

Kennisbank Biobased Bouwen

LCA FASE BOUW | DROGE VERBINDINGEN

Samenvatting

Het realiseren van droge verbindingen in bouwknopen spelen steeds een belangrijkere rol in het ontwerpen van gebouwen. Het zorgt op gebouwniveau voor flexibiliteit en adaptiviteit. Het faciliteert ruimte om gebouwen toekomstbestendiger te laten zijn, door uitbreiding of afstoten van gebouwdelen. Hiermee kunnen gebouwen zich makkelijker aanpassen aan veranderende vastgoedwensen of zelfs transformaties.

Anderzijds biedt het faciliteren van droge verbindingen een kans om circulair materiaal gebruik te stimuleren, door de potentie van een langere levensduur. Er zijn minder nieuwe bouwmaterialen nodig en dit brengt minder milieulast met zich mee.

Tenslotte heeft het toepassen van droge verbindingen een beter effect op de binnen luchtkwaliteit. Er hoeven geen verklevingsproducten (formaldehyde, PUR etc.) worden toegepast, die door de uitstoot van vluchtige organische verbindingen (vos) een toxische bijdrage hebben op de binnenluchtkwaliteit in gebouwen.

Met dit kennisblok beschrijven we wat droge verbindingen zijn, met welke materialen je dit kunt realiseren, hoe dit binnen de duurzaamheidsmethodieken wordt gewaardeerd en laten aan de hand van sprekende voorbeelden zien hoe dit daadwerkelijk verankerd kan worden in het ontwerp- en bouwproces. Tenslotte tonen we een aantal voorbeeld projecten, waarbij het realiseren van bouwknopen met droge verbindingen een belangrijk ontwerpuitgangspunt is.



Inhoud van deze module

1 Inleiding 3
2 Relevantie in de bouwpraktijk 3
3 Wettelijk en privaatrechtelijk kader 4
4 Droge verbindingen 5
4.1 Definitie en verschil tussen natte knopen 5
4.2 Typen droge verbindingen 5
4.3 Duurzaamheidsmethodieken die droge verbindingen stimuleren 5
5 Toepassingsgebied en ontwerpvoorwaarden 7
5.1 Elementen, producten en materialen 7
5.2 Ontwerpuitgangspunten 9
6 Materialen 9
6.1 Hout 9
6.2 Metaal 11
6.3 Beton 12
6.4 Hybride constructies 13
7 Praktijkvoorbeelden 14
7.1 Tijdelijke rechtbank, Amsterdam 14
7.2 Natural Pavilion, Almere 15
8 Bronnenlijst 16
9 Relatie met relevante kennismodules in deze Kennisbank Biobased Bouwen 18
10 Versiebeheer 24

1 Inleiding

Het realiseren van droge verbindingen in bouwknopen spelen steeds een belangrijkere rol in het ontwerpen van gebouwen. Het zorgt op gebouwniveau voor flexibiliteit en adaptiviteit. Het faciliteert ruimte om gebouwen toekomstbestendiger te laten zijn, door uitbreiding of afstoten van gebouwdelen. Hiermee kunnen gebouwen zich makkelijker aanpassen aan veranderende vastgoedwensen of zelfs transformaties.

Anderzijds biedt het faciliteren van droge verbindingen een kans om circulair materiaal gebruik te stimuleren, door de potentie van een langere levensduur. Er zijn minder nieuwe bouwmaterialen nodig en dit brengt minder milieulast met zich mee.

Tenslotte heeft het toepassen van droge verbindingen een beter effect op de binnenluchtkwaliteit. Er hoeven geen verklevingsproducten (formaldehyde, PUR etc.) worden toegepast, die door de uitstoot van vluchtige organische verbindingen (vos) een toxische bijdrage hebben op de binnenlucht in gebouwen.

Maar hoe zorg je ervoor dat deze ambitie al in het ontwerp wordt verankerd? Dit kennisblok bespreekt de definitie, de theorie, hoe prestaties verankerd worden in het ontwerp en uiteindelijk kwalitatief uitgevoerd worden en beproefd tijdens de realisatiefase.

2 Relevantie in de bouwpraktijk

Voor de productie van conventionele bouwmaterialen zijn veel verschillende soorten grondstoffen nodig, die vanuit verschillende bronnen gewonnen worden. De winning, vaak door middel van mijnbouw, zorgt voor milieu-impact: o.a. CO2-uitstoot, vervuiling en aantasting van ecosystemen. Om de winning van primaire grondstoffen te reduceren, waarmee de negatieve milieu-impact van de winning gereduceerd kan worden, is het van belang in toenemende mate gebouwdelen-en elementen, producten en materialen her te gebruiken.

De circulaire economie vormt een alternatief voor het lineaire economische model, waarin grondstoffen na gebruik doorgaans als afval eindigen. Dit doen we met een ander kijk op ontwerpen en detailleren. Deze werkwijze is niet nieuw, zo was het ontwerpen met droge verbindingen in het verleden de standaard. Onderstaande gebouwen zijn het toonbeeld van biobased en ontwerpen met droge verbindingen:

TIP

Zie de volgende kennisblokjes:
1.1.1. Urgentie Grondstoffentekorten
3.1.1.2. Demontage sloop

3 Wettelijk en privaatrechtelijk kader

De wetgeving stelt geen eisen aan het ontwerpen van droge verbindingen in bouwknopen. Het stelt tevens geen eisen aan de losmaakbaarheid van details om de circulaire economie te stimuleren.

Aan de Milieu Prestatie Gebouw worden wel prestatiewaarden beschreven, echter gaat deze beoordeling over de impact van het toepassen van materialen in -en rondom het gebouw en de milieubelasting die hieraan gekoppeld is.

> ***TIP***
> *Zie de volgende kennisblokjes:*
> *1.3.3. Model LCA*
> *4.2.5.1 MPG*
> *4.2.5.9. 'Bouwbesluit' eisen*

Echter, heeft de Stichting Nationale Milieudatabase (NMD) een toelichting gemaakt op het vermindering van de milieubelasting van bouwmaterialen. De Toelichting op hergebruik en losmaakbaarheid in de Bepalingsmethode (2025) stelt dat: *'De Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken (Bepalingsmethode) onderscheidt twee vormen van hergebruik: onvoorzien hergebruik, waarbij producten zonder vooraf opgesteld plan opnieuw worden gebruikt, en voorzien hergebruik, dat gericht is op gepland hergebruik met een focus op kwaliteit en ontwerp. Onvoorzien hergebruik wordt gewaardeerd via de hergebruikfactor H (standaard vastgesteld op 0,2, zoals in onderstaande tekst nader wordt omschreven), terwijl voorzien hergebruik gebruikmaakt van de kwaliteitsfactor K, die de resterende kwaliteit van een product na de eerste gebruiksfase weerspiegelt in de vorm van een percentage 1-100.'*

