

B1-850

Versneld drogen van hout

Ir. Andries van Eckevelde, Innovita advies & projectbegeleiding

Met medewerking van drs. Wolfgang Gard, TU Delft, dhr. Peter van Roy, Houtindustrie Schijndel,
dhr. Floris van den Berg, UVO Lopik

Het drogen van hout is voor veel toepassingen van groot belang. Wanneer niet-gedroogd hout in dergelijke toepassingen zou worden verwerkt, vindt ongecontroleerde droging plaats. Het hout kan dan allerlei onvolkomenheden gaan vertonen, die de functionaliteit en de uitstraling van de toepassing negatief kunnen beïnvloeden. Ook is het voor bepaalde precisiebewerkingen van belang dat het hout na de bewerking niet meer ‘beweegt’, bijvoorbeeld wanneer onderdelen exact in elkaar moeten passen. Voor andere toepassing is het soms niet haalbaar of niet wenselijk om het hout te drogen, bijvoorbeeld wanneer de afmetingen te groot zijn of wanneer het hout wordt toegepast in natte omgevingen in de wegen- en waterbouw.

Voor veel toepassingen is het drogen van hout echter een essentiële ‘bewerking’ van het hout en buitengewoon nuttig voor de toepasbaarheid van hout. Aan de andere kant is het proces van houtdrogen veel complexer dan menigeen op voorhand denkt. Behalve een aantal procesvariabelen waarmee het droogproces aangestuurd wordt, speelt ook de variatie van de houteigenschappen en houtkwaliteit een grote rol. Het groeiend aantal houtsoorten dat inmiddels gedroogd wordt, is hierbij een bijzondere uitdaging.

Inhoudsopgave

	Inleiding
1	Anatomie van hout en watertransport
1.1	Transportweefsel in naaldhout
1.2	Transportweefsel in loofhout
1.3	Fysische eigenschappen van hout
1.3.1	Anisotropie
1.3.2	Houtvochtgehalte
1.3.3	Water in hout
1.3.4	Vezelvezadigingspunt
1.3.5	Evenwichtshoutvochtgehalte
1.3.6	Hysteresis
2	Gedroogd hout in zijn toepassing
3	Houtdrogen: een ambacht
3.1	Principe van houtdrogen
3.2	Beïnvloeding van droogproces
3.3	Factoren betreffende klimaat in droogkamer
3.4	Factoren betreffende hout
3.5	Factoren betreffende droogkamer zelf
4	Droogkwaliteit
4.1	Houtvochtgehalte meten
4.2	Is juiste houtvochtgehalte bereikt?

4.3	Relevante normen
4.4	Houtkwaliteit
4.5	Systematische beoordeling droogkwaliteit
4.6	Houtopslag
5	Droogtechnieken
5.1	Conventionele droging
5.2	Condensatiedrogen
5.3	Stoomdrogen/hogetemperatuurdrogen
5.4	Vacuümdrogen
5.5	Overige droogtechnieken
6	Houtdrogen in Nederland
	Normen en overige regelgeving
	Literatuur
	Url's

Inleiding

In dit artikel wordt een globaal overzicht geboden over het complexe veld van 'versneld houtdrogen'. Hoofdstuk 1 beschrijft de anatomie van het hout en het watertransport door de boom, waarna er ook aandacht wordt besteed aan de fysische eigenschappen van hout, aangezien deze nauw verband houden met het drogen van hout. Feitelijk is houtdrogen gebruikmaken van fysische processen in hout. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op het drogen van hout in relatie tot de beoogde toepassing. Hoofdstuk 3 beschrijft het principe van houtdrogen en welke factoren het droogproces in het algemeen sturen. Hierbij wordt ook aandacht geschonken aan het stapelen van hout, als een cruciale factor voor succesvolle droging.

