

THEMATISCH ONDERZOEK HOUTBOUW IN NEDERLAND

Mees Hehenkamp

Faculty of Architecture & the Built Environment, Delft University of Technology
Julianalaan 134, 2628BL Delft
M.M.Hehenkamp@student.tudelft.nl

ABSTRACT

De Nederlandse bouw maakt een transitie door van lineair naar circulair materiaalgebruik. Bestaande technische en biologische materialen worden steeds meer en beter hergebruikt. Voor de bouw moet echter materiaal uit hernieuwbare bronnen aan deze twee kringlopen worden toegevoegd om aan de toekomstige vraag te voldoen. Van oudsher heeft Nederland een traditie in het bouwen uit hout. In dit paper is onderzocht hoe in Nederland door zelfbouwers, mensen die hun eigen huis willen maken in samenwerking met kleine aannemers, uit Nederlandse houtsoorten gebouwd kan worden. Dit is gedaan door te analyseren welke Nederlandse bomen geschikt zijn voor het maken van constructieonderdelen. Er is onderzocht hoe met eenvoudige gereedschappen traditionele houtverbindingen gemaakt kunnen worden en een gebouwstructuur kunnen vormen. Daarna is een schema gemaakt van verbindingen en bouwmethoden voor kleinschalige houten frames en is een inventarisatie gemaakt van de benodigde gereedschappen het maken van deze verbindingen.

KEYWORDS: Traditionele houtbouw, *houtverbindingen*, *Nederlandse boomsoorten*.

INTRODUCTIE

De Nederlandse bouw maakt een transitie door van lineair naar circulair materiaalgebruik, door technische en biologische materialen te hergebruiken en te rouleren in de economie (McArthur, 2020). In de bouw betekent dit dat uit te slopen gebouwen technische en biologische materialen worden gewonnen voor nieuwbouw. Het aanbod van hergebruikt bouw materiaal kan echter niet aan de vraag voldoen. In de studie van Arnoldussen et al. (2020) is ten behoeve van het monitoren van circulariteit in de bouw een schatting gemaakt van de ontwikkeling van materiaalstromen en hun milieu-impact tot 2030. Hoewel de hoeveelheid te slopen gebouwen tot 2030 zal toenemen, zal de hoeveelheid nieuwbouw twee en een half keer groter zijn dan de hoeveelheid te slopen gebouwen. Er is vooral vraag naar glas en isolatiematerialen en in mindere mate naar het biologische materiaal hout: de vraag naar hout was in 2014 1,4 keer zo groot als het aanbod uit sloopwoningen. Hierbij moet rekening worden gehouden met het feit dat op dit moment minder dan 20% van materialen uit sloopwoningen voor de bouw wordt gebruikt (1,2 miljoen ton van de 6,4 miljoen ton): ‘circulair invullen door enkel het toepassen van secundair materiaal is op dit moment dan ook niet mogelijk. Ditzelfde beeld geldt voor de toekomst’ (Arnoldussen et al., 2020, p.9). Het rouleren van biologische en technische materialen is dus niet genoeg om de Nederlandse bouw te voorzien in bouwmaterialen. Hernieuwbare biologische materialen, zoals hout, kunnen bijdragen in dit tekort voorzien. (Daarnaast helpt het gebruik van hout in de bouw bij het reduceren van de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer, doordat hout de capaciteit heeft CO₂ op te slaan.)

Nederland heeft in de Zaanstreek een traditie in houtbouw. Op slappe veengronden was houtbouw een uitkomst vanwege de lichtgewicht constructie. Door de komst van wind-houtzaagmolens werd het bouwen uit hout in de 17^e eeuw gestimuleerd. De houttraditie is doorontwikkeld tot het eind van de 19^e eeuw, toen houtbouw aan banden werd gelegd door teruglopende kwaliteit en de opkomst van moderne bouwmaterialen als staal en beton. In de jaren ‘80 van de 20^e eeuw maakte houtbouw weer een opmars (studioDroomhuis). Vanwege de klimaatdoelen maakt houtbouw op dit moment een opmars. Dit onderzoek is daarom gericht op het demontabel bouwen uit hout in Nederland, met kennis over het gebruik van inländse houtsoorten.

