Chemische Feitelijkheden

#343
Editie 85
april

Harmen Kamminga

Hout

De natuurlijke composiet

Geen ander omgevingsmateriaal speelt zo'n cruciale rol in de overleving van de mensheid als hout. Voor het grootste deel van de geschiedenis vormde het niet alleen de voornaamste brandstof, maar ook het materiaal waaruit mensen hun schuilplaatsen en onderkomens, vaar- en voertuigen, werktuigen, wapens, meubels en kunstwerken vervaardigden. Zelfs in de huidige tijd met materialen en stoffen speciaal ontwikkeld voor elke denkbare toepassing blijft hout een niet te onderschatten rol spelen.

Hout komt van bomen, dat weet elke kleuter. Maar wat is hout nou eigenlijk echt? Waaruit bestaat het? Hoe zit het in elkaar? Wat maakt hout zo geschikt als bouwmateriaal? Hoe brandt het? En hoe duurzaam is het veelvuldige gebruik van hout?

Hout in al zijn vormen

De bijzondere samenstelling en structuur van hout gaven voor een belangrijk deel de huidige wereld vorm. Als belangrijkste bouwmateriaal én brandstof, gaf het onze beschaving vele duizenden jaren vorm en energie.

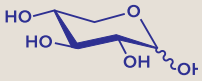
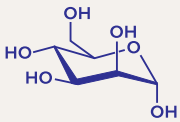
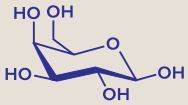
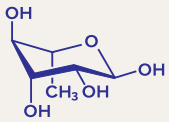
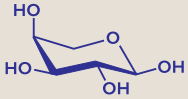
Iedereen kent hout. De gemiddelde kleuter kan al vertellen dat het van bomen komt. De eettafel en andere meubels zijn ervan gemaakt evenals de houten treinbaan. Je kunt erin zagen, hakken en spijkeren. De dakbalken en het schuurtje zijn van hout. Je kunt er de open haard of een kampvuur op laten branden. Iets geavanceerder misschien is de notie dat er veel verschillende soorten bomen zijn, met net zoveel soorten houtsoorten, die allemaal weer andere eigenschappen hebben. Dit soort informatie over hout geven mensen al duizenden jaren aan elkaar door. Hout is zo met ons bestaan verweven, dat we nog maar zelden lang bij het materiaal stilstaan. Het was zo gewoon dat hout de spreekwoordelijke tegenhanger werd van het kostbare edelmetaal goud.

Ook woordenboek *Van Dale*, toch lang gedrukt op uit hout gewonnen papier (zie ook het kader op pagina 5), maakt van hout weinig bijzonders: '**hout** (het; o) 1 de harde stof waaruit bomen bestaan: ...'

Direct na die korte definitie staan een aantal gezegden met het woord. Ook van de Nederlandse Wikipedia wordt de chemisch geïnteresseerde lezer weinig wijzer: '**Hout** is het voornaamste bestanddeel van houtige planten.' Het doet je vooral afvragen op welke plaats water in de lijst van voorname bestanddelen van houtige planten staat.

De Engelstalige Wikipedia werpt meer licht op de chemie van hout. Vrij vertaald: '**Hout** is een poreus en vezelig weefsel dat wordt gevonden in de stengels en wortels van bomen en andere houtige planten. Het is een organisch materiaal, een natuurlijke composiet van cellulosevezels met een grote treksterkte ingebed in een moeilijk samen te persen matrix van lignine.'

Tabel. De meest voorkomende suikers in hemicellulose.

Naam	Chemische formule	Structuurformule
Xylose	$C_5H_{10}O_5$	
Mannose	$C_6H_{12}O_6$	
Galactose	$C_6H_{12}O_6$	
Rhamnose	$C_6H_{12}O_5$	
Arabinose	$C_5H_{10}O_5$	

Hemicellulose is een heteropolymeer dat is opgebouwd uit diverse C5- en C6-suikermonomeren.