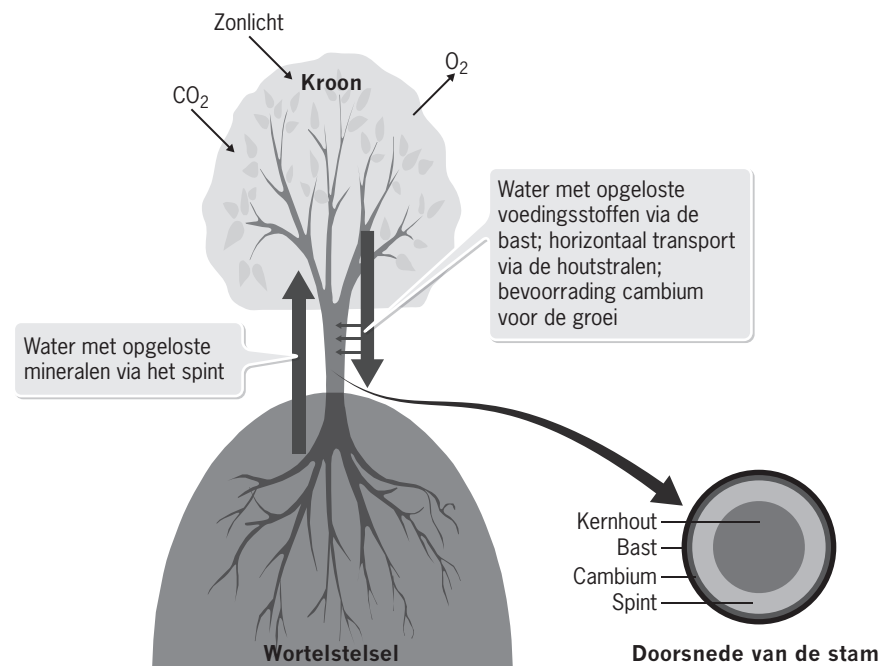
Allerlei aspecten betreffende de droogkwaliteit worden beschreven in hoofdstuk 4. De droogkwaliteit wordt uitgesplitst in een deel over het bereiken van het juiste houtvochtgehalte en een deel over houtonvolkomenheden als gevolg van het droogproces. De relevante (Europese) normen die betrekking hebben op houtdrogen en de kwaliteit van drogen worden genoemd en besproken. De opslag van het gedroogde product mag niet ontbreken, aangezien dit ook van belang is voor het succesvol toepassen van hout. De verschillende droogtechnieken die in Nederland gebruikt worden, staan beschreven in hoofdstuk 5. Deze zijn aangevuld met enkele andere technieken die in Nederland niet als zodanig worden gebruikt.

Het artikel sluit af met een korte situatieschets van het houtdrogen in Nederland, waarbij een beperkte enquête onder houtdrogers voor relevante input heeft gezorgd.

De informatie in dit artikel is grotendeels ontleend aan de volgende literatuur, waarnaar verwezen wordt voor een meer gedetailleerde uitleg: *Handboek Houtdocumentatie*, rubrieken B1-110 [lit. 4], B1-111 [lit. 7], B1-112 [lit. 6], B1-140 [lit. 5] en B1-141 [lit. 8]; de Inleiding uit het *Houtvademecum* [lit. 13]; Desch & Dinwoodie [lit. 2]; *Loofhout herkennen* [lit. 1]; *Versneld drogen van hout* [lit. 9]. In sommige specifieke gevallen wordt expliciet naar een bron verwezen.

1 Anatomie van hout en watertransport

Voor een goed begrip van het drogen van hout is het van belang na te gaan hoe de houtstructuur in elkaar zit. De boom waaruit het gezaagd hout afkomstig is, bevat een tweetal soorten transportkanalen waardoor water en de voedingsstoffen zich door de boom verspreiden (zie afbeelding 1). In het spint van de boom zijn deze kanalen actief. Na het proces van verkerning vervullen de transportkanalen geen actieve transportfunctie meer. De soort en complexiteit van deze transportkanalen hangen samen met de specifieke houtsoort en het type boom: loofboom (Angiospermae) of naaldboom (Gymnospermae). De transportkanalen vormen relevante determinatiekenmerken om het geslacht of de soort van een houtsoort te kunnen bepalen.



Afbeelding 1. Schematische weergave van het watertransport in de levende boom.