Op dit moment wenden architecten zich voornamelijk tot cross laminated timber (CLT), maar er zijn ook architecten die met gebinten (oud-Hollandse houtconstructies) werken. Door zelfbouwers en kleine aannemers van kennis over simpele constructietechnieken in houtbouw te voorzien kan ook deze groep bijdragen aan de transitie naar duurzamer bouwen en overstappen van het nu nog goedkope maar milieubelastende beton of kalkzandsteen. Door hout zo lokaal mogelijk te winnen (lage transportkosten), zoals met de oogst uit productiebossen in Nederland mogelijk is kan uitstoot door de bouw worden verminderd. Een kanttekening hierbij is dat duurzaam bosbeheer is wel nodig voor het vergroten van de hoeveelheid bomen, en in het huidige tempo van oogsten kan maximaal 15% van de benodigde gebouwconstructies voor nieuwbouw uit hout gemaakt worden (Nabuurs et al., 2016).

De hoofdvraag van dit thematisch onderzoek is:

Hoe kunnen zelfbouwers met simpele bouwmethoden op een demontabele manier met Nederlandse houtsoorten bouwen?

De belangrijkste sub-vragen zijn:

- Welke inheemse houtsoorten zijn er? Hoe kunnen deze worden toegepast?
- Welke bouwmethodes zijn er voor houten constructies voor zelfbouwers in samenwerking met kleine aannemers?
- Welke gereedschappen zijn nodig voor houtconstructies?

Methodiek

Het onderzoek bestaat uit literatuuronderzoek naar houtsoorten. Hiervoor zijn het Houtvademecum en de website houtinfo.nl raadgepleegd. Uit twee bronnen (Zwerger & Olgiati, 2016 en Erman 2002) is informatie over houtverbindingen verkregen. Deze informatie is vervolgens gefilterd op toepasbaarheid voor kleine gebouwconstructies met simpele houtverbindingen. Van de drie principes voor houtconstructies is vervolgens een schema gemaakt. Door de drie gemaakte schema's (boomsoorten, houtverbindingen en gereedschappen) te begrijpen zouden zelfbouwers de gevonden informatie voor hun eigen projecten kunnen gebruiken.

RESULTATEN

Nederlandse houtsoorten

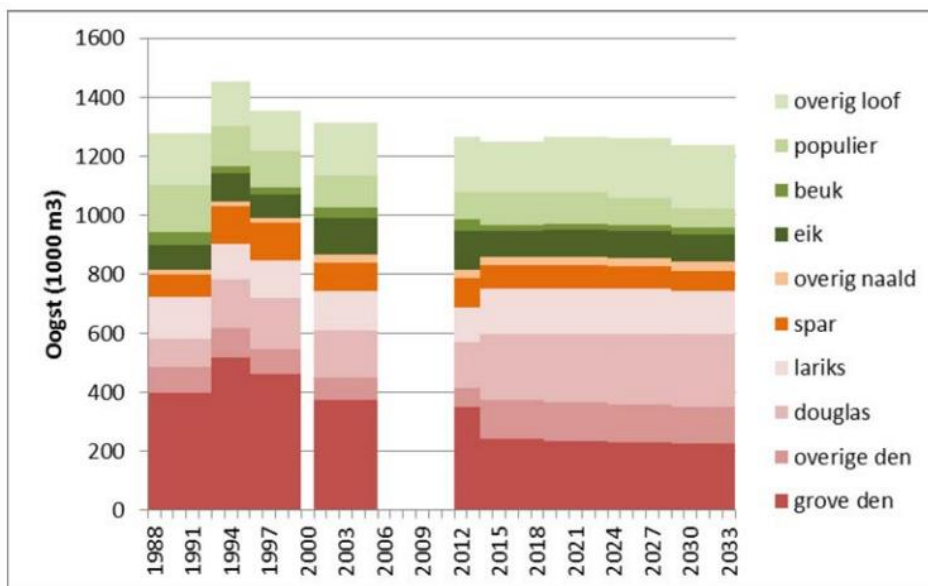
Noodzakelijkheid en traditie van het groeien van boomsoorten

Van oudsher worden bomen door mensen voor bouwkundig gebruik aangeplant. Zo werden voor kolommen voor dakbalkconstructies bomen geplant die y-vormig groeiden en werden bomen dicht bij elkaar geplant om compacter hout te groeien (Zwenger & Klaus, 2015, 16). Het terug planten van bomen is een manier om het aantal bomen op de aarde te vergroten. Nederland kent 115.000 ha aan productiebossen. Volgens architect Marco Vermeulen (in Rozinga, 2019) ontstaat een rijker bos als selectief gekapt wordt, en nieuwe boomsoorten terug worden geplant.

