

MNEXT
MATERIALEN
& ENERGIE
X TRANSITIE

BIOBASED BOUWEN EEN GEZONDE KEUZE



*Für Max,
'unseren' Botschafter der Baubiologie*

DANKWOORD

Deze publicatie is tot stand gekomen ter gelegenheid van mijn inauguratie als lector Biobased Bouwen bij MNEXT, het Centre of Expertise voor de Materialen- en Energietransitie van Avans Hogeschool en HZ University of Applied Sciences, op 17 oktober 2024 in Gebouw-T te Bergen op Zoom.

Naast alle collega's van MNEXT (Avans + HZ), en ARC-TWE, het Applied Research Centre Technology Water Environment (HZ), gaat mijn dank uit naar de collega's die deze publicatie mede mogelijk hebben gemaakt: Bas Koebrugge, Wendy van Rijsbergen, Eugène de Kok, Margot Verwei en Marianna Ansiliero de Oliveira Coelho.

Daarnaast wil ik alle studenten die nu en in de afgelopen jaren betrokken zijn geweest bij praktijkgericht onderzoek van ons lectoraat bedanken voor hun waardevolle bijdragen en enthousiasme om te leren. Wij leren ook veel van jullie! Tot slot wil ik in het bijzonder mijn fantastische team van (docent-)onderzoekers en ondersteuners bedanken voor hun vertrouwen in mij bij het vervullen van de rol van lector en voor het uitvoeren van waardevol en relevant praktijkgericht onderzoek voor de bouwsector.

Annine Rozema, Arjen Boon, Fran Ortega Exposito, Hans de Wit, Ilse Rovers, Iwan Westerveen, Jasper Sluis, Joris Deliën, Lennart Zoeter, Maarten den Hollander, Margot Verwei, Marianna Ansiliero de Oliveira Coelho, Marijn Heeren, Mark de Waard, Myla Gonzalez Alonso, Myron Koster, Neha John, Serena Buscone, Shannon Peuling, Stefano Roccio, Susanne Heldens, Svebor Heruc en Wil Mertens.

Bedankt! Jullie onuitputtelijke energie, fascinatie en toewijding voor alles dat raakt aan het vakgebied Biobased Bouwen is een ware bron van inspiratie voor mij. En ongetwijfeld voor vele anderen!

Tot slot, dit alles had ik nooit voor elkaar gekregen zonder de liefde, onvoorwaardelijke steun, kritische reflecties, waardevolle inzichten en onmisbare Illustration skills van mijn vrouw Carolien. Merci très beaucoup 😊

AFBEELDING VOORZIJD OMSLAG

Biobased Beleven-gebouw op het Silo Terrein aan de Kleverkerkseweg in Middelburg, gerealiseerd in het kader van het Interreg 2 Zeeën-programma FACET (foto: HZ University of Applied Sciences)

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING	7
BIOBASED BOUWEN IN BREDER PERSPECTIEF	8
KEUZES MAKEN	12
MATERIAALGEBRUIK	15
Behouden	16
Hergebruiken	18
Recyclen	20
Winnen	22
Teruggeven	24
Regenereren	26
BINNENKLIMAAT	29
Thermisch comfort	30
Luchtvochtigheid	32
Akoestisch comfort	34
Visueel comfort	36
Aanraking & reuk	38
Schone lucht	40

ENERGIE- & LANDGEBRUIK

Productiefase	46
Transportfase	48
Gebruiksfase	50
Koolstof-opslag	52
Landschap	54
Landbouw	56

ECONOMIE & SAMENLEVING

Productieketen	60
Gebouwontwerp	62
Woningvoorraad	64
Onderwijs	66
Samenwerking	68
Onderzoekende houding	70

AMBITIEPROFIEL

REFERENTIES

COLOFON

Dit is een uitgave van MNEXT, Centre of Expertise voor de Materialen- en Energietransitie van Avans Hogeschool en HZ University of Applied Sciences, ter gelegenheid van de inauguratie van Frank Huijben als lector Biobased Bouwen.

BIOBASED BOUWEN | EEN GEZONDE KEUZE

© 2024 door MNEXT - Frank Huijben is gelicenseerd onder CC BY 4.0.

Eerste druk: oktober 2024

Tweede druk: april 2025

ISBN: 9789090391342

NUR: 615 - Boekwetenschappen algemeen

Tekst en illustraties (MNEXT):

Frank Huijben

Vormgeving (MNEXT):

Bas Koebrugge

Redactie (MNEXT):

Bas Koebrugge - Eugène de Kok -

Margot Verwei - Wendy van Rijsbergen

Drukwerk:

Groen Print, www.groenprint.nl

Deze uitgave is duurzaam geproduceerd op Valorise papier



INLEIDING

Met deze publicatie markeert het lectoraat Biobased Bouwen het vervolgtraject van het praktijkgericht onderzoek dat we samen met het bedrijfsleven, overheden en onderwijs uitvoeren sinds 2015.

De visie van het lectoraat Biobased Bouwen is:

“Een volhoudbare en gezonde gebouwde omgeving”

Om dit te bereiken luidt onze missie:

“Samen met het MKB, overheden, kennisinstellingen, studenten en de samenleving ontdekken en demonstreren hoe het volledige technische potentieel van oneindig hernieuwbare materialen (zowel biobased als geobased) kan worden benut bij het ontwerp, de engineering, de realisatie en de vernieuwing van enerverende gebouwen die nu en in de verre toekomst werkelijk duurzaam en gezond zijn voor mens en natuur”.

De werkelijke potentie van oneindig hernieuwbare materialen voor het bereiken van een volhoudbare en gezonde gebouwde omgeving is nog grotendeels onbekend. Bij het doen van praktijkgericht onderzoek op het gebied van Biobased Bouwen streven we niet naar het verkondigen van ‘de waarheid’, maar naar het vinden van een volhoudbare en gezonde weg naar de toekomst. Dit vraagt om een onderzoekende houding, open mind, praktische aanpak en een respectvolle manier van samenwerken. Deze publicatie is vooral bedoeld om je prioriteiten en ambitie scherp te krijgen en dit bespreekbaar te maken met anderen. Ik wil je daarbij graag aansporen om niets uit deze publicatie als vanzelfsprekend of ‘waar’ aan te nemen en zelf op onderzoek uit te gaan. Je kunt daarbij de aangehaalde referenties gebruiken als vertrekpunt. Trek zelf conclusies en maak (gezonde) keuzes op basis van je bevindingen. Veel plezier!

Ik heb gezegd.

Frank Huijben

WAAROM DEZE PUBLICATIE?

Deze publicatie is bedoeld voor opdrachtgevers, beleidsmakers, beroepsprofessionals, docenten, studenten, onderzoekers en andere geïnteresseerden die werkzaam zijn in de bouwsector, maar ook voor gebouweigenaren en bewoners in het algemeen.

Enerzijds om inzicht te geven in de potentie van biobased bouwen op het gebied van materiaalgebruik, binnenklimaat, energie- & landgebruik en economie & samenleving. Anderzijds als toegankelijk hulpmiddel om met elkaar ambities vast te stellen en weldoordachte keuzes te maken op weg naar een gezonde en volhoudbare gebouwde omgeving.

< Stro-paviljoens in het Living Greenlab bij de Onderwijsboulevard in Den Bosch, gerealiseerd in het kader van de minor CO₂-Negatief Ontwerpen (Avans) en het RNOB-gesubsidieerde onderzoeksproject “Stro van Land tot Pand in NO-Brabant” (Foto: Iwan Westerveen)

BIOBASED BOUWEN IN BREDER PERSPECTIEF

De gebouwen van eerste nederzettingen in Nederland (de zogeheten 'hallenhuizen') waren gemaakt van **natuurlijke (biobased) materialen uit de directe leefomgeving**, zoals een draagconstructie van boomstammen, wanden van gevlochten takken opgevuld met een mengsel van leem en mest en riet-bedekte daken (Figuur 1). Funderingen werden pas gebruikelijk rond het jaar 1200 [1]. In de loop der jaren werden huizen (ook in steden) steeds meer volledig van hout gemaakt met een dakbedekking van riet en later met gebakken pannen. De belangrijkste reden voor het gebruik van hout was de beperkte draagkracht van de veenachtige gronden. Stenen huizen zakten simpelweg in de ondergrond weg. Na het jaar 1500 en het aanleggen van dijken nam het gebruik van baksteen in steden toe als gevolg van enkele verwoestende branden, hoewel op het platteland nog overwegend met hout werd gebouwd [2]. Het bouwen was zeer ambachtelijk van aard (veel handwerk) en relatief inefficiënt [3].

Gedurende de achttiende en negentiende eeuw kwam daar in Nederland langzaam aan verandering in, mede door het ontstaan van een afgebakende beroepsmatige taakverdeling tussen architect, ingenieur, aannemer en werklieden en door het formaliseren van het bouwkundig beroepsonderwijs. Tegelijkertijd deed een breed scala aan technologische innovaties hun intrede in Europa, zoals de opkomst van fossiele brandstoffen, de daarmee gepaard gaande mechanisering van productieprocessen en de **ontwikkeling van 'nieuwe' bouwmaterialen**, zoals baksteen, glas, gietijzer en cement. Gewapend beton en de meeste bouw-gerelateerde kunststoffen volgden in de twintigste eeuw [4] [5]. Veel dorpelingen trokken richting de fabrieken, waardoor de nijverheid verdween uit de dorpen en de verstedelijking steeds meer toenam. Bouwondernemers gingen bouwen voor een anonieme markt, wat leidde tot seriematige bouw en massaproductie. Er ontstond een toeleverende bouwindustrie die de markt voedde met een niet-aflatende stroom van nieuwe 'geproduceerde' materialen en geïndustrialiseerde producten [3].



FIGUUR 1: Replica van een traditionele en volledig in biobased materialen uitgevoerde Nederlandse boerderij uit de IJzertijd in Dongen (foto: Toine Snoeren)

Hiervoor genoemde ontwikkelingen zijn kenmerkend voor de zogeheten **industriële revolutie(s)**. In Nederland kwam deze relatief laat op gang in vergelijking met andere Europese landen. Redenen waren onder andere de beperkte natuurlijke voorraden van fossiele brandstoffen (met name kolen), het waterrijke (en daardoor moeilijk toegankelijke) landschap en de zeer productieve gevestigde landbouwsector (waardoor er nog geen 'behoefte' was aan industrialisatie) [6].

Hoewel industrialisatie vaak wordt beschouwd als belangrijke stimulans voor de toename van de welvaart, kent het ook een keerzijde. Bekende negatieve gevolgen van industrialisatie zijn menselijke uitbuiting en vernietiging van het milieu [6]. Met name dit laatste heeft sinds de jaren zeventig van de twintigste eeuw groeiende aandacht, onder meer aangewakkerd door het onderzoeksrapport van de Club van Rome getiteld *The Limits to Growth* in 1972 [7] en het onderzoeksrapport van de Verenigde Naties getiteld *Our Common Future* in 1987 [8]. Met name deze laatste riep voor het eerst op tot **duurzame ontwikkeling** als een ontwikkeling die tegemoet komt aan de noden van het heden, zonder de mogelijkheden van toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien in het gedrang te brengen'.

Met het oog op de gebouwde omgeving, zijn er sinds die tijd in Nederland (vaak voorafgegaan door Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië, of België) diverse bouwkundige stromingen (of 'trends') ontstaan, die veelal gericht zijn op het reduceren van de milieubelasting van de bouwsector. Veelgebruikte termen hierbij zijn 'duurzaam', 'groen', 'natuurlijk', 'ecologisch' (eco), 'biologisch' (bio), 'circulair', 'regeneratief' en onlangs aangevuld door 'natuur-inclusief', 'klimaat-adaptief', 'energie-neutraal' en 'klimaat-neutraal'. Dergelijke stromingen worden gepresenteerd als een duurzaam alternatief voor de geïndustrialiseerde bouw, die gekenmerkt wordt door een gecentraliseerd en kapitaal- en energie-intensief productieproces [9] [10]. **Biobased Bouwen** kan beschouwd worden als een variant op bovengenoemde duurzaamheids-stromingen.

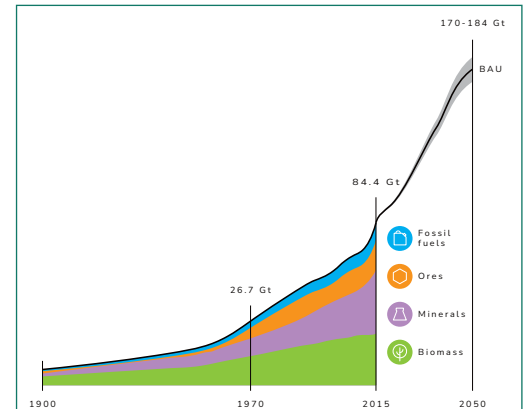
MIDDEL, GEEN DOEL!

Er zijn verschillende definities en beschrijvingen van 'biobased' (bouwen) in omloop, zoals opgenomen in de Europese NEN-EN 16575 [21], de online Kennisbank Biobased Bouwen [22] en vele andere bronnen. De intentie van het woord is echter belangrijker dan een strikte definitie, vandaar dat in deze publicatie geen afgebakende definitie wordt gegeven. Biobased Bouwen is een middel, geen doel op zichzelf. Wanneer Biobased Bouwen wordt genoemd in dit boekwerk, wordt vooral gerefereerd aan **een gezonde (voor mens en milieu) en volhoudbare (in voortdurend evenwicht met natuur) manier van bouwen.**

De voornaamste reden voor het ontstaan van de duurzaamheids-stromingen was de aantasting van het milieu. Deze aantasting omvat in het kader van de bouwsector voornamelijk **verontreiniging van bodem en lucht** (en in mindere mate water), **de uitputting van grondstoffen** en **de vernietiging van ecosystemen**.

De verontreiniging van de bodem (en water) is onder andere het gevolg van het dumpen van afgedankte bouwmaterialen (afval) in de natuur of op daarvoor georganiseerde stortplaatsen (*landfill*). Dit afval ontstaat vooral doordat grondstoffen onomkeerbaar (veelal toxisch) worden bewerkt door het chemisch te behandelen, of door grondstoffen te vermengen of onderling te verbinden. De luchtverontreiniging is vooral het gevolg van het uitstoten van (overmatige hoeveelheden van) schadelijke stoffen in de atmosfeer (met name koolstofdioxide (CO_2) en stikstofoxiden (NO_x)) door verbrandingsprocessen in de maakindustrie, bij (zwaar) transport, bij afvalverbranding en bij energieomzetting. De vernietiging van ecosystemen ontstaat naast het dumpen of verbranden van afval door het overmatig winnen van grondstoffen zonder dat daarbij mogelijkheid wordt geboden tot (natuurlijk) herstel en (tijdige) hernieuwing van grondstoffen. Sinds 2018 wordt door de organisatie Circle Economy jaarlijks een zogeheten 'Circularity Gap Report' uitgegeven, waarin onder andere winning van ruwe grondstoffen (fossiele brandstoffen, ertsen, mineralen en biomassa) wordt afgebeeld sinds het begin van de twintigste eeuw [11] [12]. Ironisch genoeg blijkt de grondstofwinning sinds de start van de duurzaamheidsbeweging alleen maar toe te nemen (Figuur 2).

De gezondheidstoestand van de in aantal en omvang groeiende steden in Nederland in de negentiende eeuw liet vaak te wensen over. Mede als antwoord hierop is in 1902 de zogeheten Woningwet ingesteld om de realisatie van betere woningen te bevorderen [14]. Desondanks zou je kunnen concluderen dat als indirect gevolg van de duurzaamheidsbeweging aan het einde van de twintigste eeuw gebouwen steeds 'ongezonder' zijn geworden en in bepaalde situaties zelfs leiden tot het zogenoemde *sick building syndrome* [15]. Gebouwen zijn namelijk steeds



FIGUUR 2: Visualisatie van de grondstofwinning van fossiele brandstoffen, ertsen, mineralen en biomassa vanaf 1900, inclusief de voorspelling wanneer er niets veranderd (*business as usual: BAU*). Afbeelding door Circl Economy, overgenomen (en grafisch aangepast) uit Circularity Gap Report 2018 [11].

beter geïsoleerd en luchtdicht gemaakt (om energie te besparen) maar tegelijkertijd stoten veel bouwmaterialen giftige stoffen uit gedurende hun gebruiksduur, wat gezamenlijk kan leiden tot allerlei fysieke gezondheidsproblemen [16]. De (mechanisch aangestuurde) verversing van lucht in gebouwen is mede hierdoor een steeds belangrijker aspect geworden om een **gezond binnenklimaat** te garanderen [17]. Het hermetisch afsluiten van ruimtes heeft bovendien tot gevolg dat overtollige warmte niet eenvoudig kan worden afgevoerd, waardoor het koelen van ruimtes (via airconditioning) een steeds belangrijkere behoefte is geworden bij het klimatiseren van gebouwen. Deze klimatiseringsmiddelen resulteren in een bepaalde energievraag, die het oorspronkelijke duurzaamheidsstreven tegen lijkt te werken. Dit in de wetenschap dat er talloze 'stekkerloze' alternatieven zijn om gebouwen te klimatiseren [18].

Vanaf de jaren negentig van de twintigste eeuw wordt duurzaam bouwen door de Nederlandse Rijksoverheid gestimuleerd met diverse programmatische initiatieven. De aftrap werd gegeven door het Plan van Aanpak Duurzaam Bouwen in 1995 [19] en de meest recente is de **Nationale Aanpak Biobased Bouwen (NABB)** in 2023 (Figuur 3).

Het doel van de NABB in het bijzonder is bij te dragen aan nationale doelstellingen op het gebied van CO₂-reductie, stikstofreductie, circulaire economie, natuur- en biodiversiteitsherstel en ruimtelijke kwaliteit [13]. De focus ligt daarbij op de productie van (Nederlandse) biobased bouwmaterialen voor de toepassing in woningen en utiliteitsgebouwen (nieuwbouw en renovatie) en de grond-, weg- en waterbouw. Stichting *Building Balance* is door diverse ministeries van de Rijksoverheid in het leven geroepen om de NABB uit te voeren. Daartoe worden onder andere 'van land tot pand' ketens gevormd, de vraag naar biobased materiaal vanuit de bouwsector gestimuleerd, de verwerkende industrie geholpen met opschalen en gunstige marktcondities gecreëerd zodat de materialentransitie kan versnellen [20].



FIGUUR 3: De Nationale Aanpak Biobased Bouwen, zoals gepubliceerd op 8 november 2023 door vier ministeries van de Nederlandse Rijksoverheid [13].

KEUZES MAKEN

We leven in een tijd waarin we overspoeld worden met informatie. Daarbij heerst de tendens om deze informatie klakkeloos voor 'waar' aan te nemen, of als de situatie complex lijkt ons voor sturing en richtingsbepaling te wenden tot beleidsmakers. Deze publicatie is enerzijds bedoeld om inzicht te geven in allerlei samenhangende aspecten die een rol spelen bij Biobased Bouwen, of liever gezegd een gezonde en volhoudbare manier van bouwen. Anderzijds kan deze publicatie beschouwd worden als hulpmiddel om gezamenlijke ambities te bepalen, prioriteiten te stellen en 'logische' keuzes te maken op de weg naar een gezonde en volhoudbare gebouwde omgeving. De '**WHY**' (waarom doen we dit eigenlijk?) staat hierbij centraal.

Veel aspecten die te maken hebben met de gebouwde omgeving zijn prima meetbaar en daardoor min of meer vergelijkbaar. Denk aan materiaalhoeveelheden, vloeroppervlaktes, isolatiewaarden, transportafstanden, prijzen, et cetera. Maar hoe zit het met aspecten die moeilijk meetbaar of nauwelijks te vergelijken zijn, zoals duurzaamheid en circulariteit? Of aspecten die juist subjectief zijn, zoals gezondheid en volhoudbaarheid? Vanzelfsprekend zijn er op het gebied van 'duurzaamheid' allerlei reken- en bepalingsmethodes ontwikkeld, zoals Milieuprestatie Gebouwen (MPG) [23], Milieukostenindicator (MKI) [24], Building Circularity Impact (BCI) [25], BREEAM-NL [26], WELL Building Standard [27], Het Nieuwe Normaal (HNN) [28], Living Building Challenge [29] en vele, vele anderen. Echter, het vraagt vaak om een behoorlijke dosis voorkennis om met deze methodes praktisch en strategisch aan de slag te gaan. Daarnaast focust elke methode zich (logischerwijs) op specifiek afgebakende aspecten, waardoor een holistische bepaling ontbreekt. En niet onbelangrijk; het zijn methodes die toegepast worden om achteraf een bepaalde keuze (die al is gemaakt) te onderbouwen. Mede om deze redenen wordt in deze publicatie Biobased Bouwen onder de aandacht gebracht op basis van de zogeheten DCBA Methodiek.

LEESWIJZER

In deze publicatie worden 4 hoofdthema's beschreven, namelijk MATERIAAL-GEBRUIK, BINNENKLIMAAT, ENERGIE- & LANDGEBRUIK en ECONOMIE & SAMENLEVING. Elk thema is vervolgens opgedeeld in 6 onderwerpen die kenmerkend zijn voor dat thema. Per onderwerp worden vervolgens oplopende ambitieniveaus vermeld (D, C, B en A).

De omschrijving van elk ambitieniveau omvat niet alle denkbare mogelijkheden, maar biedt vooral kaders en denkrichtingen. Belangrijk om te beseffen, is dat de niveaus niet absoluut zijn. Met andere woorden, iets wat nu niveau B of C is, kan morgen bij wijze van spreken al weer de 'normale situatie' zijn, ofwel niveau D. Afhankelijk van het onderwerp kan niveau D overigens ook een scenario betekenen dat simpelweg de minste voorkeur heeft.

De **DCBA Methodiek** is een viervarianten-methode, ontwikkelt door Milieukundig Onderzoek- en OntwerpBuro BOOM tussen 1988 en 2010 [30]. Het is in essentie een communicatie-instrument dat in de startfase van het bouwproces door alle partners kan worden gehanteerd om te komen tot een gezamenlijke duurzaamheidsambitie. De DCBA Methodiek beschrijft hiertoe binnen diverse thema's verschillende duurzame maatregelen ingedeeld in vier verschillende niveaus, oplopend in ambitieniveau van D (laagste ambitie) naar A (hoogste ambitie).

In deze publicatie wordt het gedachtegoed van de DCBA Methodiek geadopteerd en toepasbaar gemaakt voor Biobased Bouwen als een gezonde en volhoudbare manier van bouwen. De gehanteerde ambitieniveau zijn:

- D – De normale situatie** (volhoudbaarheid en gezondheid hebben nauwelijks aandacht)
- C – Correctie op de normale situatie** (volhoudbaarheid en gezondheid hebben de aandacht)
- B – Basisuitgangspunt** (volhoudbaarheid en gezondheid is het uitgangspunt)
- A – Absolute beste keuze** (maximale volhoudbaarheid en gezondheid wordt bereikt)

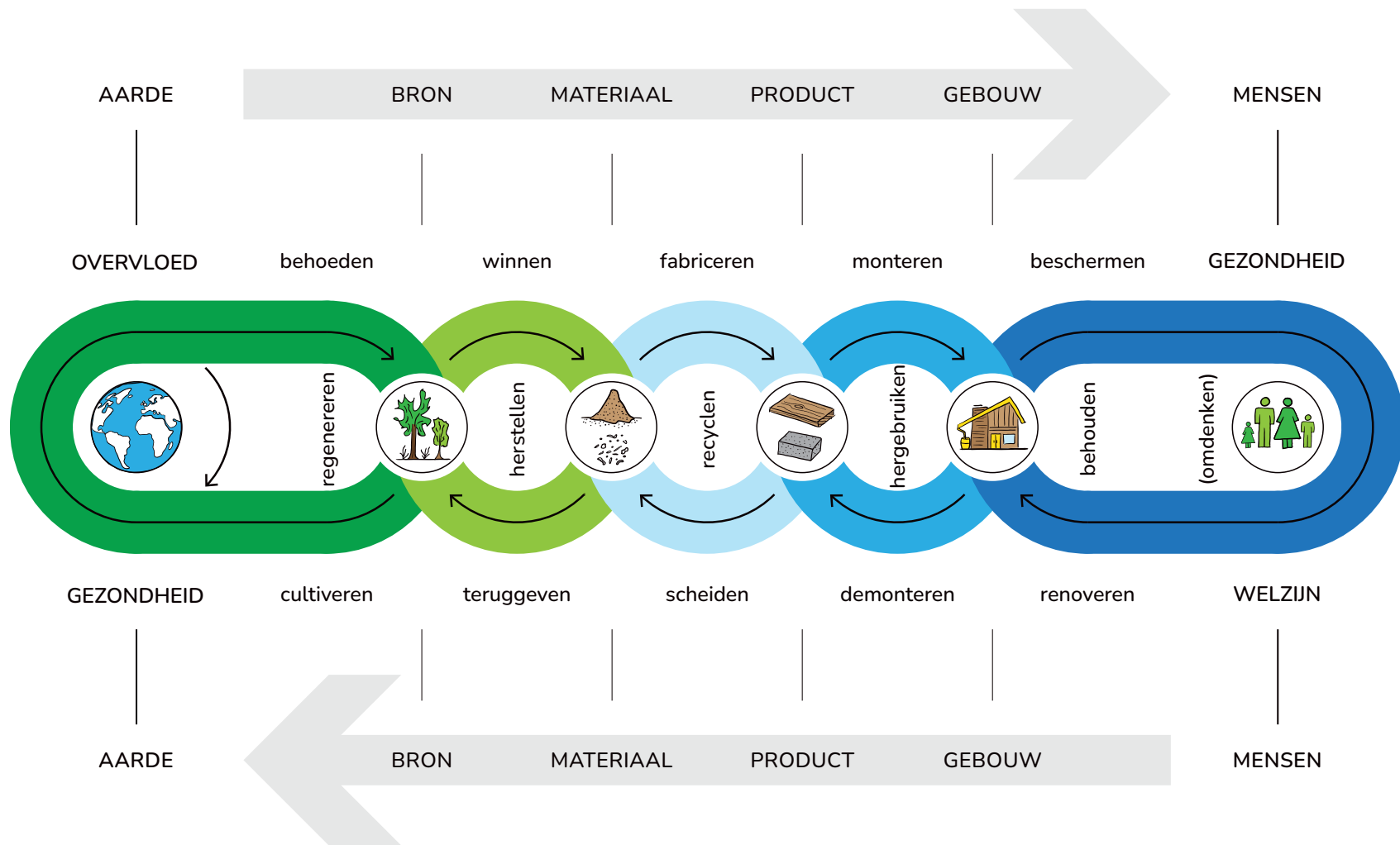
Het oorspronkelijke boekwerk getiteld: 'Duurzame ideeën & DCBA Methodiek' [30] blijft naast deze publicatie over Biobased Bouwen een waardevol hulpmiddel en naslagwerk op het gebied van duurzaam bouwen in het algemeen.

In de praktijk worden prioriteiten vaak niet enkel op basis van duurzaamheidswensen gesteld, maar ook op basis van aanwezig kennisniveau en beschikbare financiën en (doorloop)tijd. Mede om deze reden worden de aspecten 'tijd' en 'geld' niet specifiek behandeld in deze publicatie. Deze aspecten kunnen de intentie van deze methodiek vertroebelen. Het streven is om de nuances van de verschillende ambitieniveaus met verschillende partners in het bouwproces nadrukkelijk bespreekbaar te maken en de implicaties van bepaalde keuzes helder voor ogen te krijgen.

VERVOLG LEESWIJZER

De hoofdthema's en onderwerpen kunnen eventueel afzonderlijk van elkaar worden gelezen en gebruikt. Desalniettemin heeft het grote meerwaarde om de verschillende onderwerpen per thema steeds te groeperen, aangezien ze vaak in verband staan met elkaar. Achterin deze publicatie worden enkele ambitieprofielen geschetst per thema ter illustratie.

De gepresenteerde methodiek is niet allesomvattend. De nadruk in deze publicatie ligt op het materiaalniveau, maar kan naar wens worden aangevuld met sociale, economische, of andere relevante invalshoeken.



MATERIAALGEBRUIK

Om, in het kader van materiaalgebruik, een werkelijk volhoudbare gebouwde omgeving te realiseren, is het noodzakelijk dat bouwmaterialen circulair worden toegepast. Met andere woorden, het lineaire consumptiesysteem gebaseerd op het nemen, maken en vervolgens weggooien van materialen moet veranderen in een systeem waarbij materialen oneindig vaak opnieuw worden gebruikt. Ofwel in de vorm van een product, ofwel in de vorm van grondstoffen. Binnen de circulaire economie wordt er vaak onderscheid gemaakt tussen een zogeheten biologische kringloop (biosfeer) en de technologische kringloop (technosfeer) [31]. De biologische kringloop beschrijft het circulaire systeem van biotische grondstoffen (afkomstig van levende organismen) die niet toxisch zijn en eenvoudig kunnen worden gecomposteerd, zoals bomen, grassen, landbouwgewassen en zeegewassen. De technologische kringloop beschrijft het circulaire systeem van abiotische grondstoffen (kunstmatig, niet afkomstig van levende organismen) die vaak toxisch zijn en niet kunnen worden gecomposteerd, zoals metalen, gesteentes en plastics (polymeren).

Als er geen rekening wordt gehouden met het begrip 'tijd', zullen uiteindelijk alle materialen biologisch afbreken en desintegreren en (na een lange weg) terugkeren bij de bron van waaruit ze oorspronkelijk voortkomen [32]. Vanuit dat oogpunt is het dus evengoed mogelijk om slechts één materialenkringloop te visualiseren die van toepassing is op alle materialen en grondstoffen (Figuur 4). Deze ene kringloop bestaat weliswaar uit meerdere kleinere opeenvolgende kringlopen, of cyclussen, die verschillende circulaire levensfasen van de grondstoffen beschrijft. Van bron naar gebouw en uiteindelijk weer terug naar de bron. In deze publicatie zijn de circulaire levensfasen aangeduid als: behouden, hergebruiken, recycelen, herstellen (opgesplitst in winnen en teruggeven) en regenereren.