De verwerking van materialen aan het einde van hun levensduur wordt beschreven in verwerkingsscenario's, waarin de mate van herbruikbaarheid een centrale rol speelt. Losmaakbaarheid wordt in deze scenario's meegenomen. Losmaakbaarheid zorgt ervoor dat bouwdelen zonder schade gedemonteerd kunnen worden, wat een voorwaarde is voor toekomstig hergebruik. Dit wordt binnen de Bepalingsmethode inzichtelijk gemaakt door scenario's einde leven te declareren die rekening houden met losmaakbare ontwerpen. Daarnaast biedt de Bepalingsmethode ruimte voor nieuwe businessmodellen en initiatieven, zoals bijvoorbeeld een terugnamegarantie, waarmee fabrikanten aantoonbaar verantwoordelijkheid kunnen nemen voor het terugnemen en hergebruiken van producten na hun gebruiksfase. Door deze aanpak biedt Stichting NMD duidelijke richtlijnen voor het stimuleren van circulaire strategieën en het bevorderen van hergebruik in de bouwsector (Nationale Milieudatabase 2025).

4 Droge verbindingen

4.1 Definitie en verschil tussen natte knopen

De Betonlexicon definieert het ontwerpen van droge bouwknopen als volgt:
'*Een droge verbinding binnen bouwknopen is een in situ gemaakte aansluiting tussen twee betonnen constructieonderdelen (bijvoorbeeld prefab-elementen of tussen prefab en in het werk gestort beton), waarbij de delen zonder gebruik van mortel of beton 'droog' verbonden worden door middel van vrije oplegging, nokken, lassen of bouten. Deze verbinding is direct op sterkte en vraagt minder arbeidsinzet dan een natte verbinding, die pas na uitharding van mortel of beton volledig belast kan worden*.'

Het voordeel van de droge verbinding is dat het minder arbeidsintensief is, en de verbinding direct op sterkte is. Dit in tegenstelling tot een zogenoemde natte verbinding omdat deze pas volledig belast kan worden nadat het beton of de mortel is uitgehard. De natte knoop is doorgaans sterker dan een droge knoop omdat deze één geheel vormt met de verbonden betononderdelen (Betonlexicon, 2022).

4.2 Typen droge verbindingen

We onderscheiden diverse type droge verbindingen:

- Vrije oplegging
- Koppeling via nokken of uitsparingen
- Geperste en gefreesde houtverbindingen (bijv. zwaluwstaart, mes-groef)
- Gelaste verbinding
- Bout-, schroef- en nagelverbindingen

Kies droge verbindingen en verbindingen met toegevoegde elementen zoals schroeven, bouten of tussenelementen (Platform CB23, 2023).

4.3 Duurzaamheidsmethodieken die droge verbindingen stimuleren

De bouwsector heeft afgelopen jaren diverse tools en ontwerpmethodieken ontwikkeld om circulair en biobased bouwen te stimuleren. De belangrijkste is de meetmethodiek voor losmaakbaarheid versie 2, ontwikkelt door Alba Concepts i.s.m. W/E adviseurs en de Dutch Green Building Council (DGBC).

De integrale Duurzaamheidsmethodiek BREEAM-NL waardeert losmaakbaarheid binnen de credit MAT07 Losmaakbaarheid, wanneer de losmaakbaarheid (LI) > 40% (DGBC).

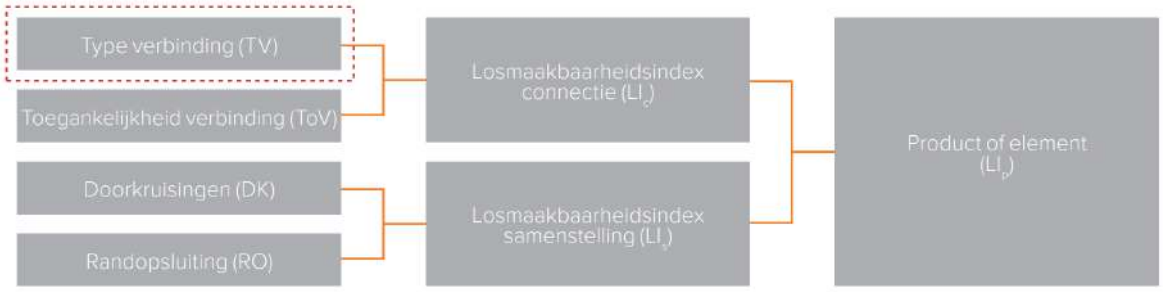
Het circulariteitsraamwerk Het Nieuwe Normaal (HNN) waardeert op gebouwniveau, waarbij losmaakbaarheid binnen de categorie 'standaard' minimaal 50% moet zijn - bij gestapelde woningbouw. Voor kantoren en grondgebonden woningen geldt > 55% (HNN).

GPR Gebouw waardeert tevens losmaakbaarheid en met een losmaakbaarheidsindex die loopt van 0 (volledig niet demontabel) tot 1 (volledig demontabel). Voor de waardering in GPR Gebouw geldt als minimale drempelwaarde een index van 0,20 (20 %) – onder die grens kun je geen score (punt) halen op losmaakbaarheid (GPR.

Voor bovenstaande methodieken hanteren allen de methode: Circular Building – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid (v2).

TIP
Zie de volgende kennisblokjes:
4.2.6.1. Losmaakbaar detailleren
4.2.5.6. Montage en demontage producten
5.4.2. Losmaakbaarheid

Droge verbindingen worden binnen de meetmethodiek Losmaakbaarheid 2.0 gewaardeerd binnen het onderdeel Type Verbinding (TV).



4.2.6.2. Figuur 1: Stappenplan beoordelen Losmaakbaarheidsindex van een product
overgenomen en aangepast uit Circular Buildings – meetmethodiek Losmaakbaarheid 2.0 via Van Vliet et. al. (2021)

Objecten zijn met elkaar verbonden door diverse typen verbindingen. Bij losmaakbaarheid prevaleren droge verbindingen, verbindingen met toegevoegde elementen en directe, integrale verbindingen boven zachte en harde chemische verbindingen. In onderstaande tabel zijn deze categorieën uitgebreid met de meest voorkomende bevestigingsmaterialen in de bouwsector (Circular Buildings – meetmethodiek Losmaakbaarheid 2.0 via Van Vliet et. al.). Zichtbaar is dat deze type verbindingen een hogere waardering (1,00) krijgen dan – bijvoorbeeld – de harde chemisch verankerde verbindingen (0,10).

