Van brandend CLT kan de verkoolde laag wegvallen (delamineren), waardoor er een 'nieuwe' laag hout bloot komt te liggen die deel kan nemen aan de brand (Crielaard, Kuilen, Terwel, & Ravenshorst, 2016). Dit verschijnsel kan zorgen voor een zogenaamde tweede flashover. Of het delamineren plaatsvindt, hangt overigens af van veel verschillende factoren, zoals bijvoorbeeld de (veroudering van de) lijmsort of de intensiteit van de brand waar het CLT aan blootgesteld wordt.
- > De thermische penetratiediepte in het CLT-hout tijdens blootstelling aan brand kan een aanzienlijke invloed hebben op het draagvermogen in de dooffase van een brand. Tijdens experimenten waarbij de variabele vuurbelasting in het compartiment was opgebracht, bleef de thermische penetratiediepte gedurende meer dan een uur toenemen, terwijl de verkoling effectief stopte bij het doven van het vuur. Deze voortdurende progressie van thermische penetratie beïnvloedt het structurele draagvermogen van de CLT-elementen, waardoor de kans op instorting toeneemt tijdens de dooffase van de brand (Wiesner et al., 2019).
- > Hout is een natuurproduct en daarom per definitie niet uniform, zodat er sprake kan zijn van naden of kieren op de plaatsen waar CLT-constructieonderdelen op elkaar aansluiten. Hierlangs kan rookverspreiding plaatsvinden. Door de temperatuur van de rookgassen kunnen de openingen groter worden.

In paragraaf 4.1 wordt een voorbeeld van een houten gebouw beschreven en wordt gekeken naar de impact op de brandveiligheid en naar mogelijke maatregelen en aandachtspunten voor dit gebouw.

## 3.2 Energiezuinige gebouwen

Zoals in hoofdstuk 2 is beschreven, worden er steeds strengere eisen gesteld aan de energiezuinigheid van gebouwen. Het meer isoleren van de gebouwschil zoals de gevels alsook het steeds luchtdichter bouwen zijn noodzakelijk om aan deze eisen te voldoen. Aan de brandveiligheid van de gebruikte isolatiematerialen worden nauwelijks eisen gesteld, zolang dit isolatiemateriaal goed is weggewerkt achter een afscherming (waar wel brandveiligheidseisen aan gesteld worden). Door fouten tijdens de montage of latere aanpassingen is het echter mogelijk dat de afscherming van het isolatiemateriaal doorbroken wordt en dat het isolatiemateriaal toch betrokken raakt bij de brand.

We zien de laatste jaren een grote toename van PIR-isolatie.<sup>16</sup> PIR wordt toegepast in de vorm van platen die zowel in spouwmuren als in buitengevelisolatiesystemen worden geplaatst. De toepassing is met name gestimuleerd door de aangescherpte Rc-waarden voor de gevel en voor het dak in het Bouwbesluit 2012. Met de inwerkingtreding van de BENG-eisen wordt het gebruik van PIR-isolatie nog verder gestimuleerd. Dit heeft consequenties voor de:

- > materiaalkeuze
- > dimensionering van constructies (bijvoorbeeld de isolatiedikte)
- > detaillering.

Daarmee hebben deze onderdelen ook invloed op de brandveiligheid van het gebouw.

---

<sup>16</sup> PIR staat voor Polyisocyanuraat.



Energiezuinige gebouwen zijn erg luchtdicht en hebben steeds vaker meerlaagsglas. Hierdoor zal een brand in een dergelijk gebouw sneller zuurstofgecontroleerd raken, wat wil zeggen dat een brand 'gesmoord' wordt door gebrek aan zuurstof. Dit gaat meestal gepaard met een verhoogde rookproductie. Samen kan dit leiden tot drukopbouw, waardoor deuren (afhankelijk van de draairichting) moeilijker te openen zijn en er een verhoogde kans is op rookverspreiding via naden en kieren (Brandweeracademie, 2020). In Oudewater zijn drukken van zelfs 1000 pascal gemeten, terwijl rookwerende deuren bij een veel lagere druk worden getest.

### 3.3 Klimaatadaptieve / Groene gebouwen

Een gebouw kan op meerdere manieren klimaatadaptief zijn. Zo kan het faciliteiten hebben voor de opvang van (extreme) neerslag en kunnen maatregelen genomen zijn om inval van zonlicht tegen te gaan of om de fundering beter bestand te maken tegen droogte. Het ligt niet direct voor de hand dat dit een negatieve invloed heeft op brandveiligheid. Wanneer voor de opvang van neerslag gebruik wordt gemaakt van een waterbuffer, kan deze mogelijk zelfs als bluswaterreservoir gebruikt worden. Hierdoor kan het klimaatadaptief zijn een positief effect hebben op de brandveiligheid. Wanneer in het kader van klimaatadaptatie extra isolatie wordt toegepast om daarmee hitte buiten te houden, gelden hiervoor in principe dezelfde brandveiligheidsissues als bij energiezuinige gebouwen zoals hierboven beschreven. Als deze materialen tevens biobased zijn, gelden dezelfde opmerkingen en risico's als beschreven in paragraaf 3.1.

Groene gebouwen kunnen echter mogelijk extra risico's met zich mee brengen ten aanzien van brandveiligheid. Vegetatie die tegen gevels, op balkons en op daken groeit, kan brandbaar zijn en kan dan gezien worden als extra 'vuurlast'. Omdat deze vegetatie in bouwkundige zin geen deel uitmaakt van het gebouw, is ze niet meegenomen bij de vaststelling van de brandveiligheidseisen in het Bouwbesluit 2012.

Zo verhoogt de aanwezigheid van vegetatie de kans op het ontstaan, ontwikkelen en uitbreiden van brand. De vegetatie kan ook de branduitbreiding versnellen. Wanneer een brand uitslaand wordt, kan de vegetatie uitdrogen door de uitslaande vlammen, vervolgens mee gaan branden en op haar beurt andere vegetatie uitdrogen die ook weer mee kan gaan branden. Omdat warme lucht opstijgt zal de branduitbreiding bij verticale vegetatie (dus naar hoger gelegen appartementen) naar verwachting sneller gaan dan bij horizontale vegetatie. Op het moment dat vegetatie mee gaat branden zou er mogelijk sneller branduitbreiding van het ene naar het andere appartement kunnen plaatsvinden dan met de voorschriften van Bouwbesluit 2012 is voorzien.