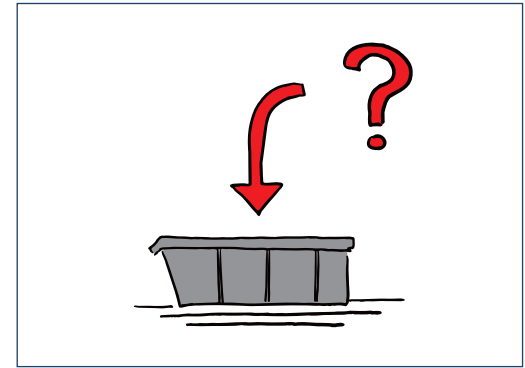
Voor werkelijk volhoudbaar materiaalgebruik zijn al deze cyclussen essentieel.

< FIGUUR 4: Volhoudbare materialenkringloop waarbij de focus ligt op het continu behouden, hergebruiken, recycelen, herstellen en regenereren van materialen en grondstoffen, wat bijdraagt aan de gezondheid (of welzijn) van zowel mens als planeet.

BEHOUD (retain)

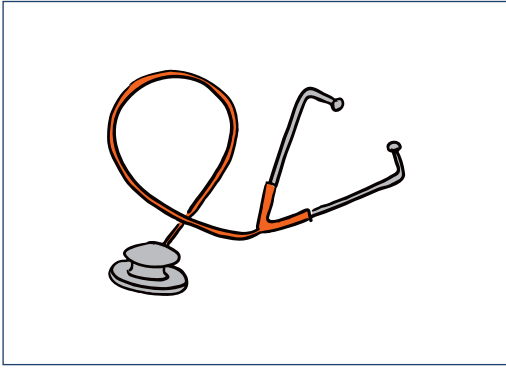
De eigenaar van een product wil dat een product lang meegaat. De levensduur van een product kan worden verlengd door het regelmatig te onderhouden (schoonmaken, beschermen) en waar nodig te repareren. Bij levensduur wordt er vaak een onderscheid gemaakt tussen de functionele, de economische en de technische levensduur [33]. De functionele levensduur is de periode waarin het product nog voldoet aan alle eisen en wensen van de gebruiker. De economische levensduur is de periode waarin de opbrengsten van het product nog hoger zijn dan de kosten ervan. De technische levensduur is de periode waarbinnen het product voldoende betrouwbaar zijn gewenste functie blijft vervullen (dus nog niet defect is). Over het algemeen kan gesteld worden dat de technische levensduur van een product langer is dan de economische levensduur, die op zijn beurt weer langer is dan de functionele levensduur. Als voorbeeld: een auto functioneert nog prima (technische levensduur is nog niet bereikt), maar moet vaak gerepareerd worden wat relatief hoge kosten met zich meebrengt (economische levensduur is voorbij). Bovendien zijn er nieuwere modellen op de markt die mooier, veiliger en energiezuiniger zijn (functionele levensduur is voorbij).

In het kader van volhoudbaar materiaalgebruik is het niet logisch om het product 'weg te gooien' als de kwaliteit ervan nog prima is. Het streven is dus om de economische levensduur zo veel als mogelijk te verlengen en aan te laten sluiten bij de technische levensduur. Met andere woorden: hoe minder onderhoud en reparaties er nodig zijn, hoe beter. Producten die eenvoudig kunnen worden aangepast aan nieuwe wensen zorgen op hun beurt voor een langere functionele levensduur.



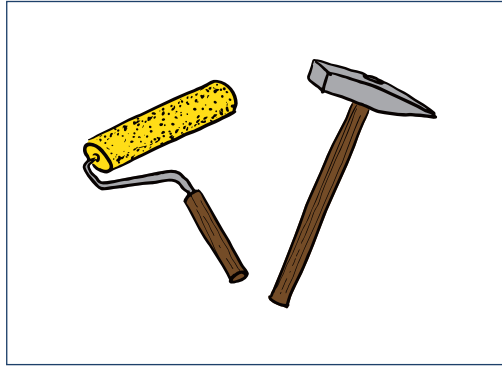
D. TOEPASSING NIET TE REPAREREN 'WEGWERP'-PRODUCTEN

Er worden producten toegepast, die niet of nauwelijks te onderhouden, te repareren of aan te passen zijn. Ze moeten na een bepaalde (beperkte) gebruiksduur verwijderd en vervangen worden. De verwijderde producten zijn veelal schadelijk voor mens en/of milieu en worden afgevoerd naar een stortplaats (*landfill*), of verbrandingsoven.



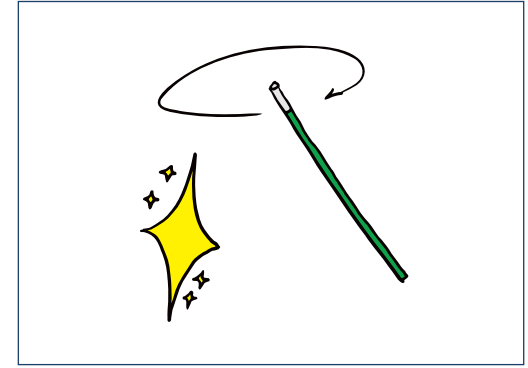
C. TOEPASSING ONDERHOUDSINTENSIEVE PRODUCTEN

Er worden producten toegepast, die relatief intensieve onderhoudswerkzaamheden vragen. Ze moeten relatief vaak worden gereinigd, behandeld, bewerkt, of zelfs gerepareerd om het (natuurlijk) degradatieproces te vertragen en de levensduur van het product te verlengen. De producten zijn relatief moeilijk (zelfstandig) te herstellen of aan te passen en vergen gespecialiseerde gereedschappen.



B. TOEPASSING ONDERHOUDSARME PRODUCTEN

Er worden producten toegepast, die relatief eenvoudige onderhoudswerkzaamheden vragen. Ze hoeven relatief weinig te worden gereinigd, behandeld, bewerkt, of gerepareerd om het (natuurlijke) degradatieproces te vertragen en de levensduur van het product te verlengen. De producten zijn relatief eenvoudig (zelfstandig) te herstellen of aan te passen en vergen beperkte, maar toegankelijke gereedschappen.



A. TOEPASSING ONDERHOUDSVRIJE PRODUCTEN

Er worden producten toegepast, die geen onderhoudswerkzaamheden vragen. De producten zijn zelf-reinigend en zelf-herstellend, of zijn zodanig ontworpen dat ze een (natuurlijk) degradatieproces mogen ondergaan zonder verlies van hun functionele kwaliteiten en zonder daarbij (schadelijk) afval te creëren. Bovendien zijn ze eenvoudig aan te passen aan nieuwe wensen.

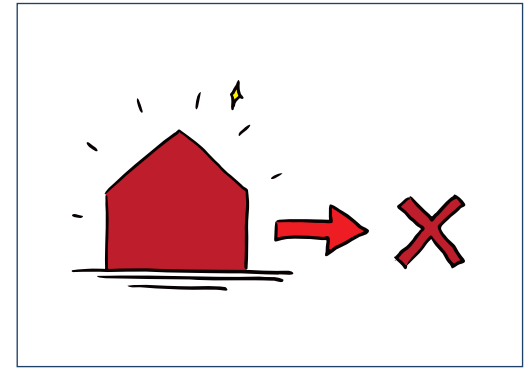
HERGEBRUIK (re-use)

De mogelijkheid om producten oneindig vaak opnieuw te gebruiken (hergebruik) is grotendeels afhankelijk van de manier waarop ze onderling of met andere producten zijn verbonden. Idealiter zijn producten losmaakbaar, of demontabel bevestigd. Dat wil zeggen dat de verbinding eenvoudig kan worden losgemaakt, of gedemonteerd, zonder dat daarbij schade wordt aangebracht aan het product zelf, of aan het object waar het mee is verbonden.

Er zijn verschillende verbindingstechnieken die kenmerkend zijn voor de hedendaagse bouwsector. De meest bekende verbindingen zijn lijm-, kit-, spijker-, deugel-, schroef- en boutverbindingen, maar er zijn ook allerlei ambachtelijke verbindingstypen, zoals pen-gatverbindingen die veelal voorkomen in de traditionele houtbouw. Daarnaast zijn er de zogeheten 'gestorte' of 'natte' verbindingen. Bij deze laatste worden twee onderdelen met elkaar verbonden door ter plaatse (in-situ) vloeibaar materiaal aan te brengen dat na verloop van tijd uithardt. In het werk gestorte betonverbindingen zijn hier een welbekend voorbeeld van, maar ook leem en gestampte aarde.

Met name schroef- en boutverbindingen worden als losmaakbaar beschouwd. Een nadeel van deze verbindingen is echter dat de verbindingsmiddelen zelf, of de producten die hiermee verbonden worden, beschadigd kunnen raken door het veelvuldig los- en vastdraaien van de verbindingsmiddelen.

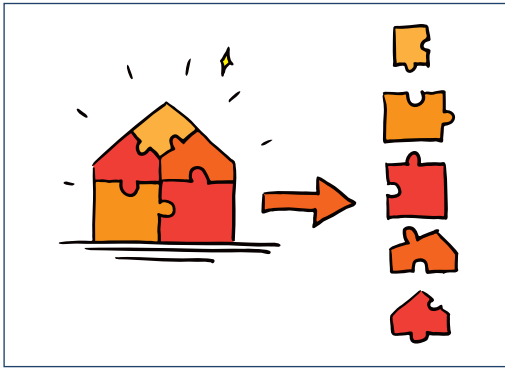
Hoewel 'natte' verbindingen, zoals in het werk gestort beton, niet losmaakbaar zijn, kunnen mortel-achtige verbindingen met leem, of gestampte aarde wel degelijk beschouwd worden als losmaakbaar. De verbindingen kunnen worden verbroken door ze letterlijk te 'breken'. Ze kunnen echter relatief eenvoudig worden 'geheeld' door water toe te voegen (dat later weer deels verdampt) en de voegen ermee aan te smeren [34].



D. TOEPASSING NIET-HERBRUIKBARE PRODUCTEN

Er worden volledig nieuwe producten toegepast. Ze worden tevens onlosmaakbaar verbonden met of bevestigd aan andere producten, waardoor ze in de toekomst niet kunnen worden gedemonteerd en hergebruikt.

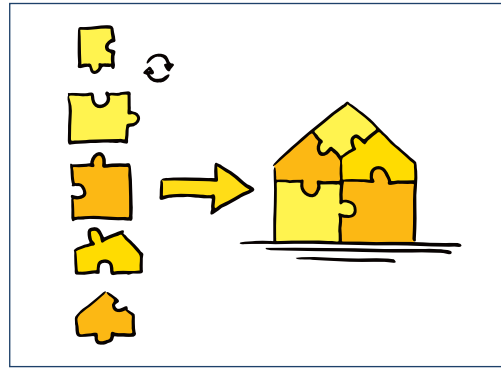
Voorbeelden hiervan zijn in het werk gestorte betonconstructies, betonnen kanaalplaten met druklaag, gietvloeren, conventioneel stucwerk, gemetselde bakstenen en gelijmd tegelwerk.



C. TOEPASSING HERBRUIKBARE PRODUCTEN

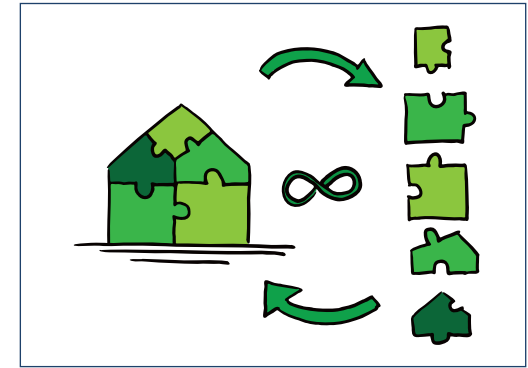
Er worden nieuwe producten toegepast, die (in potentie) losmaakbaar verbonden zijn met, of bevestigd aan andere producten. Hierdoor kunnen ze (theoretisch) in de toekomst eenvoudig worden gedemonteerd en hergebruikt. Doordat de producten tijdens of na het demonteren beschadigd kunnen raken, blijkt een groot deel in werkelijkheid niet (volledig) herbruikbaar.

Voorbeelden hiervan zijn de meeste geschroefde of geboute modulaire prefab bouwmethoden, zoals HSB, CLT, Click-Brick en de meeste metalen bouwsystemen.



B. TOEPASSING HERGEBRUIKTE PRODUCTEN

Er worden (tweedehandse) producten toegepast, die voortkomen uit het remonteren van eerdere gebruikte bouwdelen of producten. Omdat sommige onderdelen beschadigd zijn geraakt bij eerdere toepassingen, worden bepaalde delen gerenoveerd (refurbished), eventueel met behulp van nieuwe materialen als hergebruikte materialen niet beschikbaar zijn. Bij deze renovatie wordt gekozen voor bevestigingsmiddelen die een toekomstig hergebruik bevorderen. Voorbeelden hiervan zijn hergebruikte houten kozijnen en stalen donor skeletten [35].



A. TOEPASSING EINDELOOS HERBRUIKBARE PRODUCTEN

Er worden (tweedehandse) producten toegepast, die voortkomen uit het remonteren van eerdere gebruikte bouwdelen of producten. Ze worden zodanig bevestigd of verbonden, zodat ze in de toekomst opnieuw eenvoudig en volledig schadevrij kunnen worden gedemonteerd en volledig hergebruikt. Dit proces kan eindeloos plaatsvinden.

Voorbeelden hiervan zijn gestampte aarde (natuur-beton) en metselwerk van leemstenen met leemmortel.

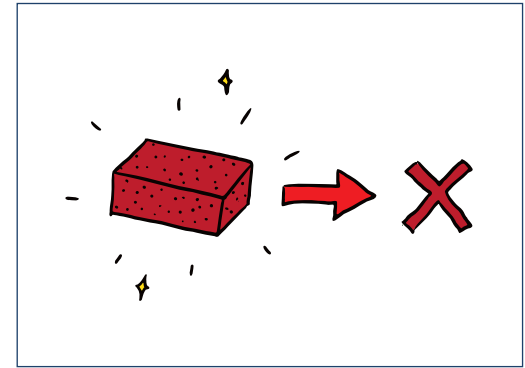
RECYCLEN (recycle)

De meeste bouwmaterialen bestaan uit een verzameling van verschillende grondstoffen die met elkaar worden vermengd om daarmee gewenste eigenschappen te creëren. Dit wordt een 'composiet' genoemd. Een bekend voorbeeld is beton, dat voornamelijk bestaat uit zand en grind dat wordt gebonden met behulp van cement. Water wordt gebruikt als activator om de chemische verbindingen tot stand te brengen waardoor het materiaal uithardt. Bij gestampte aarde wordt eveneens zand en grind gebruikt met water als activator, maar hierbij wordt klei of kalk gebruikt als bindmiddel [36]. Het voordeel van gestampte aarde in vergelijking met conventioneel beton is dat de grondstoffen volledig kunnen worden teruggewonnen door het materiaal te breken waarna het met water opnieuw kan worden gebonden. Dit proces is oneindig vaak herhaalbaar met behoud van dezelfde kwaliteit en zonder toevoeging van nieuwe grondstoffen (m.u.v. water).

Bij mycelium bio-composieten worden vezelrijke resten van landbouwgewassen gebonden door middel van mycelium. Een vooraf geselecteerde schimmel voedt zich met de cellulose en lignine uit de vezels en vormt daarbij een dicht dradennetwerk (mycelium) dat de vezels met elkaar verbindt tot een vormvast geheel [37]. Mycelium bio-composiet kan worden versnipperd en met beperkte toevoeging van nieuwe vezels (plus schimmelsporen) opnieuw worden gevormd.

Hout is een materiaal dat met weinig bewerkingen (schaven, zagen) direct kan worden verwerkt tot een bruikbaar product. Om van houten snippers echter platen te maken is eveneens een bindmiddel nodig. Vaak is dat een (toxische) lijm of een (kunstmatige) hars.

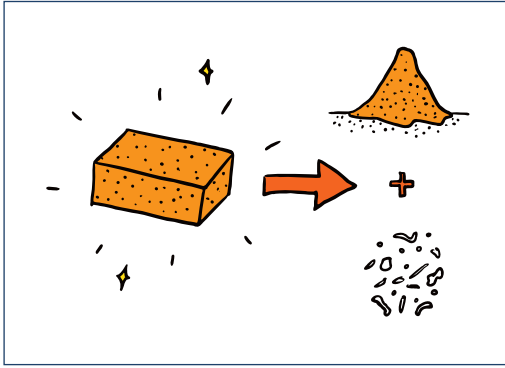
De mogelijkheid om materialen oneindig vaak te kunnen recyclen is dus grotendeels afhankelijk van de manier waarop de grondstoffen zijn bewerkt of gebonden. Idealiter zijn materialen volledig recyclebaar. Dat wil zeggen dat alle grondstoffen opnieuw kunnen worden benut in het fabricageproces, zonder dat daarbij nieuwe grondstoffen worden toegevoegd en waarbij de oorspronkelijke kwaliteit van het materiaal behouden blijft. Bij kwaliteitsverlies wordt vaak de term 'downcycling' gebruikt.



D. TOEPASSING NIET-RECYCLEBARE MATERIALEN

Er worden materialen gebruikt, die volledig uit nieuwe grondstoffen worden vervaardigd. Ze worden tevens onomkeerbaar (chemisch) behandeld, of gebonden en vermengd met andere materialen, waardoor ze in de toekomst niet kunnen worden gerecycled.

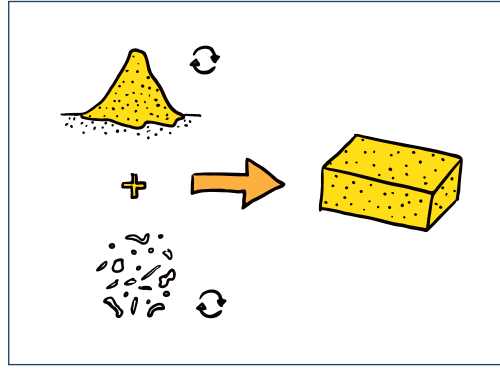
Voorbeelden hiervan zijn geïmpregneerd hout, verlijmd houtconstructies (o.a. CLT), conventioneel stucwerk, cementgebonden materialen en (bio)composieten.



C. TOEPASSING RECYCLEBARE MATERIALEN

Er worden materialen toegepast, die uit nieuwe grondstoffen worden vervaardigd. Ze worden zodanig samengesteld of bewerkt, zodat ze (in potentie) in de toekomst eenvoudig kunnen worden gescheiden en (deels) gerecycled met beperkte reductie van de oorspronkelijke kwaliteit. Doordat de materialen tijdens of na het gebruik verontreinigd kunnen raken, blijkt een groot deel in werkelijkheid niet (volledig) recyclebaar.

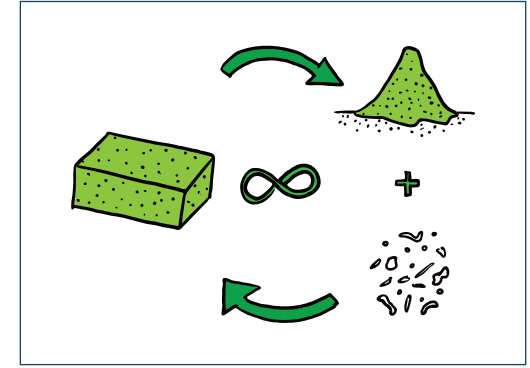
Voorbeelden hiervan zijn gewapend beton, glas, baksteen, diverse kunststoffen en de meeste metalen.



B. TOEPASSING GERECYCLEDE MATERIALEN

Er worden (bestaande) materialen toegepast, die voortkomen uit het scheiden van eerder gebruikte producten. Omdat sommige componenten verontreinigd zijn geraakt bij eerdere toepassingen, worden deze vervangen, eventueel met behulp van nieuwe grondstoffen. Bij het samenstellen wordt gekozen voor bindmiddelen of toevoegingen die toekomstige recycling bevorderen.

Voorbeelden hiervan zijn gerecycled beton, gerecycled glas, gerecycled baksteen, gerecyclede kunststoffen, gerecyclede metalen en mycelium bio-composieten.

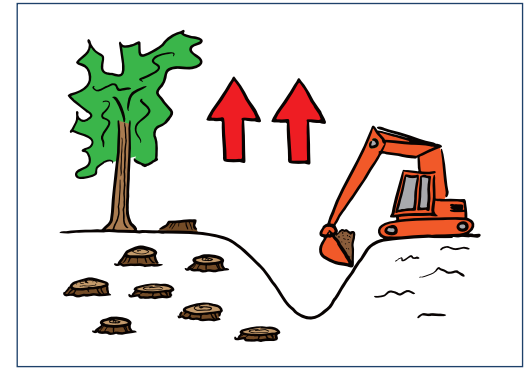


A. TOEPASSING EINDELOOS RECYCLEBARE MATERIALEN

Er worden (bestaande) materialen toegepast, die voortkomen uit het scheiden van eerder gebruikte producten. Ze worden zodanig samengesteld of bewerkt, zodat ze in de toekomst opnieuw eenvoudig en vrij van verontreinigingen kunnen worden gescheiden en volledig gerecycled met behoud van de oorspronkelijke kwaliteit. Dit proces kan eindeloos plaatsvinden. Voorbeelden hiervan zijn leemstuc, leemstenen en gestampte aarde (natuur-beton).

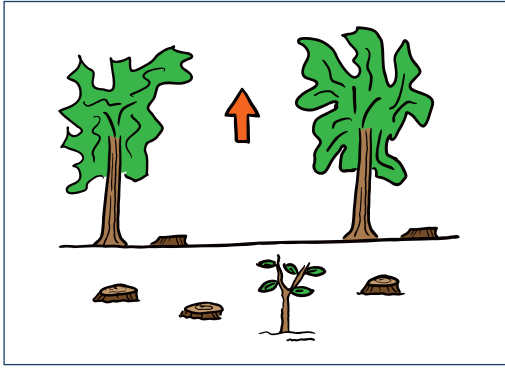
WINNEN (extract)

Al sinds de achttiende en negentiende eeuw, rond de tijd van de industriële revolutie, neemt de winning van natuurlijke stoffen, zoals gesteenten, metalen en biomassa steeds meer toe [11] [12]. Om op een volhoudbare manier gebruik te maken van deze grondstoffen is het belangrijk om aandacht te besteden aan het tempo en de mate van winning, inclusief de tijd die nodig is om de grondstoffenvoorraad te (laten) herstellen. Dat herstel kan enerzijds op natuurlijke manier plaatsvinden. Het is daarbij algemeen bekend dat gesteenten en metalen (abiotische grondstoffen) een veel langere tijd nodig hebben om op een natuurlijke manier (opnieuw) gevormd te worden dan biomassa (biotische grondstoffen). Anderzijds kan herstel plaatsvinden door grondstoffen actief te hernieuwen (regenereren), bijvoorbeeld door nieuwe aanplant of kweek van biomassa, of door de 'geleende' grondstoffen simpelweg onaangetast terug te geven aan de natuur. Is er geen sprake van herstel, dan kunnen grondstofvoorraden (letterlijk) uitgeput raken en daarmee ecosystemen beschadigen of zelfs vernietigen [38]. Met het oog op herstel van grondstoffen is geen grondstoffen winnen dus altijd meest volhoudbare (duurzame) aanpak.



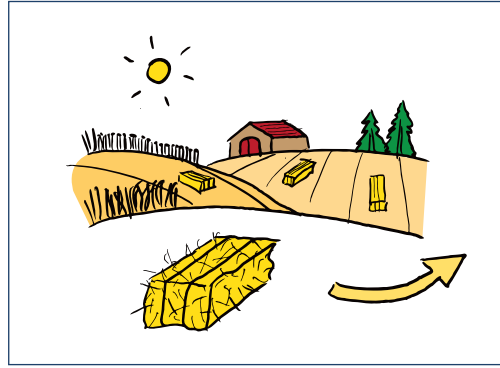
D. ONGELIMITEERDE WINNING VAN NIEUWE GRONDSTOFFEN

Er worden ongelimiteerd en in hoog tempo nieuwe grondstoffen gewonnen, zonder dat daarbij de mogelijkheid bestaat voor de natuur om de grondstoffenvoorraad te herstellen.



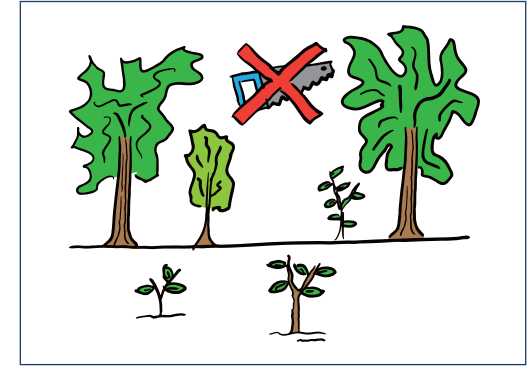
C. BEPERKTE WINNING VAN NIEUWE GRONDSTOFFEN

Het winnen van nieuwe grondstoffen wordt beperkt tot een minimum en gebeurt in een tempo waarin de natuur de mogelijkheid heeft om zich (deels) te herstellen. Bij voorkeur worden enkel snel hernieuwbare grondstoffen gewonnen uit duurzaam beheerde bronnen.



B. ENKEL WINNING VAN GRONDSTOFFEN UIT RESTSTROMEN

Er worden enkel nieuwe grondstoffen gewonnen die vrijkomen bij het verantwoord (en spaarzaam mogelijk) winnen van grondstoffen in andere sectoren (bijvoorbeeld de voedingssector). Voorbeelden hiervan zijn stro van graan, stengels van paprikaplanten en aarde (zand, grind en klei) uit bouwkundig grondverzet.



A. ABSOLUUT GEEN WINNING VAN NIEUWE GRONDSTOFFEN

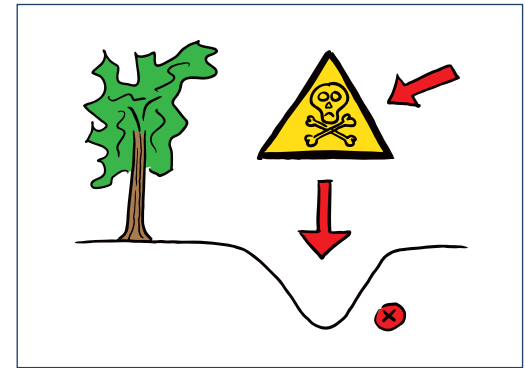
Er worden geen nieuwe grondstoffen gewonnen. De natuur wordt alle gelegenheid geboden om te floreren en om te herstellen van eventuele voorgaande winning van grondstoffen.

TERUGGEVEN (return)

De meest zuivere manier om natuurlijke grondstofvoorraden te herstellen, is door grondstoffen terug te geven aan de natuur op de locatie waar ze oorspronkelijk werden gewonnen. Gebeurt dat niet, dan is er in feite sprake van een 'gebroken' kringloop [32]. Veel van de hedendaagse bouwmaterialen worden uiteindelijk als afval afgevoerd naar stortplaatsen (*landfill*), of naar een verbrandingsoven [39]. Bij het verbrandingsproces bestaat de mogelijkheid om er energie uit terug te winnen, maar er is ook sprake van een zekere uitstoot van bijvoorbeeld koolstofdioxide (CO_2), stikstofdioxide (NO_2) en afhankelijk van de samenstelling mogelijk stoffen die toxisch zijn voor mens en natuur. Bij het storten van afval komen eventuele toxische stoffen naar voren en kunnen daarbij de grond en/of grondwater verontreinigen en schade aanbrengen aan ecosystemen met biodiversiteitsverlies tot gevolg [40].

Idealiter draagt de teruggave van grondstoffen eveneens bij aan de bevordering van de bodemkwaliteit en de hernieuwing, of regeneratie, van nieuwe grondstoffen. Om dat mogelijk te maken zullen de grondstoffen bij voorkeur van elkaar gescheiden moeten kunnen worden, geen toxische bestanddelen bevatten en composteerbaar zijn [41].

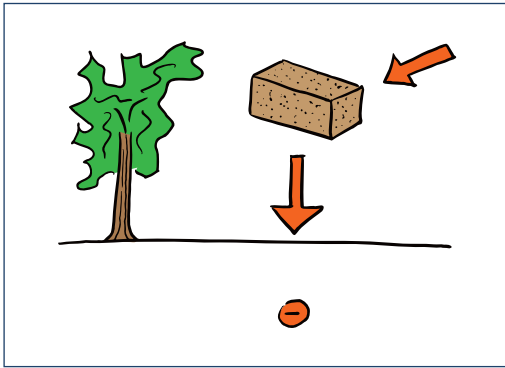
Als tijd geen belemmering vormt, zijn in feite alle materialen biologisch afbreekbaar [32]. Echter zijn niet alle materialen composteerbaar. Bij het composteerproces vindt biologische afbraak en desintegratie van het materiaal plaats onder geconditioneerde omstandigheden, waarbij koolstofdioxide (CO_2), biomassa en water vrijkomen, geen toxische stoffen overblijven en nutriënten worden afgegeven aan de grond [40]. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen industriële compostering (onder invloed van relatief hoge temperaturen in relatief korte tijd) en 'thuis' compostering (onder invloed van relatief lage temperaturen in relatief lange tijd) [42].