4.2.6.2. Tabel 1 Waardering type verbinding. Aangepast en overgenomen uit 'Transformable Building Structures' door Durmisevic, E., 2006, Delft University of Technology, Delft

Type verbinding		Score
Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,00
	Klikverbinding	
	Klittenbandverbinding	
	Magnetische verbinding	
Verbinding met toegevoegde elementen*	Bout- en moerverbinding	0,80
	Veerverbinding	
	Hoekverbindingen	
	Schroefverbinding	
	Verbindingen met toegevoegde verbindingselementen**	
Directe integrale verbinding	Pin-verbindingen***	0,60***
	Spijkerverbinding	
Zachte chemische verbinding	Kitverbinding	0,20
	Schuimverbinding (PUR)	
Harde chemische verbinding	Lijmverbinding	0,10
	Aanstortverbinding	
	Lasverbinding	
	Cementgebonden verbinding	
	Chemische ankers	
	Harde chemische verbinding	

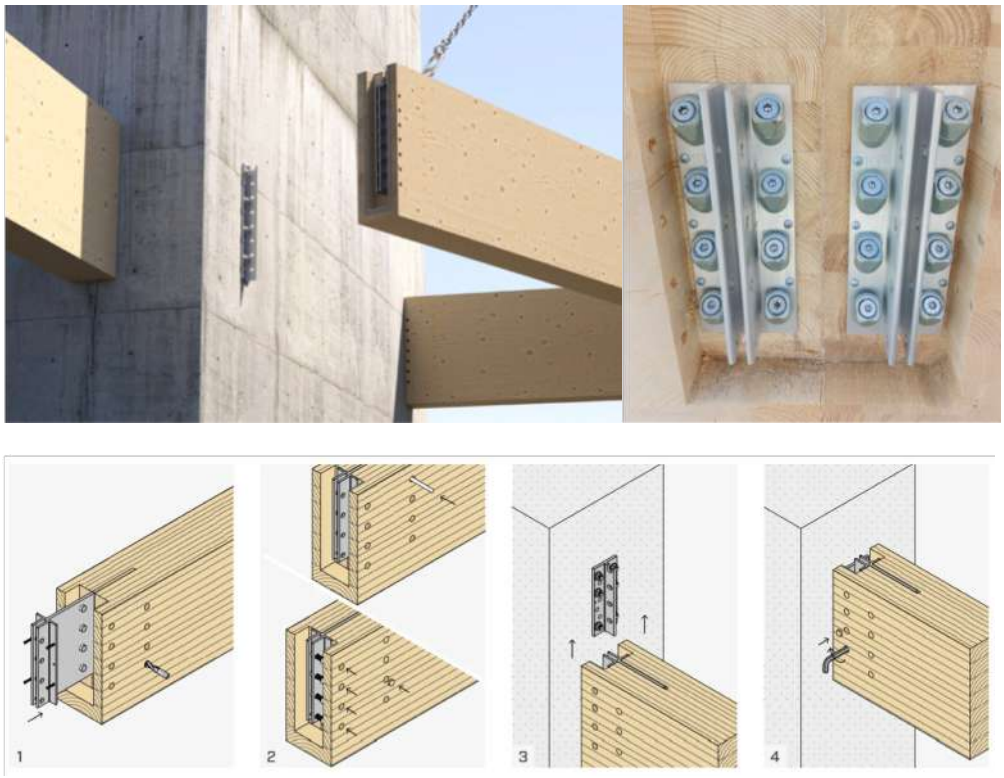
5 Toepassingsgebied en ontwerpvoorwaarden

5.1 Elementen, producten en materialen

Het Lente Akkoord 2.0 (2024) onderscheid de volgende niveaus van losmaakbaarheid, waarin de toepassing van droge verbindingen een relatie heeft:

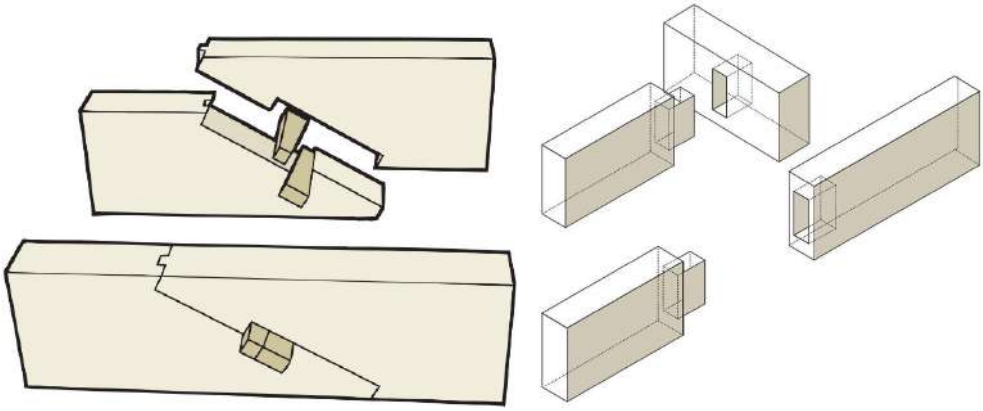
- Gebied: Losmaakbaarheid niet van toepassing (m.u.v. inrichting)
- Complex: Losmaakbaarheid niet van toepassing
- Gebouw: Woonmodules, flexwoningen
- Elementen: Bijvoorbeeld een gevel-, dak- of vloercomponent
- Product: Bijvoorbeeld kozijn, raam, deur, rooster, spouwmuurisolatie
- Materiaal: Bijvoorbeeld isolatieplaat, houten regelwerk
- Grondstof: Hout, staal, isolatievezel, grind, zand

Op product / elementenniveau geven we een voorbeeld waarbij aan een betonnen kern draagstructuur – houten (Glulam) liggers losmaakbaar worden gemaakt, waarin een bevestigingssysteem van Rothoblaas wordt gebruikt (Lente Akkoord 2.0, 2024):



4.2.6.2. Figuur 2: Rothoblaas Lock T Timber
overgenomen uit Lente Akkoord 2.0 'Losmaakbaar bouwen – Werken aan een toekomstbestendige gebouw vooraard 'Kuindersma et al. 2024).

Onderstaande voorbeeld is een losmaakbare, droge verbinding in hout, met een schuine liplas en pen-en gat verbinding. Een traditionele aansluiting die al eeuwenlang gebruikt is in de houtskelet- en gebintbouw. Doel van deze verbinding is het verlengen van balken. Onderstaande figuur toont een houtverbinding gemaakt op productniveau.