Soms, zoals bij vergroening van steden, wordt vegetatie om het gebouw aangelegd (Theeuwen, 2019) en vormt daarmee een potentiële vuurlast. In het geval van een enkele struik of plant zal het risico beperkt zijn. Op het moment dat er stadsbossen worden geplaatst nabij gebouwen, wordt het risico groter. Het brandrisico is dan met name dat een brand kan beginnen in deze vegetatie (bijvoorbeeld als gevolg van een weggegooid sigarettenpeuk of door brandstichting) en zich vervolgens kan uitbreiden naar het gebouw.

Er is de laatste jaren steeds vaker sprake van grote natuurbranden (NOS, 2021). Uit onderzoek naar natuurbranden is bekend dat de brandbaarheid van vegetatie erg uiteen kan lopen en door verschillende factoren bepaald wordt. Sommige vegetatie is veel brandbaarder dan andere. Ook kan het vochtgehalte van vegetatie erg fluctueren, hetgeen in sterke mate bepalend is voor de brandbaarheid. Het is daarom belangrijk om te voorkomen dat de vegetatie kan uitdrogen. Met deze factoren dient rekening te worden gehouden bij het aanleggen van 'groen' en de keuze voor een bepaald soort vegetatie.

In paragraaf 4.2 wordt een voorbeeld van een groen gebouw beschreven en is gekeken naar de invloed op de brandveiligheid en naar mogelijke maatregelen en zijn aandachtspunten voor dit gebouw benoemd.

### 3.4 Demontabele, remontabele en modulaire gebouwen

Het feit dat een gebouw demontabel, remontabel en/of modulair is, heeft op zichzelf geen invloed op de brandveiligheid. Het vraagt over het algemeen wel om een andere bouwwijze en andere materialen. Hierin schuilt een mogelijk gevaar. De meeste bouwwijzen en materialen binnen de huidige bouwmethoden worden al tientallen jaren toegepast. Hiervan is uit de praktijk inmiddels gebleken wat mogelijke risico's zijn en daartegen zijn, waar nodig, maatregelen genomen. Bij nieuwe bouwwijzen en materialen is het altijd de vraag of er geen kinderziektes naar voren komen op het moment dat deze (op grote schaal) toegepast gaan worden. Gebouwen worden vaak voor tientallen jaren neergezet en achteraf aanpassen is vaak lastig en kostbaar waardoor brandgevaar-reducerende aanpassingen mogelijk niet, te laat of slechts ten dele zullen worden doorgevoerd.

Aandachtspunten bij demontabel, remontabel en modulair bouwen zijn dan ook de bouwkundige details. Te denken valt hierbij aan:

- > Aanwezigheid van naden en kieren waardoor brand zich kan verspreiden. Demontabele, remontabele en uit modules opgebouwde gebouwen bevatten mogelijk relatief veel naden en kieren.
- > Wanneer materialen volledig demontabel moeten zijn, kunnen bestaande brandveiligheidsoplossingen niet altijd worden toegepast. Hoe wordt bijvoorbeeld de aansluiting van een wand op een dak of wand op wand voldoende brandwerend uitgevoerd wanneer deze volledig gedemonteerd moet kunnen worden?
- > Een ander aandachtspunt is dat holle ruimtes zoveel als mogelijk voorkomen moeten worden. In holle ruimtes kan brand en rook zich ongemerkt verspreiden.
- > Ook kan demontabel en remontabel bouwen ertoe leiden dat het bouwwerk als tijdelijk wordt beschouwd; men heeft immers al een andere locatie en/of bestemming op het oog. Hierdoor kunnen er minder stringente brandveiligheidseisen worden gesteld (denk bijvoorbeeld aan het toelaten van een grotere vuurlast) met een groter brandrisico als gevolg.

In paragraaf 4.3 wordt een voorbeeld van een demontabel en modulair gebouw beschreven en is gekeken naar de impact op de brandveiligheid en naar mogelijke maatregelen en aandachtspunten voor dit gebouw.

# 4 Voorbeelden van duurzame gebouwen

## 4.1 Houten gebouw: Sawa

### 4.1.1 Beschrijving

In Rotterdam wordt op de Lloydpier het eerste houten hoogbouw van Rotterdam ontwikkeld. Het wordt de hoogste volledig losmaakbare houten toren van Nederland (SAWA, 2022). Er wordt op basis van circulaire principes zoveel mogelijk hout gebruikt. De bouw is in augustus 2022 gestart. Het Sawa-gebouw heeft vijftien bouwlagen en bevat 109 woningen. De begane grond bestaat uit een maatschappelijke voorziening, een horecagelegenheid en vijf woningen. Het gebouw is 52 meter hoog.

Bijzonder aan het gebouw is het getrapte verloop (zie Figuur 4.1). De appartementen grenzend aan het getrapte verloop worden voorzien van een groene gevel. Op de eerste verdieping wordt een gemeenschappelijke daktuin gerealiseerd. De groene daken worden ingezet voor de opvang van regenwater en voorzien van zonnepanelen (PV-cellen). Er worden waar mogelijk biobased materialen toegepast met een materialenpaspoort.



Figuur 4.1 'Artist's impression' van SAWA woongebouw (bron: [SAWA - Mei architects and planners \(mei-arch.eu\)](https://www.mei-arch.eu))

Het gebouw is ontworpen op basis van het principe van losmaakbare montage voor herbruikbare bouw. Het ontwerp van het gebouw is zodanig dat de constructieonderdelen, indien noodzakelijk, gedemonteerd en verplaatst of hergebruikt kunnen worden. Het gebouw heeft een modulaire houtconstructie van CLT. De kern van het gebouw is van beton met daarin liften en een vluchtrappenhuis. De overige onderdelen van de hoofddraagconstructie bestaan uit kolommen en liggers van hout. Er zijn geen dragende wanden. De woningscheidende wanden zijn van metalstud om een flexibele inrichting mogelijk te maken. De vloerconstructie bestaat uit 24 cm CLT. Daarop ligt een droge ballastlaag met daarin de leidingen en isolatie met aan de bovenzijde een zwevende dekvloer van Anhydriet. Deze dekvloer is te openen om bijvoorbeeld leidingen die zich in de vloerconstructie bevinden te kunnen bereiken.