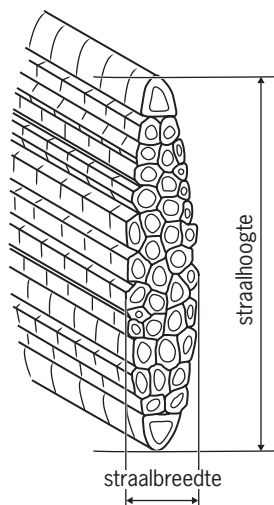
Afbeelding: Innovita advies & projectbegeleiding

De grootste kanalen zijn de kanalen die in de lengterichting van de boom verlopen. In het vakjargon wordt dit de longitudinale richting van het hout genoemd. Elke houtsoort bestaat – sterk versimpeld – uit een reeks van ‘buisjes’ in longitudinale richting. Het grote verschil tussen loofhout en naaldhout (in de handel vaak hardhout respectievelijk zacht hout genoemd) is gelegen in de soort en de samenstelling van de buisjes. In naaldhout zijn dat de tracheïden (houtvezels). Deze naaldhouttracheïden vormen transportweefsel met steunfunctie. In loofhout bestaat het transportweefsel uit de zogenoemde vaten (tracheeën), waarbij het steunweefsel door de vezels wordt veroorzaakt. De anatomische structuur van naaldhoutsoorten lijkt sterk op elkaar, terwijl er bij loofhoutsoorten meer verschil in weefseltypen is tussen de verschillende soorten. Daarom is loofhout met een loep of binoculair beter te determineren, terwijl er bij naaldhout een microscoop aan te pas moet komen.

transportkanalen in langrichting en dwarsrichting

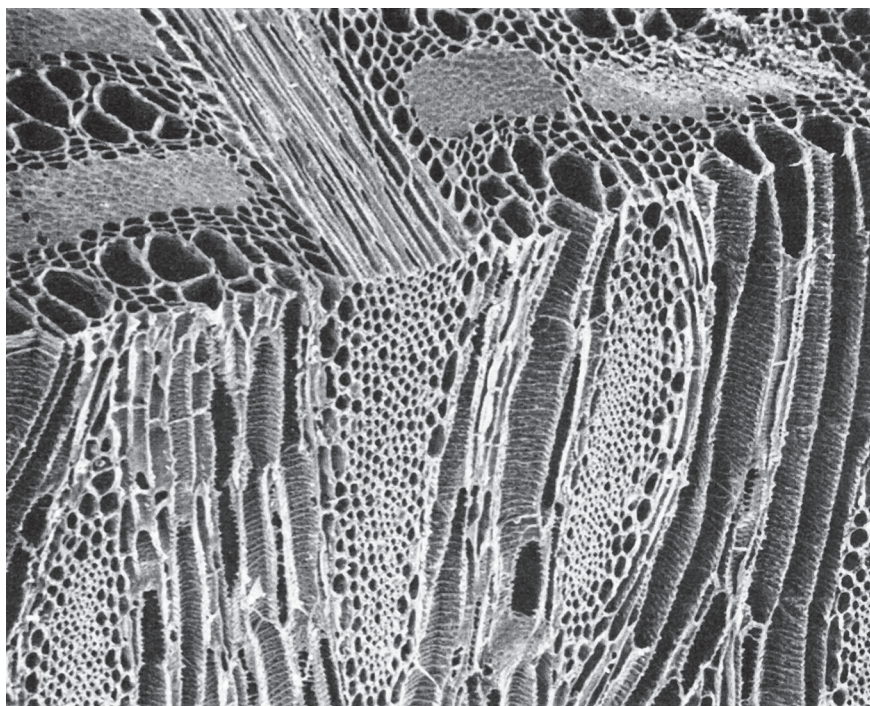
Naast de longitudinale transportkanalen (van beneden naar boven) kent een boom ook radiale transportkanalen: de houtstralen, ook wel mergstralen genoemd (zie afbeelding 2). Deze stralen verzorgen het horizontale transport van water en daarin opgeloste voedingsstoffen vanuit de schors naar de binnenkant van het hout. Sommige stralen vertrekken vanuit het merg van de boom (vandaar de term ‘mergstralen’), maar de meeste stralen komen niet helemaal tot in het merg. De stralen bestaan uit parenchymcellen. De

samenstelling/opbouw van de stralen is ook een belangrijk determinatiekenmerk voor de houtsoort.