Chemische samenstelling

De chemische samenstelling van hout, die overigens in detail van plank tot plank nog best uiteen kan lopen, wordt allereerst bepaald door het feit dat hout een materiaal is van biologische oorsprong. Het is dus opgebouwd uit koolwaterstoffen. De massa van een typisch stuk droog hout bestaat dan ook voor zo'n 50 % uit het element koolstof (C), gevolgd door 42 % zuurstof (O) en iets van 6 % door het lichte waterstof (H). Stikstof (N) maakt slechts ongeveer 1 % van de massa van hout uit en andere elementen zoals calcium, kalium, natrium, magnesium, ijzer, mangaan, zwavel, chloride, silicium en fosfor samen nog ongeveer 1 %.

Vaatplanten leggen houtvaten in de eerste plaats aan om water en opgeloste mineralen van hun wortels in de bodem te trans-

porteren naar hoger gelegen plantendelen. De transportvaten ontstaan uit boven en naast elkaar gelegen gespecialiseerde cellen. De levende cellen zorgen er zelf voor dat de tussenliggende celwanden deels afbreken, waarna de cellen afsterven. Uit het zo ontstane netwerk van met elkaar verbonden holle celwanden vormen zich doorlopende kanaaltjes, die uiteindelijk het bovengrondse bladerdek door de gehele lengte van de stengel of stam met het ondergrondse wortelstelsel verbindt. Doordat uit de bladeren voortdurend water verdampt, ontstaat een onderdruk in de houtvaten, waardoor die tegen de zwaartekracht in lager gelegen water gaan aanzuigen. Overdruk in de wortels (worteldruk) en een combinatie van adhesie van watermoleculen aan de wanden en cohesie van watermoleculen aan elkaar in de smalle houtvaten (capillaire werking) ondersteunen dit transport. Om grotere hoogtes te bereiken in struiken en bomen is de aanzuigende kracht uit de verdampende bladeren echter verreweg het belangrijkst.

▶ Leven op aarde

Lang speelde vrijwel alle leven op aarde zich af in het water. Vanaf zo'n 500 miljoen jaar geleden kleurden hier en daar de oevers van de stenige aarde groen door aangroei van algen, primitieve mossen en sporenvormende planten. Ongewervelde consumenten volgden de eerste producenten het land op. Het meercellige leven op het land moet de eerste 100 miljoen jaar echter beperkt gebleven zijn tot een smalle zoom dicht langs het water, want de planten hadden nog geen vaatbundels. Transport van water en nutriënten, verder dan door sponswerking van de vegetatie, was niet mogelijk.

Zo'n 400 miljoen jaar geleden veranderde dat toen de eerste vaatplanten ontstonden. Door vaatbundels in horizontale wortelstokken konden die water over grotere afstanden over land vervoeren naar verticaal omhoogschietende stengels. De houtvaten in die stengels zorgden ook voor de stevigheid die de planten overeind hield in een gunstige positie voor lichtonderschepping en fotosynthese.