D. PERMANENT SCHADELIJKE TERUGGAVE

Grondstoffen zijn niet meer van elkaar te scheiden, bevatten toxische bestanddelen, of zijn niet composteerbaar als gevolg van de onomkeerbare (chemische) bewerking of samenstelling. Ze worden daarom afgevoerd naar een stortplaats (*landfill*), of verbrand in een verbrandingsoven (voor energieretrieving). Voorbeelden hiervan zijn verlijmd hout, gewapend beton, de meeste plastics en metalen.

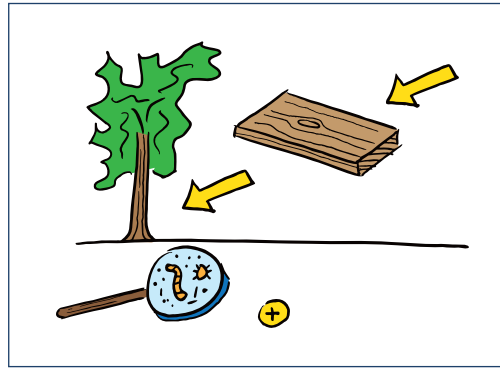
Grondstofvoorraden worden niet hersteld, de gezondheid van de grond wordt ernstig aangetast met blijvende schade aan bestaande ecosystemen en biodiversiteitsverlies tot gevolg.



C. TERUGGAVE ZONDER SCHADE

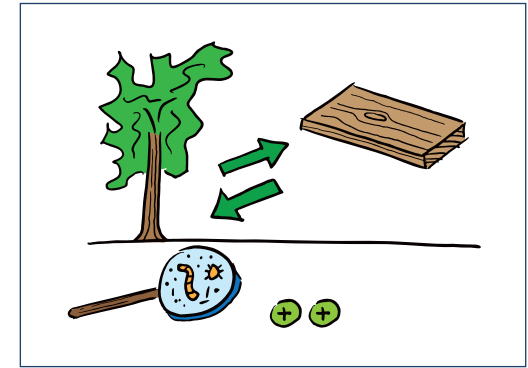
Grondstoffen worden zonder schade teruggegeven aan de natuur. Ze zijn niet composteerbaar, maar wel biologisch afbreekbaar, waarbij mogelijk toxische bestanddelen vrijkomen. De grondstoffen worden veelal als afval afgevoerd naar een stortplaats (landfill). Voorbeelden hiervan zijn betonpuin (zand, grind, cement), gebakken klei (baksteen en keramiek) en leem.

Grondstofvoorraden worden deels hersteld en de gezondheid van de grond kan worden aangetast. Bestaande ecosystemen worden tijdelijk verstoord, met risico op verlies van biodiversiteit.



B. TERUGGAVE ALS 'VOEDSEL'

Grondstoffen worden als voedsel teruggegeven aan de natuur. Ze bevatten geen toxische bestanddelen en zijn volledig composteerbaar. De nutriënten en/of bouwstoffen die hierbij vrijkomen bevorderen de gezondheid van de grond en dragen bij aan de (re)generatie van nieuwe grondstoffen. Voorbeelden hiervan zijn onbehandeld hout, (onbehandeld) stro, mycelium bio-composieten en (ongeverfde) schapenwol. Grondstofvoorraden worden hersteld, bestaande ecosystemen blijven behouden en biodiversiteit wordt bevorderd.



A. + TERUGGAVE OP OORSPRONKELIJKE LOCATIE

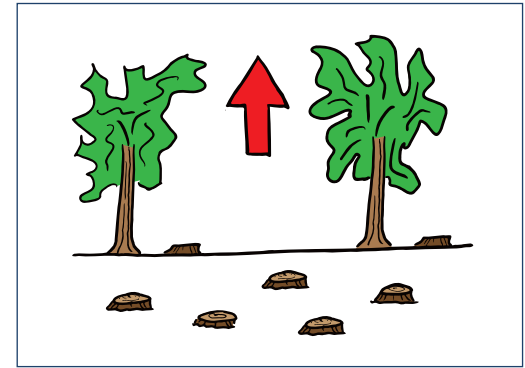
Grondstoffen worden als voedsel teruggegeven aan de natuur op de locatie waar ze oorspronkelijk werden gewonnen. Hierdoor worden natuurlijke kringlopen lokaal gesloten en dus grondstofvoorraden hersteld. Bestaande ecosystemen blijven behouden en biodiversiteit wordt bevorderd.

REGENEREREN (regenerate)

Levende natuur is in staat om zich eindeloos te hernieuwen (ofwel regenereren). Simpel gezegd: een 'zaadje' ontkiemt en neemt gedurende de groei voedingsstoffen op uit zijn directe omgeving. Gaandeweg zal het zelf nieuwe zaadjes produceren en verspreiden. Als het organisme sterft zal het weer als voedsel dienen voor nieuwe groeiprocessen. Dit is wat we kennen als de kringloop van het leven (*the circle of life*). Vanzelfsprekend is dit afhankelijk van de juiste omgevingscondities, zoals de aanwezigheid van water, zuurstof, zonlicht, of andere randvoorwaarden die voor het organisme van toepassing zijn. Over het algemeen kan gesteld worden dat er sprake is van natuurlijke overvloed. Grondstoffen die binnen relatief korte tijd (circa honderd jaar) opnieuw gevormd (kunnen) worden, worden vaak aangeduid als snel hernieuwbare grondstoffen. Voorbeelden hiervan zijn bomen, grassen, landbouwgewassen zoals graan, vlas, hennep, riet en sorghum en zeegewassen, zoals zeewier en zeegras.

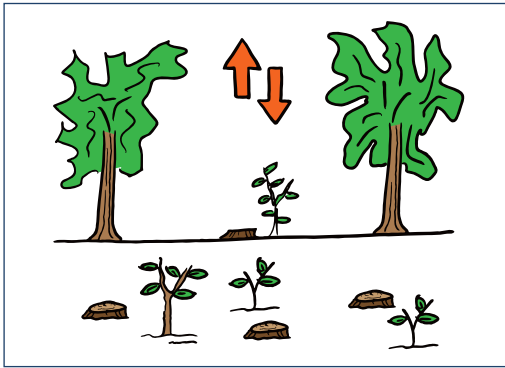
Ook niet-levende natuur (zoals gesteenten) kan worden geregenereerd als gevolg van vulkanische of tektonische activiteiten. Dit wordt gebergtevorming genoemd [43]. Gebergtes eroderen na verloop van tijd: gesteenten wordt afgebroken, verspreid door wind of water en uiteindelijk afgezet op een nieuwe locatie. Voorbeelden hiervan zijn rivierklei, zand en grind. Omdat dit proces weliswaar herhaaldelijk plaatsvindt, maar over een periode van vele duizenden jaren, worden deze grondstoffen vaak niet-hernieuwbare grondstoffen genoemd. Ook metalen behoren hiertoe. De afzetting van rivierklei vindt in Nederland doorlopend plaats met een snelheid van circa 1 cm/jaar. Om deze reden kan klei worden beschouwd als een hernieuwbare grondstof [44]. Er vindt echter op korte termijn geen herstel plaats van de oorspronkelijke bron (gebergte).

In het kader van 'volhoudbaar' gebruik van snel hernieuwbare (biotische) grondstoffen is het belangrijk dat de grond gezond is, zodat organische grondstoffen kunnen groeien en natuurlijke ecosystemen en biodiversiteit behouden blijven. Dit kan worden bevorderd door veelzijdige en regeneratieve landschappen te creëren [45].



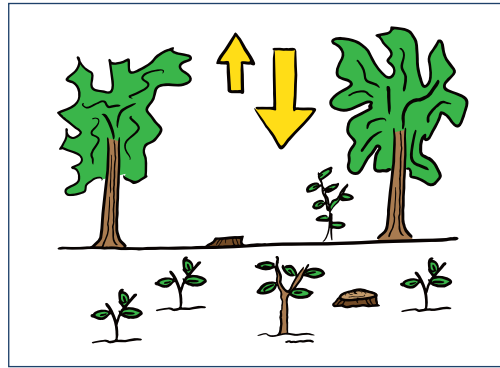
D. MEER WINNEN DAN (LATEN) AANGROEIEN

Er worden meer en sneller grondstoffen gewonnen dan dat er worden gecompenseerd door nieuwe (natuurlijke) aangroei. Bronnen raken letterlijk uitgeput, de gezondheid van de grond verslechtert en er wordt blijvende schade aangericht aan bestaande ecosystemen met biodiversiteitsverlies tot gevolg.



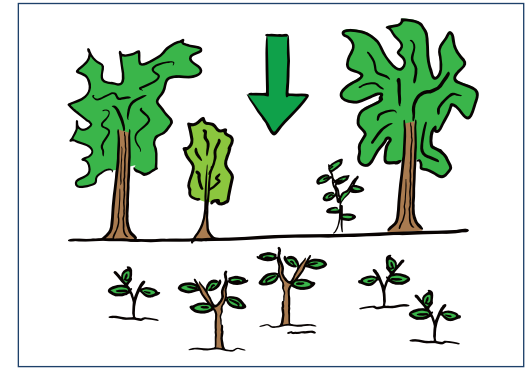
C. ACTIEF AANPLANTEN TER COMPENSATIE

Er worden actief nieuwe grondstoffen aangeplant (gegenereerd) om de winning van grondstoffen te compenseren. De balans in bestaande ecosystemen wordt echter (tijdelijk) verstoord, waardoor er kans bestaat op biodiversiteitsverlies. Gezonde grond dient zich ook weer opnieuw op te bouwen.



B. MEER AANPLANTEN DAN WINNEN

Er worden meer grondstoffen actief aangeplant (gegenereerd) dan dat er worden gewonnen. Er wordt bovendien selectief gewonnen, zodat bestaande ecosystemen behouden kunnen blijven en de biodiversiteit niet wordt bedreigd. Bij de nieuwe aanplant staat de gezondheid van de grond centraal.



A. NIET WINNEN, MAAR ACTIEF (RE)GENEREREN

Er worden geen grondstoffen gewonnen en potentiële toekomstige grondstoffen worden actief aangeplant (gegenereerd), waarbij de gezondheid van de grond centraal staat. Het ontstaan en behoud van ecosystemen wordt actief gestimuleerd door het creëren van veelzijdige en regeneratieve landschappen met toename van biodiversiteit tot gevolg.



BINNENKLIMAAT

Het in kaart brengen van de gevolgen van biobased materiaalgebruik voor de menselijke gezondheid is een relatief jong onderzoeksveld en vraagt om een sterke interdisciplinaire benadering [46]. Een meer praktische benadering is om aspecten te beschouwen waarbij (biobased) materialen een positieve bijdrage (kunnen) leveren aan een gezond binnenklimaat. In deze publicatie ligt de nadruk op: thermisch comfort, luchtvochtigheid, akoestisch comfort, visueel comfort, aanraking & reuk en schone lucht. De aangedragen oplossingsrichtingen zijn met name gebaseerd op de principes die worden gehanteerd in de Bouwbiologie [47], bij passieve klimaatbeheersing [18] en bij Biofilisch ontwerpen [48]. Wat deze ontwerpmethodieken gemeen hebben is de adoptie van natuurlijke principes en het effectief benutten van de inherente eigenschappen van natuurlijke materialen. In overkoepelende termen zou je kunnen constateren dat natuurlijke materialen de verbindende factor zijn tussen mens en natuur. Deze verbondenheid blijkt in belangrijke mate bij te dragen aan ons welzijn. Op zijn beurt zal ons welzijn ertoe leiden dat we de natuur opnieuw gaan waarderen en benaderen met dankbaarheid in plaats van hebzucht [49].

Ter overdenking: de meeste impact op het 'leefklimaat' wordt achtereenvolgens gemaakt op het regionale schaalniveau (de inpassing van het gebouw in het gebied), het landschappelijk schaalniveau (de inpassing van het gebouw in het landschap), het architectonische schaalniveau (de vormgeving en ruimtelijke indeling van het gebouw), het bouwkundige schaalniveau (de detaillering en materialisatie van gebouwonderdelen) en tot slot het menselijk schaalniveau (de inrichting en het gedrag van de gebruiker). Actieve installaties om het binnenklimaat te reguleren (zoals centrale verwarmingsinstallaties, airconditioning en mechanische ventilatiesystemen) worden in dit boekwerk buiten beschouwing gelaten, omdat deze in zekere zin beschouwd kunnen worden als 'lapmiddel' om ontwerpfouten, uitvoeringsfouten en/of foutief (aangeleerd) gedrag te compenseren. Idealiter worden actieve installaties pas geïntroduceerd in het ontwerp om de laatste spreekwoordelijke punten op de 'i' te zetten. Met het oog op (biobased) materiaalgebruik heeft het passieve klimatiseren dus de voorkeur.

< Het ultieme gezonde binnenklimaat is die waarbij natuur integraal onderdeel uitmaakt van onze woon- en werkomgeving. (Foto: Pixabay)

THERMISCH COMFORT

Het thermisch comfort (ofwel behaaglijkheid) voor een gebruiker van een ruimte is persoonsafhankelijk. Het is dus belangrijk dat de gebruiker de omgevingstemperatuur kan aanpassen aan zijn/haar comforttemperatuur [50], bijvoorbeeld door te verwarmen, of door te koelen. Naast de temperatuur van de lucht en de gemiddelde temperatuur van (warmte)straling, hebben ook snelheid van lucht (luchtstroming) en de vochtigheid van de lucht (relatieve luchtvochtigheid) invloed op het thermisch comfort van de gebruiker [18].

Om een comfortabel binnenklimaat te creëren is het belangrijk dat de schil van een gebouw (gevel, dak en begane grondvloer) dit binnenklimaat voldoende isoleert (of scheidt) van het buitenklimaat. De toegepaste materialen dienen dus een bepaalde minimale warmteweerstand (R) te hebben. In Nederland worden er vanuit het Bouwbesluit [51] eisen gesteld aan de minimale benodigde isolatiewaarde van de gebouwschil. Vanzelfsprekend is het belangrijk dat de gebouwschil niet onderbroken wordt door kieren, gaten, of materialen met een (te) lage warmteweerstand. Hierdoor kunnen namelijk zogeheten thermische bruggen, of warmtelekken ontstaan.

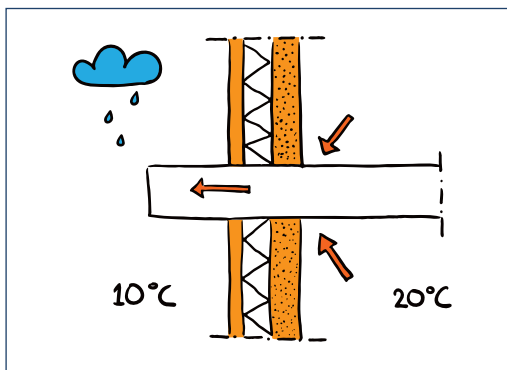
Een belangrijke bron van opwarming van binnenruimtes is de toetreding van zonnestralen. Door op een slimme manier te ontwerpen, kunnen gebouwen op een passieve manier gebruik maken van deze warmtewinst. Je kunt hierbij denken aan optimale zon-oriëntatie, compact bouwen en/of interne zonering aanbrengen in combinatie met warmtewinst door interne warmtelast (mensen, verlichting, apparaten, voorverwarmen ventilatielucht). Uiteraard is het ook belangrijk om de zoninstraling te kunnen weren wanneer er behoefte is aan verkoeling [18].

Een belangrijke passieve mogelijkheid om warmte in een gebouw te reguleren is door aan de binnenzijde van de (thermische) gebouwschil materialen toe te passen met een hoog warmte-accumulerend vermogen. Dit zijn voornamelijk materialen met een hoge dichtheid (of massa), die de warmte-energie tijdelijk kunnen opslaan en weer afgeven zodra de omgevingstemperatuur afneemt. Dit heeft een dempend effect op het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur (faseverschuiving) en creëert een relatief stabiele binnentemperatuur.



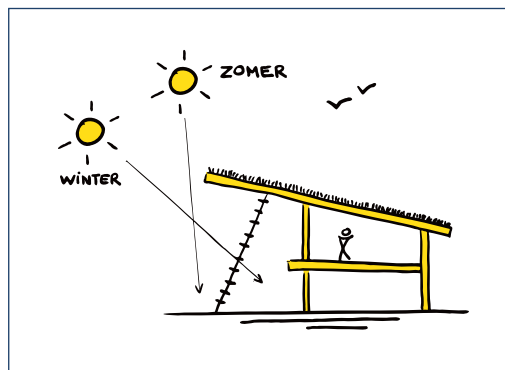
D. MINIMAAL VEREISTE THERMISCHE ISOLATIE

De isolerende laag van de gebouwschil (gevel, dak of begane grondvloer) bevat materialen met een relatief hoge warmteweerstand (R). Hierbij wordt tenminste voldaan aan de eisen van het Bouwbesluit.



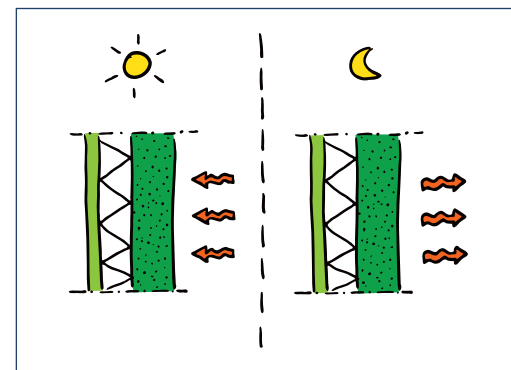
C. + GEEN THERMISCHE BRUGGEN EN WARMTELEKKEN

De isolerende laag van de gebouwschil (gevel, dak of begane grondvloer) wordt niet onderbroken door kieren en/of gaten (warmtelekken), of door materialen met een relatief hoge thermische geleidbaarheid (koudebruggen). Hierdoor kan warmte niet naar buiten 'ontsnappen'.



B. + PASSIEVE WINNING VAN WARMTE (OF KOELTE)

Er worden passieve klimaatprincipes toegepast voor het verwarmen of koelen van het gebouw, zoals compact bouwen en/of interne zonering in combinatie met warmtewinst door interne warmtelast (mensen, verlichting, apparaten) en/ of benutten van directe zonnewarmte (optimale zonoriëntatie, voorverwarmen ventilatielucht).



A. + WARMTE-ACCUMULERENDE MATERIALEN

Er worden materialen toegepast met een relatief hoog warmte-accumulerend vermogen. Dit zijn materialen met een hoge dichtheid (of massa), die de warmte-energie tijdelijk kunnen opslaan en weer afgeven zodra de omgevingstemperatuur afneemt (faseverschuiving). Voorbeelden van dergelijke materialen zijn beton, baksteen, gestampte aarde en leem.

LUCHTVOCHTIGHEID

Een belangrijk aspect van een gezond binnenklimaat is de kwaliteit van de lucht en de mogelijkheid tot verversing daarvan. Mensen nemen zuurstof (O_2) op voor de verbranding van voedsel en stoten daarbij koolstofdioxide (CO_2) en waterdamp uit (als simplistische benadering). Ook bij koken en douchen produceren we een grote mate van waterdamp, die de relatieve luchtvochtigheid van de binnenruimte vergroten. Eén van de functies van luchtverversing, ofwel ventilatie, is dus om CO_2 en waterdamp af te voeren (van binnen naar buiten) en zuurstof aan te voeren (van buiten naar binnen).

In de lucht bevinden zich allerlei stoffen en bacteriën (en sporen van schimmels) die bij een te hoge relatieve luchtvochtigheid kunnen leiden tot aantasting van materialen, maar ook tot schade van de gezondheid [52]. In Nederland worden er in het Bouwbesluit [51] minimale eisen gesteld aan de ventilatievold van binnenruimtes met als doel om een bepaalde mate van gezond binnenklimaat te garanderen. Veelal wordt luchtverversing voorgeschreven op basis van mechanische installaties. Naast het openen van ramen en deuren zijn er echter diverse passieve ventilatieprincipes beschikbaar om natuurlijke ventilatie tot stand te brengen, zoals een zonnenschorssteen en/of grondbuis, het benutten van het zogeheten Venturi-effect, een plaatsen van een serre, kas of ventilatiestolp over/tegen het gebouw, et cetera [18].

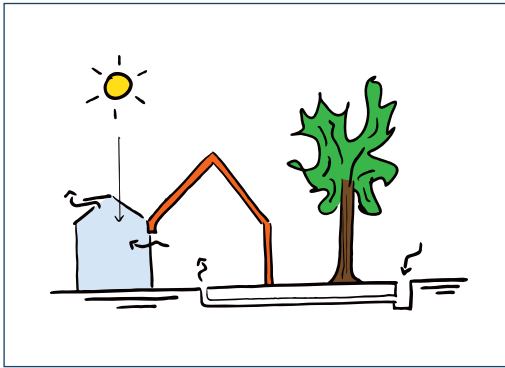
Een belangrijke passieve manier om de relatieve luchtvochtigheid van ruimtes te reguleren is het toepassen van capillaire materialen. Deze materialen zijn in staat om vocht op te nemen in geval van een hoge relatieve luchtvochtigheid en deze vervolgens weer af te staan in geval van een lage relatieve luchtvochtigheid. Dit heeft een dempend effect op de relatief luchtvochtigheid in de ruimte.

Een andere passieve manier om de relatieve luchtvochtigheid van ruimtes te reguleren is om damp-open te bouwen. Dit houdt in dat de gebouwschil in staat is om overtollige waterdamp van binnen naar buiten af te voeren waardoor geen vochtophoping ontstaat [53]. Het is daarbij belangrijk dat de zogeheten dampdiffusieweerstand van de verschillende materiaallagen van de gebouwschil van binnen naar buiten steeds lager wordt.



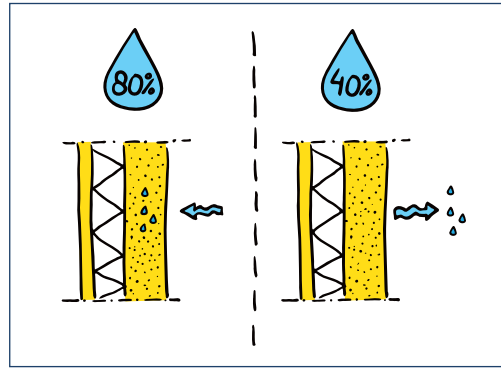
D. MINIMAAL VEREISTE VENTILATIE

Er wordt conventionele (mechanische) ventilatie toegepast. Hierbij wordt tenminste voldaan aan de eisen van het Bouwbesluit. Aan de binnenzijde van de (thermische) gebouwschil wordt een damp-remmende folie toegepast, zodat geen condensatie kan optreden in de constructie.



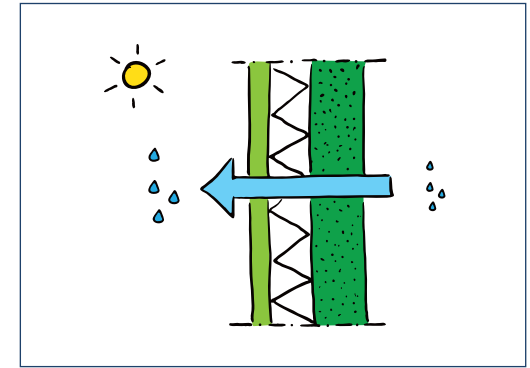
C. PASSIEVE VENTILATIE-METHODEN

Er worden passieve klimaatprincipes toegepast om te ventileren, zoals een zonneshoorsteen en/of grondbuis, het benutten van het zogeheten Venturi-effect, of een serre, kas of ventilatiestolp over/tegen het gebouw.



B. + VOCHT-BUFFERENDE MATERIALEN

Aan de binnenzijde van de gebouwschil (gevel, dak of begane grondvloer) worden materialen toegepast met een relatief hoog vochtregulerend (capillair) vermogen. Hierdoor kan het materiaal vocht opslaan bij toenemende relatieve luchtvochtigheid en deze weer afstaan zodra de lucht droger wordt. Dit heeft een dempend effect op de relatieve luchtvochtigheid in de ruimte. Voorbeelden van vocht-bufferende materialen zijn kalkhennep, houtvezelisolatie en leem.



A. + DAMP-OPEN GEVELOPBOUW

Er worden in de gebouwschil materialen toegepast met een relatief hoge dampdoorlatendheid. Van binnen naar buiten zijn de materialen meer damp-open, zodat waterdamp door de gevel kan worden opgenomen en naar buiten kan worden getransporteerd. Dit maakt een constructie robuust tegen vochtproblemen en draagt bij aan een stabiele relatieve vochtigheid van de binnenlucht.

Voorbeelden van damp-open materialen zijn de meeste biobased isolatiematerialen, kalkhennep, onbehandeld hout, leem en gestampte aarde.

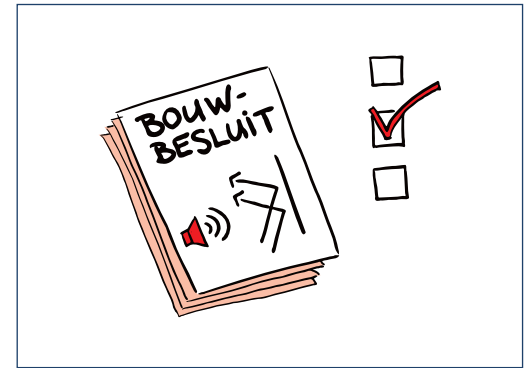
AKOESTISCH COMFORT

Het akoestisch comfort voor de gebruiker van een ruimte heeft grotendeels betrekking op de mate waarin geluiden in de ruimte worden gedempt. Daarnaast heeft het betrekking op het weren van geluiden van buiten, of tussen ruimtes onderling. Mensen maken daarbij overigens onderscheid tussen lawaai en acceptabel geluid, waarbij lawaai geïnterpreteerd wordt als storende geluiden zoals verkeersgeluiden, luidruchtige installaties, of meerdere gelijktijdig pratende mensen. Sommige geluiden kunnen echter een positief effect hebben op de gebruiker, zoals vogelgeluiden, stromend water, of (achtergrond)muziek [18].

In Nederland worden er eisen gesteld aan de minimale mate van bescherming tegen geluid van buiten, geluid van installaties, beperking van galm en geluidswering tussen ruimtes [51]. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen luchtgeluid en contactgeluid. Luchtgeluid ontstaat doordat de lucht in trilling wordt gebracht, terwijl contactgeluid ontstaat door contact tussen een voorwerp en de constructie van het gebouw [54]. Net als bij thermisch comfort is het bij akoestisch comfort van belang dat geluidlekken tussen verschillende gebruikruimtes zoveel mogelijk worden vermeden. Bij de detaillering van gebouwaansluitingen (bijvoorbeeld tussen vloer en gevel, of tussen wanden onderling) is het zaak om verschillende materiaallagen van elkaar te scheiden (te isoleren), of te verbinden met een dempende koppeling.

De keuze van materialen kan eveneens voor een belangrijke mate bijdragen aan een optimaal akoestisch comfort, bijvoorbeeld doordat een materiaal in staat is om geluiden te absorberen als gevolg van een poreuze structuur, of als gevolg van een hoge dichtheid (massa).

Natuurlijke geluiden, zoals stromend water, vogelgeluiden, wind en ritselende bladeren, blijken te kunnen bijdragen aan het reduceren van stress en het algeheel verbeteren van welzijn en gezondheid van de gebruiker van een ruimte [55]. Deze biofilische ontwerpprincipes dragen naast het 'reguliere' weren en dempen van geluiden bij aan het verhogen van het akoestisch comfort van een ruimte. Het is daarbij belangrijk dat de gebruiker de mogelijkheid heeft om te kiezen uit verschillende ruimtes met verschillende akoestische eigenschappen.



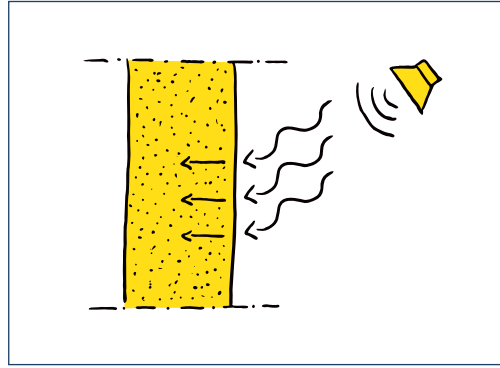
D. MINIMAAL VEREISTE AKOESTISCHE ISOLATIE

Er worden materialen op zodanige wijze toegepast dat er een relatief hoge geluidswering optreedt tussen binnen en buiten en tussen ruimtes onderling. Hierbij wordt tenminste voldaan aan de eisen van het Bouwbesluit ten aanzien van luchtgeluid en contactgeluid.



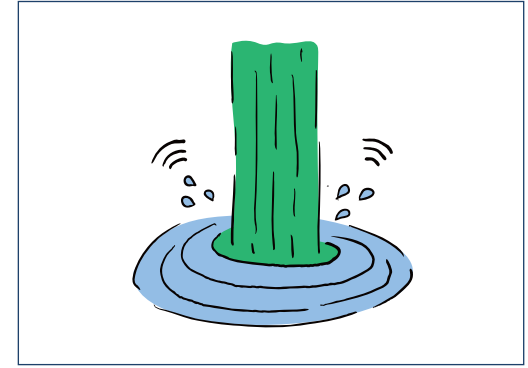
C. + GELUIDSLEKKEN VOORKOMEN

Bij de detaillering van de aansluiting van verschillende bouwdeelen (zoals vloer en gevel) wordt extra aandacht besteed aan het weren van luchtgeluid door het afdichten van kieren en/of openingen, een aan demping van contactgeluid, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een zogeheten zwevende dekvloer.



B. + GELUIDDEMPENDE MATERIALEN TOEPASSEN

In de gevels en binnenwanden worden materialen toegepast met een relatief hoog geluiddempend en/of geluidsabsorberend vermogen. Dit zijn veelal materialen met een hoge dichtheid (massa), zoals beton, baksteen en gestampte aarde, of materialen met een poreuze structuur, zoals steenwol, mycelium bio-composiet en de meeste biobased isolatiematerialen.