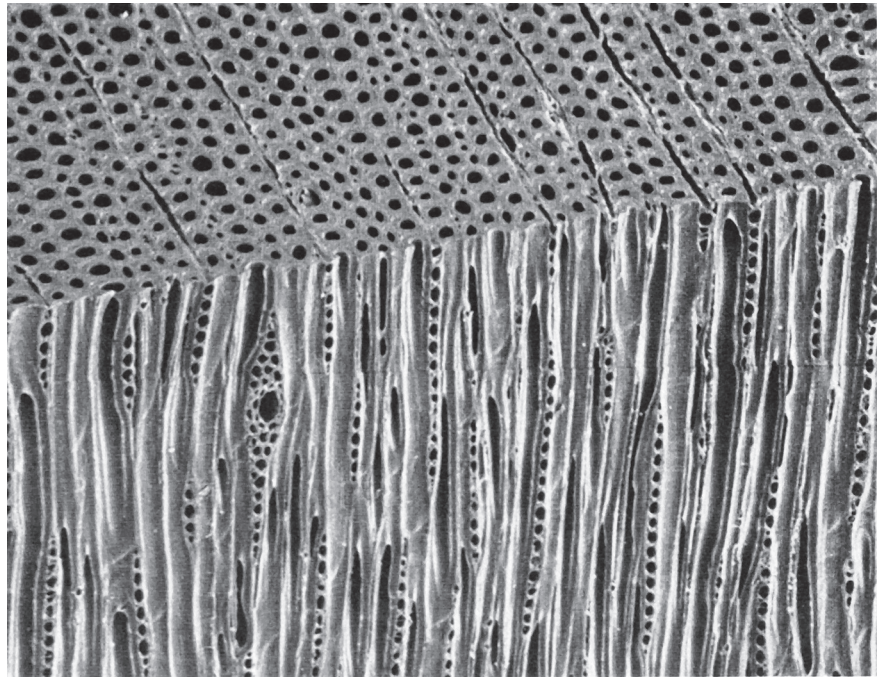


Afbeelding 2. Samenstelling van een houtstraal

Afbeelding 3 en 4 geven een opname met een elektronenmicroscop van de houtanatomie van respectievelijk loofhout en naaldhout. Daarbij zijn de verschillende transportweefsels goed te zien en ook de verschillen in anatomie tussen loofhout en naaldhout.



Afbeelding 3. SEM-opname van loofhout



Afbeelding 4. SEM-opname van naaldhout

1.1 Transportweefsel in naaldhout

Het belangrijkste weefsel in naaldhout vormen de zogenoemde ‘vezeltracheïden’. Deze vezels hebben een dubbele functie: ze verlenen stevigheid aan de boomstam en tegelijk verzorgen ze het transport via het levende deel van de stam (het spint). Deze tracheïden worden ongeveer 2,5 tot 5 mm lang (in enkele gevallen soms wel 10 mm). Deze vezeltracheïden zien er naaldevormig uit en zijn hol waardoor er transport van water en voedingsstoffen mogelijk is.

In hout uit de gematigde streken zijn de vezels van het vroeghout dunwandig en hebben dus een grotere transportcapaciteit, terwijl in het laathout de celwanden dikker zijn en de transportcapaciteit kleiner is. De vezeltracheïden zijn onderling gekoppeld aan elkaar. Via de zogenoemde stippels kan er transport van de ene naar de andere vezeltracheïde plaatsvinden.

Er zijn verschillende vormen van stippels bekend die het transport kunnen beïnvloeden. Omdat alle naaldhoutsoorten vezeltracheïden hebben, is het moeilijker om naaldhoutsoorten daarop te onderscheiden. De gekoppelde vezeltracheïden verzorgen gezamenlijk het transport van water en voedingsstoffen vanuit de bodem naar de kroon van de stam.

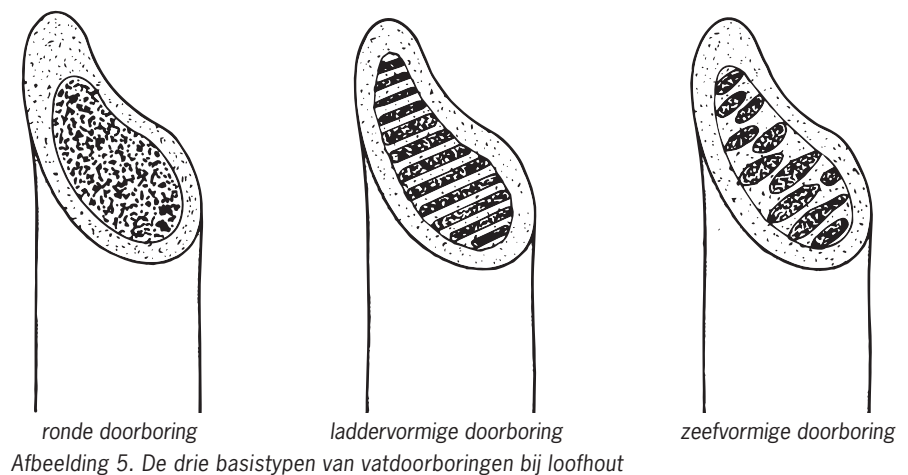
De houtstralen in naaldhout worden ook wel parenchym genoemd. Parenchymcellen zien er onder een microscoop ‘baksteenachtig’ uit en hebben relatief dunne celwanden. De cellen zijn onderling gekoppeld via de stippels. De cellen leven en blijven ook langer leven dan vezeltracheïden, al gaan ze uiteindelijk ook in het kernhout dood. Naast het transport verzorgen ze de opslag van voedingsstoffen. De stralen in naaldhout variëren in ‘hoogte’ van 3 tot 4 cellen tot soms wel 25 cellen hoog. Soms bestaat de straalbreedte uit enkele cellen (zie afbeelding 2), maar deze kan afhankelijk van de soort ook uit meer cellen bestaan. Overigens is het parenchym in naaldhout meestal alleen met een microscoop te zien.