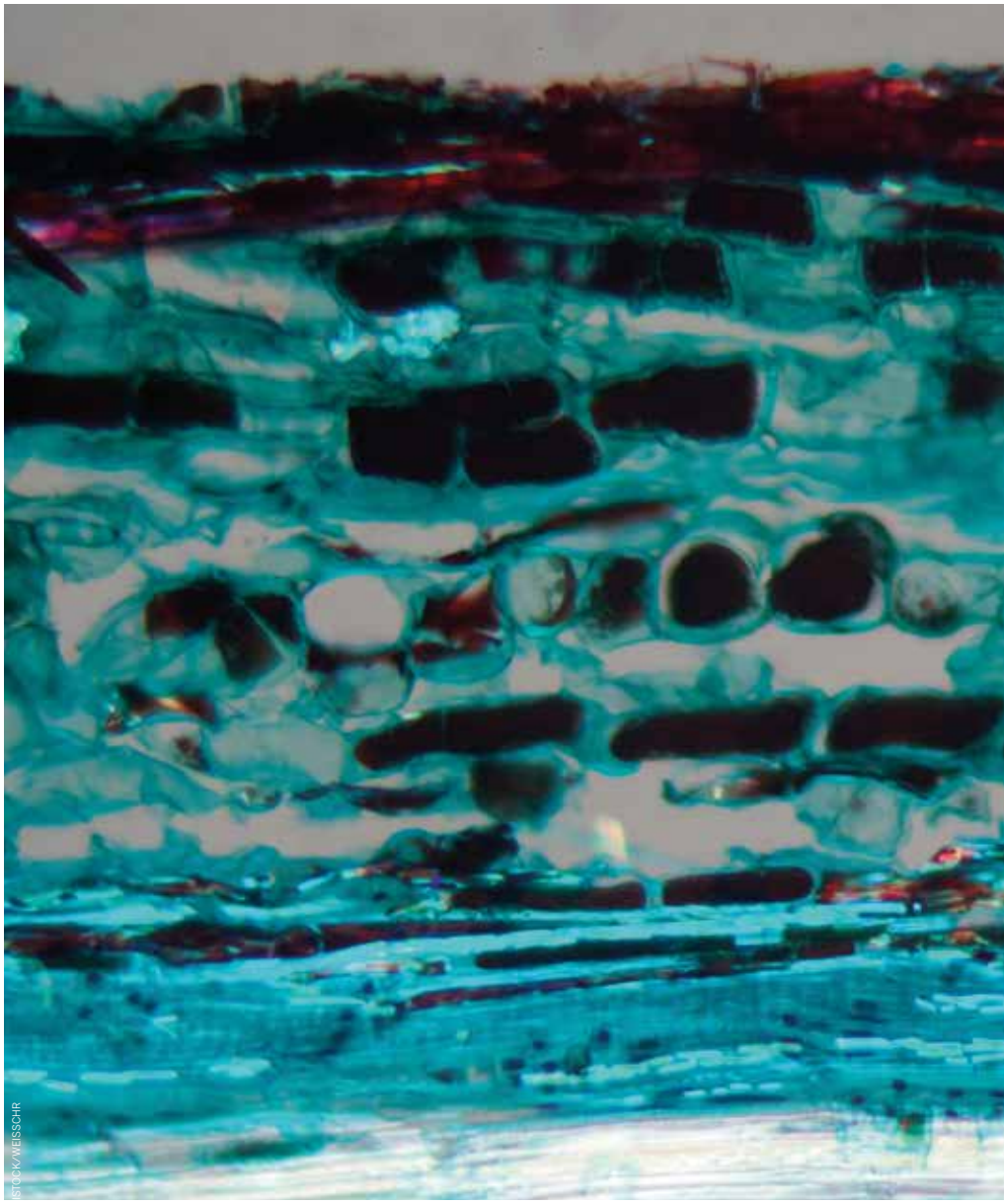
Aan het einde van het Devoon, rond 380 miljoen jaar geleden, was het land waarschijnlijk overdekt met wouden van boomvarens met stevige houten stammen die de hoogte van tegenwoordige bomen konden bereiken. Ook de eerste zaadplanten waren al ontstaan.

Op de bosbodems vonden veel nieuwe soorten geleedpotigen een plek om te leven. De eerste gevleugelde insecten zochten het tussen de bomen hogerop. Ook gewervelden vestigden zich in de vochtige wouden op het land. Uit de kwastvinnige vissen ontwikkelden zich de amfibieën.

De opkomst van de landplanten en hun opslag van CO_2 in hout, zorgde voor een afname van CO_2 in de atmosfeer. Geologen gaan ervan uit dat dit aanleiding gaf tot een wereldwijde temperatuursdaling die aan het einde van het Devoon veel aan warm water aangepaste organismes deed uitsterven.