A. + NATUURGELUIDEN INTRODUCEREN

Er worden diverse biofilische ontwerpprincipes toegepast, waarbij de verbondenheid met natuur wordt gestimuleerd op basis van geluiden. Hierbij valt te denken aan geluiden van stromend water, vogelgeluiden, windgeruis en ritselende bladeren.

VISUEEL COMFORT

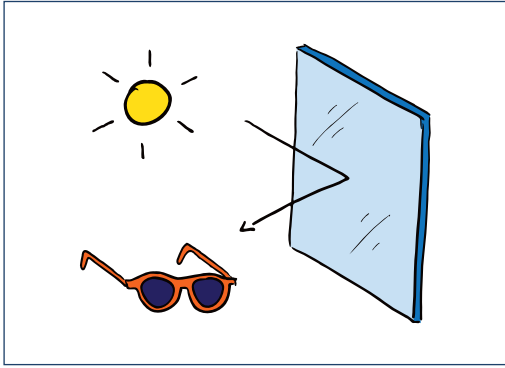
De aanwezigheid van daglicht is voor mensen vrij essentieel voor het effectief kunnen uitvoeren van werkzaamheden. In Nederland zijn daartoe in het Bouwbesluit [51] minimale eisen opgenomen voor daglichttoetreding in gebruiksruidtes.

Maar daarnaast heeft licht een grote invloed op de gezondheid en het welzijn van mensen in het algemeen, bijvoorbeeld door het reguleren van onze biologische klok en het stimuleren van onze stemming [56]. Vergelijkbaar met geluid, kunnen visuele effecten (waaronder licht) zowel als hinderlijk of als aangenaam worden ervaren. Hinderlijke visuele effecten hebben met name betrekking op de aanwezigheid van (felle) schitteringen en reflecties als gevolg van weerkaatste zonnestralen. Met name gladde en/of lichte materialen kunnen dergelijke hinderlijke visuele effecten veroorzaken. De aanwezigheid van natuurlijke (of natuurlijk ogende) materialen blijkt eenzelfde (positief) effect te hebben als aanwezig zijn in een natuurlijke omgeving [57]. Deze verbondenheid met natuur kan bijdragen aan het reduceren van stress en het geheel verbeteren van welzijn en gezondheid [55]. Bij Biofilisch ontwerpen worden diverse visuele aspecten ingezet met dit doel. Hierbij valt te denken aan natuurlijke vormen en patronen, diverse planten, verschillende soorten lichtval en lichtintensiteit, schaduwwerking, maar ook de aanwezigheid van zichtlijnen waardoor een connectie gemaakt kan worden met de (natuurlijke) buitenomgeving.



D. MINIMAAL VEREISTE DAGLICHTTOETREDING

Er wordt zodanig ontworpen dat daglicht in voldoende mate kan toetreden in het gebouw. Hierbij wordt tenminste voldaan aan de eisen van het Bouwbesluit.



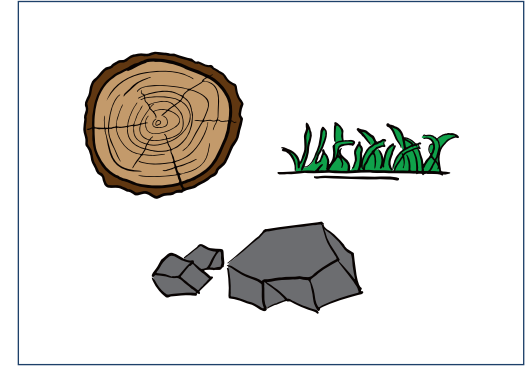
C. + GEEN SCHITTERINGEN EN REFLECTIES

Er worden materialen toegepast, waarbij hinderlijke schitteringen en/of reflecties door gladde oppervlakken zoveel als mogelijk worden beperkt. Hierdoor wordt vermoeidheid voorkomen.



B. + ZICHT OP NATUURLIJKE BUITENOMGEVING

Bij het ontwerp van de ruimte worden zichtlijnen opgenomen, waardoor vanuit de ruimte de (natuurlijke) buitenomgeving zichtbaar is. Hiermee wordt de verbondenheid met natuur bevorderd.



A. + NATUURLIJKE MATERIALEN

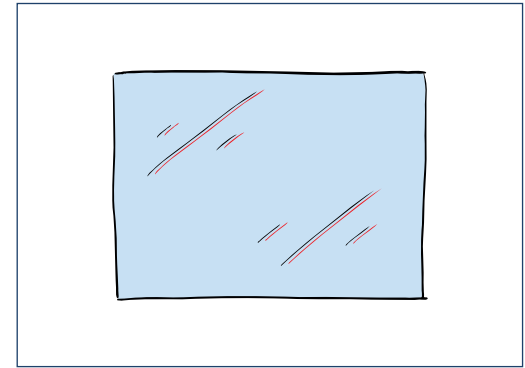
Er worden natuurlijke materialen en natuurobjecten (mos, stromend water, planten) toegepast die zorgen voor een warme en natuurlijke uitstraling. Hierdoor wordt de verbondenheid met de natuur bevorderd met een algeheel rustgevende sfeer tot gevolg.

AANRAKING & REUK

De gebouwde omgeving is letterlijk het gematerialiseerde, fysieke resultaat van menselijke ideeën en ontwerpprocessen. Dat materialen daarbij dus een cruciale rol spelen is evident. Dat de materialisatie van de gebouwde omgeving het gedrag en de gemoedstoestand van mensen kan beïnvloeden op basis van allerlei zintuigelijke ervaringen, daarentegen, is minder bekend [58]. Bij Biofilisch ontwerpen worden naast visuele effecten ook tactiliteit (aanraking) en geur (reuk) ingezet voor het reduceren van stress en het algeheel verbeteren van welzijn en gezondheid van de gebouwgebruiker [55] [57].

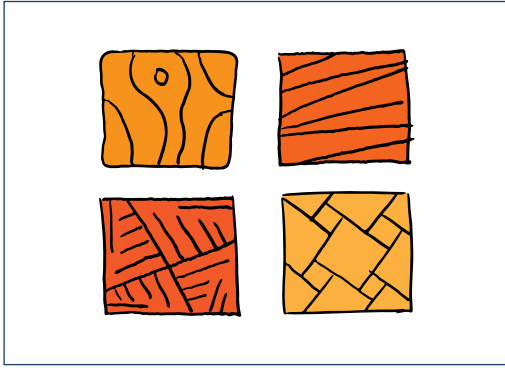
Het letterlijk fysiek aanraken van (bouw)materialen is de meest directe en intieme vorm van het waarnemen van een object en het maken van een (letterlijke) verbinding. Bij tactiliteit van materialen zijn aspecten zoals de gladheid, ruwheid, zachtheid en hardheid van de oppervlaktetextuur van belang, maar ook het gevoel van warmte, of koude. Mensen hebben van nature de neiging om materialen aan te raken en te 'ervaren'. Voor educatieve doeleinden is de directe omgang en bewerking van materialen een onmisbare bron van kennis, inzicht en inspiratie.

Daarnaast speelt, net als bij voedsel, geur een belangrijke rol bij het bepalen van onze gemoedstoestand en kan het een kalmerend of juist energie gevend effect hebben, of kan het herinnering oproepen. Veel mensen kennen de zogenaamde 'nieuw huis'-geur (vaak vergelijkend met 'nieuwe auto'-geur), wat in feite een waarschuwing zou moeten zijn voor de aanwezigheid van toxische stoffen [59]. De geur van natuurlijke (bouw)materialen daarentegen is vaak direct herkenbaar en aangenaam.



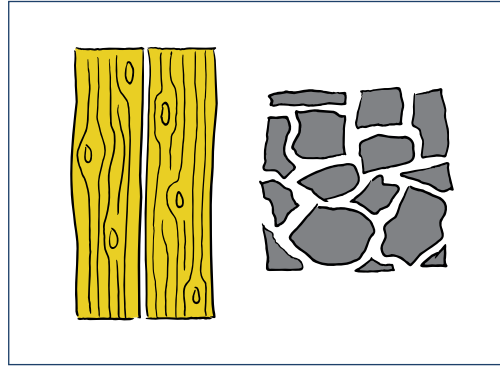
D. GEEN AANDACHT VOOR TACTILITEIT EN/OF GEUR

Er worden materialen toegepast, waarbij er geen aandacht wordt besteed aan de zintuigelijke ervaring van aanraking en/of reuk. De overwegend onnatuurlijke (en veelal toxische) materialen voelen veelal glad en koud aan en geven de welbekende 'nieuw huis'-geur.



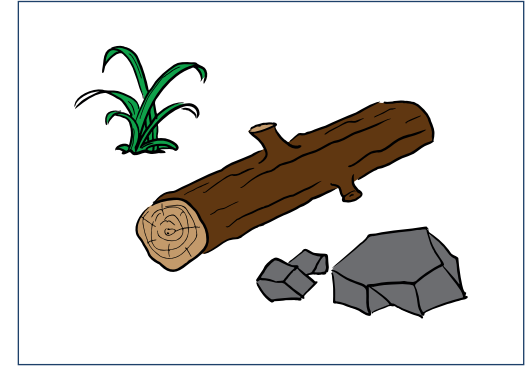
C. MATERIALEN MET KUNSTMATIGE TEXTUREN

Er worden materialen toegepast met kunstmatige texturen, waarbij aanraking wordt gestimuleerd. Ongewenste geuren worden (kunstmatig) geneutraliseerd.



B. NATUURLIJKE MATERIALEN

Er worden natuurlijke materialen toegepast, waarbij zowel de reuk (geur) als de fysieke aanraking (tactiliteit) de verbondenheid met natuur bevorderen. Een bekend voorbeeld hiervan is hout.



A. + NATUURLIJKE OBJECTEN

Er worden diverse biofilische ontwerpprincipes toegepast die inspelen op de tactiliteit en geur, waarbij de verbondenheid met natuur extra wordt gestimuleerd. Hierbij valt te denken aan mossen, boomstronken, planten, bloemen en (stromend) water.

SCHONE LUCHT

Luchtverontreiniging is één van de oorzaken van het ontstaan van ziektes. Naast luchtverontreiniging buiten (bijvoorbeeld als gevolg van giftige uitstoot van uitlaatgassen en industrie-gerelateerde gassen), zijn er diverse vormen van luchtverontreiniging binnen, zoals de aanwezigheid van vluchtige organische stoffen (VOS), fijnstof, allergenen, schimmels, bacteriën en te hoge concentratie koolstofdioxide (CO_2). Een groot deel van de verontreinigende stoffen komt voort uit chemische stoffen die zijn verwerkt in allerlei bouwproducten. Denk aan allerlei oplosmiddelen (alcohol, terpentine) en lijmstoffen (formaldehyde) die toegepast zijn in de vorm van pesticiden (houtconserveringsmiddelen, schimmelwerende middelen), vlamvertragers, weekmakers en allerlei andere verontreinigende stoffen [60]. Los van de introductie van gifstoffen in gebouwen door allerlei gebruiksmiddelen (schoonmaakmiddelen, 'lichaamsverzorging'-middelen) is het in het kader van materiaalgebruik dus van belang om zorgvuldige keuzes te maken bij het toepassen van bouwmaterialen. Dit geldt voor materialen voor de interieurinrichting, maar ook voor wand- en vloerafwerkingen, constructiematerialen, isolatiematerialen, et cetera. In feite alle materialen die direct of indirect in contact staan met de binnenlucht.

Voor nagenoeg alle gifstoffen zijn per land (of zelfs wereldwijd), bepaalde 'toelaatbare' concentraties vastgesteld. Het is echter waardevol om elke reductie van blootstelling na te streven. Richtlijnwaarden zijn immers bedoeld als leidraad. De natuur zou de ultieme standaard moeten zijn [47] (hoewel de natuur in zekere zin ook bekend staat voor het produceren van de meest ernstige gifstoffen in het dieren- en plantenrijk).

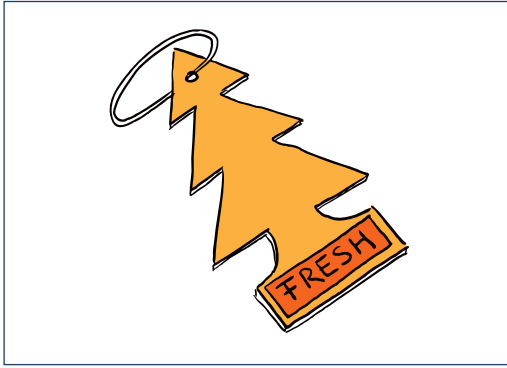
Sommige materialen hebben de potentie om gifstoffen te neutraliseren of immobiliseren, waaronder leem [36], gestampte aarde [61] en mycelium [37]. In een omgeving waarvan niet alle mogelijke giftige emissies bekend zijn, of niet kunnen worden voorkomen, heeft het de voorkeur om dergelijke materialen toe te passen.



D. EMISSIE VAN GIFTIGE STOFFEN

Er worden materialen toegepast, waarbij sprake is van emissie van verontreinigende stoffen en/of allergenen. Deze (veelal toxische) verontreinigingen kunnen in het materiaal zitten, of tijdens het productieproces worden geïntroduceerd door chemische bewerkingen en/of toxische additieven.

Voorbeelden hiervan zijn de meeste kunststoffen en mineralen en materialen met weekmakers en/of chemische bindmiddelen.



C. BEPERKTE EMISSIE VAN GIFTIGE STOFFEN

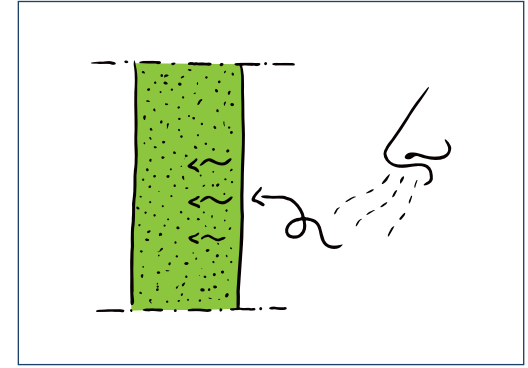
De toepassing van materialen, waarbij er sprake is van emissie van verontreinigende stoffen en/of allergenen, wordt tot een minimum beperkt.



B. GEEN EMISSIE VAN GIFTIGE STOFFEN

Er worden materialen toegepast, waarbij er geen sprake is van emissie van verontreinigende stoffen en allergenen.

Voorbeelden hiervan zijn de meeste (niet chemisch bewerkte) biobased materialen en sommige mineralen.



A. + NEUTRALISEREN VAN GIFTIGE STOFFEN

Er worden materialen toegepast, waarbij verontreinigende stoffen in de lucht door het materiaal worden geïmmobiliseerd en geneutraliseerd.

Voorbeelden hiervan zijn leem, gestampte aarde en mycelium.



ENERGIE- EN LANDGEBRUIK

De voornaamste bron van energie op aarde is de zon. De zon levert directe thermische energie (warmte) en lichtenergie, wat cruciaal is voor het leven op aarde. Daarnaast zorgt de zon via fotosynthese voor de groei van biomassa. Deze biomassa kunnen we vervolgens omzetten in thermische energie (warmte) door het te verbranden. Ook biomassa in de vorm van voedsel wordt in ons lichaam via allerlei spijsverteringsprocessen omgezet in onder andere thermische energie (warmte) en kinetische energie (beweging). Met andere woorden, de arbeid die wij als mens kunnen verrichten komt indirect voort uit de energie die de zon levert. Op welke manier het beschikbare land dus wordt gebruikt om ruimte te bieden aan de groei van biomassa voor zowel voedsel als bouwmaterialen is dus van groot belang

In het kader van 'duurzame ontwikkeling' heerst vanaf de tweede helft van de twintigste eeuw het besef om zuinig om te springen met energiegebruik. Met name wanneer deze energie betrekking heeft op het verbranden van (eindige) fossiele brandstoffen, zoals aardolie, kolen en aardgas en biomassa, zoals hout. Het ligt voor de hand om deze brandstoffen op eenzelfde manier te behandelen als bouwmaterialen, zoals uitgelegd bij het thema MATERIAALGEBRUIK. Ook deze brandstoffen doorlopen namelijk een bepaalde productieketen en ondergaan verschillende bewerkingsstappen van bron tot aan gebruiker. Daarbij kan een deel van de energie verloren gaan ('afval'), wat zoveel mogelijk zou moeten worden voorkomen om tot een volhoudbaar systeem te komen. Ook de gebruiker zal er zorg voor moeten dragen dat de energie op een effectieve manier wordt benut, of liever gezegd omgezet. Energie gaat immers nooit verloren in een gesloten systeem (Wet van behoud van energie) [62]. In de bouwsector wordt energie met name gebruikt tijdens het productieproces en transport van bouwmaterialen en tijdens de ingebruikname van het gebouw (met name warmte).

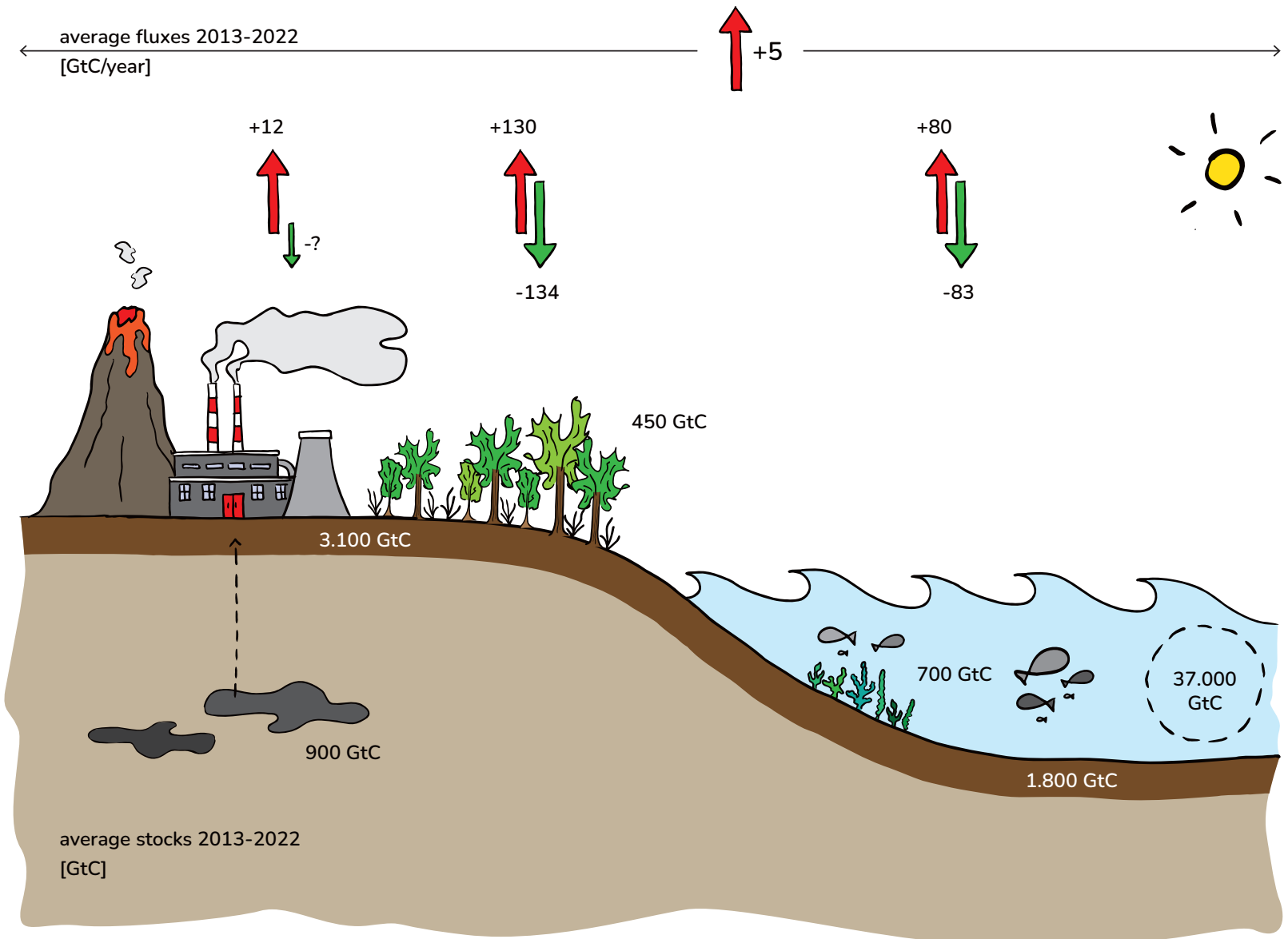
Het omzetten van energie van de zon in elektriciteit (via zonnepanelen), of indirecte warmte (via zonnecollectoren), of bewegingsenergie uit luchtstromen (via windturbines), et cetera wordt in deze publicatie niet nader beschouwd. Het besef dat voor deze omzettingen materialen nodig

VRIJE ENERGIE

Sinds halverwege de negentiende eeuw zijn er baanbrekende energietechnologieën ontwikkeld (onder andere door Nikola Tesla) die in potentie continu en overal ter wereld schone energie kunnen genereren. Dus vrij van vervuiling en voor iedereen beschikbaar. Deze technologie wordt aangeduid als 'vrije energie' [63] [64]. Ondanks diverse publieke demonstraties van werkende prototypen is het tot op heden nog niet gekomen tot een commerciële opschaling van apparaten die deze ogenschijnlijk onuitputtelijke energie kunnen omzetten voor praktische toepassingen voor de mens. Op één of andere manier heerst er een bepaalde mate van controversie omtrent dit onderwerp.

Advies: ga zelf op onderzoek uit en trek je eigen (onderbouwde) conclusies!

< Een volhoudbare manier van energie- en landgebruik vraagt om gezonde grond. Zonder gezonde grond, geen bio-based materialen. (Foto: Pixabay)



zijn om de energieomzetting tot stand te brengen (in de vorm van zonnepanelen, collectoren, turbines enzovoorts) is voor nu voldoende om het te benaderen zoals bij het thema over MATERIAALGEBRUIK.

Er is in de bouwsector veel te doen over koolstofdioxide (CO_2) in het kader van de uitstoot en de potentiële opslag ervan. Strikt genomen moeten we het bij opslag hebben over koolstof (C) in plaats van CO_2 . Koolstof wordt vaak omschreven als de bouwsteen van het leven, aangezien het de basis bouwstof is van alle levende organismen (planten en dieren) op aarde. Tijdens de groei van plantaardige organismen (zoals bomen, struiken, grassen, gewassen, algen en wieren) wordt CO_2 , water (H_2O) en lichtenergie aan de omgeving onttrokken door middel van fotosynthese, waarbij het koolhydraat glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) wordt gevormd in het organisme en zuurstof (O_2) vrijkomt in de omgeving [69]. De koolstof is dus vastgelegd in de biomassa in de vorm van koolhydraten (suikers). Als deze biomassa vervolgens wordt gebruikt als bouw materiaal, blijft de koolstof langdurig opgeslagen in het materiaal. Pas zodra het materiaal biologisch afbreekt en desintegreert (uiteenvalt), of wordt verbrand, komt de vastgelegde koolstof door reactie met zuurstof en water weer vrij in de atmosfeer (als CO_2) en deels in de grond (als C). Dit proces beschrijft de zogeheten koolstof-kringloop [70] (Figuur 5). Bij natuurlijke processen van groei en ontbinding (zowel op land als in oceanen) wordt vaak gesuggereerd dat er sprake is van een koolstof-evenwicht. Op globaal niveau wordt er echter meer koolstof opgenomen (in de grond en in de dieptes van de oceanen), dan dat er vrijkomt in de atmosfeer [65].

Sinds de publicatie van *The Limits to Growth* de jaren zeventig van de twintigste eeuw wordt er veelvuldig gesproken over de relatie tussen CO_2 -uitstoot en de vermeende opwarming van de aarde [7]. De voorspellingen op basis van de destijds gehanteerde computermodellen hebben uiteindelijk geleid tot het Klimaatakkoord van Parijs van 2015, dat in 2016 door de Europese Unie mede namens Nederland is ondertekend. Op basis van dit akkoord wordt het huidige klimaatbeleid in Nederland bepaald, dat met name is gericht op het drastisch reduceren van de CO_2 -uitstoot [71].

WEETJE

De atmosfeer van de aarde bestaat voor 78% uit stikstof (N_2), 21% uit zuurstof (O_2) en de resterende 1% uit diverse gasen, waaronder 0,04% koolstofdioxide (CO_2) [68].

KRITISCHE BLIK

Het is waardevol om te vernemen dat er talloze wetenschappelijke onderzoeken zijn gedaan, waarbij het verband tussen CO_2 -uitstoot en opwarming van de aarde wordt weerlegd, genuanceerd, of waarbij een perspectief over langere tijdsperiodes wordt gegeven [66] [67].

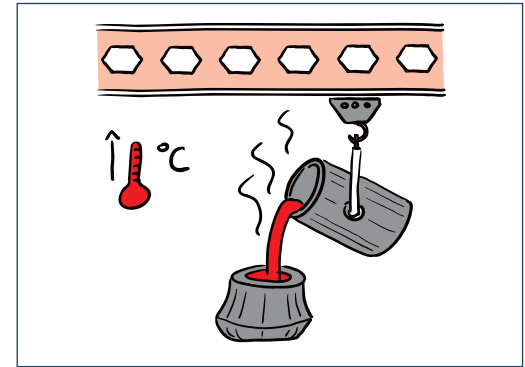
Ook hier geldt het advies: ga zelf op onderzoek uit en trek je eigen (onderbouwde) conclusies!

< **FIGUUR 5:** Visualisatie van de globale koolstofkringloop, waarbij de gemiddelde koolstofstromen (*fluxes*) en voorraden (*stocks*) zijn afgebeeld tussen 2013 en 2022. (Illustratie gebaseerd op de data uit de paper 'Global Carbon Budget 2023' [65])

PRODUCTIEFASE

Bij de productie van bouwmaterialen is een bepaalde mate van energie nodig om de grondstoffen in de juiste vorm of consistentie te krijgen. Zo vereist de productie van staal, aluminium en bakstenen een relatief hoge temperatuur. Hierbij ontstaan bovendien (schadelijke) emissies, waaronder CO_2 . Deze energievraag wordt dus voornamelijk bepaald door de hoogte van de benodigde temperatuur die tijdens het productieproces toegevoegd wordt. Bij de productie van producten uit biomassa is over het algemeen een veel geringere hoeveelheid energie nodig. Het bewerken van hout (als voorbeeld) heeft vooral betrekking op het zagen en schaven van de oorspronkelijke grondstof (boom).

Echter ook het gewicht van het benodigde materieel (machines en gereedschappen) en de hoeveelheid aan materieel spelen een rol bij het verplaatsen van het materiaal gedurende het doorlopen van verschillende bewerkingsstappen. Uiteraard heeft het aantal productiestappen en de hoeveelheid materiaal die daarbij gebruikt wordt een grote invloed op de doorlooptijd van het productieproces. Om de keuze zo zuiver mogelijk te houden wordt de factor tijd in deze uiteenzetting buiten beschouwing gelaten. Bovendien wordt het productieproces vereenvoudigd tot de genoemde invloedsfactoren, hoewel het werkelijke productieproces complexer van aard kan zijn.



D. ZWARE INDUSTRIE

De materiaalproductie vraagt om relatief zwaar materieel en hoge temperaturen.

Karakteristiek voor dergelijke productieprocessen is de grote kracht (en dus veelal geluids-overlast) die nodig is om het materiaal in zijn gewenste vorm te forceren.

Een voorbeeld hiervan is de productie van staalprofielen, bakstenen en betonnen elementen (inclusief eventuele recycling).

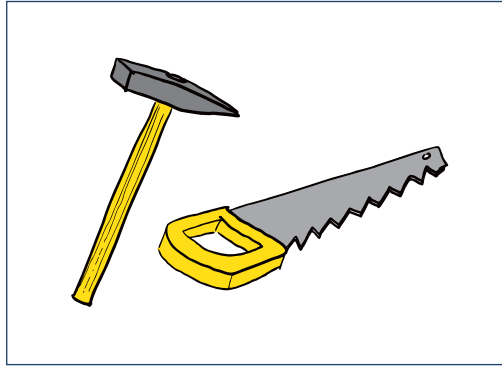


C. LICHTE INDUSTRIE

De materiaalproductie vraagt om relatief licht materieel en semi-lage temperaturen.

De krachten die nodig zijn om het materiaal te vormen (en dus geluidsoverlast) zijn redelijk beperkt.

Een voorbeeld hiervan is de productie van HSB, CLT en het persen van platen (inclusief eventuele recycling).



B. AMBACHTELIJK WERK

De materiaalproductie vraagt om relatief licht (handmatig) materieel en lage temperaturen.

De krachten die nodig zijn om het materiaal te vormen (en dus geluidsoverlast) zijn uiterst beperkt (mankracht).

Een voorbeeld hiervan is de productie van stobalen, leemstuc, leemstenen en gestampte aarde (inclusief eventuele recycling).



A. + ZELFGROEI

De materiaalproductie vindt volledig autonoom plaats volgens natuurlijke principes bij 'kamer-temperatuur' en vraagt om zeer beperkte of geen menselijke interventies en materieel (van ambachtelijke aard).

Een voorbeeld hiervan is de productie van mycelium¹ (inclusief eventuele recycling), maar ook inblaasstro dat in feite zowel een materiaal is als een product.