De meest voorkomende houtsoorten in Nederland (Stichting houtvoorlichtingsinstituut Amsterdam):

Om het werken met zo lokaal mogelijk hout aan te sporen zijn in bijlage 1 de eigenschappen van de meest gebruikte boomsoorten van Nederland opgesomd aan de hand van het Houtvademecum en Zwenger & Olgiati, 2015. De hoeveelheid hout die geoogst wordt uit productiebossen is hieronder weergegeven:

Oogst uit productiebossen in Nederland



Figuur 1: ontwikkeling van de oogst (spilhout) in de periode 1988-2033, uit G.J. Nabuurs et al., 2016).

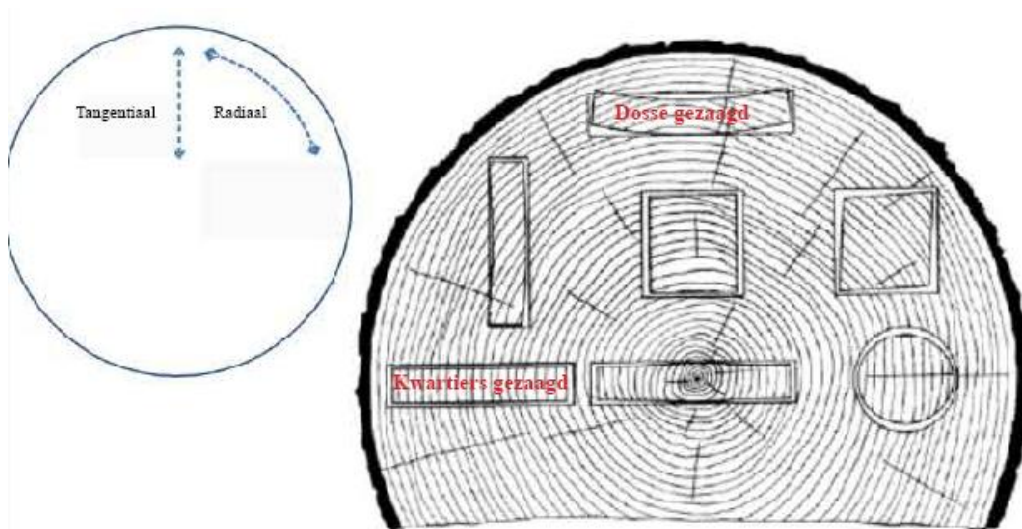
Zagen

Boomstammen kunnen op onderstaande manieren verzaagd worden:



Figuur 2: manieren van stam verzagen (van nl.wikipedia.org/wiki/Hout_zagen#/media/Bestand:Molen_Het_Jonge_Schaap_hout_zagen.jpg)

Bij dosse gezaagd hout ontstaat door verschillende houtrichtingen verschillende krimp. Hout krimpt namelijk in radiale richting twee keer zo veel als in tangentiale richting (figuur 3). Vaak kunnen balken daarom beter kwartier gezaagd worden. Door kwartier te zagen krimpen planken van hout met een ongunstige verhouding tussen tangentiale en radiale krimp minder in de breedte (Houtvademecum, p.35).



Figuur 3: vervorming van balken als gevolg van verschillende maten van krimp in radiale en tangentiale richting (van <https://docplayer.nl/49715194-Eigenschappen-van-eiken.html>)

Gebruik stam

Doordat het noorden van de stam harder is dan het zuiden kan deze kant beter trekkracht opnemen. Als het zuiden van de stam gemarkeerd is (na het zagen weer), weet een aannemer welke kant (nl. de noordkant) van een balk de bovenkant moet zijn. Ook verticaal kan deze manier van voorspannen gebruikt worden (Zwerger & Olgiati, p.16). Gekromd hout, zoals voorkomt bij de kraag van de boom, kan worden gebruikt voor het ondersteunen van balkons, net als voor het maken van een spantbeen dat naar boven toe dikker wordt (zoals bij gordingendaken). Schors kan voor dakisolatie worden gebruikt, gekromde aftakkingen voor een goot inclusief afvoerpijp.