4.2.6.2. Figuur 3: figuur losmaakbare traditionele houtverbinding. Linker figuur een schuine liplas en rechter figuur een pen en gat verbinding
Overgenomen uit de Gids duurzame gebouwen Brussels

5.2 Ontwerpuitgangspunten

Bij het ontwerpen van details, waarbij de knooppunten zoveel mogelijk met droge verbindingen gemaakt worden is het van belang rekening te houden met de volgende onderdelen:

- Type verbinding: mechanische verankering (bouten, koppelstukken), lassen, vrije oplegging of kliksystemen.
- Toegankelijkheid: voldoende ruimte voor demontagegereedschap en -bewegingen.
- Doorkruisingen: minimaliseren van leidingen en doorvoeringen die demontage belemmeren.
- Vorminsluiting: vermijden van omsloten of ingeklemde onderdelen zonder snijwerk.
- Materialen en duurzaamheid: kiezen voor materialen die meerdere demontagecycli weerstaan.
- Toleranties en spelingen: nauwkeurige afmetingen voor soepele montage en demontage.
- Modulair en gestandaardiseerd ontwerp: gebruik van herhaalbare, afvangbare modules en verbindingspatronen.
- Documentatie en labeling: duidelijke demontage-instructies en markeringen voor snelle herkenning

Vervolgens dient bij de dimensionering van droge verbindingen rekening gehouden te worden met de volgende factoren. Onderstaande factoren kunnen effect hebben op de keuze van de droge verbinding:

- Belastingsgevallen (statisch, dynamisch, trillingen)
- Toleranties en voorbouwmontage
- Temperatuur- en vochtigheidsinvloeden
- Brandveiligheid en akoestische isolatie

6 Materialen

6.1 Hout

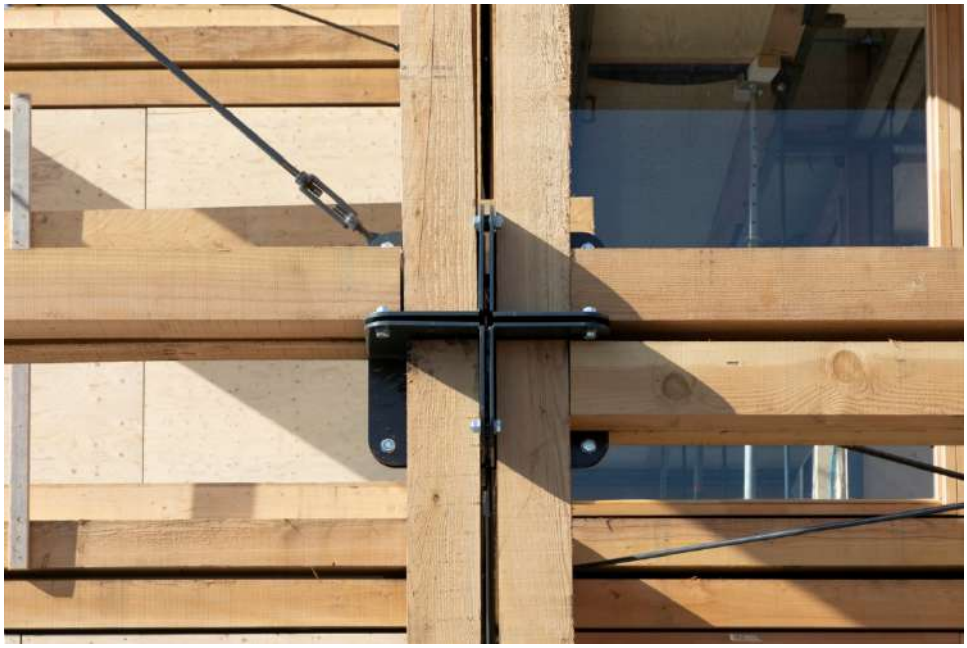
Houtbouw is eenvoudig te ontwerpen met droge verbindingen in demontabele vorm. Bovendien is hout goed bewerkbaar. Dit betekent dat onderdelen van massief houten gebouwen goed zijn aan te passen en bij demontage her te gebruiken voor een tweede leven als woning of ander houtproduct. Doordat de hoofddraagconstructie wanden en vloeren niet worden blootgesteld aan weer en wind gaan deze producten heel erg lang mee. Tot wel honderden jaren. Dit maakt het materiaal uitermate geschikt om circulair te bouwen (Gemeente Amsterdam, 2021).

De bovenstaande traditionele houtverbindingen in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn m ooie voorbeelden. In de praktijk zie je dat houtconstructeurs ook veel losmaakbare en droge verbindingen door-ontwikkelen om de circulaire economie, de toekomstwaarde en de

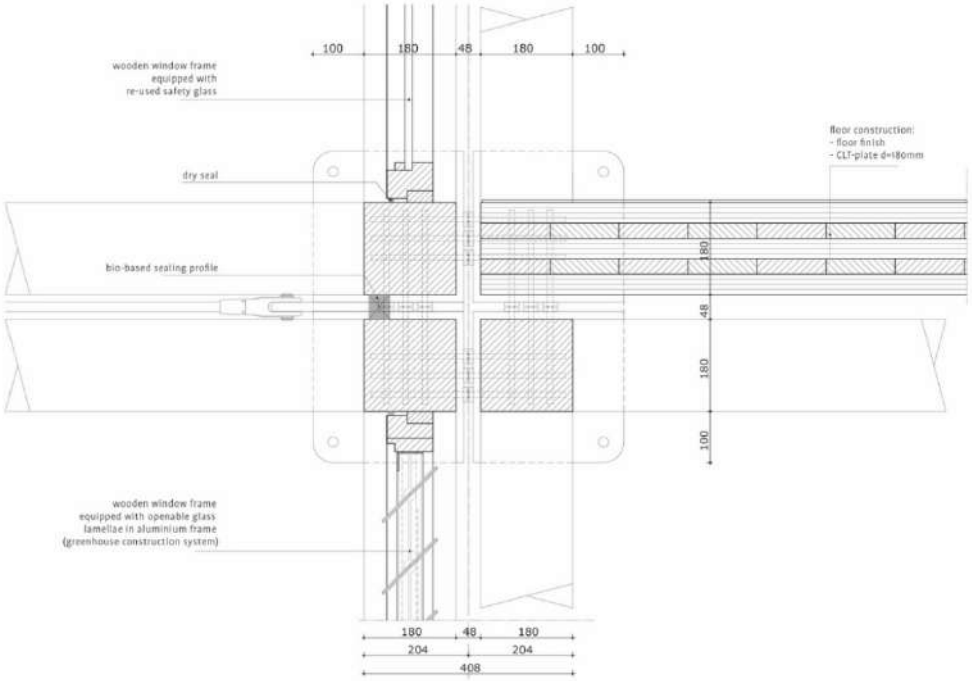
verplaatsbaarheid van gebouwen te faciliteren. Een mooi voorbeeld is het gebouw van het consortium Noordereng Groep, DP6 architectuurstudio en Oosterhoff. Dit gebouw is ontworpen voor Floriade Expo 2022 in Almere. Meer over dit project vind je bij hoofdstuk 7.