**Figuur 4.2** Doorsnede van de constructie van SAWA woning (bron: [SAWA - Mei architects and planners \(mei-arch.eu\)](http://sawa-architects.com))

#### **4.1.2 Brandrisico's en hoe deze te beheersen**

In paragraaf 3.1.2 zijn de algemene aandachtspunten beschreven voor houten gebouwen met CLT. In deze paragraaf wordt omschreven op welke wijze er bij het ontwerp van het Sawa-gebouw rekening is gehouden met de (brand)veiligheidsrisico's. Daarnaast worden ook enkele gebruiksrisico's vermeld. Ontwerprisico's hebben te maken met het ontwerp van het gebouw, de toegepaste materialen en veiligheidsvoorzieningen. Gebruiksrisico's hebben betrekking op de beheersing van de veiligheid tijdens het gebruik. Voor het beschrijven van de brandveiligheidsrisico's in deze paragraaf is geen algehele (brand)risicobeschuiving van het gehele Sawa-gebouw uitgevoerd. Er is alleen gekeken naar de risico's die voortvloeien uit de toepassing van CLT als bouw materiaal en de wijze waarop deze worden beheerst.

### **CLT is brandbaar en draagt bij aan het brandvermogen**

- > Uit analyses van het uitbrandscenario van een woning in het Sawa-gebouw is tijdens de ontwerpfase gebleken dat er bij brand temperaturen te verwachten zijn die hoger zijn dan de standaard brandkromme én dat er sprake is van een langere brandduur dan die waarop de brandveiligheidsnormen in Bouwbesluit 2012 zijn gebaseerd. In de ontwerpfase ontstond de vraag of (standaard)brandkrommes, op basis waarvan de constructieberekeningen zijn uitgevoerd, wel toepasbaar zijn op houten gebouwen. Zelfs zonder aanvullende voorzieningen zoals een sprinklerinstallatie zou het gebouw vrijwel volledig aan het Bouwbesluit kunnen voldoen. De opdrachtgever heeft er echter bewust voor gekozen om niet te gaan voor het minimale niveau van brandveiligheid (het nieuwbouwniveau uit het Bouwbesluit 2012), maar het gebouw wel te voorzien van een sprinklerinstallatie. Door deze bronbeperkende maatregel kan de tijdsduur dat het CLT wordt blootgesteld aan vuur of een hoge temperatuur worden beperkt. Bovendien wordt door de toepassing van een sprinklerinstallatie de kans op een uitlaande brand en mogelijke branduitbreiding via de gevel verkleind. Aandachtspunt voor de verdere engineering is het projecteren van de sprinklerinstallatie vanwege de aanwezigheid van een CLT-plafondconstructie. Over de uitvoering van de toe te passen sprinklerinstallatie is nog geen informatie bekend.
- > Een alternatieve oplossing, namelijk het bekleden van het CLT met gips, is om esthetische redenen niet wenselijk.
- > Hoewel met berekeningen is aangetoond dat de brandwerendheid van de houten constructieonderdelen voldoet aan de geldende normeringen, is er toch voor gekozen om de constructieonderdelen door ETA Zürich te laten analyseren in de vorm waarin deze ook toepast zullen gaan worden in het gebouw.

### **Brandklasse van CLT**

- > Materialen die worden toegepast in een (extra) beschermde vluchtroute moeten tenminste voldoen aan brandklasse B. Bij de Sawa-toren wordt er in de (extra) beschermde vluchtroutes echter geen CLT toegepast. Overigens kan CLT op zich met een aanvullende behandeling wel aan brandklasse B voldoen. Wanneer CLT onder vacuüm geïmpregneerd wordt met polymeren, is het mogelijk om minimaal voor een duur van 50 jaar aan brandklasse B te voldoen. De afmetingen zijn echter beperkt: de elementen moeten in de daarvoor benodigde ketel passen. Voor enkele onderdelen van de vluchtwegen en constructieonderdelen aan de buitenzijde van het gebouw is het niet mogelijk om aan de geldende brandklasse B te voldoen. Door de combinatie van (zeer) hoge brandwerendheid en beperkte aanwezige m2 is een gelijkwaardige oplossing toegepast.

### **Aantasting van CLT-hout door (blus)water**

- > Voor het project wordt aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de invloed van water op de CLT-constructieonderdelen. De uitkomsten van dit onderzoek zijn nog niet bekend.
- > Er zijn voor de afvoer van bluswater geen aanvullende afvoerpunten in de constructie opgenomen. Wel is er zorgvuldig gekeken naar de positie van de hemelwaterafvoer en het aantal afvoerpunten. Zo wordt de hemelwaterafvoer bijvoorbeeld niet in het gebouw gemonteerd (dus geen pluvia-systeem), maar buiten aan de gevel bij de galerijen en balkons.

### **Rookverspreiding langs naden en kieren tussen constructieonderdelen**

- > Ter plaatse van de randen van de vloerconstructie wordt onbrandbare isolatie toegepast om brand- en of rookverspreiding via de aansluitingen van constructieonderdelen te voorkomen. Tevens worden zogenaamde firestops aangebracht in de spouw achter de gevel.

### **Aantasting / vormverandering van hout door blootstelling aan temperatuur**

- > De CLT-constructieonderdelen zoals de vloer zijn zodanig ontworpen dat deze kunnen worden vervangen wanneer dit bijvoorbeeld door aantasting als gevolg van een brand noodzakelijk is.