In bijlage I zijn de eigenschappen van de meest gebruikte boomsoorten van Nederland samengevat uit de beschrijvingen in het Houtvademecum en de website houtinfo.nl. Voor het casco van gebouwen zijn geschikt: grenen (alleen voor dakspant en liggers) lariks, douglas, vuren en eik. Voor de gebouwschil zijn grenen, lariks, douglas, vuren, eik en berk geschikt. Het gebruik en bewerking van deze houtsoorten is verder toegelicht in bijlage II.

Bouwmethodes voor houten draagconstructies

Het frame

Volgens Kennedy, Smith & Wanek, (2014, 264) zijn er twee manieren van het frame samenstellen: de oudste manier is de graveer-regel (scribe rule): elke stam heeft een unieke vorm en verbinding, voor het verbinden wordt het frame op zijn plek gelegd (met de juiste stammen naast elkaar). Hierna worden alle verbindingen gemarkeerd. Toen hout later orthogonaal kon worden gezaagd hoefde alleen op plekken die waterpas moesten liggen gewerkt te worden met referentiepunten (delen als vloerdragers). Deze manier van werken heet de square-rule. Hierbij worden alle verbindingen van eenzelfde formaat gemaakt. Waar balken in dikte verschillen worden deze alleen t.p.v. verbindingen afgezaagd. Verbindingen moeten precies worden uitgevoerd, met marges kleiner dan 2mm.

In Nederland wordt traditioneel volgens het paal-en spantframe principe gebouwd, boerderijconstructies die zo zijn gemaakt worden gebinten genoemd. Het paal-en spantframe kan op drie manieren worden geconstrueerd: de normale-, de verhoogde nokbalk- en de omgekeerde constructie. Bij de normale constructie worden dakspanten niet ter hoogte van de kolom verbonden (maar verder naar buiten), waardoor met simpele verbindingen gewerkt kan worden. Bij de verhoogde nokbalk-constructie krijgt de nokbalk zelf meer gewicht te dragen en de dwarsbalk minder, te gebruiken wanneer de dwarsbalken zware belasting aan moeten kunnen. De dwarsbalk kan hierbij worden gemaakt met een geklemde pengat verbinding. De omgekeerde constructie is makkelijker op te bouwen (met ingekeepte verbindingen), en kolommen kunnen met vrije afstanden tot elkaar worden geplaatst (Zwerger & Olgiati, 2015, 160 en 161). Voor beginnende zelfbouwers is dit een voordeel.

De drie constructieprincipes en alle bijbehorende verbindingen zijn afgebeeld in bijlage II. De drie constructieprincipes zijn afgebeeld in zo klein mogelijke gebouwvormen. Deze vormen zijn uit te breiden, zoals in Nederlandse gebinten vanaf 1550 is gebeurd, toen langhuizen (de simpelste versie van een gebouw met houten skelet, figuur 3) werden uitgebreid tot gebinten (figuur 4). De reden hiervoor was het samenvoegen van woning, hooiopslag en stal voor warmte voor de woning.



Figuur 3 en 4: doorsnede van een langhuis (eigen illustratie) en van een dekbalkgebint (agrarischerfgoed.nl/boerderijtypen).

Vormverbindingen

Volgens Zwerger & Olgiati (2015, 85) zijn er twee soorten houtverbindingen: demontabele en vaste verbindingen. De naam 'vaste' verbinding is enigszins misleidend, omdat deze verbindingen door het gebruik van houten pennen demontabel gemaakt kunnen worden (zie bijlage II).