Natuurlijke composiet

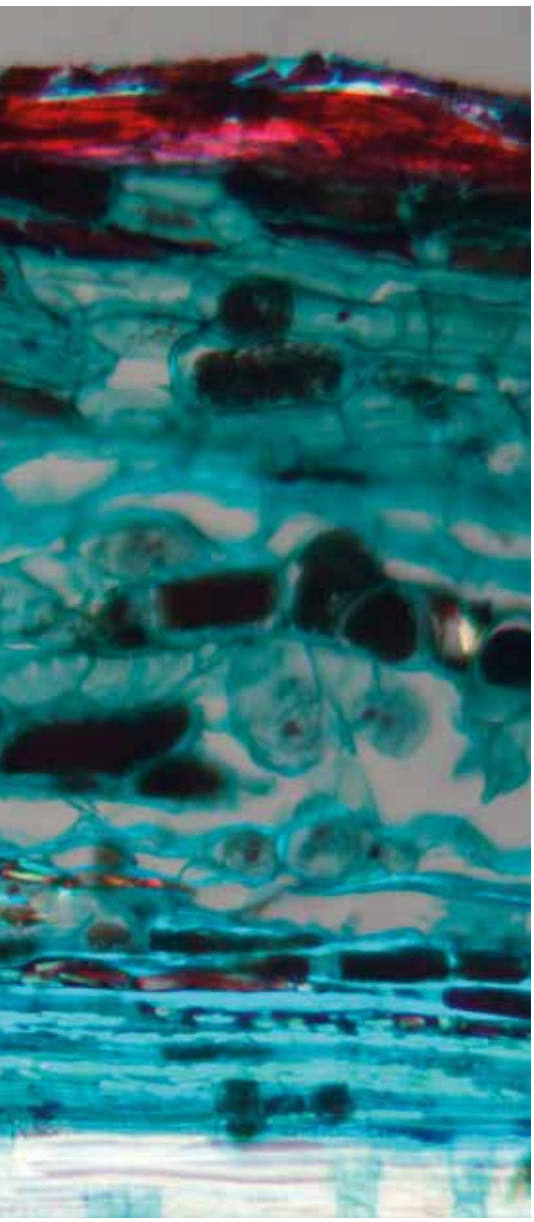
Om het systeem van watertransport tegen de zwaartekracht in efficiënt te laten werken, is het belangrijk dat houtvaten stevige wanden hebben, die geen water doorlaten en niet dichtklappen onder de heersende onderdruk. Honderden miljoenen jaren voor de materiaalkunde ontwikkelde de natuur een waterdicht composietmateriaal dat een optimale combinatie biedt van stijfheid en sterkte (zie ook het kader op pagina 3). De celwanden rond houtvaten bevatten lange polymeervezels die liggen ingebed in een waterafstotende lijm die simpelweg houtstof heet: lignine, van *lignum* (Latijn voor hout). In opbouw lijkt het sterk op de vezelversterkte kunststoffen die lucht- en ruimtevaarttechnici ontwikkelen.
De vezels in hout bestaan voornamelijk uit lange ketens van glucose-eenheden: cellulose. Cellulose is het meest voorkomende natuurlijke polymeer. Dit komt met name doordat alle hout in de wereld voor meer dan 40 % bestaat uit dit polysacharide. Cellulose is een condensatiepolymeer van D-glucose, net als zetmeel en glycogeen. Het heeft ook dezelfde molecuulformule als die plantaardige en dierlijke energieopslagpolysacharides: $(C_6H_{10}O_5)_n$.
In tegenstelling tot zetmeel en glycogeen is het bouwmateriaal cellulose echter niet gemakkelijk tot kleinere suikereenheden af te breken. Dit komt doordat de glucose-eenheden anders aan elkaar gebonden zijn. In cellulose zijn de glucose-eenheden aan elkaar gekoppeld via zogenoemde β (1 - 4) bindingen, terwijl glucose in amylose (zetmeel) via α (1 - 4) bindingen en in het vertakte glycogeen via α (1- 4) en α (1 - 6) bindingen aan elkaar gekoppeld zijn.
De β (1 - 4) bindingen in cellulose zorgen ervoor dat zich vlakke, langgerekte, onvertakte moleculen vormen, die zich gemakkelijk dicht op elkaar laten stapelen. Tussen de dicht opeengepakte cellulosemoleculen ontstaan veelvuldig waterstofbruggen, vooral tussen de hydroxylgroepen en het zuurstofatoom van naastgelegen glucose-eenheden. Dit zorgt voor zeer sterke vezels en maakt de polymeermoleculen moeilijk bereikbaar voor cellulose-afbrekende enzymen. Cellulosevezels bestaan zo uit vele met waterstofbruggen aan elkaar verbonden cellulosemoleculen. En elk cellulosemolecuul kan uit enkele honderden tot wel zo'n vijftienduizend glucosemonomeren bestaan.



De structuur van grenenhout onder de microscoop.