### **Aandachtspunt bij samengestelde constructieonderdelen**

- > Er zijn diverse testen uitgevoerd naar de brandwerendheid van afzonderlijke CLT-constructieonderdelen. De verschillende CLT-onderdelen worden echter vaak gecombineerd toegepast. Zo kan de dikte van de totale constructie anders zijn, kan het aantal lagen waaruit het CLT is opgebouwd anders zijn of kunnen andere lijmen zijn toegepast. Hierdoor kunnen de testresultaten niet altijd één op één worden overgenomen.
- > Daarnaast zijn er voor losse constructieonderdelen die worden opgenomen in een uit CLT opgebouwde wandconstructie, zoals een brandwerende deurconstructie, afzonderlijke certificaten en testrapporten beschikbaar. Deze constructieonderdelen zijn in de meeste gevallen niet getest in een uit CLT opgebouwde wandconstructie. Zo geldt de wbdbo-eis<sup>17</sup> tussen ruimten voor het samenstel van constructieonderdelen in een scheidingsconstructie.
- > Voor het Sawa-gebouw zal op basis van 'expert-judgement' een brandveiligheidsanalyse worden uitgevoerd voor de samengestelde constructie-onderdelen.

---

<sup>17</sup> wbdbo = weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (Bouwbesluit, 2012).



## 4.2 Groene gebouwen: de Trudo-toren

### 4.2.1 Beschrijving

In Eindhoven is op het Strijp-S-terrein medio 2021 de Trudo-toren opgeleverd (zie Figuur 4.3). De toren heeft negentien bouwlagen en bevat 125 appartementen (Trudo, 2022; VB&T, 2018). De begane grond bestaat uit een ‘commerciële plint’ met winkels en horeca. Op de eerste en tweede verdieping zijn de bergingen van de appartementen en kantoren gelegen. Op de derde tot en met de achttiende verdieping bevinden zich de appartementen: op de derde verdieping vijf appartementen en op de overige verdiepingen per verdieping acht appartementen van 50 m<sup>2</sup>. De hoogste vloer van een appartement ligt op bijna 70 meter. Het hoogste punt van het gebouw is 77 meter.

Het gebouw heeft een betonnen hoofdconstructie en twee onafhankelijke vluchtroutes in de kern van het gebouw. Bijzonder aan het gebouw is dat elk appartement naast een balkon aan de buitenzijde ook twee grote groenbakken heeft. In deze bakken staan 125 bomen en zo'n 5000 struiken en planten. Zo ontstaat een zogeheten ‘verticaal bos’. De balkons waarop de groenbakken staan, verspringen in de breedte. Op deze manier kan een boom groeien over een hoogte van meerdere bouwlagen. Naast de vegetatie in de bakken is er op de derde verdieping een gemeenschappelijke tuin van 350 m<sup>2</sup>. Met behulp van de vegetatie op de balkons wordt het bos de stad in gebracht. De vegetatie houdt het gebouw koel in de zomer en zorgt voor een betere luchtkwaliteit (Stefano Boeri Architetti, 2022).



**Figuur 4.3 “Artist’s Impression” van de Trudo-toren met volgroeide vegetatie (bron: VB&T, 2018)**

## 4.2.2 Brandrisico's en hoe deze te beheersen

In deze paragraaf worden de bij de Trudo-toren behorende (brand)veiligheidsrisico's besproken. Hierin zijn zowel ontwerp- als gebruiksrisico's vermeld. Voor het beschrijven van de brandveiligheidsrisico's in deze paragraaf is geen algehele (brand)risicobeschuiving van de gehele Trudo-toren uitgevoerd. Er is alleen gekeken naar de risico's die voortvloeien uit de wijze waarop de vegetatie aan het gebouw is bevestigd. Bij elk risico wordt een aantal aandachtspunten vermeld, alsmede mogelijke maatregelen waarmee de risico's beperkt kunnen worden.

### **Vegetatie is brandbaar**

- > Brandende vegetatie zal tot extra rookproductie en mogelijk rookverspreiding leiden. Bij het ontwerp van de Trudo-toren is brandbaarheid niet meegenomen in de keuze voor de vegetatie, maar er is wel gekozen voor loofbomen en niet voor naaldbomen. In hoeverre de vegetatie bestand is tegen vliegvluur van een eventuele nabijgelegen brand is niet bekend. Verder is het niet duidelijk wat het brandgedrag van de vegetatie is op het moment dat deze wordt blootgesteld aan een uitslaande brand in een appartement.

### **Verticale vegetatie kan leiden tot branduitbreiding via de buitenzijde van het gebouw**

- > Het brandverloop bij vegetatie in een verticale oriëntatie is onbekend en zal verder onderzocht moeten worden. Als de vegetatie mee gaat branden kan er mogelijk brandoverslag naar een ander appartement plaatsvinden.
- > Vanwege de hoogte van de toren kan de brandweer met het huidige materieel (hoogwerker of ladderwagen) brandende vegetatie niet overal blussen met een offensieve buitenaanval.
- > De kans dat een brand in een appartement leidt tot het ontbranden van de vegetatie kan verkleind worden door het aanbrengen van een automatische blusinstallatie in de appartementen.
- > Als bodem voor de planten is hier gekozen voor een substraat van lava. Dit substraat is onbrandbaar.<sup>18</sup>

### **Uitdrogende vegetatie kan ontbranden en daardoor de kans op branduitbreiding aan de buitenzijde vergroten met mogelijk brandoverslag het gebouw in als gevolg**

- > Met de bewoners zijn afspraken gemaakt over het onderhoud van de vegetatie. Dorre of loshangende vegetatie moet tijdig verwijderd worden, evenals vegetatie die te groot wordt.
- > Er is een automatisch bewateringssysteem voor de vegetatie. Hierdoor wordt de kans op uitdrogen verkleind, waardoor de vegetatie minder gemakkelijk ontbrandt.

---

<sup>18</sup> Er worden tegenwoordig ook kunststoffen zoals polyurethaanschuimen gebruikt als kunstmatige bodem voor plantengroei (Wikipedia, 2016). Deze kunststoffen zijn wel brandbaar en kunnen daardoor extra bijdragen aan de branduitbreiding via de buitenzijde van een (hoog) gebouw met vegetatie aan de buitenkant. Voor de Trudo-toren geldt dit risico dus niet.