¹ Bij de sterilisatie en het stopzetten van de groei van mycelium zijn overigens relatief gematigde temperaturen nodig (circa 60-120 °C)

TRANSPORTFASE

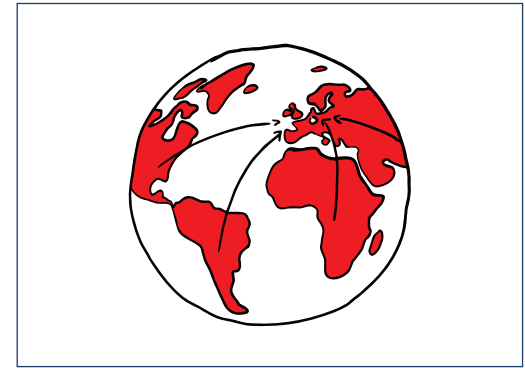
Bij het transport van grondstoffen en materialen van de bron naar de productielocatie en bouwlocatie is een bepaalde mate van energie nodig. Ook het transport van de bouwlocatie terug naar de productielocatie (hergebruik en recycling) en idealiter de oorspronkelijke bron (herstel) vraagt energie. Bij dit transport ontstaan (schadelijke) emissies, zoals koolstofdioxide (CO_2) en stikstofoxiden (NO_x). De energievraag voor het transport wordt voornamelijk bepaald door de benodigde transportafstand, de hoeveelheid logistieke bewegingen, het gewicht en volume van het te transporteren materiaal en/of product en het type brandstof van het transportmiddel.

Naast allerlei transportmiddelen die gebruik maken van een verbrandingsmotor of een elektromotor is het ook mogelijk om transport te realiseren met behulp van low-tech principes, zoals wind (zeilboot), dierkracht of menskracht. In het kader van spaarzaam energiegebruik hebben deze low-tech principes de voorkeur boven gemotoriseerde principes.

Om het aantal individuele transportbewegingen te beperken kan gebruik gemaakt worden van een zogeheten 'bouwhub', wat gezien kan worden als een tijdelijke verzamelplaats van bouwmaterialen voor gezamenlijk transport naar de bouwplaats [72].

Het verschil in brandstofkeuze wordt hier een niet nader uiteengezet, omdat de brandstof (of energiedrager) in feite een grondstof (materiaal) is, en dus kan worden beschouwd via het thema MATERIAALGEBRUIK. 'Vrije energie' (zie kader bij ENERGIE- & LANDGEBRUIK) vormt hierop een uitzondering.

Uiteraard hebben sommige van bovengenoemde aspecten een grote invloed op de doorlooptijd van het transportproces. Om de keuze zo zuiver mogelijk te houden wordt de factor tijd echter in deze uiteenzetting buiten beschouwing gelaten. Bovendien wordt het transportproces vereenvoudigd tot de genoemde invloedsfactoren.



D. WERELDWIJD TRANSPORT

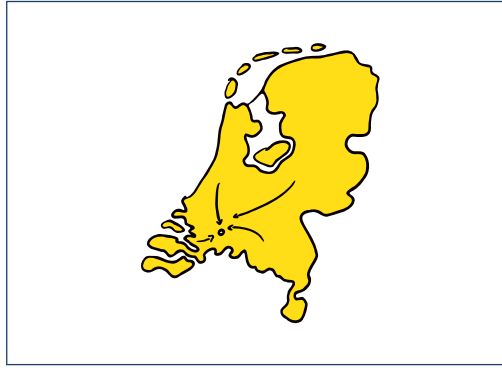
De benodigde grondstoffen, materialen en/of producten worden verspreid over de hele wereld geproduceerd of geoogst, waardoor er extreem lange transportafstanden, veel logistieke bewegingen en zware transportmiddelen nodig zijn. Een voorbeeld hiervan is het transport van staal, of riet uit China.



C. CONTINENTAAL TRANSPORT

De benodigde grondstoffen, materialen en/of producten worden continentaal (bijv. Europa) geproduceerd of geoogst, waardoor er enigszins beperkte transportafstanden en logistieke bewegingen nodig zijn. Er zijn overwegend zware transportmiddelen nodig.

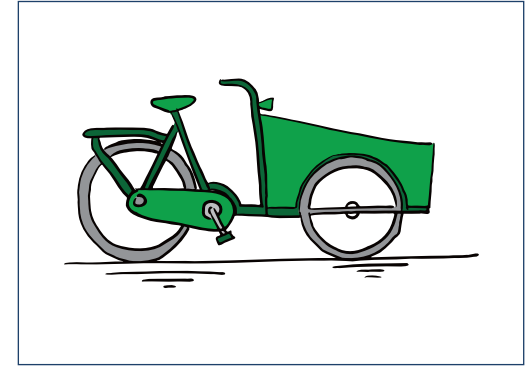
Een voorbeeld hiervan is het transport van Europees naaldhout.



B. LANDELIJK OF REGIONAAL TRANSPORT

De benodigde grondstoffen, materialen en/of producten worden landelijk, of regionaal geproduceerd of geoogst, waardoor er zeer korte transportafstanden, zeer beperkte logistieke bewegingen en minder zware transportmiddelen nodig zijn. Ook wordt effectief gebruik gemaakt van een bouwhub om het aantal individuele transportbewegingen te beperken.

Een voorbeeld van regionaal transport is het transport van lokale strobalen, lokaal gewonnen aarde, Nederlandse bakstenen en landelijk 'geoogste' tweedehands materialen en producten.



A. + LOW-TECH TRANSPORTMIDDELEN

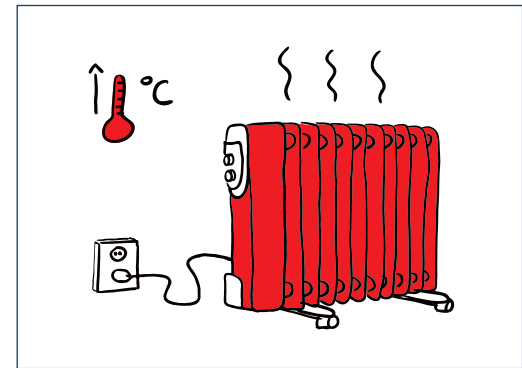
De benodigde grondstoffen, materialen en/of producten worden getransporteerd met behulp van low-tech transportmiddelen, zoals wind-aangedreven transportmiddelen (zeilboot), of transport per dier (met kar), of mens (te bakfiets, of te voet).

GEBRUIKSFASE

Tijdens de gebruiksfase van een gebouw is er veelal een zekere energievraag om het gebouw te klimatiseren, met name om te verwarmen, koelen en ventileren. Afhankelijk van de methode waarop deze energie wordt benut, kunnen er (schadelijke) emissies ontstaan, meestal in de vorm van CO₂. De energie wordt dus voornamelijk bepaald door het gewenste comfortniveau, de grootte van de gebruiksruidtes, het aantal gebruikers, de manier en snelheid waarop de energie wordt omgezet en/of (tijdelijk) opgeslagen en de mate waarin de geproduceerde warmte of koelte verloren gaat (weglekt).

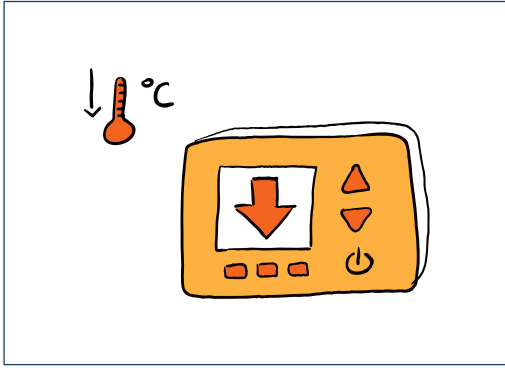
Naast allerlei actieve klimatiseringsmogelijkheden (warmtepomp, Cv-installatie, kachel, mechanische ventilatie, et cetera) zijn er talloze passieve klimatiseringsmogelijkheden [18] (zie tevens het thema BINNENKLIMAAT). In het kader van duurzaam energiegebruik hebben passieve principes de voorkeur boven actieve installaties.

Uiteraard hebben sommige aspecten een grote invloed op de tijd waarop de energie wordt omgezet en/of wordt benut. Om de keuze zo zuiver mogelijk te houden wordt de factor tijd in dit overzicht buiten beschouwing gelaten.



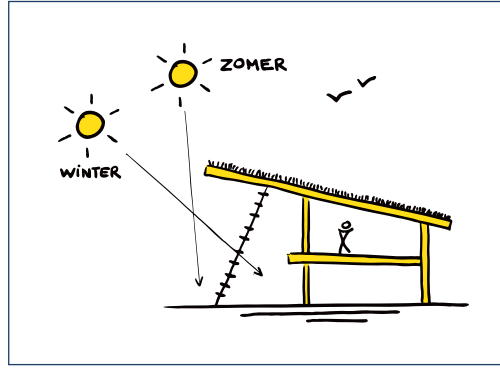
D. ONDOORDACHT ENERGIEGEBRUIK (GEDRAG)

Er is een nagenoeg ongelimiteerde energiebehoefte, omdat er minimale isolatie aanwezig is (conform het Bouwbesluit) en ruimtes worden ongeacht het seizoen, tijdstip, of gebruik verwarmd of gekoeld, waarbij energieverlies geen aandacht krijgt (bijv. open ramen en deuren).



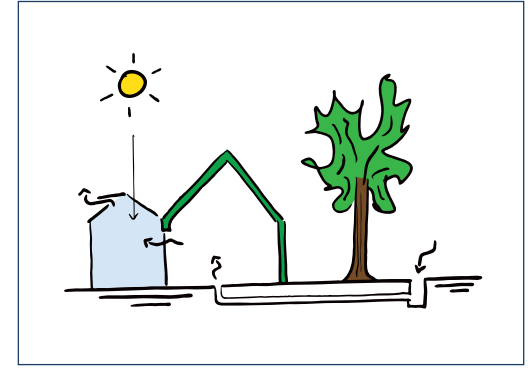
C. BEWUST ENERGIEGEBRUIK (GEDRAG)

Er wordt bewust aandacht besteed aan het moment waarop en de mate waarin er wordt verwarmd, gekoeld, en geventileerd, bijvoorbeeld door dit af te stemmen op het seizoen, of het tijdstip op de dag, of op het ruimtegebruik.



B. + PASSIEF VERWARMEN EN/OF KOELEN

Er worden passieve klimaatprincipes toegepast om te verwarmen of koelen, zodat er geen energie-intensieve installaties nodig zijn. Hierbij valt te denken aan het toepassen van warmte-accumulerende materialen en gebruik te maken van warmtewinst door de interne warmtelast (mensen, verlichting en apparaten) en/of zonnewarmte (optimale zon-oriëntatie en voorverwarmen ventilatielucht).



A. + PASSIEVE VENTILATIE-PRINCIPES

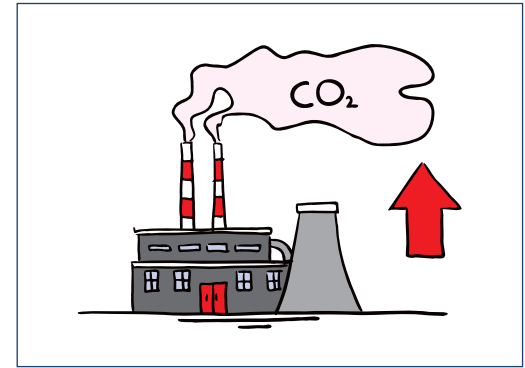
Er worden passieve klimaatprincipes toegepast om natuurlijke ventilatie tot stand te brengen, zonder dat daarvoor energie-intensieve installaties nodig zijn. Hierbij valt te denken aan een zonneshoorsteen en/of grondbuis, het benutten van het zogeheten Venturi-effect, een serre, kas of ventilatiestolp om het gebouw, et cetera.

KOOLSTOF-OPSLAG

Tijdens de groei van plantaardige organismen (zoals bomen, struiken, grassen, gewassen, algen en wieren) wordt koolstof (in de vorm van CO_2) aan de omgeving onttrokken door middel van fotosynthese en daarmee opgenomen in de biomassa. Als deze biomassa vervolgens wordt gebruikt als bouw materiaal, blijft de koolstof dus langdurig opgeslagen in het materiaal. Het blijkt dat bomen in vergelijking met grassen of (landbouw)gewassen verhoudingsgewijs meer koolstof opslaan [73].

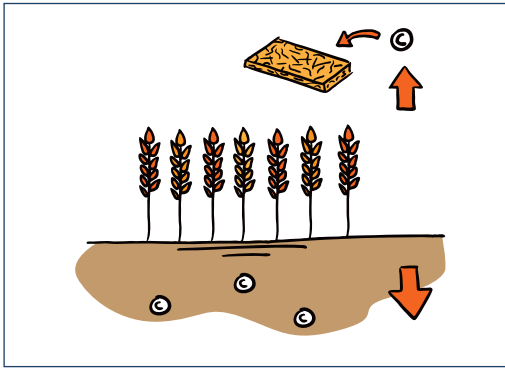
Ook wordt tijdens het groeiproces koolstof vastgelegd in de bodem. Bij Europese bossen blijkt zelfs 70-80% van de opgenomen koolstof te worden vastgelegd in de bodem [74]. Ook hier blijkt dat bomen verhoudingsgewijs meer koolstof opslaan in de bodem dan (landbouw)gewassen, maar nagenoeg evenveel als grassen [75]. Daarnaast is het interessant om te realiseren dat plantaardige organismen in zeeën en oceanen zoals algen, zeegrassen en wieren zelfs een hogere koolstof-opslagcapaciteit hebben dan bossen [76]. Ook hierbij geldt dat het overgrote gedeelte van deze koolstof-opslag plaatsvindt in de zeebodem en in de dieptes van oceanen [77] [78].

Als het streven is om koolstof zo lang mogelijk te onttrekken uit de atmosfeer, dan moet koolstof-opslag in de bodem belangrijker worden beschouwd dan vastlegging van koolstof in biomassa. Uiteindelijk zal de vastgelegde koolstof in de biomassa namelijk weer vrijkomen als gevolg van biologische degradatie, of verbranding van het materiaal. Daarnaast speelt de (technische) levensduur van het materiaal nog een rol. Als de materialen zijn toegepast in de draagconstructie van een gebouw, dan zal de koolstof langer worden vastgelegd dan wanneer het materiaal wordt toegepast in de gebouwschil als bijvoorbeeld gevelbekleding of isolatiemateriaal.



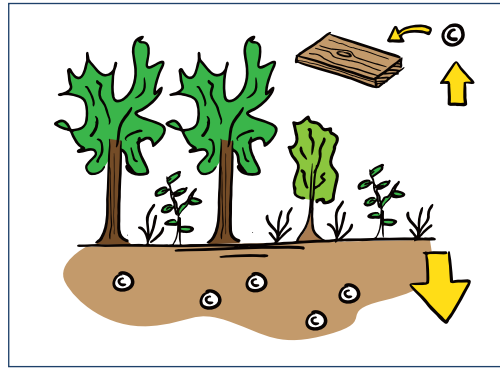
D. GEEN KOOLSTOF-OPSLAG, MAAR UITSTOOT

Er worden materialen toegepast, waarbij er geen (of zeer geringe) sprake is van koolstof-opslag. Voorbeelden hiervan zijn de meeste kunststoffen, metalen en mineralen.



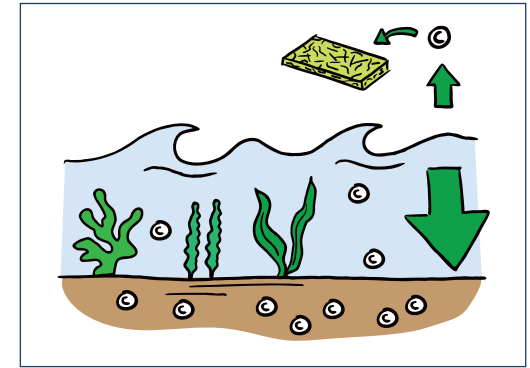
C. KOOLSTOF-OPSLAG VIA LANDBOUWGEWASSEN

Er worden materialen toegepast die voortkomen uit de oogst van vezelgewassen uit duurzame landbouw. Een deel van de koolstof-opslag vindt plaats in de bodem.



B. KOOLSTOF-OPSLAG VIA BOMEN

Er worden materialen toegepast, die voortkomen uit de oogst van bomen uit duurzaam beheerde bossen. Het overgrote deel van de koolstof-opslag vindt plaats in de bodem.



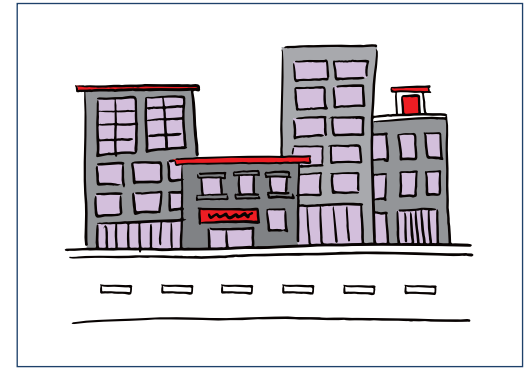
A. + KOOLSTOF-OPSLAG VIA ZEEGEWASSEN

Er worden materialen toegepast die voortkomen uit de oogst van zeegrassen en wieren uit duurzame zeeeteelt. Het overgrote deel van de koolstof-opslag vindt plaats in de zeebodem (en de dieptes van de oceaan).

LANDSCHAP

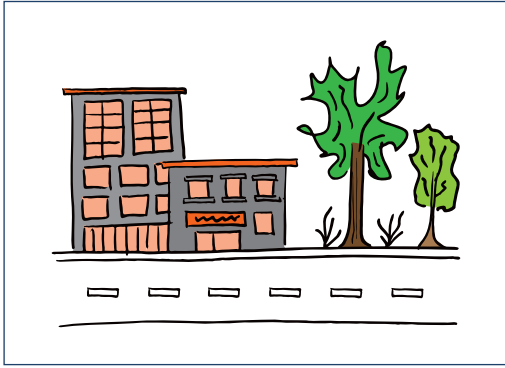
Het Nederlandse landschap is van oudsher een productielandschap [46]. Veel van de huidige 'natuur' is in het verleden aangelegd met de intentie om het te benutten voor productiedoel-einden (bouw materiaal, gebruiksvoorwerpen, voedsel voor mens en dier), energiedoel-einden (verwarmen) en/of bescherming (aanleg van dijken, erfafscheidingen, wind- en/of zonnescherm) [79] [80]. Het bosbeheer (van hakhout-bossen) was tot aan het begin van de twintigste eeuw bovendien een min of meer CO₂-neutrale activiteit, waarbij vraag en aanbod voortdurend in balans waren. Met name de komst van fossiele brandstoffen heeft hier een einde aan gemaakt en heeft er zelfs toe geleid dat de bosbouw zelf een industrie is geworden [81].

In een ideale situatie leeft de mens in harmonie met haar omgeving, waarbij het landschap op duurzame wijze kan worden benut voor het levensonderhoud (onder andere productie van bouwmaterialen en levensmiddelen). Een regeneratieve aanpak garandeert daarbij dat ecosys-temen gedijen en op hun beurt zorgen voor een gezonde bodem, het zuiveren van water, het bevorderen de biodiversiteit, et cetera. Wanneer er (opnieuw) met lokale materialen gebouwd wordt, ontstaat er bovendien regiospecifieke architectuur. Dit heeft de potentie om de natuurlijke en wellicht zelfs vanzelfsprekende relatie van een gebouw met zijn omgeving te herstellen [82].



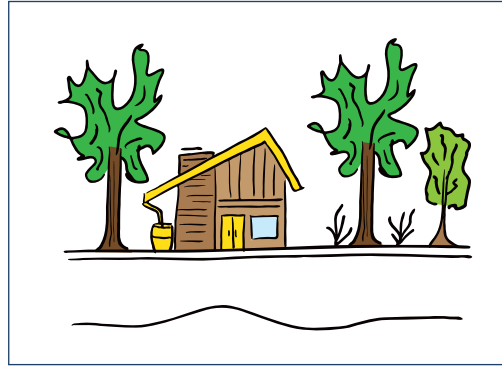
D. STEDELIJK EN VERHARD LANDSCHAP

Er wordt geen aandacht besteed aan de land-schapsontwikkeling ten behoeve van een duur-zame productie van (lokale) bouwmaterialen. Het landschap wordt gekarakteriseerd door ver-stedelijking en verharding van de ondergrond.



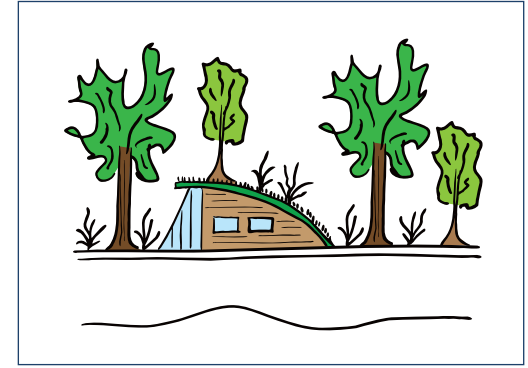
C. UITBREIDING VAN NATUURLANDSCHAP

Er worden bossen aangeplant en natuurgebieden uitgebreid ten behoeve van een duurzame productie van (lokale) bouwmaterialen. Het landschap wordt gekarakteriseerd door een combinatie van verstedelijking en vergroening.



B. STIMULEREN VAN STREEK-EIGEN LANDSCHAP

Er worden streek-eigen landschapselementen geïntroduceerd, waarbij het regionale landschappelijke karakter wordt gestimuleerd. Het gebruik van lokale (biobased) bouwmaterialen resulteert in regiospecifieke architectuur met volop ruimte voor natuur.



A. + REGENERATIEF EN HERSTELLEND LANDSCHAP

Er worden regeneratieve en herstellende landschappen geïntroduceerd, waarbij gebouwen worden geïntegreerd in het landschap. Het landschap draagt onder andere bij aan de bescherming van kustgebieden, het tegengaan van bodemdaling en verzilting, het zuiveren van water, het bevorderen de biodiversiteit en de productie van voedsel en (biobased) bouwmaterialen.

LANDBOUW

De Nederlandse landbouw wordt gekarakteriseerd door monocultuur en veel agrarische gebieden hebben als gevolg van de huidige (voedsel)productiemethoden te maken verdroging, vershraling, verzilting, verzuring en uitputting van de bodem en verlies van biodiversiteit [46]. Een transitie naar een productielandschap voor zowel voedsel als biobased bouwmaterialen lijkt een gewenst scenario, waarbij de productie op harmonieuze manier samengaat met recreatie en herstel van biodiversiteit [79] [80].

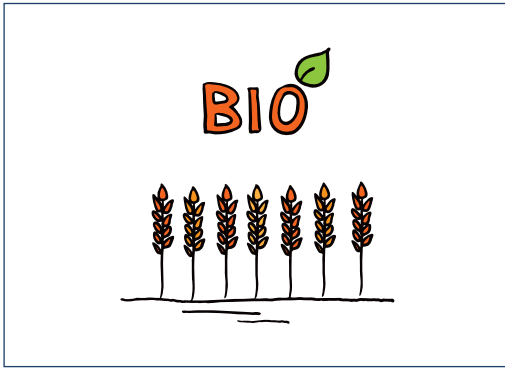
Eén van de mogelijke oplossingsrichtingen is agroforestry. Agroforestry is een boslandbouwsysteem, waarbij gestreefd wordt naar het combineren van bomen en struiken op percelen met akkerbouwgewassen en/of grasland [83]. Deze combinatie resulteert in een positieve interactie tussen gewassen, waardoor geen kunstmest en/of bestrijdingsmiddelen nodig zijn. Een dergelijk landschap leent zich uitermate voor een duurzame productie van voedsel en (biobased) bouwmaterialen.

Agro-ecologie gaat nog een stapje verder dan de principes van agroforestry. Agro-ecologie kan beschreven worden als een duurzaam en holistisch landbouwsysteem, waarbij natuurlijke processen worden gestimuleerd om gunstige biologische interacties en bodemomstandigheden te creëren in een gesloten systeem. Externe input wordt zoveel mogelijk geminimaliseerd. Permacultuur is in agro-ecologie vergaand doorgevoerd. Permacultuur kan gezien worden als een ecologisch en sociaal ontwerpsysteem dat gebruik maakt van ecologische wetten en is gericht op het creëren van nieuwe ecosystemen, mede door continue bodemverbetering. Voor de mens levert dit opbrengsten in de vorm van onder andere voedsel, schoon water, energie en (biobased) bouwmaterialen [84].



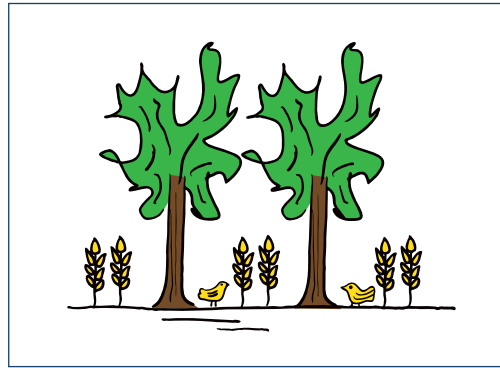
D. INTENSIEVE LANDBOUW OP BASIS VAN MONOCULTUUR

Er vindt intensieve landbouw plaats op basis van monocultuur, waarbij in grote mate gebruik wordt gemaakt van kunstmatige meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Er is hierbij nauwelijks aandacht voor de productie van bouwmaterialen.



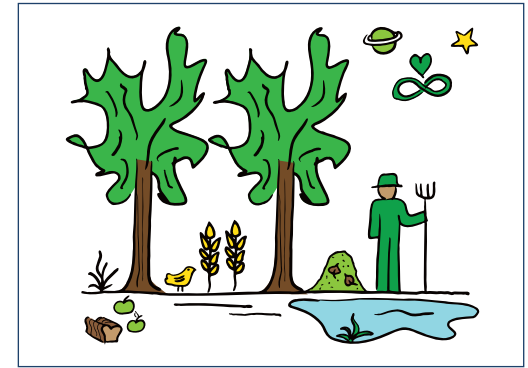
C. BIOLOGISCHE LANDBOUW OP BASIS VAN MONOCULTUUR

Er vindt semi-intensieve landbouw plaats op basis van monocultuur, waarbij gebruik wordt gemaakt van biologische meststoffen en milieuvriendelijke bestrijdingsmiddelen. Er is hierbij groeiende interesse voor de productie van bouwmaterialen.



B. BIOLOGISCHE LANDBOUW OP BASIS VAN AGROFORESTRY

Er vindt boslandbouw plaats, waarbij bomen, struiken, landbouwgewassen (of veeteelt) en grasland worden gecombineerd met continue productie van bouwmaterialen als bijvangst. Bemesting en bestrijding vindt op natuurlijke wijze plaats middels een positieve interactie tussen de aanwezige planten en dieren.



A. HOLISTISCHE LANDBOUW OP BASIS VAN PERMACULTUUR

Er vinden holistische vormen van landbouw plaats, zoals agro-ecologie, biodynamische landbouw en permacultuur. Bij deze holistische benadering staat de samenhang tussen alles wat leeft centraal (onder andere bodem, plant, dier, mens, natuur, landschap en kosmos). Dit leidt tot opbrengsten voor de mens, zoals voedsel, schoon water, energie en (biobased) bouwmaterialen.



ECONOMIE & SAMENLEVING

In het kader van de rol van biobased bouwen in de samenleving en de economie zijn er een aantal aspecten van belang. Om een werkelijk volhoudbare en gezonde manier van bouwen te realiseren zullen er onder andere nieuwe samenwerkingsverbanden aangegaan moeten worden. Enerzijds om circulaire productieketens te kunnen vormen en anderzijds om met een vernieuwde blik te kijken naar het ontwerpproces van gebouwen. Vanzelfsprekend houdt dat ook in dat we kritisch zullen moeten kijken naar onze huidige en toekomstige gebouwenvoorraad als grondstoffendepots voor de nabije toekomst [85].

Daarnaast vraagt de huidige materialen- en energietransitie om een bepaalde onderzoekende houding en respectvolle omgangsvormen, waarbij we open staan voor nieuwe inzichten en veerkrachtig kunnen omgaan met veranderingen. Het onderwijs vormt daarbij een essentiële schakel om ook de toekomstige generatie beroepsprofessionals mee te nemen in deze transitie en ze wellicht zelfs goed geïnformeerd en vakkundig ondersteund het voortouw te laten nemen.

Onder het thema ECONOMIE & SAMENLEVING worden in deze publicatie de volgende onderwerpen uiteengezet: productieketen, gebouwonwerp, woningvoorraad, onderwijs, samenwerking en onderzoekende houding.

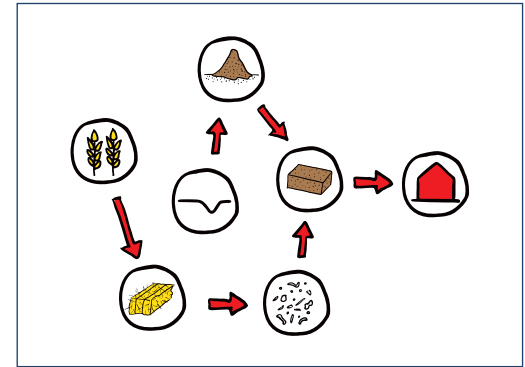
< Een gezonde economie en samenleving wordt bereikt door verbinding. Verbinding met elkaar en verbinding met natuur. Biobased materialen kunnen ons wellicht helpen om een doorkijkje te geven naar deze nieuwe en inspirerende wereld. (Foto: Pixabay)

PRODUCTIEKETEN

Een productieketen is een aaneenschakeling van marktpartijen die allen nodig zijn bij het tot stand brengen van het productieproces van grondstof tot aan gebruiker. Voor veel bouwproducten geldt dat er sprake is van fragmentatie van productie. Veel industriële (deel)producten en halffabricaten worden op verschillende locaties ter wereld geproduceerd, waardoor er steeds langere en complexere ketens ontstaan [86]. Bij de verduurzaming van de economie zijn korte en inzichtelijke ketens echter onmisbaar. Met name wanneer het gaat om nieuwe producten en dus veelal nieuwe ketens [87].