Demontabele verbindingen

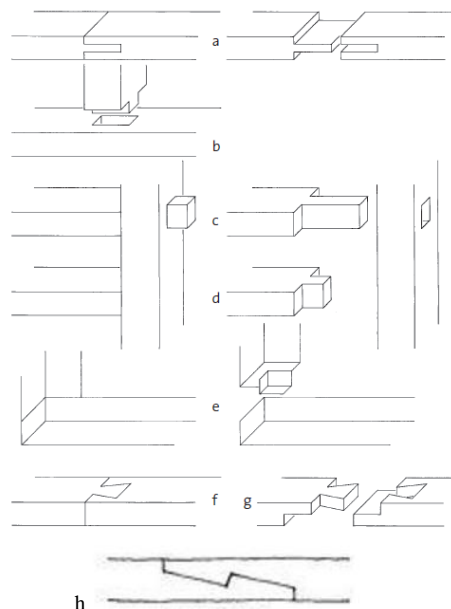
In de geschiedenis werd met demontabele constructies gewerkt voor te verplaatsen gebouwen bij een verhuizing. Verplaatsbare huizen konden toegevoegd worden aan bestaande (bv stenen) constructies, en worden uitgebreid met extra verdiepingen of worden ingekort. Hiervoor waren simpele verbindingen nodig (Zwenger & Olgiati 2015, 85). Alle verbindingen werden met Romeinse cijfers genummerd zodat iedereen de constructie kon heropbouwen. Ook gebouwdelen konden demontabel zijn, zoals een uitneembare dorpel of het verschuifbare dak van een hooischaar. Veel houtverbindingen zijn demontabel te maken, door met houten nagels te werken (Erman, 2002). Deze verbindingen moeten dan robuust zijn: er mogen geen kleine delen uitsteken die bij transport kunnen beschadigen. Afhankelijk van het projectsoort kan hiermee gewerkt worden.



Figuur 5: blokhuutconstructie met extra verdieping (uit Zwenger & Olgiati, 2015, 86).

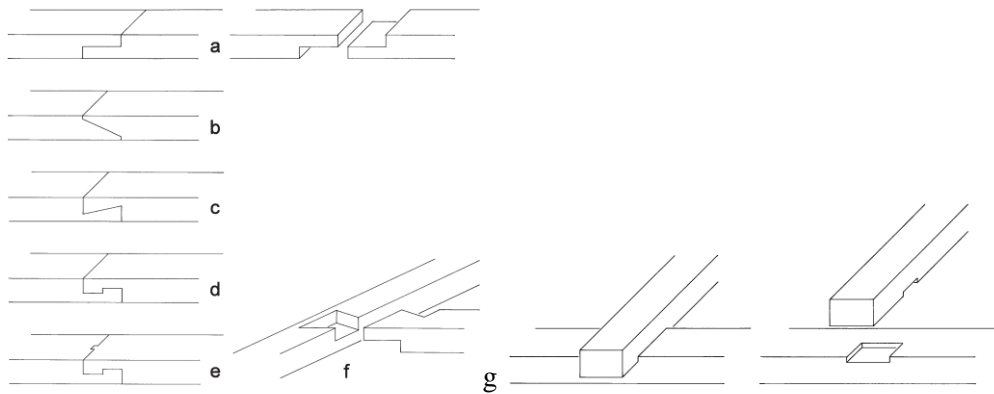
Vaste verbindingen

Om balken te verbinden zijn er twee manieren van verbinden geëvolueerd, overlapt verbindingen en pen-gatverbindingen, die met elkaar te combineren zijn. Pen-gatverbindingen worden gebruikt waar kolom en ligger op elkaar aansluiten (Erman, 2002) en moeten precies worden uitgevoerd, met marges kleiner dan 2mm (Kennedy, Smith & Wanek, 2014, 265). De pen (deel van de balk) wordt in een open of gesloten gat gestoken, en kan ook doorlopen (zie figuur 6, a, b, c, d en e). Later kan voor bevestiging een houten nagel worden toegevoegd. Verbinding f, een zwaluwstaartverbinding, kan trekkrachten opnemen (als de verbinding onder de juiste hoek is afgezaagd). Bij g worden de zwaluwstaart en de gehalveerde verbinding gecombineerd, om gewicht van bovenaf te kunnen opvangen. Bij constructies lange liggers nodig zijn worden de balken die trekkrachten opnemen in Nederland vaak met een haaklas (h) gemaakt.