Hemicellulose en pectine

Behalve cellulose komen in hout nog andere polysacharides voor. Hemicellulose bijvoorbeeld maakt zo'n 20 tot 30 % van de massa van droog hout uit. Anders dan cellulose, dat een polymeer van alleen D-glucose is, zijn hemicelluloses opgebouwd uit een mix van verschillende suikergrondstoffen. Waar cellulose een homopolymeer is, zijn hemicelluloses dus heteropolymeren. Hemicelluloses zijn vooral opgebouwd uit de monomeren xylose, mannose, galactose, rhamnose en arabinose (zie de tabel op pagina 2). Hemicelluloses zijn door hun gevarieerde opbouw veelvormig van structuur. De polymeerketens zijn vaak vertakt en veel korter dan cellulose, meestal tussen de vijfhonderd en drieduizend eenheden. In de celwand vormt hemicellulose daardoor een vormeloze kluwen, die de sterke, lange cellulosevezels omgeeft en aan elkaar verankert.
Net als hemicellulose is ook pectine opgebouwd uit heteropolysacharides. Maar waar xylose- en mannosemonomeren de hoofdmoot vormen van hemicellulose, bestaat pectine vooral uit polygalacturonzuur. Galacturonzuur is het zuur van galactose.



Lignine

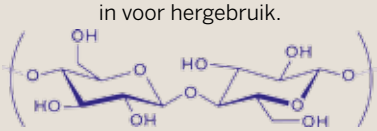
Droog hout bestaat behalve uit cellulose en hemicellulose, voor zo'n 20 tot 35 massaprocent uit lignine. Na cellulose ligt de meeste koolstof (C) die op aarde is vastgelegd buiten fossiele afzettingen opgeslagen in lignine.
Ook lignine is opgebouwd uit polymeren. Bij lignine liggen vormen niet suikereenheden de basis van de polymeren, maar fenolen. Lignine is dus opgebouwd uit polyfenolen. De monomeren die in lignine het meest voorkomen zijn: 4-(3-hydroxy-1-propenyl)-2-methoxyfenol (coniferylalcohol), 4-{(E)-3-hydroxyprop-1-enyl}fenol (paracoumarylalcohol) en 4-(3-hydroxypro-1-enyl)-2,6-di-methoxyfenol (sinapylalcohol).
Ligninemoleculen vormen een sterk vertakt en onderling verbonden netwerk. Individuele moleculen en de polymeriseringsgraad (het aantal monomeren waaruit de moleculen zijn opgebouwd) zijn in die ligninematrix niet goed te onderscheiden.
Lignine bindt ook aan de cellulose en hemicellulose en vormt zo als het ware de lijm die houtvezels bij elkaar houdt. Lignine is nog moeilijker biologisch en chemisch afbreekbaar dan cellulose. Doordat de houtstof de andere houtcomponenten omgeeft, maakt lignine hout als geheel ook nog weer moeilijker afbreekbaar.
Het hydrofobe lignine zorgt er bovendien voor dat de wanden van de houtvaten waterdicht zijn. Zonder een omgeving van lignine zouden de sterk hydrofiele polysacharides in de celwanden gemakkelijk water absorberen en doorlaten.
Het is vooral de combinatie van de lange, sterke cellulosevezels in de stevige, moeilijk samendrukbare, maar door de vele minuscule houtvaten tevens luchtig sponzige ligninematrix, die hout de bijzondere materiaaleigenschappen geeft die het zo geschikt maken als lichtgewicht bouwmateriaal.