1.2 Transportweefsel in loofhout

De functies van de vezeltracheïden in naaldhout zijn in het loofhout verdeeld over twee verschillende typen functionele weefsels: transportweefsel en steunweefsel. De vaten vormen het transportweefsel en de vezels (libriformvezels) vormen het steunweefsel. De dichtheid van het loofhout wordt voor een belangrijk deel bepaald door de hoeveelheid en soort vezels en de

daarin, met name in het kernhout, afgezette stoffen. De vaten in loofhout zijn in sommige houtsoorten soms al met het blote oog zichtbaar: op het kopse vlak van eiken zijn de vaten goed zichtbaar. Op het langsvlak zijn de vaten zichtbaar als kleine groefjes in de lengterichting van het hout (zie afbeelding 5).

Een loofhoutvat bestaat uit een aantal gekoppelde vatleden. Deze koppeling zorgt ervoor dat de lengte van het vat aanzienlijk toeneemt. De vaten zijn onderling weer gekoppeld waardoor het watertransport vanuit de wortels naar de kroon kan plaatsvinden. Een vatlid is normaal circa 0,2 tot 1 mm lang. De lengte van het totale vat (vele gekoppelde vatleden) kan meerdere meters bedragen. De diameter varieert ook per soort: van circa 20 tot 400 μm . De vatleden zijn aan de boven- en onderzijde open (of gedeeltelijk open), waardoor er een grotere transportcapaciteit beschikbaar is vergeleken met naaldhout. Dit is ook nodig om in de waterbehoefte van de bladeren (met een veel groter oppervlak) te kunnen voorzien.



Afbeelding 5. De drie basistypen van vatdoorboringen bij loofhout

De vaten van het kernhout – die dus niet meer actief betrokken zijn bij watertransport – zijn in sommige houtsoorten, zoals eiken, voorzien van thyllen. Deze blokkeren het saptransport waardoor het verkerningsproces op gang komt, maar dat heeft ook gevolgen voor de droogbaarheid (in verband met het watertransport bij het droogproces). Thyllen zijn zichtbaar als glimmende vulling in vaten (goed zichtbaar met een loep). Vanuit de literatuur is bekend dat Amerikaans rood eiken niet geschikt is voor wijnvaten vanwege het ontbreken van thyllen in de loofhoutvaten, wat het hout poreus maakt. Amerikaans wit eiken daarentegen bevat wel thyllen en dat maakt de houtsoort juist geschikt voor de productie van wijnvaten [lit. 13].

Daarnaast worden in bijvoorbeeld tropische loofhoutsoorten soms allerlei inhoudsstoffen opgeslagen in de vaten en dat is dan te zien aan gekleurde streepjes op het langsvlak. Voorbeelden van houtsoorten met gekleurde vatinhoud zijn bijvoorbeeld merbau en guariuba. Zie afbeelding 6.