### **Bij wind kunnen mogelijk delen van de vegetatie naar beneden vallen**

- > Er zijn testen gedaan rondom het gebouw om de invloed van wind op de vegetatie te analyseren. Resultaat hiervan is dat de bomen mechanisch bevestigd zijn aan het gebouw: bij de kluit aan de bak en met de stam aan een hoger gelegen balkon. Dit is gedaan om te voorkomen dat bij een storm een boom naar beneden valt.
- > Hoe de brandweer moet optreden bij loshangende takken op hoogte is niet omschreven in de aanvraag voor de omgevingsvergunning. Zoals eerder vermeld, is vanwege de hoogte van het gebouw niet elke bouwlaag bereikbaar met de huidige hoogwerker van de brandweer. Vanaf een balkon zou met een stokzaag gewerkt kunnen worden. De toegang tot het balkon moet dan wel via het appartement lopen. Een afgezaagde tak valt vervolgens van grote hoogte naar beneden, wat de landingsplaats minder voorspelbaar maakt.

### **De vegetatie kan van invloed zijn op de constructie van een gebouw**

De vegetatie wordt geplaatst in losse betonnen bakken waarmee wordt voorkomen dat wortels van de vegetatie de constructie van het gebouw kunnen beschadigen.

### **Vegetatie op of aan een gebouw is een relatief nieuwe ontwikkeling**

Expertise is soms onvoldoende aanwezig bij de huidige adviespartijen zoals de adviseur voor brandveilig bouwen bij de brandweer of bij adviesbureaus. Kennis rondom brandbaarheidsrisico's van vegetatie is vaak (deels) aanwezig bij natuurbrandexperts.

### **Wet- en regelgeving houden niet altijd rekening met de mogelijk risico's van vegetatie aan de buitenzijde van het gebouw**

- > De vegetatie maakt geen onderdeel uit van de constructie van het gebouw. De eisen aan de brand- en rookklasse voor constructieonderdelen uit afdeling 2.9 van het Bouwbesluit 2012 zijn daardoor niet van toepassing. Omdat de beplanting in de buitenlucht staat op het balkon van een appartement zijn de eisen voor brandveilige aankleding en inrichtingselementen in artikel 7.4 en 7.5 van het Bouwbesluit 2012 ook niet van toepassing. Er zijn daarom geen eisen aan het brand- en rookgedrag van de vegetatie.
- > De huidige norm voor het bepalen van de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag tussen ruimten in een gebouw (NEN 6068:2016 + C1:2016) houdt geen rekening met brandbare vegetatie op een balkon.
- > De constructieve bevestiging van de bakken met vegetatie aan het gebouw kent geen eis voor de weerstand met betrekking tot bezwijken. Bij de Trudo-toren steunen de bakken soms op de breedplaatvloer en soms ook deels op een stalen ligger (zie figuur 4.4). Of de bakken ook bij een (uitslaande) brand blijven hangen is niet vooraf beschreven in het masterplan brandveiligheid. Er is enkel getoetst op de vereisten uit het Bouwbesluit 2012. In de praktijk zijn de stalen balken weggewerkt achter cementvezelplaten, zodat de stalen balken niet direct blootliggen bij een eventuele brand (zie figuur 4.5). De wdbdo van de cementvezel platen (inclusief ophanging) is niet bekend.

- > Voor zover ons bekend zijn er geen expliciete voorschriften opgenomen in het Bouwbesluit 2012 voor het beperken van het risico op naar beneden vallende vegetatie.



**Figuur 4.4 Bevestiging bakken gezien vanaf de onderzijde**



**Figuur 4.5 Onderzijde bak afgewerkt met cementvezel platen**



## 4.3 Demontabele en modulaire gebouwen: Ferlem

### 4.3.1 Beschrijving

Ferlem (Ferlem, 2022) maakt modulaire woningen op basis van wand- en vloer- of plafondpanelen. Deze worden geassembleerd in een fabriek. Leidingwerk, ramen en deuren worden al aangebracht in de panelen. De woning kan later eenvoudig worden aangepast, bijvoorbeeld als de eigenaar het huis wil vergroten of verkleinen. Ook is de indeling van de woning relatief eenvoudig aan te passen. Het huis zou bij een verhuizing zelfs meegenomen kunnen worden.



Figuur 4.6 Een proefwoning in aanbouw



Figuur 4.7 Impressie van een mogelijk eindresultaat (bron: Ferlem)

De wandpanelen bestaan uit een binnen- en een buitenwand die reeds als één geheel geassembleerd zijn. Zowel de buiten- als de binnenwand is opgebouwd uit een aluminium profiel met daartegen een magnesiumoxide plaat. In de binnenwand zit steenwolisolatie, in de buitenwand PUR-isolatie. Vanuit de woning naar buiten gezien is de wand als volgt opgebouwd:

- > Binnenwandafwerking naar keuze (bijvoorbeeld stucwerk)
- > Binnenwandpaneel, bestaande uit:
  - een magnesiumoxide plaat (Magoxx)
  - een aluminium profiel en steenwol isolatie (in deze ruimte zit het leidingwerk van elektra, water en glasvezel)
  - een magnesiumoxide plaat (Magoxx)
- > Buitenwandpaneel, bestaande uit:
  - een magnesiumoxide plaat (Magoxx)
  - een aluminium profiel en PUR-isolatie
  - een magnesiumoxide plaat (Magoxx)
- > Buitenwandafwerking naar keuze (bijvoorbeeld vloeibare kurk).

De opbouw van de vloer- en plafondpanelen is als volgt:

- > Een magnesiumoxide plaat (Magoxx)
- > Kerto LVL balken en PUR-isolatie
- > Een magnesiumoxide plaat (Magoxx).

Wanneer een plafondpaneel ook dienst doet als dak, zit er nog een afwerkingslaag aan de buitenzijde. Standaard is dit een coating (Line-x), maar andere afwerkingen zijn ook mogelijk. In de vloer zitten de leidingen voor de vloerverwarming verwerkt.

Bij het samenstellen van de wanden tot een woning worden de leidingen in de verschillende panelen door snelsluitingen aan elkaar gekoppeld. De panelen zelf kunnen binnen enkele minuten geplaatst worden op de bouwplaats. Deze worden aan elkaar bevestigd door middel van 'quick locks' en 'smart locks'. Na het samenstellen van de panelen wordt de afwerking van binnen- en buitenwanden, vloeren, plafonds en daken aangebracht. Binnen enkele dagen kan er op deze manier een woning geplaatst worden waarbij alle leidingen aanwezig en aangesloten zijn. Het is een volledig nieuw concept, ontworpen met als doel de circulariteit, duurzaamheid, gebruiksvriendelijkheid, veiligheid en kostenefficiëntie te verhogen. De gebruikte materialen zijn op deze functionele eisen afgestemd en zijn anders dan wat er normaliter in de bouw gebruikt wordt.