4.2.6.2. Figuur 4 | Natural Pavilion - Floriade Expo 2022
overgenomen van Natural Pavilion.nl



4.2.6.2. Figuur 5 | ontmoeting droge bouwknoop Natural Pavilion - Floriade Expo 2022
overgenomen van Natural Pavilion.nl

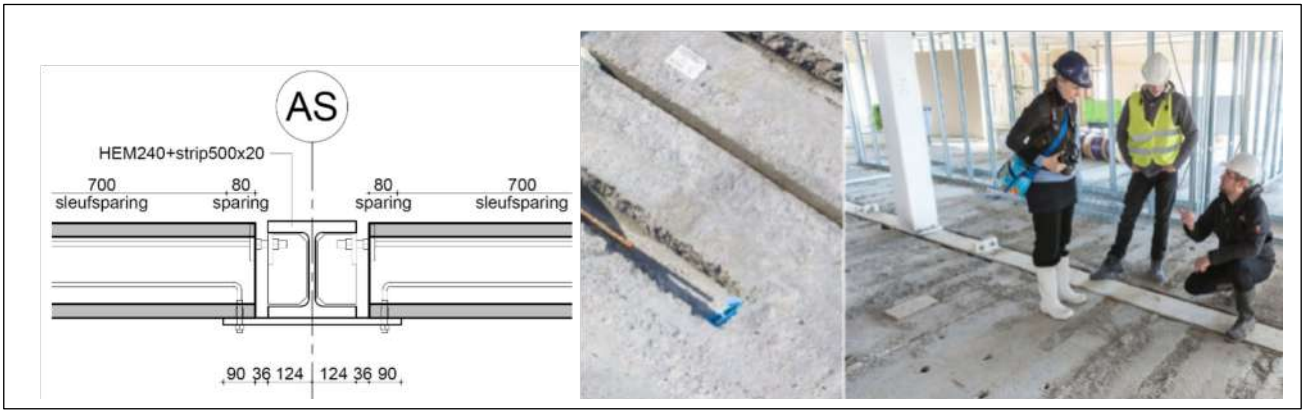


Figuur 6 | detail droge bouwknoop Natural Pavilion - Floriade Expo 2022
overgenomen van Natural Pavilion.nl

6.2 Metaal

In de staalbouw wordt remontabel bouwen met droge bout verbindingen al geruime tijd gedaan. In de ontwerp- en engineeringsfase kunnen constructeurs en staalbouwers rekening houden dat de constructie tijdens de gebruiksperiode wellicht meerdere keren gemonteerd en gedemonteerd zal worden. De verbindingen worden dan gebout in plaats van gelast, met de bouten en moeren in het zicht. Dit hoeft technisch geen enkele belemmering te zijn

Dijkstaal heeft als staalbouwer o.a. gewerkt aan de Tijdelijke Rechtbank Amsterdam. Dit gebouw is als een echt circulair gebouw geproduceerd en gemonteerd. Om de renovatie van de rechtbank te realiseren is een zeer hoogwaardig tijdelijk gebouw neergezet dat nu ook daadwerkelijk afgebroken is en opnieuw gebruikt wordt. De hoofddraagconstructie bestaat uit een op maat gemaakt stalen frame waarvan de kolommen op elke verdieping zijn door gekoppeld. De liggers van de staalconstructie zijn SFB-liggers geïntegreerd in de hoogte van het vloerpakket. Als randliggers in de gevellijn zijn kokerprofielen toegepast. Voor stabiliteit zijn op drie posities in de gevel windverbanden op trek en druk geplaatst. Het stalen frame is volledig demontabel; het komt geheel tot stand middels droge en omkeerbare boutverbindingen (Dijkstaal.nl). De Tijdelijke Rechtbank heeft o.a. de Nationale Staalprijs 2018 ontvangen in de categorie Duurzaamheid.
Voor meer informatie over de Tijdelijke Rechtbank Amsterdam zie hoofdstuk 7.

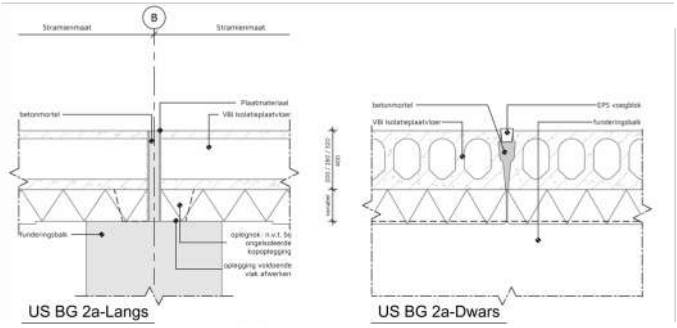


4.2.6.2. Figuur 7 | type verbinding en foto van de vloeropbouw
overgenomen uit Circular Building-een meetmethodiek voor losmaakbaarheid versie 2 (Van Vliet et. al. 2021)

6.3 Beton

VBI richt zich al enige tijd op het verduurzamen van haar producten, zowel op het gebied van verlagen van milieubelasting als het werken aan de circulaire economie door de producten levensduur verlengend te ontwerpen. Met de remontabele kanaalplaatvloer (op elementenniveau) maken ze toekomstige hergebruik mogelijk, zonder waardeverlies.

Een heel belangrijke ontwerpaanbeveling voor remontabel bouwen, is het construeren zonder constructieve druklaag. Een kanaalplaatvloer zonder druklaag kan heel goed als horizontale schijf functioneren om daarmee bijvoorbeeld de windbelastingen van de gevel naar de stabiliteitswanden af te dragen. In combinatie met een remontabel ontwerp is het uitgangspunt om, denkend vanuit waardebehoud, de kanaalplaat niet te beschadigen, lees geen sparingen te maken. VBI werkt met retourname certificaten. (Consolis / VBI.nl, 2025). De aansluitingen van de VBI-remontabele kanaalplaatvloeren worden gerealiseerd met mechanische bout-en moerverbindingen zonder lijm.





4.2.6.2. Figuur 8: remontabele VBI beganegrond vloer, in de utilitaire bouw met staalskelet
overgenomen van VBI Principedetails Remontabel bouwen, 2025

6.4 Hybride constructies

De producent Peikko heeft een aansluiting ontworpen waardoor betonelementen circulair verbonden kunnen worden met boutverbinding. Deze verbinding is van oorsprong ontworpen om snel en veilig te kunnen monteren op de bouwplaats. Nu zijn de verbindingen doorontwikkeld om de circulaire economie te stimuleren. Ze realiseren direct een constructieve verbinding en de montage verloopt twee keer zo snel als via de traditionele methode met stekeinden en gains. Schoren is bovendien overbodig en dat resulteert in een mooi en vrij werkveld (Betonenstaal, 2023).
De aansluitingen worden gerealiseerd met mechanische bout-en moerverbindingen zonder beton aanstorting.