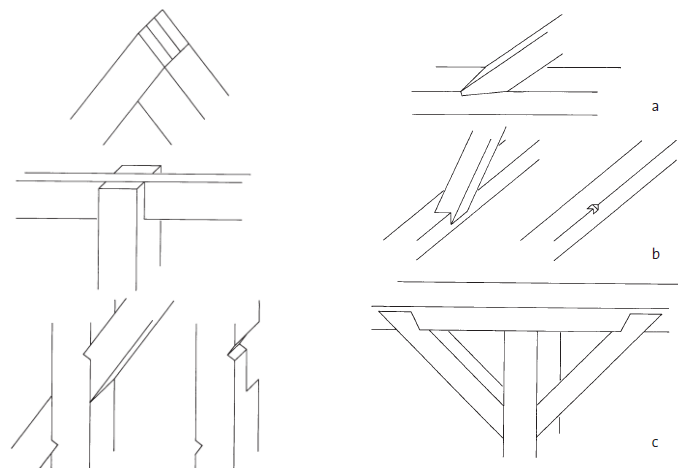
Figuur 6: Pen-gatverbindingen, zwaluwstaartverbindingen en zwanenhalsverbindingen, en schuine verbindingen (uit Zwenger & Olgiati, 2015, 89 en 90 en eigen illustratie).

Bij overlapte verbindingen wordt gebruik gemaakt van een uitgezaagde vorm om krachten over te dragen (figuur 7), waarbij verbinding c t/m g trek- en drukkrachten op kunnen nemen.



Figuur 7: overlapte verbindingen (uit Zwerger & Olgiati, 2015, 88).

Naast bovenstaande verbindingen, tong- en groef verbindingen zijn er schuine verbindingen (figuur 8): L- (gemaakt van een open pen-gat verbinding, gebruikt voor daken), T- (gevoerde pen, voor inklemming van een balk) en X- (diagonale verbinding voor stabiliteit) verbindingen. Dakspanten kunnen worden verbonden met nokbalken door inkepingen, de T-verbinding kan worden versterkt door schuine toevoegingen.



Figuur 8: L-, T- en X-verbindingen en het verbinden van versterkingen aan balken (uit Zwerger & Olgiati, 2015, 88).

Gereedschappen

Hout voor bouwconstructies kan met betaalbare en handzame gereedschappen worden bewerkt: op maat gezaagde balken kunnen worden gekocht of met een kettingzaag op maat worden gemaakt, simpele vormverbindingen kunnen worden gemaakt met een boormachine, beitel en zaag, een CNC machine is niet nodig. Bij een pen-gatverbinding is de pen (vaak 4-5cm breed) het makkelijkst te maken en kan met cirkelzaag of handzaag worden uitgezaagd. Het gat wordt gemaakt door eerst een gat te boren en het gat met een (scherpe) beitel verder uit te hakken. Overlapte verbindingen worden net als pen-gatverbindingen gemaakt met een zaag en beitel.

Duurdere krachtgereedschappen (op elektriciteit) zijn een woodmizer (vanaf €2500, een elektrische boomzaag die stammen op maat en in lengte orthogonaal kan afzagen en naar een bouwlocatie toe gebracht kan worden) en een kettingboorzaag (vanaf €1000, voor aannemers, om in hoog tempo gaten voor pen-gatverbindingen te kunnen maken, Kennedy, Smith & Wanek, 2014, p.266). Beide machines kunnen het bouwproces versnellen.

In bijlage 3 is een overzicht gemaakt van alle handbewerkingsgereedschappen en machinale gereedschappen benodigd voor bouwconstructies.

CONCLUSIES

Houtbouw waarbij hout zo lokaal mogelijk wordt verkregen is een manier toe te werken naar circulair materiaalgebruik in de bouw. Door kennis over de eigenschappen van Nederlandse bomen en geschikte boomsoorten per gebouwdeel kunnen zelfbouwers het juiste hout zo lokaal mogelijk verkrijgen. Circulair materiaalgebruik in de bouw is echter niet te bereiken door enkel het gebruik van Nederlands hout, daar is de hoeveelheid bomen in Nederland op dit moment te klein voor.

Simpele gebouwframes kunnen op drie manieren worden opgebouwd (elk met hun eigen voordelen), waarbij de verhoogde-nokbalkconstructie en omgekeerde constructie in Nederland zijn doorontwikkeld tot het ankerbalkgebint en de dekbalkgebint, waarop verder is gevarieerd.