Een bestaande woning is simpel weer te demonteren tot losse panelen. Deze panelen kunnen opnieuw gebruikt worden. Een woning verkleinen door er een aantal panelen uit te halen is ook mogelijk. In het uiterste geval dat de panelen niet afzonderlijk hergebruikt worden, kunnen zij gedemonteerd worden tot de losse materialen die vervolgens hergebruikt kunnen worden. De panelen worden geassembleerd in een fabriek. De productie en assemblage zijn hier beter te optimaliseren dan in een buitensituatie in de bouw. De hoeveelheid afval die ontstaat is hierdoor lager en de hoeveelheid energie die nodig is voor de productie en assemblage van de panelen is lager in vergelijking met conventionele bouwmethoden waarbij de assemblage op de bouwplaats zelf plaatsvindt. Er is gekozen voor het gebruik van lichte materialen.



Het vervoer van de panelen naar de plek waar de woning komt te staan, kost daardoor minder energie dan wanneer bijvoorbeeld prefab stenen wanden zouden worden gebruikt. Voor het assembleren van een woning op locatie zijn geen zware kranen nodig. Dit scheelt ook in de uitstoot tijdens de bouw.

#### **4.3.2 Brandrisico's en hoe deze te beheersen**

In deze paragraaf worden (brand)veiligheidsrisico's benoemd die zich bij het modulaire concept van Ferlem voor kunnen doen. De risico's kunnen worden onderscheiden in 'technische risico's' en 'procesrisico's'. Technische risico's hebben te maken met de materialisering, detaillering enzovoorts. 'Procesrisico's' hebben betrekking op de wijze van assemblage, uitvoering, kwaliteitsborging in de fabriek en op de bouwplaats et cetera. Bij elk risico wordt een aantal aandachtspunten vermeld, alsmede mogelijke maatregelen waarmee de risico's beperkt kunnen worden.

##### **Er is een compleet nieuw concept uitgewerkt**

- > Hierbij is gebruikgemaakt van andere materialen dan normaliter gebruikt worden bij de bouw van woningen. Ook de wijze waarop de panelen aan elkaar zijn bevestigd is nieuw, en de snelsluitingen voor de leidingen zijn eveneens innovatief. Bij een nieuw ontwerp kunnen zich kinderziektes voordoen of risico's over het hoofd gezien worden.
- > Er worden veel testen gedaan om het concept te beproeven en te begrijpen. Deze testen worden zowel op kleine schaal in de eigen fabriek gedaan als op de schaal uit testnormen. Voorbeelden hiervan zijn de beproeving van een paneel op constructieve sterkte en brandwerendheid. Einddoel hiervan is dat een onderbouwing kan worden opgesteld waaruit blijkt dat, mits correct geassembleerd, aan de vereiste voorschriften wordt voldaan en dat brandveiligheidsrisico's zoveel mogelijk worden beperkt.
- > Ferlem werkt samen met fabrikanten en kennisinstututen zoals TNO en TU Delft. Door van deze kennis al in een vroeg stadium van het engineeringsproces gebruik te maken kunnen brandveiligheidsrisico's vroegtijdig worden geïdentificeerd en kunnen al in het ontwerp stadium maatregelen worden genomen om deze risico's te beperken.
- > Het gebruik van onbrandbare materialen heeft altijd de voorkeur vanuit het oogpunt van brandveiligheid. Hierdoor wordt de kans kleiner dat het gebouw zelf een bijdrage levert aan de brand; ook zorgen dergelijke materialen ervoor dat een brand zich niet ergens in de constructie kan uitbreiden en de brand zo ontoegankelijk wordt voor de brandweer. De gebruikte materialen in het bouwconcept zijn overwegend onbrandbaar. De PUR-isolatie in de buitenwand is echter niet onbrandbaar. Mogelijk is ook de afwerking van wanden, vloeren, plafonds en daken niet onbrandbaar, hoewel deze wel steeds voldoet aan de vereisten uit het Bouwbesluit 2012. De magnesiumoxide platen en de steenwol isolatie hebben beide brandklasse A1.
- > Alle wanden zijn volledig gevuld met isolatiemateriaal. Er zijn geen holle ruimten waarin een brand zich ongemerkt zou kunnen uitbreiden.
- > Omdat dezelfde panelen en constructiemethoden in elk project worden toegepast is de kans op het maken van fouten in de uitvoering relatief klein. Wel is het belangrijk om veel aandacht te besteden aan de engineering van de panelen, omdat tekortkomingen hierin juist tot een vergroting (herhaling) van de (brand)risico's zullen leiden.

### **Onjuiste kwaliteit van de details kan een onvoldoende prestatie in de praktijk betekenen, ook op het gebied van brandveiligheid**

- > Zoals hiervoor reeds beschreven, beperkt het gebruik van prefab-elementen het risico van uitvoeringsfouten op de bouwplaats. De kwaliteitsborging op de bouwplaats bestaat dan ook grotendeels uit het toezien op een juiste assemblage.
- > In een fabriek worden wand- en dakelementen geassembleerd volgens een zorgvuldig ontworpen en beproefd concept waardoor brandwerendheid vooral wordt bepaald door de wand-dakaansluiting. Bij een juiste montage van de elementen kan ervan uit worden gegaan dat voldaan wordt aan de eisen voor de brandwerendheid.
- > Meerdere woningen tegen elkaar worden als losse woningen geplaatst. Branddoorslag via materialen die doorlopen van de ene naar de andere woning is daardoor uitgesloten.