Houtrot en schimmels

Dat er zoveel hout is in de wereld en door de eeuwen heen zoveel nuttige toepassingen voor hout gevonden zijn, komt voor een belangrijk deel doordat hout anders dan veel andere organische materialen bijzonder moeilijk afbreekt. Een belangrijke reden daarvoor is het lage stikstofgehalte van hout (ongeveer 1 %). Het vergt gespecialiseerde afbrekende organismes om in een substraat met zo weinig stikstof überhaupt de enzymen te kunnen maken die de lange en vertakte polymeren kunnen afbreken.
Met name het hydrofobe polyfenole lignine vormt een weerbarstig substraat voor biologische afbraak. Veel boomsoorten slaan daarnaast nog hars (poly)fenolachtige stoffen als tannines, terpenen, stilbenen, flavonoïden en tropolonen op in hun hout. Die stoffen zijn giftig voor de schimmels en bacteriën die het op de beter verteerbare delen in het hout hebben voorzien.
Dat hout toch kan rotten, komt omdat met name bepaalde groepen schimmels zich hebben toegelegd op de vertering van dit alomtegenwoordige substraat. Vooral vochtig en mechanisch beschadigd hout zal uiteindelijk vaak door schimmels worden aangetast.
Sommige schimmels leven van de afbraakproducten van de cellulosevezels. Zij wurmen daartoe extreem dunne schimmeldraden tussen lignine rijke-houtlaagjes door om hun cellulose-afbrekende enzymen (cellulases) bij het gemakkelijker afbreekbare cellulose af te leveren. Dit lukt veelal alleen onder zeer vochtige omstandigheden. In droger hout vormt het lignine zelfs voor veel hout-afbrekende schimmels een nauwelijks te nemen hindernis.
Sommige schimmels hebben echter een chemische sluiproute gevonden om de lastige lignine te omzeilen. Zij dringen nauwelijks fysiek in het hout, maar slagen er toch in om de celluloserijke lagen tussen het lignine vrijwel geheel af te breken. Omdat na de afbraak van de wittige cellu-

▶ Steeds minder hout in papier

In de Middeleeuwen vervaardigden Europeanen papier uit plantaardige vezels, textielafval en beenderlijm. Schaarste aan lompen deed chemici in de eerste helft van de 19de eeuw uitkijken naar cellulosevezels uit hout als papiergrondstof. Er ontstonden diverse procedures om papiervezels uit het hout los te maken en de lignine te verwijderen ('houtvrij' papier). Veel van de huidige chemische kennis over hout werd verzameld ten behoeve van de papierindustrie.
Om papier te maken, vermaal je bomen tot houtpap die je in grote ketels kookt in natronloog met natriumsulfide; zo scheid je de lignine van de cellulose. De vezelige cellulosebrij die overblijft is na bleken geschikt als papiergrondstof.
Tegenwoordig gebruikt Europa meer dan de helft van al het papier opnieuw als papiergrondstof en is papier het meest gerecyclede materiaal. Nederland zamelt meer dan driekwart van het gebruikte papier in voor hergebruik.



Cellulose.

losevezels een brokkelig, bruin lignnerijk houtrestant overblijft, worden deze schimmels bruinrotschimmels genoemd.

Bruinrot en witrot

Bruinrotschimmels richten zich bij de afbraak van hout in de eerste plaats op het gemakkelijker bereikbare hemicellulose. De cellulases die zij uitscheiden, zijn eigenlijk speciaal geoptimaliseerde hemicellulose afbrekende enzymen en werken in vitro vaak zelfs nauwelijks in op een substraat met alleen cellulose. Bij de afbraak van hemicellulose produceren de enzymen van de bruinrotschimmels echter aanzienlijke hoeveelheden waterstofperoxide (H_2O_2). Die kleine moleculen kunnen tussen de ligninematrix door naar de cellulosevezels diffunderen en de cellulose stap voor stap oxideren. De schimmel hoeft vervolgens alleen maar af te wachten tot de afbraakproducten van de cellulose zijn kant op diffunderen.
De chemische afbraak van cellulose door H_2O_2 heeft als bijkomend voordeel dat op de bruinrotschimmels op deze manier veel minder enzymen hoeven uit te scheiden en dus meer van de in hout zeer schaarse stikstof voor andere doeleinden kunnen benutten.
Witrot ontstaat door schimmels die juist gespecialiseerd zijn in de afbraak van het ingewikkelde ligninesubstraat, waarbij de wittige cellulosevezels overblijven. Witrotschimmels zijn de enige organismes op aarde die dit kunnen. Lignine enzymatisch afbreken zou door de veelheid aan verbindingen een hele reeks gespecialiseerde enzymen vergen. Witrotschimmels slagen er echter via wederom de productie van H_2O_2 uit glucose in om met slechts enkele enzymen in ligninenetwerken een ketting van oxidatiereacties op gang te brengen die de lignine uiteen doet vallen. Het enzym laccase breekt daarbij de benzeenringen open voor verdere afbraak.