4.2.6.2. Figuur 9: (de)montage kolom met kolomschoen-ankerboutverbinding van de producent Peikko overgenomen van Betonenstaal.nl (linker figuur) en Peikko.nl (rechter figuur)

Posi-Tec ontwikkelt en levert prefab vloersystemen op basis van open vakwerkbalken met houten regels en een staalweb. Met mechanisch, droge bouwknopen zijn de vloercomponenten eenvoudig te monteren, te demonteren en herbruikbaar. Er kunnen overspanningen gerealiseerd worden van ca. 8 meter met standaardprofielen en het systeem biedt doorvoerruimtes voor installaties.
De bouwknoop aansluiting wordt gerealiseerd met mechanische bout-en moerverbindingen, zonder lijm.



4.2.6.2. Figuur 10: (de)montabele vloeren van de producent Posi-Tech overgenomen van Posi-Tech.nl (linker figuur) en www.dds-bta.nl/ (rechter figuur)

7 Praktijkvoorbeelden

Alhoewel echt losmaakbaar- en droog bouwen in de praktijk nog beperkt voorkomt, zijn er een aantal mooie projecten die als schoolvoorbeeld dienen. Hieronder een tweetal voorbeelden:

7.1 Tijdelijke rechtbank, Amsterdam

In 2015 is de Tijdelijke Rechtbank Amsterdam gebouwd: een duurzaam, circulair en remontabel gebouw. Het gebouw is vijf jaar op de locatie gebruikt, tot op het daarnaast gelegen perceel de definitieve rechtbank was gerealiseerd. Eind 2021 begon de demontage; die is nu gereed, én geslaagd.

Het project werd gegund aan het consortium DPCP, bestaande uit Du Prie bouw & ontwikkeling en cepezedprojects. Om het gebouw demontabel te krijgen, heeft DPCP samen met ingenieursbureau IMd een bevestigingssysteem voor de kanaalplaatvloeren ontwikkeld, dat ontkoppeling en hergebruik van de vloerdelen makkelijker maakt. Er zijn zoveel mogelijk droge verbindingen gebruikt. Vloeren in beton gieten is weliswaar goedkoper, maar maakt hergebruik onmogelijk.
Ook bij de knopen van de staalconstructie is extra rekening gehouden met de- en remontage. De schil bestaat uit geprefabriceerde, de- en remontabele elementen en een afbouw die projectspecifiek en vervangbaar is. Zo kunnen de entree-unit, de verbindingsbrug en

stijgpunten op een andere plek komen en zijn de vloervelden zonder dragende wanden vrij indeelbaar.

Na de vijf gebruiksjaren kwam het gebouw weer in handen van DCPC. Zij hebben de demontage en remontage in handen Lagemaat gelegd, waarbij alle materialen van het gebouw eigendom werden van Lagemaat. Zij hebben alle materialen met een 3D-scan vastgelegd. Hierdoor kon er na demontage gemakkelijk worden bepaald wat de meest optimale manier van vervoeren is. In het najaar van 2022 wordt het gebouw een-op-een weer opgebouwd in Enschede, waarbij het complex wordt uitgebreid met gebouwdelen van extra donorprojecten (Circulaire bouweconomie, 2022).



4.2.6.2. Figuur 8: (de)montabele tijdelijke rechtbank Amsterdam dat opnieuw gebouwd is in Enschede overgenomen van cepezed.nl

7.2 Natural Pavilion, Almere

De combinatie van een modulaire bouwmethode, het geïndustrialiseerde bouwproces en biobased materialisatie maakt The Natural Pavilion het toonbeeld van circulair bouwen. The Natural Pavilion is ca. 1000m^2 en bestaat uit stapelbare modules. Door een speelse schakeling van deze modules ontstaat een sculpturaal paviljoen van drie verdiepingen hoog met aan elke zijde een ander aangezicht: een verrassende compositie die meteen ook laat zien hoe flexibel en veelzijdig het modulaire bouwsysteem is (Natural Pavilion).

In de basis is de door NoorderEng en Oosterhoff ontwikkelde HoutKern Bouwmethode een stapelbare houten module die door middel van een slimme knoop aan elkaar te koppelen is. Een module bestaat uit een houten vloer en dragende houten kolommen. De wanden zijn niet dragend, waardoor de modules eenvoudig aan elkaar te koppelen zijn om grotere ruimtes te creëren. De verbindingen tussen de verschillende onderdelen zijn met een droge bouwwijze gestandaardiseerd en kunnen eenvoudig worden gedemonteerd en opnieuw opgebouwd. Het

demontabele ontwerp met de droge verbindingen is een cruciale facilitator in het hergebruik van alle modules, producten en materialen in het paviljoen. Modules, wanden, dakdozen, trappen, vloeren en afwerkprofielen; alle materialen in het paviljoen zijn demontabel en kunnen meegenomen worden naar een nieuwe bestemming.

De innovatie van de HoutKern Bouwmethode zit dan ook in de losmaakbaarheid en flexibiliteit. Een stalen knoop zorgt ervoor dat de houten modules, ook na het demonteren, weer aan elkaar gekoppeld kunnen worden. De HoutKern-modules kunnen tot wel zeventig meter hoog worden gestapeld (woningbouwatelier.nl, 2022).
The Natural Pavilion heeft na de Floriade in Almere een nieuwe bestemming gekregen op de Flevo Campus, waar het dient als kantoor-, ontmoetings-en congreslocatie rondom thema's zoals circulaire en biobased bouwen en stedelijke voedselvraagstukken.



4.2.6.2. Figuur 9: (de)montabele Natural Pavilion dat opnieuw gebouwd is in Enschede overgenomen van Flevocampus.nl (linker figuur) en Architectenweb, via ScagliolaBrakkee (rechter figuur).

8 Bronnenlijst

- Verheul, L. Lieffering, P. Kuindersma, P. Levels, J. (2025, februari) Nationale Milieudatabase, Toelichting op hergebruik en losmaakbaarheid in de Bepalingsmethode. http://www.milieudatabase.nl/nl/actueel/nieuws/hergebruik-en-losmaakbaarheid-in-de-bepalingsmethode/
- BetonLexicon (2022)
  Geraadpleegd op 01 september 2025 van http://www.betonlexicon.nl/d/droge-verbinding
- Platform CB'23 (2023 juni). Leidraad Circulair ontwerpen 2.0: *Werkafspraken voor een circulaire bouw.*
  https://circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2023/07/Leidraad_Circulair-ontwerpen_2-0.pdf

- Van Vliet, M., Van Grinsven, J., & Teunizen, J. (2021, oktober). *Circular buildings – een meetmethodiek voor losmaakbaarheid 2.0*. Dutch Green Building Council. https://www.dgbc.nl/whitepapers/circular-buildings-een-meetmethodiek-voor-losmaakbaarheid-v2-0/