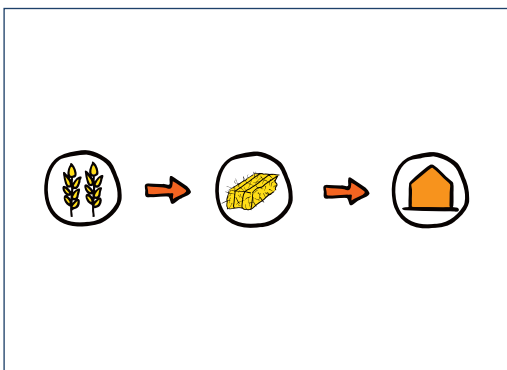
De lokale bouw- en productieketen van biobased bouwmaterialen is momenteel gebrekkig doordat er cruciale ketenpartners ontbreken in het traject van grondstof tot aan gebruiker. Het gaat hierbij met name om bedrijven uit de producerende sector [46]. Building Balance is door diverse ministeries van de Rijksoverheid in het leven geroepen om ketens 'van land tot pand' te stimuleren en te ondersteunen. Daarbij wordt actief ingezet op een productieve ketensamenwerking tussen de agrarische sector, verwerkers, bouw en overheden [20].

Wat echter grotendeels nog ontbreekt in de markt om een werkelijke circulaire economie tot stand te brengen is een circulaire productieketen. Deze kan beschouwd worden als een productieketen van grondstof tot gebruiker, waarbij tevens alle cruciale ketenpartners van de 'terugweg' van gebruiker tot grondstof (hergebruik, recycling, teruggave en regeneratie) aanwezig zijn. (Zie tevens het thema MATERIAALGEBRUIK).



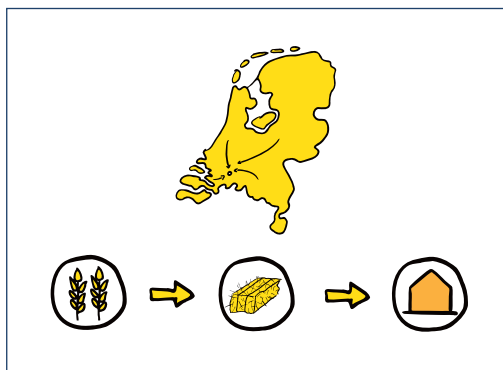
D. COMPLEXE EN LANGE PRODUCTIEKETEN

Er is sprake van een complexe en lange productieketen, waardoor transparantie ontbreekt. Bij de introductie van nieuwe producten ontbreken mogelijke cruciale ketenpartners.



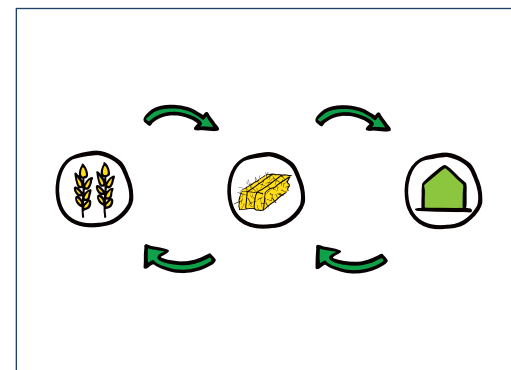
C. INZICHTELIJKE EN KORTE PRODUCTIEKETEN

Er is sprake van een inzichtelijke en korte productieketen, waarbij alle cruciale ketenpartners van het productieproces van grondstof tot gebruiker aanwezig zijn.



B. + LOKALE PRODUCTIEKETEN

Er is sprake van een inzichtelijke, korte en lokale productieketen, waarbij alle cruciale ketenpartners van het productieproces van grondstof tot gebruiker lokaal¹ aanwezig zijn.



A. + CIRCULAIRE PRODUCTIEKETEN

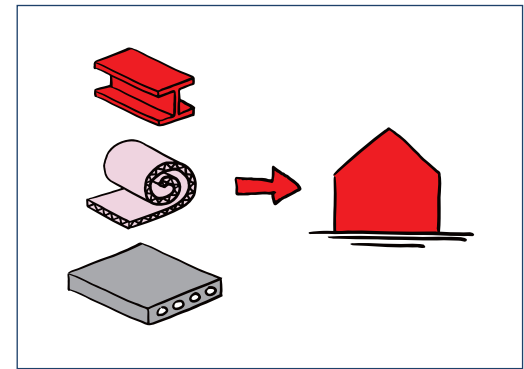
Er is sprake van een inzichtelijke, korte, lokale en circulaire productieketen, waarbij alle cruciale ketenpartners van het productieproces van grondstof tot gebruiker, inclusief de terugweg van gebruiker tot grondstof lokaal aanwezig zijn.

¹ Het begrip 'lokaal' kan geïnterpreteerd worden als regionaal, of zelfs continentaal. Voorwaarde is dat de lokaliteit de vorming van een vertrouwensband bevordert.

GEBOUWONTWERP

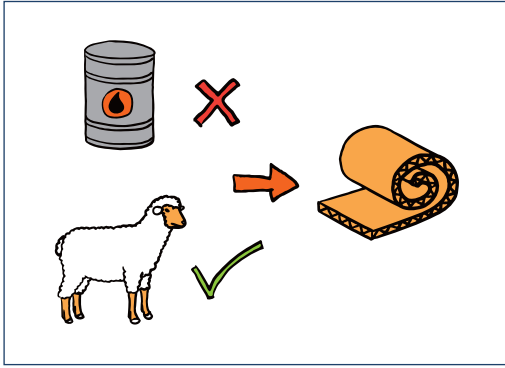
Elk bouwwerk in de gebouwde omgeving is in zekere zin ontworpen, of bedacht, waarbij vooraf gedefinieerde gebruikerswensen (of ambities) zo goed mogelijk worden afgestemd met de geldende randvoorwaarden (omgevingscondities, budget, beschikbaar kennisniveau, beschikbaarheid van materialen, wet- en regelgeving, enzovoorts).

De hedendaagse manier van bouwen in Nederland is grotendeels bepaald door de industrialisatie van de bouwsector sinds halverwege de twintigste eeuw. De grote diversiteit aan gestandaardiseerde producten op de markt stelt ontwerpers in staat om te kiezen uit vele varianten. In de huidige materialentransitie van *fossil-based* naar biobased materialen heerst de trend om conventionele materialen eenvoudigweg te vervangen door biobased materialen. Daarmee worden de karakteristieke eigenschappen van de materialen echter niet optimaal benut. Het zou wenselijker zijn als biobased materialen het startpunt vormen van het ontwerpproces van gebouwen. Dit zal bovendien leiden tot een nieuwe vormtaal in de architectuur, zoals dat ook vóór de 'modernisering' van architectuur het geval was [88]. Het meest ideale scenario overigens wordt gerealiseerd wanneer de holistische relatie tussen mens, (gebouwde) leefomgeving en (levende) natuur wordt gelegd. Enerzijds kunnen we daarbij leren van de natuur (Biomimicry [89]) en natuurlijke principes adopteren voor het duurzaam klimatiseren van gebouwen (passief bouwen [18]). Anderzijds kunnen we dankbaar gebruik maken van jarenlange ervaringen en wetenschappelijk onderbouwde theorieën uit de Bouwbiologie [47] en Biofilisch ontwerpen [55] in combinatie met een regeneratieve aanpak die resulteert in een positieve impact op mens en milieu [90].



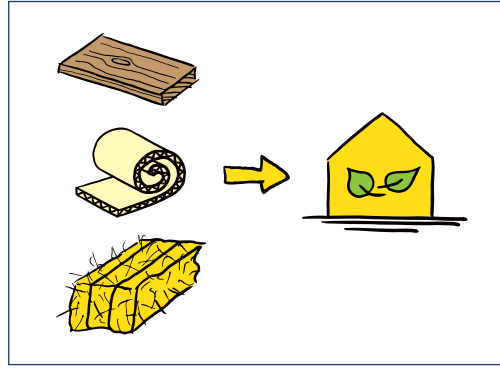
D. CONVENTIONELE BOUWMATERIALEN ALS UITGANGSPUNT

Bij de ontwikkeling van een nieuw gebouw vormen conventionele materialen en bouwprincipes het uitgangspunt voor het ontwerp. Het toepassen van biobased bouwmaterialen wordt nauwelijks overwogen.



C. CONVENTIONEEL VERVANGEN DOOR BIOBASED

Bij de ontwikkeling van een nieuw gebouw worden conventionele materialen vervangen door biobased materialen. De ontwerp van het gebouw is nog steeds gebaseerd op conventionele bouwprincipes.



B. BIOBASED BOUWMATERIALEN ALS UITGANGSPUNT

Bij de ontwikkeling van een nieuw gebouw vormen biobased materialen het uitgangspunt voor het ontwerp. Het totale ontwerp- en bouwproces wordt herzien, waarbij de karakteristieke eigenschappen van biobased materialen optimaal worden benut.



A. HOLISTISCH ONTWERPEN ALS UITGANGSPUNT

Bij de ontwikkeling van een nieuw gebouw vormt een holistische benadering het uitgangspunt voor het ontwerp. Te denken valt aan de richtlijnen van de Bouwbiologie en Biofilisch ontwerpen, gecombineerd met principes voor passieve klimaatbeheersing en regeneratief landgebruik. Er wordt daarbij gestreefd naar een holistische relatie tussen mens, gebouwde omgeving en natuur met biobased materialen als integraal onderdeel.

WONINGVOORRAAD

De gebouwvoorraad in Nederland kan beschouwd worden als een 'materialendepot', waarin materialen voor relatief lange tijd zijn 'vastgelegd' en op den duur zouden kunnen worden teruggewonnen (*urban mining*). De huidige gebouwvoorraad in Nederland bedraagt circa 9,2 miljoen gebouwen, waarvan circa 8 miljoen woningen. De meeste hiervan zijn tussen 1950 en 1990 gebouwd [91].

Het huidige doel van de Rijksoverheid is om tot en met 2030 900.000 woningen te realiseren [92]. Vanuit het oogpunt van volhoudbaar materiaalgebruik is het zinnig om verschillende opties te beschouwen om deze hoeveelheid woningen te realiseren. Bij volledige nieuwbouw is het zinvol om een relatief kleiner oppervlak per wooneenheid te realiseren dan momenteel gebruikelijk.

Een andere geschikte mogelijkheid is om bestaande gebouwen op te toppen met nieuwe wooneenheden. Een groot voordeel van optoppen is dat er (in potentie) gebruik gemaakt kan worden van de bestaande fundering en infrastructuur (onder andere riolering, elektriciteitstoevoer en wegennetwerk) [93]. Voor optoppen zijn met name biobased bouwmaterialen geschikt, omdat deze veelal lichter in gewicht zijn dan conventionele bouwmaterialen.

Het verlengen van de levensduur van bestaande gebouwen door deze te herbestemmen en/of te renoveren in plaats van te vervangen door nieuwbouw is eveneens een waardevolle optie. Hierbij kunnen biobased bouwmaterialen een geschikt alternatief zijn voor conventionele bouwmaterialen.

De meest efficiënte methode om het aantal woningen te vergroten met zo min mogelijk materialen is het splitsen van bestaande woningen. Bij splitsen wordt een woning opgedeeld in meerdere woningen met een relatief kleiner woonoppervlak [93]. Ook hierbij kan er in potentie gebruik gemaakt worden van de bestaande fundering en infrastructuur. Het relatief lichte gewicht van biobased materialen maakt ze hiervoor bij uitstek geschikt.



D. NIEUWBOUW

Er worden nieuwe woningen gebouwd met biobased materialen, waarbij per wooneenheid een relatief kleiner woonoppervlak wordt gerealiseerd dan dat voorheen gebruikelijk was. Hierdoor worden het gebruik van nieuwe materialen beperkt.



C. OPTOPPEN

Er worden nieuwe wooneenheden gerealiseerd op bestaande gebouwen. Bij het optoppen worden biobased materialen gebruikt, die relatief lichter in gewicht zijn dan conventionele bouwmaterialen (met name de draagstructuur).



B. RENOVEREN

De levensduur van bestaande woongebouwen en niet-woongebouwen (zoals kantoren, scholen, ziekenhuizen en kerken) wordt verlengd door deze gebouwen te herbestemmen en/of te renoveren. Hiertoe worden uitsluitend biobased bouwmaterialen toegepast.



A. + SPLITSSEN

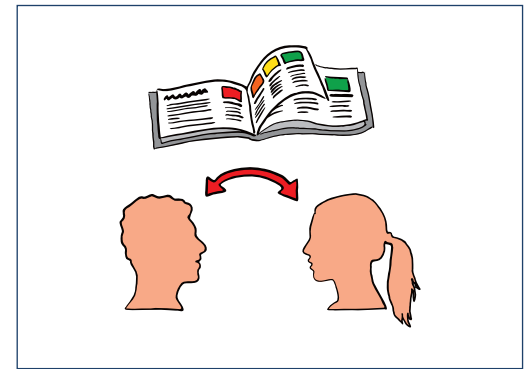
Bestaande woningen worden opgedeeld in meerdere wooneenheden met een relatief kleiner woonoppervlak. De woningsplitsing wordt uitgevoerd met biobased bouwmaterialen.

ONDERWIJS

Bij het tot stand brengen van innovaties in een transitietijdperk zijn onderwijs, bewustwording en gedragsverandering nauw met elkaar verbonden. Met het opdoen van nieuwe kennis en ervaringen krijg je namelijk inzicht in een bepaalde situatie (bewustwording). Het vraagt echter actief handelen (gedrag) om een verandering tot stand te brengen en daarmee je omgeving te beïnvloeden (impact).

Het aanleren van nieuwe kennis en vaardigheden kan op verschillende manieren plaatsvinden. Sommige methoden zijn echter doeltreffender dan andere. Het is essentieel gebleken dat goed beroepsonderwijs plaatsvindt in nauw contact met de actuele beroepspraktijk [94]. Naast de 'traditionele' (meeloop)stage bij bedrijven zijn zogeheten 'leerwerkgemeenschappen' (*learning communities*) een doeltreffend instrument. Vooral als individuele en collectieve leerprocessen samenkomen bij het tot stand brengen van innovaties in de beroepspraktijk [95]. In een leerwerkgemeenschap staat gezamenlijk leren en werken centraal. Idealiter betekent dit dat allerlei belanghebbenden met verschillende achtergronden (interdisciplinair) samenwerken om te komen tot een oplossing voor een gemeenschappelijk probleem of vraagstuk.

Naast het opdoen van kennis en weten hoe deze kennis theoretisch toegepast zou kunnen worden (cognitie), is het belangrijk om te kunnen uitleggen en laten zien hoe deze kennis het beste kan worden toegepast door het daadwerkelijk te doen (gedrag) [96]. Werkelijke impact wordt gemaakt zodra opgedane kennis en ervaringen kunnen 'rijpen' en verder ontwikkelen. Dit vraagt om een 'estafette'-aanpak waarbij de output van elk traject de directe input vormt voor een vervolgtraject.



D. ACTIEVE KENNIS- VERGARING EN -DELING

Nieuwe kennis wordt actief vergaard op basis van professionele en/of wetenschappelijke publicaties, expertlezingen, documentaires en kennisclips. Opgedane kennis wordt actief gedeeld.



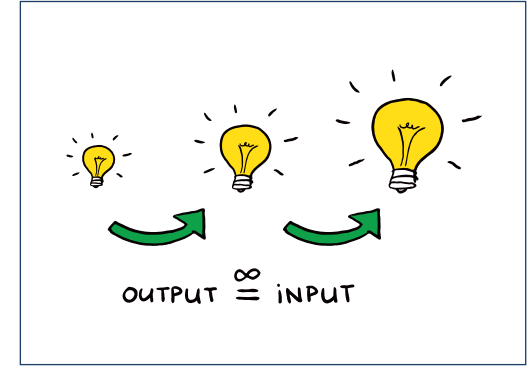
C. + PARTICIPATIE IN INNOVATIE-TRAJECTEN

Nieuwe kennis en praktische ervaringen worden opgedaan door actief te participeren in innovatietrajecten in laboratoria en proeftuinen (living labs). De (onderzoeks-)resultaten worden actief gedeeld.



B. + INTERVENTIES IN DE SAMENLEVING

Nieuwe kennis, inzichten en praktische ervaringen worden opgedaan door als learning community interventies te doen in de samenleving in nauwe samenwerking en afstemming met alle betrokkenen. De impact van de interventies wordt actief gemonitord en gedeeld.



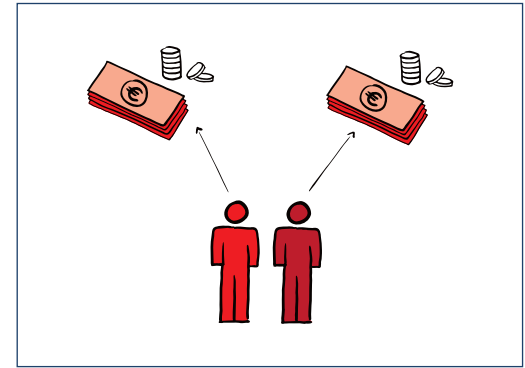
A. + DOORONTWIKKELING VIA ESTAFETTE-AANPAK

Resultaten uit voorgaande innovatietrajecten en/of interventies vormen het startpunt voor een vervolgetraject waarbij voortborduurt wordt op eerder opgedane kennis, ervaringen en behaalde resultaten. Na elk (vervolg)traject worden deze output opnieuw zorgvuldig gebundeld en gereed gemaakt als input voor een nieuw vervolgetraject.

SAMENWERKING

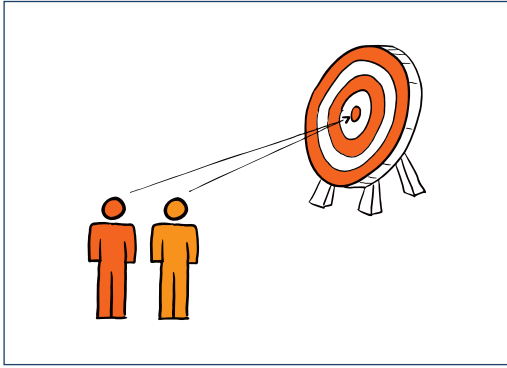
Bouwen is samenwerken. Bij de totstandkoming van een gebouw zijn immers veel verschillende expertises nodig en moeten allerlei diensten, producten en materialen fysiek samenkomen op een vooraf afgestemd tijdstip op een vooraf vastgestelde locatie. Om dit proces voorspoedig te laten verlopen is er dus aardig wat afstemming nodig tussen de betrokken partijen, variërend van opdrachtgever tot ontwerper, uitvoerder, bouwkundige, leverancier, aannemer, bouwvakker, gebruiker, enzovoorts. Het is daarbij bovendien wenselijk om onderlinge afspraken vast te leggen in samenwerkingscontracten, variërend van traditionele contracteringsmodellen (waaronder Bestek en Bouwteam) tot geïntegreerde contracteringsmodellen (waaronder *Engineer & Construct* en *Design & Construct*) en zogeheten *life cycle* contracteringsmodellen (waaronder *Design, Build, Finance & Maintain*, ofwel DBFM) [97].

Los van deze formele vormen van contractuele samenwerking, is samenwerken ook voornamelijk een interactie tussen mensen. Vanuit sociaal oogpunt zijn er vaak andere aanleidingen om een samenwerking aan te gaan dan vanuit zakelijk of economisch oogpunt. Zo kan een samenwerking tot stand komen als gevolg van eenzijdige (vaak persoonlijke of economische) belangen, of op basis een gemeenschappelijk doel. Daarnaast kan het zeer vervullend zijn om samen te werken op basis van een gelijke *mindset* en wederzijds vertrouwen. Een blijvende succesvolle samenwerking blijkt te ontstaan wanneer zowel een gemeenschappelijk doel, als een gelijke *mindset* en wederzijds vertrouwen aanwezig is [98].



D. SAMENWERKEN OP BASIS VAN EENZIJDIGE BELANGEN

De aanleiding om samen te werken komt voort uit eenzijdige belangen (veelal persoonlijke en economisch gedreven). De samenwerking ontstaat doordat de ene partij iets te bieden heeft dat de andere partij kan gebruiken voor persoonlijk of economisch gewin.



C. SAMENWERKEN OP BASIS VAN GEZAMENLIJKE DOELEN

De aanleiding om samen te werken komt voort uit de wens om een gemeenschappelijk doel te bereiken. Alle betrokken partijen dragen hieraan bij en nemen gezamenlijke verantwoordelijkheid voor het bereiken van het doel.



B. + SAMENWERKEN OP BASIS VAN GELIJKE WAARDEN

De aanleiding om samen te werken komt voort uit de aanwezigheid van gemeenschappelijke waarden. De betrokken partijen zijn gelijkgestemden. Ze handelen als één en worden gesterkt in hun handelen door hun gedeelde *mindset*.



A. + SAMENWERKEN OP BASIS VAN WEDERZIJDIG VERTROUWEN

De aanleiding om samen te werken komt voort uit de aanwezigheid van wederzijds vertrouwen. De betrokken partijen worden gesterkt in hun handelen door open communicatie, ontvankelijkheid voor input van anderen en een algeheel gevoel van veiligheid.

ONDERZOEKENDE HOUDING

Het hbo heeft als taak om beroepsprofessionals voort te brengen die beschikken over zogeheten discipline-overstijgende kennis en onderzoekend vermogen. Vanaf 1986 hebben hogescholen in Nederland daarnaast de wettelijke taak om praktijkgericht onderzoek te doen, in aanvulling op het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek dat plaatsvindt op universiteiten [99]. Het praktijkgericht onderzoek van hogescholen staat in het teken van het oplossen van vraagstukken uit de samenleving en het versterken van de kwaliteit van het hoger beroepsonderwijs. Dit wordt onder andere bereikt door onderzoekers, studenten en docenten nauw samen te laten werken met het midden- en kleinbedrijf (MKB) en de publieke sector (onder andere provincies en gemeenten). De opgedane kennis, inzichten, producten en diensten dragen enerzijds bij aan innovatie in de beroepspraktijk en stromen anderzijds direct door naar het onderwijs [100].

Belangrijk bij het doen van onderzoek is het wetenschappelijke karakter van het onderzoek. Simpelweg houdt dat in dat kennis en inzichten op systematische, geordende en controleerbare wijze worden verkregen. Met andere woorden: er wordt niet gestreefd naar het vinden van een zekere 'waarheid' (die geldt immers slechts totdat er nieuwe inzichten zijn), maar naar het onderbouwen en verifiëren van de bevindingen (op basis van vastgestelde randvoorwaarden, gemaakte aannames en kennis en inzichten die beschikbaar zijn tot dat moment).

Dit vraagt van alle betrokken bij het doen van praktijkgericht onderzoek een zekere onderzoekende houding. In de meest ideale situatie worden informatie en gegevens niet klakkeloos overgenomen en wordt er niet naar een gewenste uitkomst toegewerkt, maar worden bevindingen zelfkritisch en *open-minded* benaderd.



D. KLAKKELOOS OVERNEMEN

Informatie, gegevens en onderzoeksresultaten worden klakkeloos overgenomen en voor 'waar' aangenomen. Er vindt geen verificatie of validatie plaats van bevindingen die volgen uit het gedane onderzoek.



C. UITKOMST-GESTUURD TE WERK GAAN

Bij het uitvoeren van het onderzoek wordt op systematische en geordende wijze kennis en inzicht verkregen. Er wordt echter toegewerkt naar een bepaalde wenselijke uitkomst, onder andere door selectief om te gaan met beschikbare informatie en gegevens.



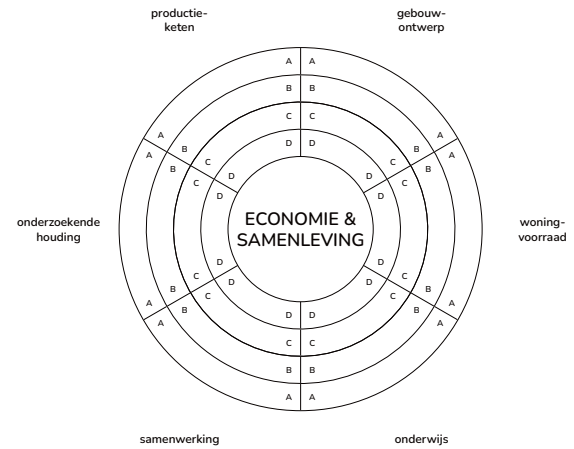
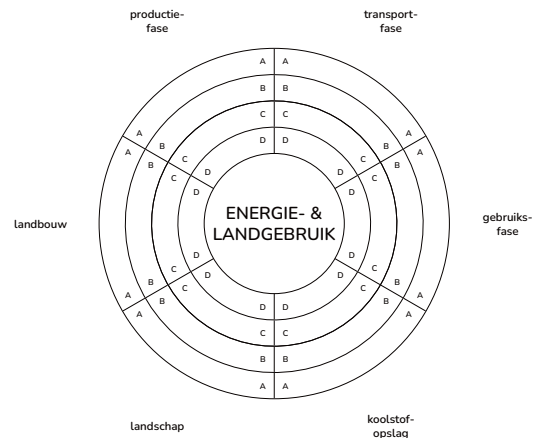
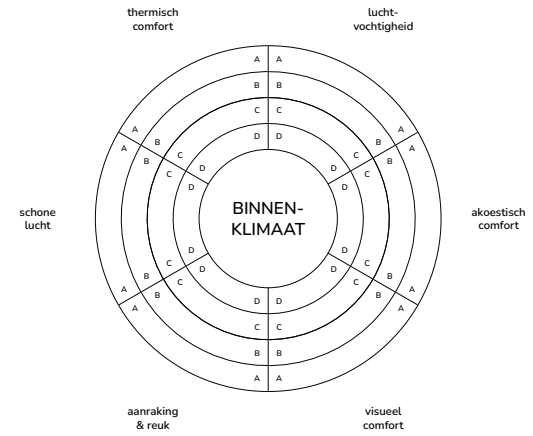
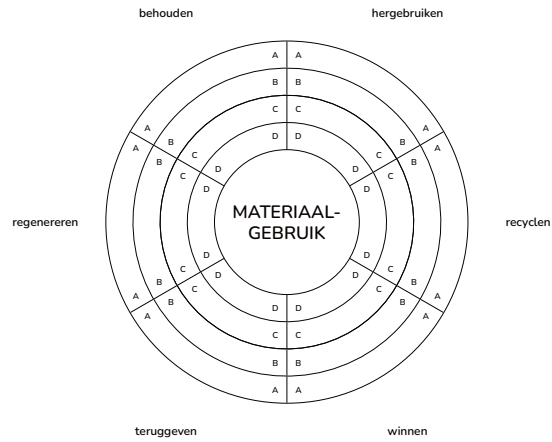
B. ZELFKRITISCH TE WERK GAAN

De bevindingen die volgen uit het gedane onderzoek worden zorgvuldig geverifieerd en gevalideerd, waarbij het onderzoeksproces en de onderzoeksresultaten met een zelfkritische blik worden geëvalueerd.



A. + OPEN-MINDED TE WERK GAAN

Bij het uitvoeren van het onderzoek wordt er met nieuwsgierige en onbevooroordeelde houding omgegaan met de bevindingen. Conclusies worden bijgesteld als nieuwe input leidt tot afwijkende inzichten.



AMBITIEPROFIEL

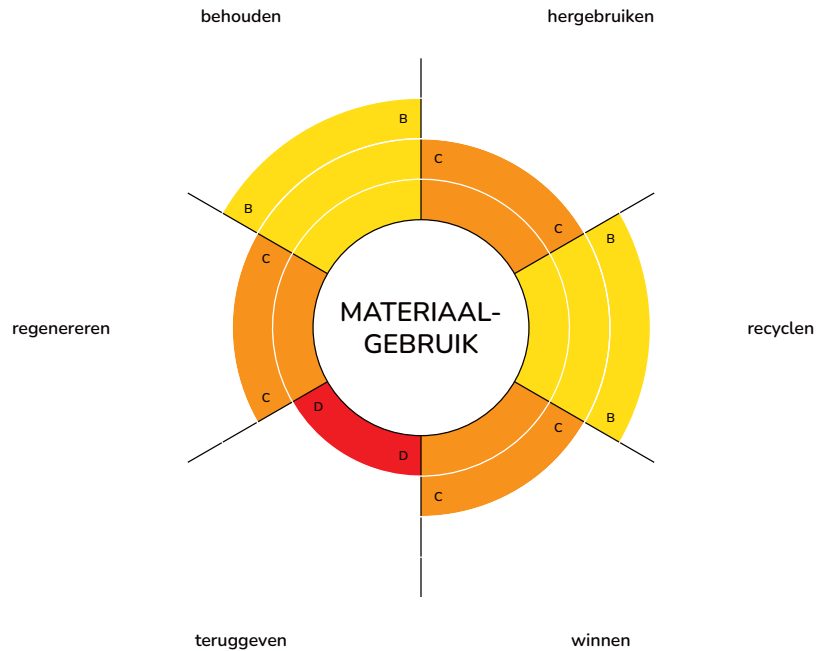
Op basis van de gemaakte keuzes op ambitieniveau kan een zogenaamd 'ambitieprofiel' worden opgesteld op het gebied van MATERIAALGEBRUIK, BINNENKLIMAAT, ENERGIE- & LANDGEBRUIK en ECONOMIE & SAMENLEVING. Dit ambitieprofiel geeft per thema visueel weer hoe hoog of laag het totale ambitieniveau is.

Op de volgende pagina's zijn per thema een tweetal voorbeelden weergegeven en kort beschreven. Het eerste voorbeeld kan een gangbaar scenario voorstellen uit de huidige (bouw) praktijk, waarbij er sprake is van verhoogde (of gemiddelde) ambitie ten opzichte van de normale situatie. Echter, er zijn nog stappen te zetten om te komen tot het meest optimale scenario. Het tweede voorbeeld is het meest optimale scenario, waarbij maximale volhoudbaarheid en gezondheid wordt bereikt voor dat thema.