▶ Thermisch modificeren

Op zoek naar alternatieven voor aardolie onder druk van de oliecrisis, stortte de Westerse petrochemie zich halverwege de jaren zeventig op de winning van olieachtige producten uit hout. Bijvangst van de extractie- en pyrolyse-experimenten was dat sommige behandelingen het gebruikte goedkope naaldhout omzetten in een materiaal dat zich qua levensduur kon meten met tropisch hardhout. Uit die vondst ontstond een nieuwe industrie met fabrieken in onder meer Finland, Frankrijk, Duitsland en Nederland.
Bij thermische modificatie verlaag je het vochtgehalte in het hout sterk. Door het hout daarnaast in een omgeving met weinig zuurstof zeer gecontroleerd gedeeltelijk te laten pyrolyseren, breekt het vooral voor schimmels aantrekkelijke hemicellulose af. Welke chemische veranderingen het hout onder invloed van de temperatuurbehandelingen precies ondergaat, is nog onderwerp van onderzoek.
Zeker is dat thermische modificatie hout minder aantrekkelijk maakt voor de meeste schimmels en insecten. Zo kan het Nederlandse Platowood goedkoop Europees vurenhout opwaarderen tot bouwhout van de hoogste duurzaamheidsklasse. Een nadeel van thermisch modificeren is dat de verhitting het hout breekbaarder maakt.

Hout verduurzamen

Dat schimmels hout, en dan met name nat hout, langzaam maar zeker verteren, vormt een van de belangrijkste beperkingen van hout als bouwmateriaal. Meer schimmelbestendige houtsoorten kiezen of houten bouwmateriaal behandelen met schimmelwerende middelen of een afsluitende verflaag, zijn de belangrijkste bederfwerende maatregelen. Thermische modificatie voegt daar de laatste tien jaar een nieuwe methode aan toe (zie ook kader).
Een andere belangrijke beperking van hout als bouwmateriaal is de goede brandbaarheid. Veel Nederlandse steden kennen in hun geschiedenis allesverwoestende stadsbranden uit de tijd dat nog vooral houten huizen werden gebouwd. Toch hebben mensen ook al duizenden jaren dankbaar gebruikgemaakt van de goede brandbaarheid van hout. Tot de opkomst van steenkool en later aardolie en aardgas waren hout en houtskool wereldwijd de belangrijkste energiebronnen.

Pyrolyse

Op het eerste gezicht lijkt hout een vaste brandstof. Je kunt het als zodanig ook gemakkelijk naar een gewenste vuurplaats transporteren. Nadere beschouwing van het verbrandingsproces leert echter dat het niet direct de grote cellulose- of ligninemoleculen zijn die je in de open haard ziet branden, maar dat die grote koolwaterstoffen onder invloed van toegevoerde warmte ontleden tot kleine, gasvormige koolwaterstoffen die uit het hout vrijkomen: pyrolyse. Met zuurstof in de lucht rond en in het poreuze hout, oxideren de kleine gasvormige koolwaterstofmoleculen in een exotherme reactie tot CO_2 en water. De energie die vrijkomt bij die verbranding, zorgt ervoor dat weer meer cellulose en lignine afbreekt in kleine gasvormige moleculen, die op hun beurt het vuur voeden. Door die kettingreactie houdt een

CANSTOCK PHOTO/OLEGMIT

eenmaal gestart houtvuur zichzelf in stand en blijft het warmte vrijmaken zolang er voldoende brandstof en zuurstof aanwezig is.
Bij de verbranding van hout zijn in de praktijk zuurstof en toegevoerde hitte vaak beperkende factoren. Als hout onder zuurstofarme omstandigheden onvoldoende heet brandt, blijft een droog, vast reactieproduct over dat grotendeels bestaat uit het element koolstof. Die houtskool wordt al sinds de Oudheid gewaardeerd als superieure brandstof, omdat het heter brandt en veel minder rook geeft dan brandhout. De hogere temperaturen van houtskoolvuren komen bovendien bijzonder van pas als je metalen smelt. Dit gebruik leidde op den duur weer tot het bijmengen van houtskool in ijzer en zo de vorming van staal. Tot het einde van de Eerste Wereldoorlog was houtskool bovendien een belangrijk bestanddeel van buskruit.