- Dutch Green Building Council (DGBC). BREEAM-NL Nieuwbouw 2020 v1.0 Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://richtlijn.breeam.nl/credit/losmaakbaarheid-1115

- Het Nieuwe Normaal (HNN). Leidraad Nieuwbouw. Geraadpleegd op 1 september 2025 van www.hetnieuwenormaal.nl/leidraden/nieuwbouw/prestatieniveaus/

  Lente-akkoord 2.0. (2024, september). *Losmaakbaar bouwen: Werken aan een toekomstbestendige gebouwvoorraad.* https://www.lente-akkoord.nl/uploads/LA-Losmaakbaar-detailleren-Werken-aan-een-toekomstbestendige-gebouwvoorraad-19-09-24.pdf

- Gids Duurzame Gebouwen.Brussel. Technische omkeerbaarheid en hergebruik. Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://gidsduurzamegebouwen.brussels/bouw-van-een-circulair-schaalbaar-omkeerbaar-gebouw-project-bric/technische-omkeerbaarheid

- Prins, E. van Roeden, S. en van der Lugt, P. (2021, februari) Gemeente Amsterdam: *Houtbouw Amsterdam, verkenning naar bouwen met hout in de gebiedsontwikkeling.* https://openresearch.amsterdam/nl/page/69927/verkenning-houtbouw

- The Natural Pavilion: Floriade Expo 2022 Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://www.thenaturalpavilion.eu/

- Dijkstaal. Tijdelijke Rechtbank Amsterdam Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://www.dijkstaal.nl/nl/projecten/tijdelijke-rechtbank-amsterdam

- Munsters P. (2024, maart). VBI/Consolis: *Principedetails Remontabel Bouwen* https://vbi.nl/wp-content/uploads/2024/03/PDRB01-003-Principedetails_remontabel_bouwen-utiliteitsbouw.pdf

- Betonenstaal (2023) Circulair bouwen met prefab betonelementen Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://betonenstaalbouw.nl/algemeen/circulair-bouwen-met-prefab-betonelementen/

- Peikko
  Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://www.peikko.nl/circular-economy/

- Posi-Tech
- Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://posi-tech.nl/

- Dutch Design Studio / BIMpressed
  Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://www.dds-bta.nl/bouwuitvoering/posi-tech/

- Woningbouwatelier (2022) The Natural Pavilion – Floriade Expo 2022
  https://woningbouwatelier.nl/wp-content/uploads/2022/09/THE-NATURAL-PAVILION-Floriade-Expo-2022.pdf

- Noorderenggroep. *Het innovatie paviljoen op het gebied van Biobased Bouwen: The Natural Pavilion*
  Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://www.noorderenggroep.eu/the-natural-pavilion/#:~:text=Na%20de%20Floriade%20heeft%20het%20paviljoen%20een%20nieuwe,zoals%20circulair%20en%20biobased%20bouwen%20en%20stedelijke%20voedselvraagstukken
  .

- Flevocampus: *Huur een ruimte in Natural Pavilion!*
  geraadpleegd op 1 september 2025 van https://flevocampus.nl/verhuur-natural-pavilion/

- De Circulaire Bouweconomie: *Rechtbank in Amsterdam gedemonteerd en klaar voor herbouw in Enschede*.
  Geraadpleegd op 1 september 2025 van
  https://circulairebouweconomie.nl/nieuws/rechtbank-in-amsterdam-gedemonteerd-en-klaar-voor-herbouw-in-enschede/

- Architectenweb. *The Natural Pavilion op Floriade Expo 2022*
  Geraadpleegd op 1 september 2025 van
  https://architectenweb.nl/nieuws/artikel.aspx?id=51727

- Cepezed: *Tijdelijke rechtbank Amsterdam*
  Geraadpleegd op 1 september 2025 van https://www.cepezed.nl/nl/nieuws/bouwterrein-bijna-leeg-demontage-tijdelijke-rechtbank-amsterdam-nadert-einde/91458/

9 Relatie met relevante kennismodules in deze Kennisbank Biobased Bouwen

1.1. Why (Opgaven) – Urgentie, Grondstoffentransitie en meer

1.1.1. Urgentie Grondstoffentekorten
1.1.2. Parijs 2050
1.1.3. NL programma's Circulaire Economie
1.1.4. Rol Bouwsector
1.1.5. CO2 uitstoot
1.1.6. Aantasting Milieu, biodiversiteit …

1.2. Definities
1.2.1. Van lineair naar circulair
1.2.2. Duurzaamheid versus circulariteit
1.2.3. Natuurinclusief versus klimaatadaptief
1.2.4. Definities circulair ontwerpen

1.3. Modellen en (reken)tools
1.3.1. Model R-ladder
1.3.2. Model Lagen van Brand
1.3.3. Model LCA
1.3.4. MPG
1.3.5. BCI
1.3.6. CO2-tool
1.3.7. BENG

1.4. Strategieën
1.4.1. Circulaire principes
1.4.2. Schaalniveaus circulariteit
1.4.3. Preventie-waardebehoud-waardecreatie
1.4.4. Natuurinclusief bouwen

2. Biobased Bouwen
2.1. Doelstellingen
2.1.1. Waarom Bouwen met Biobased Bouwmaterialen?
2.1.2. 'Van Plant tot Pand' - Kansen Biobased Bouwen
2.1.3. NABB
2.1.4. Reductie stikstof …

3. LCA Fase - PRODUCTIE
3.1. Winning van grondstoffen
3.1.1. Secundaire grondstoffen
3.1.1.1. Technologische cyclus
3.1.1.2. Demontage - Sloop
3.1.1.3. Kleding
3.1.1.4. Papier
3.1.2. Plantaardig - Natuurlijke cyclus]
3.1.2.1. Hout
3.1.2.1.1. Massief Hout

3.1.2.1.2. Bewerkt Hout
3.1.2.1.2.1 CLT
3.1.2.1.2.2 LVL
3.1.2.1.2.3 Glulam
3.1.2.1.3. Houtvezel Isolatieplaten (thermische isolatie)
3.1.2.1.4. Houtvezelplaat
3.1.2.1.4.1 Hardboard
3.1.2.1.4.2 Zachtboard
3.1.2.1.4.3 MDF en HDF
3.1.2.1.5. Houtspaanderplaat
3.1.2.1.5.1 Spaanplaat
3.1.2.1.5.2 OSB
3.1.2.1.6. Triplex
3.1.2.2. Hennepvezel isolatie
3.1.2.3. Lisdodde
3.1.2.4. Vlaswolisolatie
3.1.2.5. Zeewier
3.1.2.6. Bamboe Interieur
3.1.2.7. Strobalen bouwmethode
3.1.2.8. Miscanthus
3.1.2.9. Kalkhennepbeton
3.1.2.10. Geëxpandeerde Kurkisolatie
3.1.2.12. Grasisolatieplaten
3.1.2.13. Riet
3.1.2.16. Vlasspaanplaat
3.1.2.17. Inblaasstro
3.1.2.18. Stro isolatie infill methode
3.1.2.19. Bamboe exterieurafwerking
3.1.2.20. Kalkhennep blokken
3.1.3. Dierlijke cyclus
3.1.3.1. Wol
3.1.4. Overige grondstoffen
3.1.4.1. Mycelium isolatiepanelen
3.1.4.2. StampLeem en LeemSteen
3.1.5. (Bio)Composieten
3.1.5.1. Biocomposieten met olien en vetten
3.1.5.2. Biocomposieten met plantaardige vezels
3.1.5.3. BioFoam isolatie
3.2. Transport
3.2.1. Keten Agro-Productie-Fabricage