Vanzelfsprekend zijn er meerdere variaties mogelijk. Ik wil de lezer graag aansporen om zelf aan de slag te gaan met deze diagrammen bij het opstellen van een eigen ambitieprofiel op het gebied van biobased bouwen. Daarom zijn zowel op de pagina hiernaast als achterin deze publicatie 'lege' profiel diagrammen per thema afgebeeld. Kopieer ze en ga met je projectteam, studententeam, consortiumpartners, of beleidsmedewerkers het gesprek aan en stel jullie gezamenlijke ambitieprofiel vast. Voor de volledigheid, een bepaald onderwerp binnen het thema kan uiteraard 'leeg' (wit) blijven als er op dat onderwerp geen ambitie wordt gesteld (omdat dit onderwerp simpelweg niet van toepassing is).

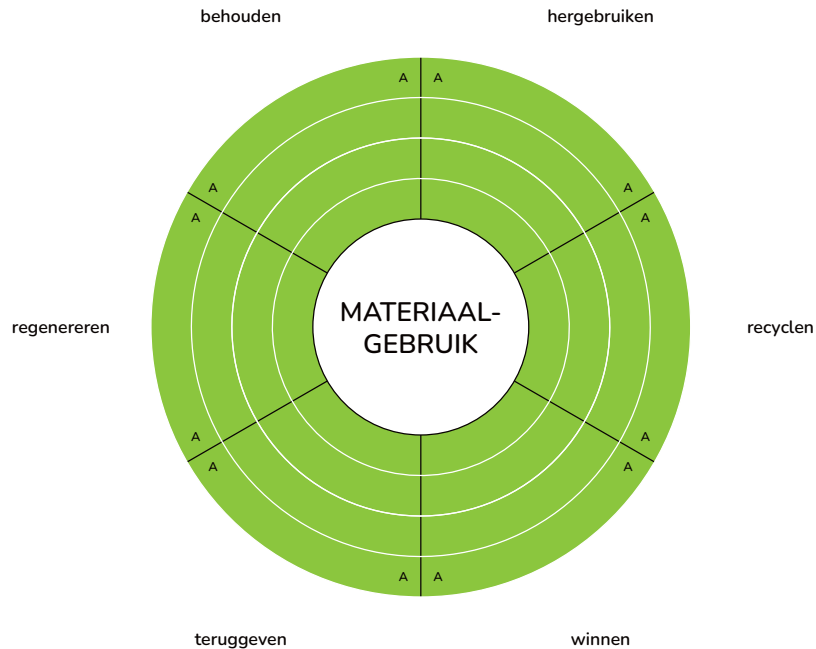
< Per thema is een apart ambitieprofiel op te stellen door gebruik te maken van de verschillende ambitiediagrammen.

GEMIDDELD AMBITIENIVEAU



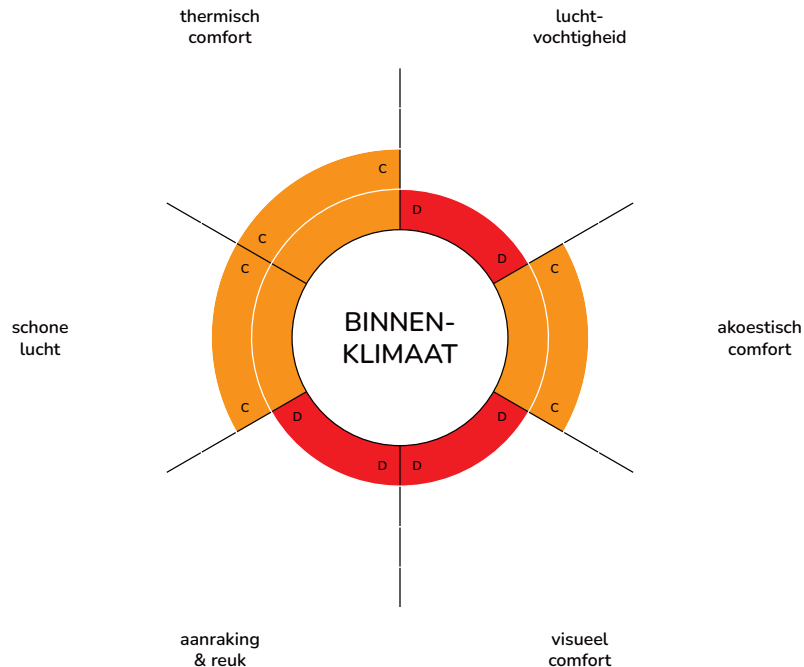
Er worden producten toegepast die relatief weinig onderhoud vragen. Deze producten zijn in potentie herbruikbaar en zijn overwegend vervaardigd uit gerecyclede materialen. Nieuwe grondstoffen worden daarom zeer beperkt gewonnen. Ter compensatie worden er tevens actief nieuwe grondstoffen aangeplant (gegeneereerd). Na een aantal cycli van onderhoud en hergebruik wordt echter de technische levensduur van het product bereikt en zal het als afval worden bestempeld en dus op schadelijke manier terugkeren naar de natuur (door het te verbranden, of te storten).

HOOGSTE AMBITIENIVEAU



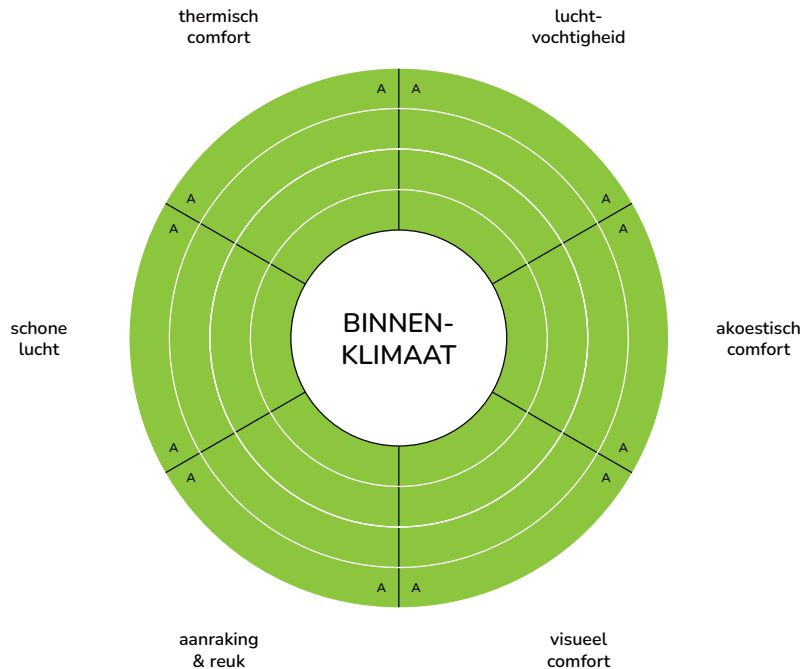
Er worden tweedehandse producten toegepast die onderhoudsvrij zijn, omdat ze een natuurlijk degradatieproces mogen ondergaan zonder verlies van functionele kwaliteiten. De producten zijn bovendien vervaardigd uit eendeloos recyclebare materialen, waardoor er tevens geen noodzaak is om nieuwe grondstoffen te winnen. Desalniettemin worden er actief potentiële nieuwe grondstoffen aangeplant (geregenereerd) om het ontstaan en behoud van ecosystemen te stimuleren. Aan het einde van de functionele of economische levensduur (de technische levensduur wordt immers feitelijk nooit bereikt) worden de grondstoffen als voedsel teruggegeven aan de natuur op de locatie waar ze oorspronkelijk zijn gewonnen. De biologische kringloop is hiermee volledig gesloten.

GEMIDDELD AMBITIENIVEAU



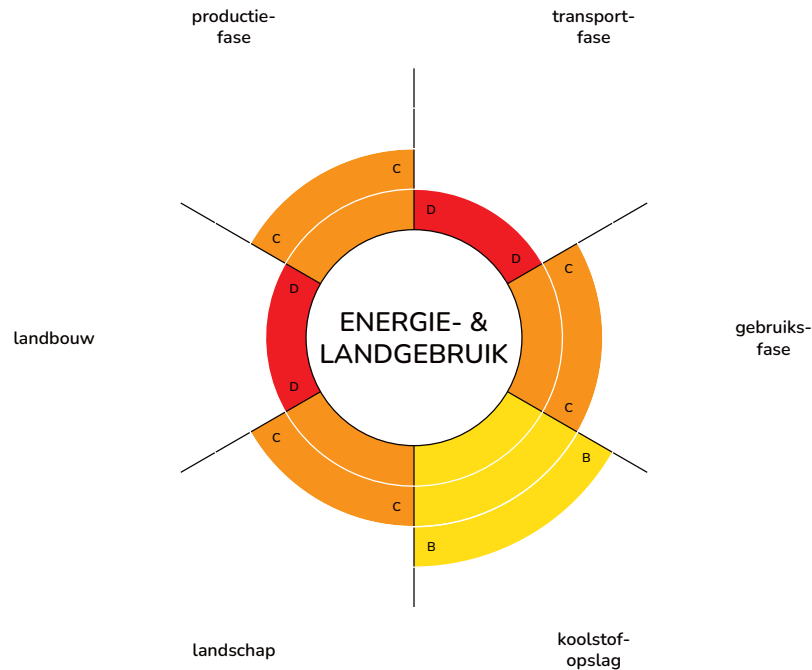
Conform het Bouwbesluit wordt er voldaan aan de minimale vereisten voor thermische isolatie, mechanische ventilatie, akoestische isolatie en daglichttoetreding. Daarnaast worden thermische bruggen, warmtelekken en geluidslekken voorkomen door een gedegen bouwtechnisch ontwerp. Bij de selectie van de materialen wordt echter geen aandacht besteed aan de tactiliteit en geur van deze materialen, waardoor ze overwegend glad en koud aanvoelen. Ondanks dat er gekozen is voor materialen met beperkte giftige emissies hangt er een typische 'nieuw huis' geur in het gebouw.

HOOGSTE AMBITIENIVEAU



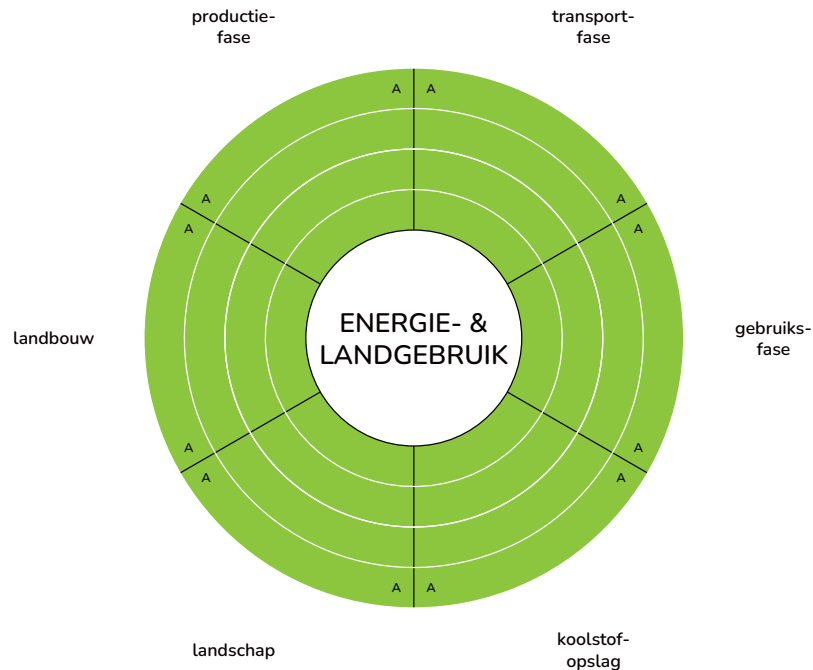
Naast de gangbare vereisten van het Bouwbesluit voor thermische isolatie, akoestische isolatie en daglichttoetreding worden thermische bruggen, warmtelekken en geluidlekken voorkomen door een gedegen bouwtechnisch en volledig damp-open ontwerp. Bovendien worden er passieve klimaatprincipes toegepast om het gebouw te verwarmen en te ventileren en worden er materialen toegepast die de warmte (of koelte) en luchtvochtigheid reguleren en zelfs geluiddempend werken. In de gehele ruimte zijn natuurlijke materialen te zien, die zelfs aanmoedigen om er mee in aanraking te komen. Het ruikt er heerlijk fris en eventuele ongewenste geuren (vaak toxische stoffen, binnengebracht door mensen, zoals parfums) worden door de aanwezige materialen geneutraliseerd. Zelfs de binnenruimte lijkt vloeiend over te lopen in de natuurlijke buitenomgeving en natuurgeluiden zijn hoorbaar op de achtergrond.

GEMIDDELD AMBITIENIVEAU



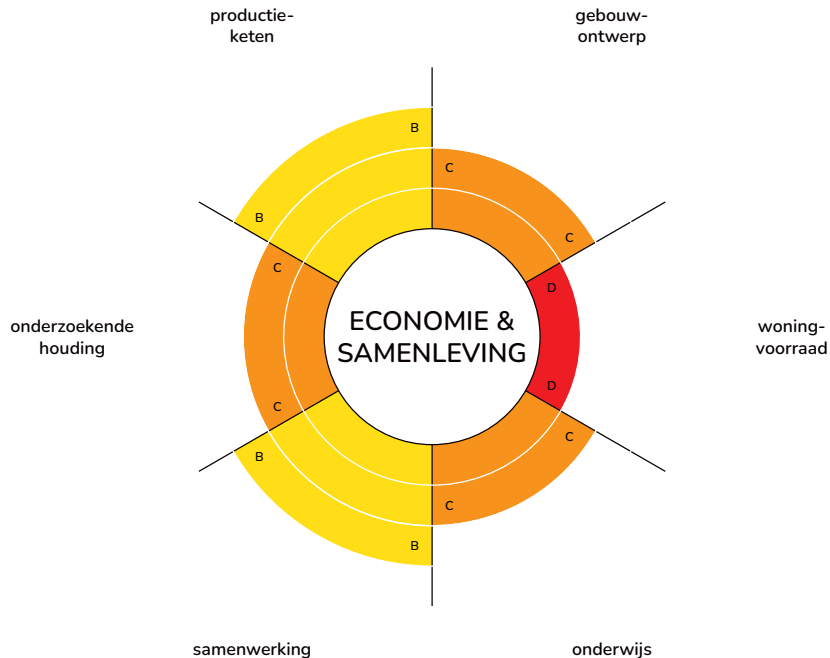
Bij de selectie van materialen wordt gekozen voor materialen die voortkomen uit de oogst van landbouwgewassen uit intensieve landbouw op basis van monocultuur en bomen die actief worden aangeplant voor toekomstige oogst. Met het winnen van deze materialen wordt een relatief grote hoeveelheid koolstof langdurig vastgelegd. De productie van bouwproducten vindt plaats in relatief lichte industriële omstandigheden. Alle benodigde grondstoffen en materialen moeten echter worden getransporteerd uit landen verspreid over de gehele wereld. Bij het in gebruik nemen van het gebouw dat wordt vervaardigd met deze materialen wordt bewust aandacht besteed aan het moment waarop en de mate waarin er moet worden gekoeld of verwarmd.

HOOGSTE AMBITIENIVEAU



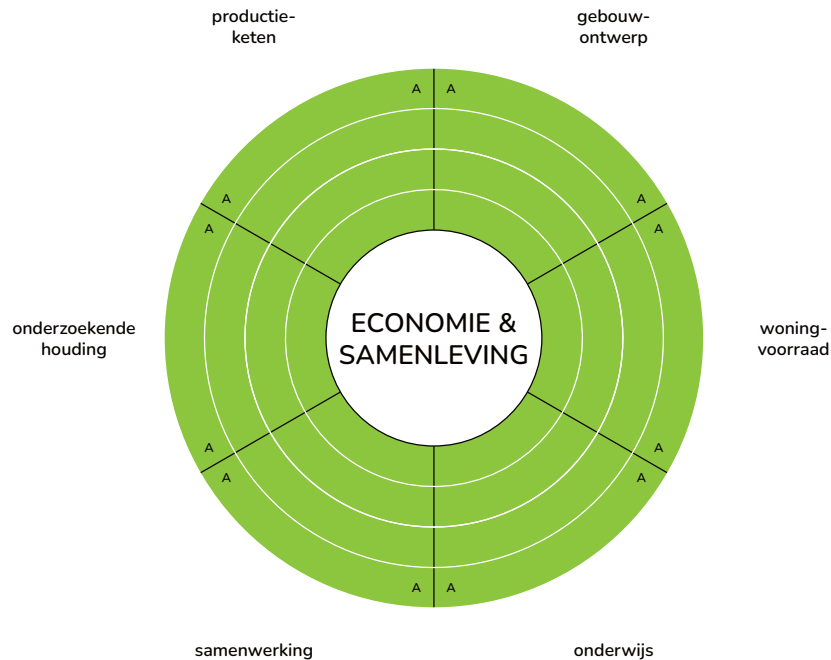
Bij de selectie van materialen wordt gekozen voor materialen die voortkomen uit de oogst van landbouwgewassen uit holistische landbouw, maar ook bomen en zeegewassen uit regeneratieve en herstellende landschappen en zeeën. Met het winnen van deze materialen wordt voor een deel koolstof langdurig vastgelegd in de materialen, maar het overgrote gedeelte wordt vastgelegd in de (zee)bodem. De productie van bouwproducten vindt plaats op basis van mankracht en zelfgroei van materialen. Alle benodigde grondstoffen en materialen worden regionaal getransporteerd met low-tech transportmiddelen. Bij het in gebruik nemen van het gebouw dat wordt vervaardigd met deze materialen worden passieve klimaatprincipes toegepast voor het verwarmen, koelen en ventileren van het gebouw.

GEMIDDELD AMBITIENIVEAU

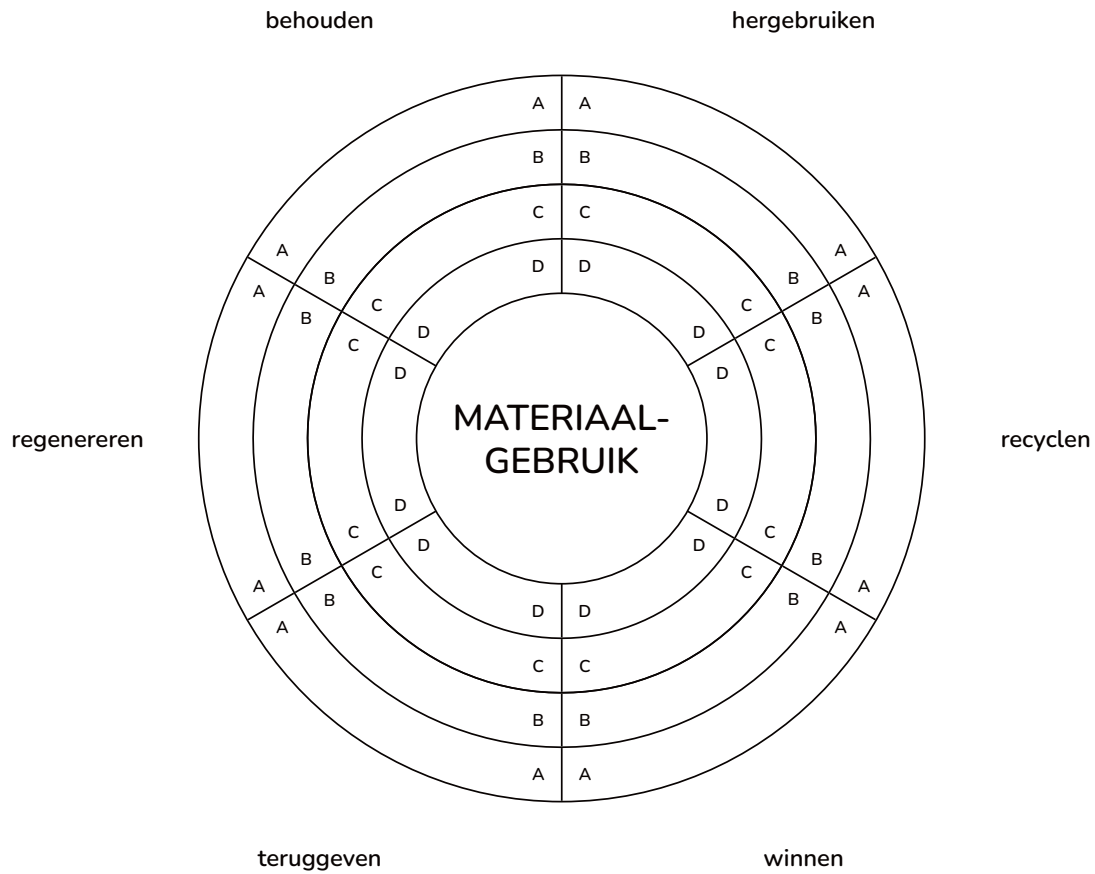


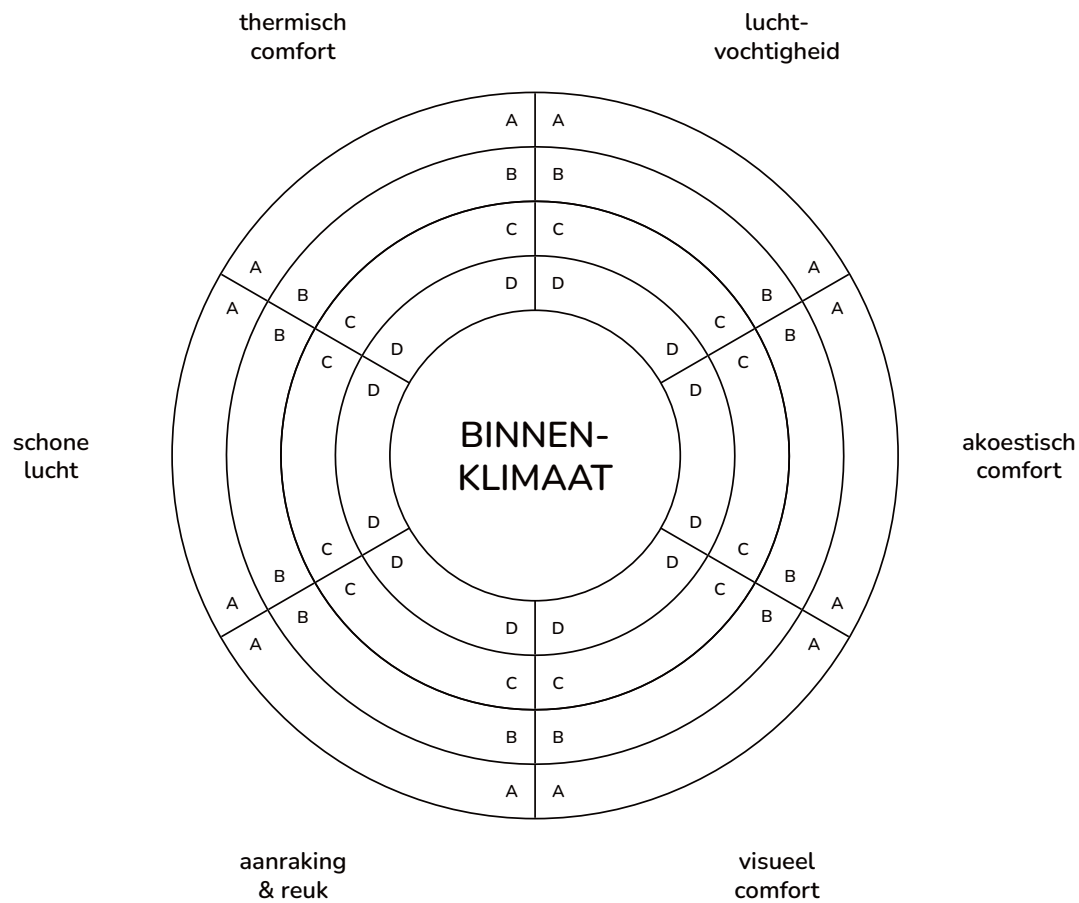
Bij vraag naar nieuwe woningen wordt er een nieuw gebouw ontwikkeld op basis van conventionele ontwerpprincipes, echter conventionele materialen worden vervangen door biobased materialen. Voor deze materialen is er sprake van een inzichtelijke, korte en lokale productieketen. Nieuwe kennis en informatie wordt opgedaan via kennisdeling en participatie in innovatietrajecten, waarbij er wordt samengewerkt op basis van gelijke doelen en eenzelfde *mindset*. Bij het uitvoeren van onderzoek wordt er echter bewust toegewerkt naar een gewenste uitkomst.

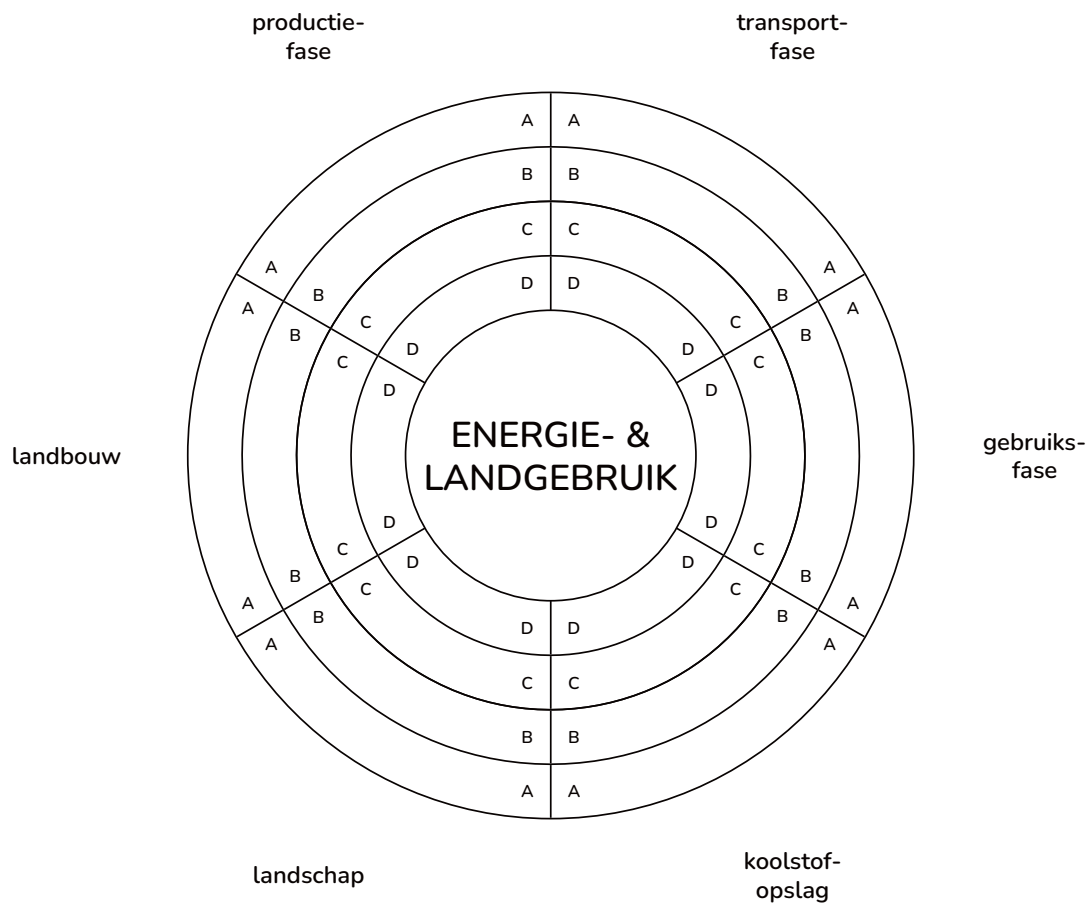
HOOGSTE AMBITIENIVEAU

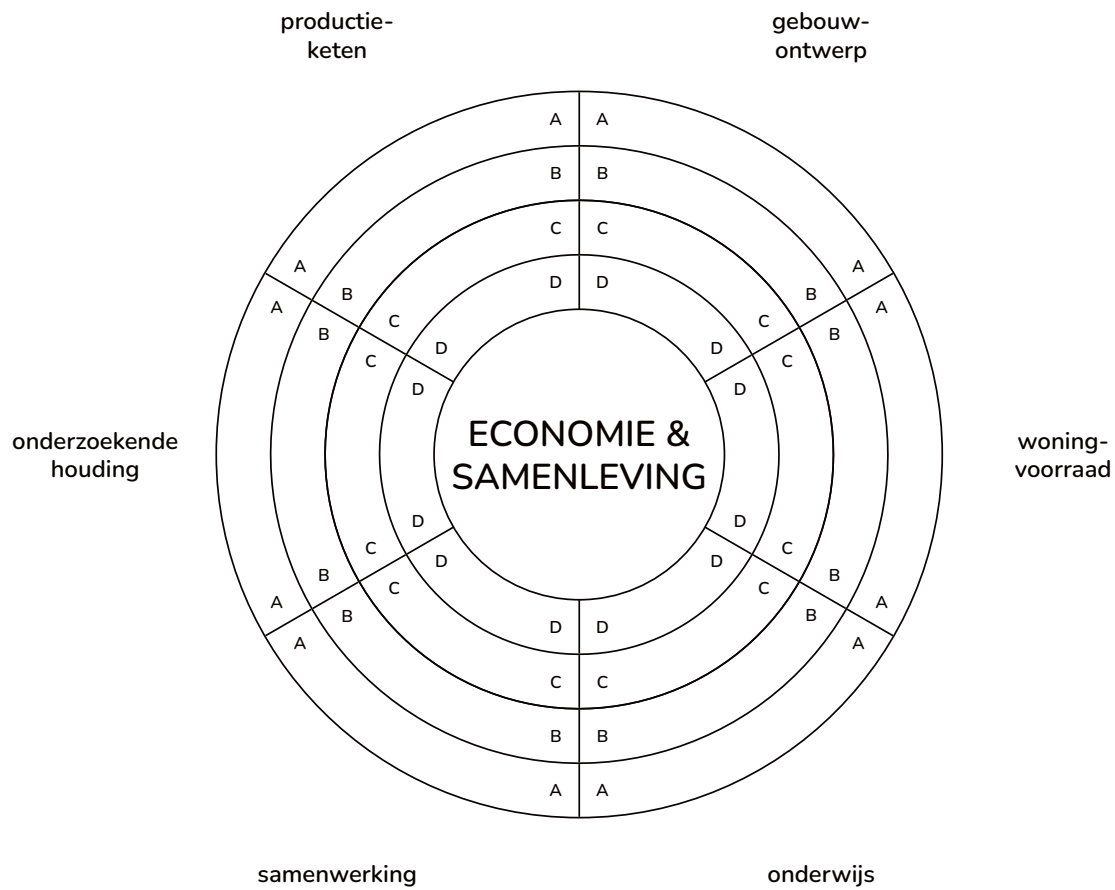


Bij vraag naar nieuwe woningen worden bestaande gebouwen gesplitst, waarbij holistische ontwerpprincipes worden gehanteerd uit de Bouwbiologie en Biofilisch ontwerpen. De materialen die hiervoor nodig zijn komen voort uit inzichtelijke, korte, lokale én circulaire productieketens. Eerder opgedane kennis en informatie wordt overhandigd en nieuwe kennis wordt verkregen door interventies aan te gaan in de samenleving. Daarbij wordt er met alle betrokken stakeholders samengewerkt op basis van gelijke doelen, eenzelfde *mindset* en wederzijds vertrouwen. Bij het uitvoeren van onderzoek worden resultaten *open-minded* geanalyseerd met een zelfkritische blik.