### **De aluminium hoofdconstructie kan sterkte verliezen bij hogere temperaturen**

- > Het is in vergelijking met een woning van steen en beton minder duidelijk of de woning zelf constructief overeind blijft tijdens een brand. Van aluminium is bekend dat sterkteverlies bij lagere temperaturen optreedt dan bij staal. Het sterkteverlies van aluminium hangt af van de specifieke legering, maar bij 200 °C is een sterkteverlies van > 40 % te verwachten (Van Leuven, 2017). De aluminium profielen worden niet direct blootgesteld aan een brand, maar zijn in de woning afgedekt met twee lagen onbrandbare magnesiumoxide platen. Wanneer een brand zich via een wandcontactdoos verspreidt, zijn de profielen geïsoleerd tegen opwarming door de steenwolisolatie. De wandpanelen zijn getest in een brandlab op hun brandwerendheid. Het is echter nog niet duidelijk hoe de constructie zich gedraagt bij een echte brand.
- > Doordat naast elkaar gelegen woningen als losse woningen geplaatst zijn, is bezwijken van een naastgelegen woning als gevolg van een brand niet zo snel verwachten.

### **Het is een nieuw concept dat afwijkt van de gangbare ontwerpen in de woningbouw**

- > Het toegepaste concept past niet één op één binnen de bestaande wet- en regelgeving en bijbehorende normen. De vergunningverlener zal bij de beoordeling van een aanvraag van een omgevingsvergunning voor het bouwen meer onderbouwing nodig hebben om te kunnen beoordelen dat het ontwerp voldoet aan de eisen van Bouwbesluit 2012.
- > In het concept worden geen elektriciteitskabels toegepast in het plafond. Hiermee wordt het risico op branduitbreiding naar het plafond beperkt. Er zal daardoor echter ook geen netspanning in het plafond aanwezig zijn om rookmelders op aan te sluiten. Om die reden verdient het de voorkeur om rookmelders met een long life batterij toe te passen. Dit is (nog) niet toegestaan binnen de NEN 2555:2008 en kan daardoor alleen op basis van het gelijkwaardigheidsbeginsel (artikel 1.3 van Bouwbesluit 2012).

# 5 Conclusie

Klimaatverandering en zorg voor het milieu spelen een steeds grotere rol in de bouwwijzen en de bouwmaterialen die in Nederland toegepast worden. Er lijkt een grote mate van consensus te bestaan over het feit dat het klimaat in Nederland verandert en dat het goed is om hier rekening mee te houden bij het ontwerp en de bouw van gebouwen. Ook lijkt er een groeiend besef te zijn dat de bouw in Nederland duurzamer kan en moet door zorgvuldiger om te gaan met en selectiever te zijn in het gebruik van grondstoffen. Hergebruik van onderdelen en materialen wordt belangrijker en het bouwen met 'hergroeibare' materialen zoals hout (in plaats van beton en staal) wint aan populariteit. Ook de energiezuinigheid van gebouwen wordt een steeds groter issue.

Een verandering in bouwwijzen en gebruikte bouwmaterialen kan consequenties hebben voor brandveiligheid. Net als alle traditionele materialen, moeten nieuwe en innovatieve bouwmaterialen voldoen aan de eisen van het Bouwbesluit. Maar het voldoen aan het Bouwbesluit betekent nog niet noodzakelijkerwijze dat toepassing van innovatieve materialen en methodes ook een brandveilig gebouw oplevert. Allereerst is het zo dat uitgangspunten van de testmethodes die worden gebruikt vaak zijn gebaseerd op de traditionele toepassingen en bouwwijzen, die mogelijk niet meer van toepassing zijn. Ook kunnen elementen worden toegevoegd die buiten de scope van het bouwbesluit vallen, maar wel van invloed zijn op de brandveiligheid. Ten slotte is het zo dat de eisen van het Bouwbesluit uitsluitend gericht zijn op een veilige ontvluchting bij brand en op het voorkomen van brandoverslag naar een ander perceel. Over de wijze waarop nieuwe en innovatieve materialen zich precies zullen gedragen wanneer ze bij brand betrokken raken en hoe de brandweer dan moet optreden is nog veel onbekend.

Deze aspecten van brandveiligheid krijgen vooralsnog weinig aandacht wanneer er gesproken wordt over klimaatadaptief en duurzaam bouwen. In deze publicatie is dit onderwerp nader verkend en zijn enkele aspecten aangestipt die nadere aandacht en onderzoek vragen. Het is het raadzaam om de nieuwe ontwikkelingen rondom duurzaam, energiezuinig en klimaatadaptief bouwen te blijven volgen om de brandpreventieve aspecten van en de lessen voor het bestrijden van branden goed in beeld te krijgen, en zo brandveiligheids- en brandbestrijdingskennis voor dit soort nieuwe gebouwen te ontwikkelen. Dit rapport is daaraan een eerste bijdrage.

# Literatuur

- ARUP (2021). *Fire design of exposed mass timber in open-plan offices*. David Barber in Webinar on fire safety, and [Mass timber fire safety experiment](#).
- Bbl (2018). [Besluit bouwwerken leefomgeving](#).
- Berghuis (2019). *Whitepaper – Circulair bouwen en het bouwbesluit 2012*. Nieman Raadgevende adviseurs.
- Bosch, S. (2017). [Circulair bouwen: kansrijk maar kansloos!?](#)
- Bouwbesluit (2012). [Bouwbesluit 2012 | Bouwbesluit Online](#).
- Bouwwereld 2014. [Stro isoleert houtskeletbouw](#).
- Brandweer Nederland, & Verbond van Verzekeraars (2021). [Position paper Duurzaam veilig](#).
- Brandweeracademie (2020). [Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met inpanndige gangen](#). Instituut Fysieke Veiligheid.
- BREEAM 2021. Building Research Establishment Environmental Assessment Method. <https://www.breeam.nl/>.
- Brundtland (1987). [Our Common Future](#).
- BZK (2020). Kamerbrief: [Voortgang circulair bouwen, beantwoording vragen, uitvoering moties](#).
- BZK (2022). [Kabinet investeert 1,2 miljard in infrastructuur voor het sneller bouwen van 135.000 nieuwe woningen](#).
- CBS (2021). [Aanbod en gebruik energie; energiedragers, huishoudens en bedrijven \(NR\)](#).
- Cirkellab (2020). [CLT Houtpanelen uit resthout voor de bouw](#).
- Compendium voor de Leefomgeving (2019). [Energieverbruik per sector, 1990-2019](#).
- Crielaard, R., Kuilen, J. Van De, Terwel, K., & Ravenshorst, G. (2016). [Self-extinguishment of cross-laminated timber SELF-EXTINGUISHMENT OF CROSS-LAMINATED TIMBER](#). November 2017.
- De Groene Kaap (2021). [De Groene Kaap, Rotterdam](#).
- Eco-Huus (2016). [Eco Huus houdt energie over](#).
- Ferlem (2022). [Home - Ferlem \(NL\)](#).
- Gemeente Bergen op Zoom, e.a. (2011). [Brabantwoning. Een programma van eisen voor een betaalbare, milieuvriendelijke, groene, energiezuinige en gezonde grondgebonden woning](#).
- IFV (2019). [Infoblad circulaire economie voor veiligheidsregio's](#).
- IPPC (2021). [Climate Change 2021: The Physical Science Basis](#).
- KNMI (2015). [14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie](#).
- Korbee, H. (2018). ['Jonge Honden' toont meetmethoden circulair bouwen](#).
- Leemkolk, W. van de, Jongma, C., Dekker, G., & Handgraaf, S. (2020). [Handreiking decentrale regelgeving klimaatadaptief bouwen in inrichten](#).
- Lemelerveld (2020). [Modulair woningbouwsysteem met complete prefab verdiepingsvloer tackelt tekort aan woningen](#).
- Leuven, S. van (2017). [Aluminium bij hoge temperaturen](#).
- McGregor, C. J. (2013). [Contribution of Cross Laminated Timber Panels To Room Fires](#). Thesis Carleton University, Ottawa Canada.