3.3. Productie
3.3.1. Grondstof - Materiaal - Product - Element
3.3.2. Bewerkingen grondstoffen en materialen
3.3.3. Modulair
3.3.4. Samengestelde bouw
3.3.5. Opslag versus emissie CO2
3.3.6. Opschalen
3.4. Productie Isolatiematerialen
3.4.1. Biobased IsolatieMaterialen
3.4.2. Bindmiddelen en impregneerstoffen
3.5. Productie Plaatmaterialen
3.5.1. Biobased PlaatMaterialen
3.5.2. Bindmiddelen en impregneerstoffen
3.6. Productie Constructieve elementen
3.6.1. Constructieve biobased elementen
3.6.2. Bindmiddelen en impregneerstoffen
4. LCA Fase – BOUW
4.1. Transport
4.1.1. Keten productie-montage
4.1.2. Materiaal vs Product vs Element vs Unit
4.2. Bouw- en installatieproces, aanleg
4.2.1. Initiatieffase
4.2.1.1. GPR Gebouw, BREEAM
4.2.1.2. Het Nieuwe Normaal
4.2.1.3. Circulair bouwen met biobased bouwmaterialen
4.2.1.4. BBL – Gemeente
4.2.1.5. Circulair uitvragen – aanbesteden
4.2.1.6. Integrale strategieën
4.2.1.7. Circulaire ambities
4.2.1.8. Preventie-waardebehoud-waardecreatie
4.2.2. Haalbaarheid product/marktcombinaties
4.2.2.1. Kengetallen
4.2.2.2. Capaciteit
4.2.2.3. Marktcomform
4.2.2.4. Opname en materiaalpaspoort
4.2.2.5. PvE / schets door adviseur
4.2.2.6. Inschrijven voor ontwerpers – architecten
4.2.3. Projectdefinitie
4.2.3.1. Opschaalbaarheid
4.2.3.2. Persoonlijk

4.2.3.3. Aanbestedingsvorm aannemer – consortium

4.2.4. Voorontwerp

4.2.4.1. Constructieprincipes
4.2.4.2. Damp-open bouwen
4.2.4.3. Carbon Based Design
4.2.4.4. Gezond Bouwen
4.2.4.5. Kwaliteit en Garantie
4.2.4.6. VO
4.2.4.7. Hergebruik (R-Ladder)
4.2.4.8. Passief Bouwen

4.2.5. Definitief ontwerp

4.2.5.1. MPG
4.2.5.2. Biobased Isolatiematerialen
4.2.5.3. R-waarde, warmtecapaciteit, faseverschuiving, verdamping
4.2.5.4. Brandveiligheid
4.2.5.5. Circulaire materialen
4.2.5.6. Montage, demontage, remontage producten
4.2.5.7. Constructiecontrole
4.2.5.8. 'Bouwbesluit' eisen

4.2.6. Definitief (technisch)-ontwerp

4.2.6.1. Losmaakbaar detailleren
4.2.6.2. Droge verbindingen
4.2.6.3. Luchtdicht bouwen

4.2.7. Uitvoeringsgereed ontwerp

4.2.7.1. Uitvoeringslogistiek
4.2.7.2. Montage en demontage voorschriften (materialenpaspoorten)
4.2.7.3. WKB Circulair bouwen met Biobased Bouwmaterialen
4.2.7.4. Voorbereiding

4.2.8. Uitvoering

4.2.8.1. LEAN werkproces toepassen tbv leren en innoveren
4.2.8.2. Uitvoering als bouwmanager
4.2.8.3. Oplevering, uitzonderingen bouwbesluit en hoe je daar mee om gaat

5. B – GEBRUIK

5.1. Gebruik

5.1.1. Handleiding voor gebruiker
5.1.2. Levensduur en Kwaliteit
5.1.3. Hergebruik/herwinbaar

5.2. Onderhoud

5.2.1. MJOB maken en bewaken
5.2.2. Nazorg/MJOP

5.3. Reparaties
5.3.1. Klachten en nazorg
5.3.2. Nazorg/MJOP
5.4. Vervangingen
5.4.1. Onderhoud
5.4.2. Losmaakbaarheid
5.4.3. Hergebruik bij vervanging
5.5. Hernieuwing
5.5.1. Verbeteringstrajecten en innoveren
5.6. Operationeel energiegebruik / Passief huis
5.7. Operationeel watergebruik
6. SLOOP
6.1. Sloop
6.1.1. Sloop vs Demontage
6.1.2. Methoden sloop
6.2. **Demontage**
6.2.1. Waardemodel sloop
6.2.2. Elementen - Producten - Materialen - Grondstoffen Bronnen
6.3. **Transport**
6.3.1. Keten sloop-verwerking
6.3.2. Afvalscheiding bron vs locatie verwerking
6.4. **Afvalbewerking**
6.4.1. Principes
6.4.1.1. Keten hergebruik hout
6.4.1.2. Cascadering
6.4.2. Verwerking tot grondstoffen
6.4.2.1. Duurzaamheidsklassen
6.4.2.2. Onbehandeld vs Behandeld hout
6.4.2.3. Natuurlijke cyclus – composteren
6.4.3. Verwerking materialen en producten
6.4.3.1. Kwaliteitsbeoordeling
6.4.4. Stort – Verbranding
6.4.4.1. Hergebruik energie
6.4.4.2. Biochar
6.5. Finale afvalbewerking, producten op basis van secundaire grondstoffen
6.5.1. Producten op basis van secundaire grondstoffen
7. **HERGEBRUIK**
7.1. Materiaal paspoort i.c.m. 3-D model
7.2. Urban mining
7.3. Tussenhandel secundaire materialen

7.4. Kwaliteitsbeoordeling
7.5. Regelgeving
7.6. Reuse vs Repurpose

10 Versiebeheer

Nr.	Datum	Auteur	Organisatie	Opm.	Status
01	01-09-2025	Ydo Schuuring	Synexys		Startdocument
02					Aanvulling
03					
04					