REFERENTIES

- [1] R. Weeber, „De eerste nederzettingen rond de Needse Berg,” Canon van Neede, [Online]. Available: <https://het-canon.nl/nederzettingen-needse-berg/>. [Geopend 16 September 2024].
- [2] Canon van Nederland, „1400-1700 Houten huizen,” Canon van Nederland, [Online]. Available: <https://www.canonvannederland.nl/nl/noord-holland/waterland/houten-huizen>. [Geopend 16 September 2024].
- [3] H. Lintsen, M. Bakker, E. Homburg, D. Van Lente, J. Schot en G. Verbong, „Geschiedenis van de techniek in Nederland. De wording van een moderne samenleving 1800-1890. Deel III. Textiel. Gas, licht en elektriciteit. Bouw,” Walburg Pers, Zutphen, 1993.
- [4] H. Schippers, „Bouwt in Beton! Introductie en acceptatie van het gewapend beton in Nederland (1890-1940),” Betonvereniging, Gouda, 1995.
- [5] Naeff, „Geschiedenis van de kunststoffen,” Naeff, [Online]. Available: <https://www.naeff.nl/nl/geschiedenis-van-de-kunststoffen>. [Geopend 20 August 2024].
- [6] European Route of Industrial Heritage, „How it started,” Cultural Route of the Council of Europe, [Online]. Available: <https://www.erih.net/how-it-started>. [Geopend 20 August 2024].
- [7] D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers en W. W. Behrens III, *The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, New York: Universe Books, 1972.
- [8] World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [9] G. Minke, *Alternatives Bauen: Untersuchungen und Erfahrungen mit alternativen Baustoffen und Selbstbauweisen*, Kassel: Forschungslabor für Experimentelles Bauen, Gesamthochschule Kassel, 1980.
- [10] F. Stofberg en K. Duijvestein, „Basisdoc: XS 2 duurzaam bouwen,” SenterNovem, Den Haag, 2008.
- [11] M. De Wit, J. Hoogzaad, S. Ramkumar, H. Friedl en A. Douma, „The Circularity Gap Report - An analysis of the circular state of the global economy,” Circle Economy, Amsterdam, 2018.
- [12] M. De Wit en L. Haigh, „Circularity Gap Report 2022,” Ruparo, Amsterdam, 2022.
- [13] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koningsrelaties; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat; Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, „Nationale Aanpak Biobased Bouwen,” 8 November 2023. [Online]. Available: <https://buildingbalance.eu/app/uploads/2023/11/NationaleAanpakBiobasedBouwen2023-2030-1.pdf>.
- [14] Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, „Historische spouwmuren,” Gids Cultuurhistorie, vol. 27, 2013.
- [15] G. R. Passarelli, „Sick building syndrome: An overview to raise awareness,” *Journal of Building Appraisal*, vol. 5, pp. 55-66, 2009.
- [16] E. Y. Nakanashi, P. Poulin, P. Blanchet, M.-E. Dubuis, M. Drouin, C. Rhéaume en I. Goupil-Sormany, „A systematic review of the implications of construction materials on occupants' physical and psychological health,” *Building and Environment - Elsevier*, vol. 257, 2024.
- [17] J. G. Allen, A. Bernstein, X. Cao, E. S. Eitland, S. Flanigan, M. Gokhale, J. M. Goodman, S. Klager, L. Klingensmith, J. G. C. Laurent, P. MacNaughton, S. Pakpour, J. D. Spengler, J. Vallarino, A. Williams, A. Young en J. Yin, „The 9 Foundations of a Healthy Building,” Harvard T.H. Chan School of Public Health, Harvard, 2016.
- [18] V. Yanovshtchinsky, K. Huijbers en A. Van den Dobbelsteen, *Architectuur als klimaatmachine: Handboek voor duurzaam comfort zonder stekker*, Delft: SUN, 2013.
- [19] A. Van Hal, G. De Vries en J. Brouwers, *Kiezen voor verandering: Duurzaam Bouwen in Nederland*, Best: AEnas, 2000.
- [20] Building Balance, „Bouwmaterialen van eigen bodem,” Building Balance, [Online]. Available: <https://buildingbalance.eu/>. [Geopend 15 Augustus 2024].
- [21] NEN Nederlands Normalisatie-instituut, „NEN-EN 16575 Biobased producten - Woordenlijst,” NEN, Delft, 2014.
- [22] Kennisbank Biobased Bouwen, „Definitie Bio-Based of Circular,” Kennisbank Biobased Bouwen, [Online]. Available: <https://www.biobasedbouwen.nl/definitie-biobased/>. [Geopend 20 August 2024].
- [23] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), „MilieuPrestatie Gebouwen - MPG,” Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 1 April 2017. [Online]. Available: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg>.
- [24] Ecochain, „De Bepalingsmethode (MKI) is aangepast: Wat de EN15804+A2 betekent voor jouw bedrijf,” Ecochain, [Online]. Available: <https://ecochain.com/nl/blog/wat-en15804-a2-voor-jou-betekent/>. [Geopend 21 Augustus 2024].
- [25] Building Circularity Index, „Building Circularity Index,” Building Circularity Index, [Online]. Available: <https://www.bcigebouw.nl/>. [Geopend 21 August 2024].
- [26] BREEAM-NL, „BREEAM-NL is de certificeringsmethode voor een duurzaam gebouwde omgeving,” BREEAM-NL, [Online]. Available: <https://www.breem.nl/>. [Geopend 21 August 2024].
- [27] International WELL Building Institute, „WELL Building Standard,” International WELL Building Institute, [Online]. Available: <https://standard.wellcertified.com/well>. [Geopend 21 August 2024].
- [28] T. Verhulst, L. Quax, M. Van Vliet en S. Bosch, „Het Nieuwe Normaal: Leidraad HNN Gebouw,” 7 December 2023. [Online]. Available: <https://www.hetnieuwenormaal.nl/leidraden/gebouw/uitgangspunten/>.
- [29] International Living Future Institute, „Living Building Challenge: A Visionary Path to a Regenerative Future,” International Living Future Institute, Seattle, 2019.

- [30] P. Teeuw, K. Aalbers, C. De Koning en N. Stukje, *Duurzame ideeën & DCBA Methodiek*, Delft: AEnas, 2010.
- [31] Ellen MacArthur Foundation, „Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition,” Ellen MacArthur Foundation, Cowes (Isle of Wight), 2013.
- [32] R. Rovers, *Gebroken Kringlopen - Naar een volhoudbaar gebruik van bronnen*, Delft: Eburon, 2018.
- [33] M. Leusink en J. Smeets, „Duurzaam betaalbaar: een explorerend onderzoek naar het samenspel van levensduren bij woningen,” Technische Universiteit Eindhoven (TU/e), Eindhoven, 2014.
- [34] A. Heringer, L. B. Howe en M. Rauch, *Upscaling Earth - Material Process Catalyst*, Zurich: gta Verlag, 2022.
- [35] H. Luu, K. Terwel en P. Peters, „Toepassing van een donorskelet,” *Bouwen met Staal* nr. 298, pp. 24-29, April 2024.
- [36] G. Minke, *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2021.
- [37] P. Ross, „Fungal Mycelium Bio-materials,” in *Cultivated Building Materials: Industrialized Natural Resources for Architecture and Construction*, Basel, Birkhäuser Verlag GmbH, 2017, pp. 134-141.
- [38] WWF, „Kom in actie voor de ecosystemen en voor onze gezondheid,” WWF, [Online]. Available: <https://wwf.be/nl/focus/vernetiging-aantasting-leefgebieden>. [Geopend 23 August 2024].
- [39] A. De Gier, S. C. Gottlieb en M. Buser, „Categorizing construction waste: Closing the gap between European waste regulation and management practices,” *Sustainable Futures* (Elsevier), vol. 7, nr. June, 2024.
- [40] N. N. H. Azhar, D. T.-C. Ang, R. Abdullah, J. A. Harikrishna en A. Cheng, „Bio-Based Materials Riding the Wave of Sustainability: Common Misconceptions, Opportunities, Challenges and the Way Forward,” *Sustainability*, vol. 14, nr. 5032, 2022.
- [41] W. McDonough en M. Braungart, *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, New York: North Point Press, 2002.
- [42] InnProBio: Forum for Bio-Based Innovation in Public Procurement, „Biologische afbreekbaarheid: enkele labels en feiten op een rij,” 13 August 2024. [Online]. Available: https://www.biobasedconsultancy.com/uploads/files/InnProBio_Factsheet03_NL.pdf.
- [43] GeologyScience, „Bergbouw (Orogenese),” *GeologyScience*, 12 December 2023. [Online]. Available: <https://nl.geologyscience.com/geologie/gebergtevorming-orogenese/>.
- [44] M. J. Van der Meulen, A. P. Wiersma, M. Van der Perk, H. Middelkoop en N. Hobo, „Sediment management and the renewability of floodplain clay for structural ceramics,” *Journal of Soils and Sediments - Springer*, vol. 9, pp. 627-639, 2009.
- [45] Kiss the Ground, „Regenerative Resources,” Kiss the Ground, [Online]. Available: <https://kisstheground.com/education/resources/>. [Geopend 07 September 2024].
- [46] Studio Marco Vermeulen, „Ruimte voor Biobased Bouwen: Strategische Verkenning,” Rijksoverheid, Den Haag, 2020.
- [47] N. Ece, *Building Biology: Criteria and Architectural Design*, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2018.
- [48] W. Zhong, T. Schröder en J. Bekkering, „Biophilic design in architecture and its contribution to health, well-being, and sustainability: A critical review,” *Frontiers of Architectural Research*, vol. 11, pp. 114-144, 2022.
- [49] K. Green en D. Keltner, „What Happens When We Reconnect With Nature,” *Greater Good Magazine*, 1 March 2017. [Online]. Available: https://greatergood.berkeley.edu/article/item/what_happens_when_we_reconnect_with_nature.
- [50] S. R. Kurvers en J. L. Leijten, „Thermisch comfort: huidige en toekomstige normen,” *TVVL Magazine*, vol. 06, nr. Binnenklimaat, pp. 46-51, 2013.
- [51] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, „Bouwbesluit 2012,” 7 September 2023. [Online]. Available: <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012>.
- [52] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), „Vragen en antwoorden Vocht en Schimmels in woningen,” Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, Den Haag, 2015.
- [53] C. Rose, „Dampopen bouwen: laat de bouw fysica haar werk doen,” *KERN*, [Online]. Available: <https://kennisinstituutkern.nl/blogs/dampopen-bouwen-laat-de-bouw fysica-haar-werk-doen/>. [Geopend 13 September 2024].
- [54] Steunpunt Duurzaam Bouwen, „Akoestisch Comfort - Thema: Gezonde binnenomgeving, nummer 4.02,” [Online]. Available: <https://www.steunpuntduurzaam bouwen.be/wp-content/uploads/4.02-Akoestisch-comfort.pdf>. [Geopend 13 September 2024].
- [55] W. Browning, C. Ryan en J. Clancy, „14 Patterns of Biophilic Design: Improving Health & Well-Being in the Built Environment,” Terrapin Bright Green LLC, New York, 2014.
- [56] Team Kennisdomein, „De invloed van licht op de mens,” Kennisdomein, 2023 December 11. [Online]. Available: <https://www.kennisdomein.nl/maatschappelijk/de-invloed-van-licht-op-de-mens/>.
- [57] A. B. Guarneri, *Vegetarian Architecture: Case Studies on Building and Nature*, Berlin: Jovis Verlag GmbH, 2020.
- [58] A. Sussman en J. Hollander, *Cognitive Architecture: Designing for How We Respond to the Built Environment*, New York: Routledge, 2021.

- [59] D. Pearson, *The Natural House Book: Creating a healthy, harmonious, and ecologically-sound home environment*, New York: Simon & Schuster / Fireside, 1989.
- [60] H. Vrijmoed, *Handleiding voor Gezond Woonplezier: Op basis van bouwbiologische principes en wetenschappelijke onderbouwing*, Zwolle: Boekendame, 2023.
- [61] Gids Duurzame Gebouwen .brussels, „Bouwen met ongebakken aarde,” Gids Duurzame Gebouwen .brussels, 9 April 2024. [Online]. Available: <https://gidsduurzamegebouwen.brussels/bouwen-met-ongebakken-aarde#luchtqualiteit-gezondheidsaspecten>.
- [62] TechnischWerken Redactie, „Wat de Wet van behoud van energie?,” Technisch Werken, 19 September 2016. [Online]. Available: <https://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-is-de-wet-van-behoud-van-energie/>.
- [63] J. Manning en J. Garbon, *Vrije Energie: Schoon, veilig, goedkoop en onbeperkt*, Breda: Obelisk Boeken, 2019.
- [64] K. Van Asdonk, *Energie in Overvloed: Introductie in Vrije Energie*, Breda: Obelisk Boeken, 2023.
- [65] P. Friedlingstein, M. O'Sullivan, M. W. Jones, R. M. Adrew, D. C. Bakker, J. Hauck en P. Landschützer, „Global Carbon Budget 2023,” 5 December 2023. [Online]. Available: <https://essd.copernicus.org/articles/15/5301/2023/>.
- [66] R. Van Amelrooij, *De CO2 Mist: Wat nooit gezegd wordt over CO2 en de opwarming van de Aarde*, Breda: Obelisk Boeken, 2023.
- [67] S. Kroonenberg, *De menselijke maat: De aarde over tienduizend jaar*, Amsterdam: Uitgeverij Atlas, 2006.
- [68] A. Buis, „The Atmosphere: Getting a Handle on Carbon Dioxide,” NASA, 9 October 2019. [Online]. Available: <https://science.nasa.gov/earth/climate-change/greenhouse-gases/the-atmosphere-getting-a-handle-on-carbon-dioxide/>.
- [69] A. E. Jensen, „Fotosynthese is de brandstof van het leven,” *Wetenschap in Beeld*, 17 July 2021. [Online]. Available: <https://wibnet.nl/natuur/planten/wat-is-fotosynthese>.
- [70] M. Sobota, I. Driessen en M. Holländer, „Carbon-Based Design: Onderzoek naar de milieu-impact van de woningbouw,” CITYFÖSTER architecture + urbanism, Hanover, 2022.
- [71] Rijksoverheid, „Klimaatbeleid,” Rijksoverheid, [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatbeleid>. [Geopend 8 September 2024].
- [72] H. Wisse, „BouwHub: wat is het en hoe profiteer je ervan?,” *Bouwend Nederland*, 13 July 2021. [Online]. Available: <https://www.bouwendnederland.nl/nieuws/algemeen/bouwhub-wat-is-het-en-hoe-profiteer-je-ervan>.
- [73] L. De Jongh, S. Schenau, J. Van Berkel, P. Bogaart, C. Driessen, E. Horlings, M. Lof, R. Mosterd en L. Hein, „Natuurlijk Kapitaalrekening Nederland 2013-2018 - De Koolstofbalans van Nederland,” 30 July 2021. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/natuurlijk-kapitaalrekeningen-nederland-2013-2018/4-de-koolstofbalans-van-nederland>.
- [74] Belgische Houtconfederatie, „Hoe zit het met de rol van het bos in de koolstofopslag?,” 20 April 2022. [Online]. Available: <https://www.houtconfederatie.be/koolstofopslag-bos/>.
- [75] ADEME, „Organic carbon in soils: Meeting climate change and food security challenges,” ADEME Editions, Angers, 2015.
- [76] K. Bra, „What Is Blue Carbon and Why Does It Matter?,” *Sustainable Travel International*, 8 January 2021. [Online]. Available: <https://sustainabletravel.org/what-is-blue-carbon/>.
- [77] A. Kentish, „Meer opslagcapaciteit CO2 in zee dan op land,” *MO**, 14 June 2023. [Online]. Available: <https://www.mo.be/nieuws/laten-we-het-eens-hebben-over-diepblauwe-koolstof>.
- [78] K. Filbee-Dexter, A. Pessarrodona, M. F. Pedersen, T. Wernberg, C. M. Duarte, J. Assis, T. Bekkby, M. T. Burrows, D. F. Carlson, J.-P. Gattuso, H. Gundersen, K. Hancke, K. A. Krumhansl, T. Kuwae, J. J. Middelburg, P. J. Moore, A. M. Queirós, D. A. Smale, I. Sousa-Pinto, N. Suzuki en D. Krause-Jensen, „Carbon export from seaweed forests to deep ocean sinks,” *Nature*, vol. 17, nr. *Nature Geoscience*, pp. 552-559, 2024.
- [79] BOOM Landscape; De Natuurverdubbelers, „Ontwerpend Onderzoek Biobased (Ver-)Bouwen in het Veenweidegebied,” BOOM Landscape, Amsterdam, 2022.
- [80] BOOM Landscape; De Natuurverdubbelers, „Ontwerpend Onderzoek Biobased (Ver-)Bouwen in Groot Haarzuilens,” BOOM Landscape, Amsterdam, 2022.
- [81] K. De Decker, „Kan het verbranden van biomassa weer duurzaam worden?,” *Low-Tech Magazine*, 20 September 2020. [Online]. Available: <https://solar.lowtechmagazine.com/nl/2020/09/how-to-make-biomass-energy-sustainable-again/>.
- [82] P. Hermelink, I. Bekkers en P. Leboucq, „Regeneratieve Stad en Infra,” *Biobased Creations*, 2024.
- [83] Agro Forestry Nederland, „Agroforestry,” Agro Forestry Nederland, [Online]. Available: <https://www.agro-forestry.nl/agroforestry/>. [Geopend 15 August 2024].
- [84] F. Anrijs, „Permacultuur: Transitie naar meer agro-ecologie,” *Permacultuurnetwerk*, 20 June 2013. [Online]. Available: <https://permacultuurnetwerk.eu/permacultuur-transitie-naar-meer-agro-ecologie/>.
- [85] T. Rau en S. Obenhuber, *Material Matters: Het alternatief voor onze rooibouwmaatschappij*, Haarlem: Bertram + de Leeuw Uitgevers, 2017.
- [86] J.-M. Van Sonsbeek, F. Bos, J. Ebrechts en E. Verkade, „De Nederlandse economie in historisch perspectief,” Centraal Planbureau (CPB), Den Haag, 2023.

- [87] R. De Weert, „Wat is duurzamer, lange of korte productieketens? Drie take-aways,” Change Inc., 21 April 2023. [Online]. Available: <https://www.change.inc/future-leadership/dit-moet-je-weten-over-korte-en-lange-ketens-de-drie-take-aways-van-het-changemaker-college-39868>.
- [88] J. Gypmel, *Geschiedenis van de Architectuur: van de Oudheid tot Heden*, Köln: Könemann, 1996.
- [89] M. Pawlyn, *Biomimicry in Architecture*, London: RIBA Publishing, 2011.
- [90] S. Attia, *Regenerative and Positive Impact Architecture: Learning from Case Studies*, Cham: Springer Nature, 2018.
- [91] J. Van der Schuit, A. Van Hoorn, N. Sorel en T. Rood, „Kenmerken, voorraad en materiaalketens van de bouw - Naar een circulaire bouw: beschrijving huidige woning- en utiliteitsbouw,” PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2023.
- [92] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties - Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, „Programma Woningbouw,” Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Den Haag, 2022.
- [93] A. Bletsis, M. Kamps en J. Van Bommel, „Productgroep Analyse Woningen: Deelrapport - WP2 Circulaire maatregelen en Toekomstbeelden,” TNO Publiek, Den Haag, 2024.
- [94] A. Hoeve, H. Van Vlokhoven, L. Nieuwenhuis en P. Den Boer, *Handboek beroepsgerichte didactiek. Effectief opleiden in het mbo en hbo.*, Huizen: PICA, 2021.
- [95] H. Schaap, H. Van Vlokhoven, K. Swierts en E. De Bruijn, „Het Lerend Vermogen van Leerwerkgemeenschappen,” Hogeschool Utrecht, Utrecht, 2011.
- [96] G. E. Miller, „The assessment of clinical skills/competence/performance,” *Academic Medicine*, vol. 65, nr. Number 9 - September Supplement, pp. 63-67, 1990.
- [97] TwynstraGudde, „Meest bekende contractvormen,” TwynstraGudde, [Online]. Available: <https://www.twynstragudde.nl/kennisbank/meest-bekende-contractvormen>. [Geopend 4 September 2024].
- [98] S. Pradeepa, „Collective Mindset: The Secret to Lasting Success (+9 Ways),” *Believe in Mind*, 6 June 2023. [Online]. Available: <https://www.believeinmind.com/mindset/collective-mindset/>
- [99] H. Jochems, *Op onderzoek uit! 20 jaar regieorgaan SIA*, Nijmegen: R&Z Boeken, 2023.
- [100] Regieorgaan SIA, „Praktijkgericht onderzoek van hogescholen,” Regieorgaan SIA, [Online]. Available: <https://regieorgaan-sia.nl/praktijkgericht-onderzoek/praktijkgericht-onderzoek-van-hogescholen/>. [Geopend 14 September 2024].
- [101] B. Tjeerdsma, J. Van Dam en P. Fraanje, „Hernieuwbare grondstoffen als bouw materiaal: Tien leverbare producten,” Drukkerij van den Boogaard, Oisterwijk, 2002.
- [102] J. Van Dam en M. Van den Oever, „Catalogus Biobased bouwmaterialen; het groene bouwen,” Propress, Wageningen, 2012.
- [103] J. Van Dam en M. Van den Oever, „Catalogus biobased bouwmaterialen 2019 - Het groene en circulaire bouwen,” Propress, Wageningen, 2019.
- [104] W. Böttger, „-Biobased bouwen: Op zoek naar toegevoegde waarde,” De Bondt Grafimedia, Barendrecht, 2016.
- [105] O. Van der Velde en M. Van Leeuwen, „Potentie biobased materialen in de bouw,” NIBE Research bv, Bussum, 2019.
- [106] M. Bijleveld, „Kennisnotitie Biobased Bouwen,” CE Delft, Delft, 2021.
- [107] W. Schik, K. Meijer, D. Verkerk, D. Paardekooper, L. Grim en T. Peek, „De urgente belofte van biobased bouwen: Een verkenning van de mogelijkheden voor het versneld toepassen van hernieuwbare bouwmaterialen in de bouw en infrastructuur,” Arcadis Nederland B.V., Amersfoort, 2022.
- [108] L. Van Dijk, W. Groenevelt en Y. Van Koert-Wertwijn, „Brandveiligheid biobased isolatiematerialen,” Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V., Zwolle, 2022.
- [109] College van Rijksadviseurs, „Inspiratieboek biobased en natuurinclusief bouwen,” College van Rijksadviseurs, Den Haag, 2023.
- [110] College van Rijksadviseurs, Woonstichting 'thuis, Werkstatt, GEAR, Waterweg Wonen, PeetersenDaan en Maarten Schrama, KAW, „Biobased & Natuurinclusief renoveren van corporatiebezit,” College van Rijksadviseurs, Den Haag, 2023.
- [111] Biobased Inkopen, „Hét biobased inkoopplatform voor de overheid en het bedrijfsleven,” Nationale Inkoopdatabase Biobased Producten, [Online]. Available: <https://biobasedinkopen.nl/>. [Geopend 20 Augustus 2024].
- [112] Nationaal Kenniscentrum Biobased Bouw, „Nationaal Kenniscentrum Biobased Bouw (NKBB),” Nationaal Kenniscentrum Biobased Bouw, [Online]. Available: <https://nkbb.org/>. [Geopend 20 Augustus 2024].
- [113] E. Schumacher, *Hou het klein: Een economische studie waarbij de mens weer meetelt* (vertaling: Small is beautiful), Baarn: Ambo, 1973.
- [114] M. Van Vliet, J. Van Grinsven en J. Teunizen, „Circular Buildings – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid 2.0,” Dutch Green Building Council (DGBC), Den Haag, 2021.
- [115] A. Van den Dobbeltsteen, „655: Towards closed cycles - New strategy steps inspired by the Cradle to Cradle approach,” in 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA 2008), Dublin, 2008.
- [116] Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN, „25 Richtlijnen van de Bouwbiologie,” [Online]. Available: <https://www.baubiologie.de/downloads/25leitlinien-nl.pdf>. [Geopend 13 September 2024].

OVER MIJZELF, FRANK HUIJBEN

Ik heb Bouwkunde (Constructief Ontwerpen en Architectuur) gestudeerd aan de Technische Universiteit in Eindhoven (TU/e). Geïnspireerd geraakt door mijn afstudeerwerk, gaf Ingenieursbureau ABT mij in 2008 de gelegenheid om aan de TU/e een promotieonderzoek uit te voeren naar '*Vacuumatics – 3D Formwork Systems*'. Na mijn promotie ben ik bij ABT blijven werken als constructeur, projectleider en *Computational Design Specialist*. Hoewel de innovatiekracht van de beroepspraktijk en het ontwerpen met (constructieve) bouwmaterialen mij heel erg aansprak, miste ik het doen van onderzoek en het uitvoeren van fysieke experimenten. Daarom besloot ik na tien jaar mijn focus te verleggen naar het hoger beroepsonderwijs en praktijkgericht onderzoek bij Hogeschool Rotterdam. Daar was ik onder andere betrokken bij het opzetten van de specialisatie-richting 'Bouw & Innovatie' van het nieuwe curriculum Bouwkunde, met een inhoudelijke focus op circulariteit, biobased materialen, klimaatadaptatie, biodiversiteit, digitalisering en systeemdenken.

Belangrijk leerpunt voor mij was dat studenten de innovatiekracht konden leveren om in nauwe samenwerking met externe opdrachtgevers, bouwspecialisten en (docent)onderzoekers actuele praktijkvraagstukken op te lossen, van initiatief-fase tot en met realisatie en zelfs monitoring van de gemaakte impact. Dit gedachtengoed en een grote passie voor het werken met innovatieve (bouw)materialen neem ik mee naar het lectoraat Biobased Bouwen. Ik heb een grote *drive* en nieuwsgierigheid om te onderzoeken op welke manieren het mogelijk is om met behulp van biobased materialen (of liever nog: oneindig hernieuwbare materialen) een gezond en plezierig leefklimaat te realiseren, in harmonie met de natuur. Ik wil laten zien dat het kan! Mijn missie is daarom om samen met onderzoekers, onderwijs en werkveld een nieuwe impuls te leveren aan dit toekomstbeeld.

Ik woon samen met mijn vrouw Carolien, hond en kippen in een klein dijkwoninkje in de landelijke omgeving van Dinteloord. We zijn aan het ontdekken hoe we zoveel mogelijk zelfvoorzienend kunnen leven. In mijn vrije tijd geniet ik van de rust en natuur en speel ik gitaar in een tweetal rock-bands.

AFBEELDING ACHTERZIJDE OMSLAG

Frank Huijben is lector Biobased Bouwen aan Avans Hogeschool en HZ University of Applied Sciences. (Foto: HZ University of Applied Sciences)



BIOBASED BOUWEN | EEN GEZONDE KEUZE

is een uitgave ter gelegenheid van de inauguratie van Frank Huijben als lector van het lectoraat Biobased Bouwen. Dit lectoraat is onderdeel van MNEXT, het Centre of Expertise voor de Materialen- en Energietransitie, van Avans Hogeschool en HZ University of Applied Sciences.

Deze publicatie is bedoeld voor opdrachtgevers, beleidsmakers, beroepsprofessionals, docenten, studenten, onderzoekers en andere geïnteresseerden die werkzaam zijn in de bouwsector, maar ook voor gebouweigenaren en bewoners in het algemeen.

Enerzijds kan het inzicht geven in de potentie van biobased bouwen op het gebied van materiaalgebruik, binnenklimaat, energie- & landgebruik en economie & samenleving. Anderzijds is deze publicatie opgezet als toegankelijk hulpmiddel om in gezamenlijk overleg ambities vast te stellen en weldoordachte keuzes te maken.

Op weg naar een gezonde en volhoudbare gebouwde omgeving.