- NAS (2018). Uitvoeren met ambitie. [Uitvoeringsprogramma 2018-2019 Nationale klimaatadaptatiestrategie](#) (NAS).
- NOS (2021). [Brandweer: natuurbranden in Nederland worden onbeheersbaar door klimaatverandering](#).
- OVV (2021). [Stalbranden](#).
- Platform 31 (2019). [Voorbeeldenboek Klimaatadaptatieve bouwprojecten](#).
- Rau, T., & Oberhuber, S. (2019). *Material Matters. Het alternatief voor onze roofofbouwmaatschappij*. Bertram + De Leeuw Uitgevers.
- Rijksoverheid (2020). [Ruimte voor Biobased Bouwen - Strategische Verkenning](#).
- Rijksoverheid (2022). [Nederland circulair in 2050](#).
- Rijksvastgoedbedrijf (2021). [Demontabele tijdelijke rechtbank Amsterdam verhuist naar Enschede | Nieuwsbericht | Rijksvastgoedbedrijf](#).
- RIVM (2021). [Groene adaptatie](#).
- RVO (2021). [Energieprestatie indicatoren - BENG](#).
- SAWA (2022). [SAWA | Nice Developers](#) en [SAWA - Mei architects and planners \(mei-arch.eu\)](#).
- Saxion (n.d.). [Toekomstbestendig en remontabel](#).
- Schmid, J., Lange, D., Sjöström, J., Brandon, D., Klippel, M., & Frangi, A. (2018). [The use of furnace tests to describe real fires of timber structures](#). WCTE 2018 - World Conference on Timber Engineering, (July).
- Smeetsland (2021). <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/02/20210719-BA-Brand-in-verpleeghuis-Smeetsland-Rotterdam.pdf>.
- Stadskantoor Venlo (2021). [Stadskantoor Venlo](#).
- Stedenbouw (2019). [RAU Architecten en Ex Interiors realiseren houten "kathedraal"](#).
- Stefano Boeri Architetti (2022). [Trudo Vertical Forest | Stefano Boeri Architetti](#)<https://www.stefanoboeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/>.
- Stichting Bouwkwaliiteit (2019). [Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken](#).
- Stolk, I. (2019). [Verkenning Materialenpaspoort voor gebouwen](#).
- Su, J., Lafrance, P., Hoehler, M., & Bundy, M. (2018). [Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Task 2 & 3 – Cross Laminated Timber Compartment Fire Tests](#). National Research Council of Canada.
- Theeuwen, M. (2019). ['Dat stadsbos op VDMA-terrein in Eindhoven gaat er komen'](#) | Eindhoven | ed.nl.
- Tijhaar, B. (2018). [Felle brand verwoest hoekwoning in Kampen](#). *De stentor*.
- Transitieteam CBE (2020). [De circulaire bouweconomie - Advies Transitieteam voor het Rijk - Wettelijke verplichting materialenpaspoort](#).
- Trudo (2022). [Trudo | De Trudo Toren](#).
- Van Dam, J. & Van den Oever, M. (2019). [Catalogus biobased bouwmaterialen 2019. Het groene en circulaire bouwen](#).
- Van Heel (2017). *Toekomstbestendig vastgoed bouwen – Aan de slag met circulaire verdienmodellen*, ABN-AMRO.
- VBI (2021). [Whitepaper: Circulair & Remontabel bouwen. Wat zijn de trends, ontwikkelingen en kansen in utiliteitsbouw?](#)
- VB&T (2018). Masterplan Brandveiligheid nieuwbouw Trudo Toren. Informatie verkregen via <https://www.vbtgroep.nl/>.
- Verbong, G. P. J., Selm, A. van, Knoppers, R., & Raven, R. P. J. M. (2001). [Een kwestie van lange adem : de geschiedenis van duurzame energie in Nederland](#). Aeneas Publishers.

- Vlerken, J van (2017). [Tijdelijke rechtbank Amsterdam demontabel én circulair.](#)
- Wiesner et al. (2019). Structural capacity in fire of laminated timber elements in compartments with exposed timber surfaces. [Engineering Structures, 179, 284-295.](#)
- Wikipedia (2016). Substraat. Retrieved November 17, 2020, from [https://nl.wikipedia.org/wiki/Substraat\\_\(tuinbouw\).](https://nl.wikipedia.org/wiki/Substraat_(tuinbouw))
- Wit, C. de (2019). [Circulair bouwen: klaar voor de start?](#)
- Wonderwoods (2022). [Wonderwoods | Stefano Boeri Architetti.](#)
- Woonwaard (2020). [Modulaire houtbouw: dé toekomst voor corporaties? \(woonwaard.nl\)](#) en [Finch Buildings - Koelmalaan.](#)
- WWF (2020). [Living planet report 2020: Bending the curve of biodiversity loss.](#)