Ontbossing

Houtskoolproductie droeg door de eeuwen heen sterk bij aan de ontbossing van grote delen van Europa. Alleen al in de bergwouden van Centraal-Europa hielden ooit honderdduizenden arme mensen zich als kolenbrander bezig met de chemie van houtskoolproductie. Hoewel overheden en boseigenaren zich eeuwenlang inspanden om houtkap te reguleren, niet in de laatste plaats om de toevoer van goede kwaliteit hout voor bouw en scheepsbouw veilig te stellen, bleven van de Europese wouden slechts snippers en stukjes heraanplant over. Tot op heden hebben mensen steeds weer nieuwe houtvoorraden weten te vinden en aan te spreken. Momenteel consumeren we vooral de tropische bossen in het Amazonegebied, het Congobekken en Zuidoost-Azië met een snelheid van zo'n 36 voetbalvelden per minuut. De huidige ontbossing zorgt op jaarbasis voor 15 % van de wereldwijde CO_2-uitstoot. Zolang onze land- en energiehonger onverminderd blijft en mensen hout en biomassa blijven zien als goedkope klimaatneutrale, natuurlijke energiebron en duurzame, hernieuwbare grondstof, ziet de toekomst van de resterende bossen en al wat daarin leeft er slecht uit. ●

De *mountain pine beetle* (*Dendroctonus ponderosae*), ofwel dennenkever, komt voor in bossen in het westen van de VS, Mexico en de Canadese provincies British Columbia en Alberta. Hij meet slechts 5 mm, maar vormt een grote plaag die zich makkelijk en snel verspreidt in uitgestrekte bossen. De kever legt eitjes onder de schors en maakt daarbij een schimmel aan die water- en voedingstransport in de boom blokkeert. De larven doen zich tegoed aan de boomschors en de boom sterft binnen enkele weken. In British Columbia heeft de kever inmiddels ruim 30 % (16 miljoen ha) bos verwoest.

Voor op school:

1. Ken je naast cellulose nog andere polysacharides? Geef twee voorbeelden.
2. Bereken het massapercentage koolstof in cellulose.
3. Waarom is cellulose in tegenstelling tot andere polysacharides niet gemakkelijk tot kleinere suikereenheden af te breken?
4. Wat wordt bedoeld met een heteropolymeer?
5. Wat voor rol speelt het heteropolymeer hemicellulose?
6. Leg uit op welke wijze lignine kan binden aan cellulose en hemicellulose.
7. Wat is het verschil tussen bruinrot en witrot?
8. Beschrijf in je eigen woorden de pyrolyse van hout.
9. Onder welke omstandigheden ontstaat houtskool uit hout?
10. Waarom is houtskool door de eeuwen heen een zeer geliefde brandstof geweest?
11. Geef één argument voor en één argument tegen het gebruik van hout als duurzame energiebron.

Meer weten?

- www.fsc.nl/nl-nl, Nederlandstalige website van de Forest Stewardship Council met informatie over ontbossing en duurzaam houtgebruik.
- www.cbc.ca/news/canada/new-brunswick/n-b-fossils-show-origins-of-wood-1.1052870, onderzoekers in New Brunswick (VS) beschrijven hoe hout voor het eerst op de Aarde verscheen.
- Schmitt, U., G. Koch, R. Lehnen (2014) *Wood, Ullmann´s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH Verlag, Weinheim. ISBN: 9783527303854

Editie

Hout

editie 85 | nummer 343 | april 2018

www.chemischefeitelijkheden.nl

Coverbeeld: zelfs in de huidige tijd met materialen en stoffen speciaal ontwikkeld voor elke denkbare toepassing blijft hout een niet te onderschatten rol spelen.

Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

KNCV

Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), drs. Franny Scholte (eindredacteur), Harmen Kamminga (tekst), Henk Ubbels (vragen en correctie)

Vormgeving & Opmaak

Marije van de Linde/Content Innovators

Uitgever

Roeland Dobbelaer, Vakbladen.com
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag
info@betapublishers.nl

Abonnementen

MijnTijdschrift.com
088-2266626
chemischefeitelijkheden@mijntijdschrift.com

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

Tarieven (2018)

Voor particulieren: online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 87,75*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.
Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 262,50*.
Losse nummers kosten € 9,95* per stuk en zijn te bestellen bij Abonnementenland.
*Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 administratieosten in rekening gebracht.