Voor het maken van demontabele constructies voor het kunnen verplaatsen van gebouwen zijn simpele verbindingen nodig. Voorbeelden van simpele verbindingen zijn pen-gatverbindingen en zwaluwstaartverbindingen bevestigd met pinnen of wiggen. Deze verbindingen zijn met betaalbaar en handzaam gereedschap te maken. Duurdere en grotere krachtgereedschappen kunnen worden aangeschaft door vaklui, wanneer het gewenst is de verwerkingstijd te verkorten.

Een vervolgonderzoek zou het bouwen met houten skeletten kunnen vergelijken met andere bio-based bouwmethodes, zoals strobouw. Deze manier van bouwen heeft in Nederland geen lange traditie, maar zou voor het maken van simpele gebouwen als bij zelfbouw een beter alternatief kunnen zijn: dragende en isolerende wanden kunnen van stro worden gemaakt, mits overspanningen niet al te groot zijn.

REFERENTIES

1. Agro&Chemie. (2018, 8 augustus). *Productiebos keert terug in Nederland*. Geraadpleegd van <https://www.agro-chemie.nl/nieuws/productiebos-keert-terug-in-nederland/>
2. Arnoldussen, J., Errami, S., Semenov, R., Roemers, G., Blok, M., Kamps, M., & Faes, K. (2020, januari). Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw. <https://www.eib.nl/publicaties/beleidsanalyses/materiaalstromen-milieu-impact-en-energieverbruik-in-de-woning-en-utiliteitsbouw/>
3. Bahrani, B. (2018, 23 augustus). *Platform vs. Balloon Framing*. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/figure/Platform-vs-Balloon-Framing-24_fig2_324149760
4. Dijkstra, J. (1952). *Methodisch timmeren*. J.B. Wolters.
5. Erman, E. (2002). Demountable Timber Joints for Timber Construction Systems. *Architectural Science Review*, 45(2), 133–143. <https://doi.org/10.1080/00038628.2002.9697501>
6. H Gulliksson. (2016). *InTerior Design - Convolute*. Geraadpleegd op 10 mei 2020, van https://books.google.nl/books?id=aMQ5DAAAQBAJ&pg=PA66&lpg=PA66&dq=site+structure+space+plan&source=bl&ots=vfwqAKOgD4&sig=ACfU3U2QuR-jS5_KbVYS0i46bMzOla48MQ&hl=nl&sa=X&ved=2ahUKewj9k4ys3LPpAhUCCuwKHx0kBOQQ6AEwEnoECAgQAQ#v=onepage&q=site%20structure%20space%20plan&f=false
7. *Holcim Awards 2014 Asia Pacific*. (2015). Geraadpleegd op 15 mei 2020 van <https://src.lafargeholcim-foundation.org/flip/A15/A15Book/HTML/7/index.html#zoom=z>
8. Kennedy, J. F., Smith, M. G., & Wanek, C. (2014). *The Art of Natural Building-Second Edition-Completely Revised, Expanded and Updated*. New York, Verenigde Staten: Macmillan Publishers.
9. Klaassen, R. (2015). Goed gebruik van eiken in de bouw. *RenovatieTotaal*. Geraadpleegd van <https://www.shr.nl>
10. Nabuurs, G. J., Schelhaas, M. J., Oldenburge, J., De Jong, A., Schrijver, R., Woltjer, G., & Silvis, H. (2016). *Nederlands bosbeheer en bos- en houtsector in de bio-economie*. Geraadpleegd van <https://vnp.nl/wp-content/uploads/2016/09/Wat-snijdt-hout.pdf>
11. Rozinga, G. (2019). *Houtbouwers* [documentaire]. Hilversum: VPRO.
12. Stichting houtvoorlichtingsinstituut Amsterdam & Het Houtinstituut T.N.O. Delft. (z.d.). *Hout, houtsoorten vademecum 1* (4de editie). Amsterdam, Nederland: P.N. Van Kampen & Zoon N.V. .
13. studioDROOMHUIS. (z.d.). *ZAANSE HOUTBOUW architecture without architects*. Geraadpleegd op 10 juni 2020 van <http://studiodroomhuis.nl/zaansehoutbouw.html>
14. *Verantwoord hout kiezen*. (z.d.). Geraadpleegd op 19 mei van <https://www.milieucentraal.nl/in-en-om-het-huis/klussen/verantwoord-hout-kiezen/>
15. Zwerger, K., & Olgiati, V. (2015). *Wood and Wood Joints*. Basel, Zwitserland: Birkhäuser.