Afbeelding 6. Witachtige vatinhoud in *Sucupira amarela* (*Qualea paraensis*). Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

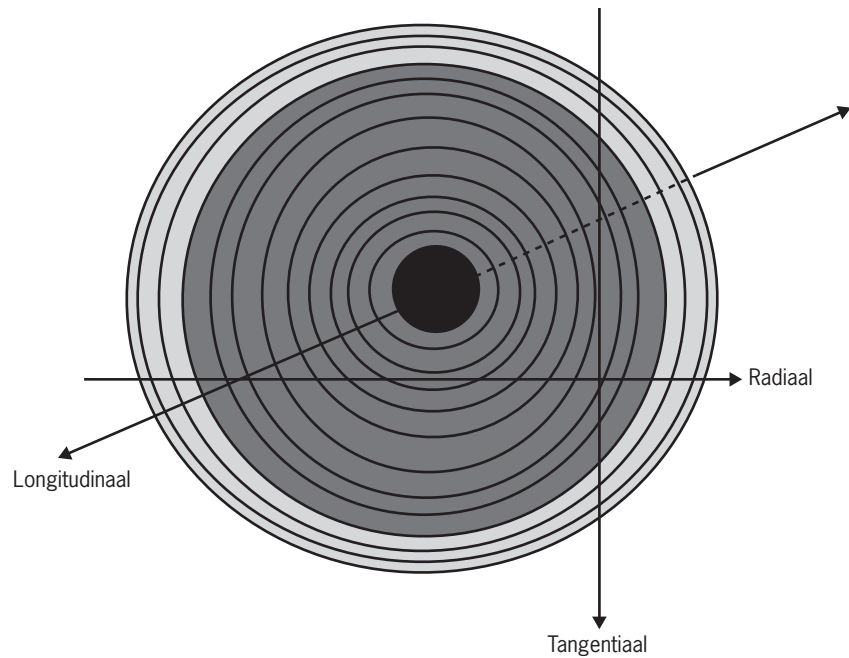
De houtstralen in loofhout verzorgen het transport van water en voedingsstoffen in horizontale richting en slaan deze ook op. Het betreft ook hier parenchymcellen, maar ze komen veel frequenter voor dan in naaldhout. Het aantal en de afmeting van de houtstralen in loofhout variëren behoorlijk, waardoor de houtstralen een belangrijk determinatiekenmerk voor loofhout zijn.

1.3 Fysische eigenschappen van hout

Voor de levende boom is het transport van water met daarin opgeloste voedingsstoffen van essentieel belang. Nadat de boom gekapt is, blijven de transportkanalen min of meer intact. Dat heeft gevolgen voor de interactie tussen hout en water. Deze interactie tussen water en hout en hoe water wordt opgenomen en onttrokken, wordt gerekend onder de fysische eigenschappen van hout.

1.3.1 Anisotropie

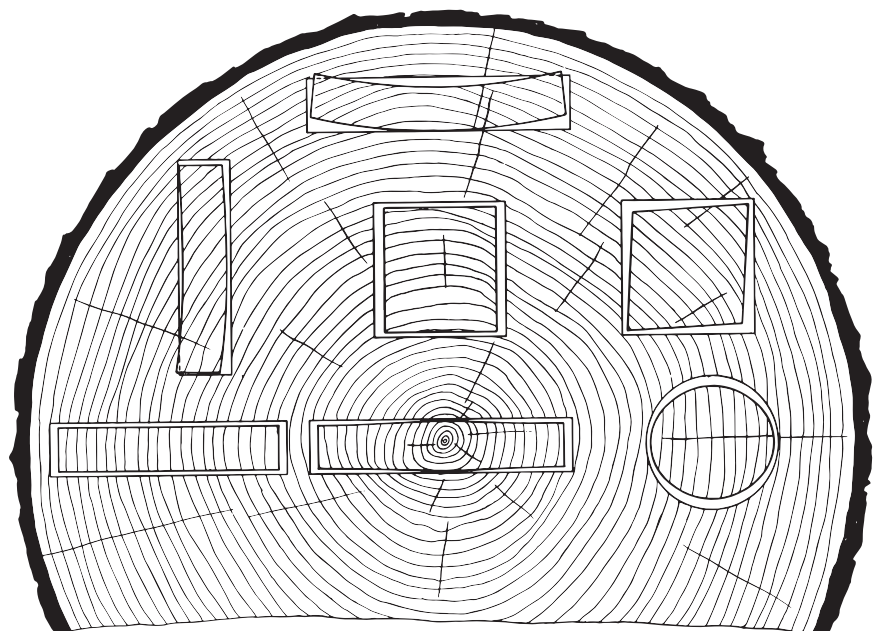
Een belangrijke eigenschap is het anisotrope karakter van hout. Anisotropie wil zeggen dat de materiaaleigenschappen niet in alle richtingen van het materiaal gelijk zijn. Voor hout geldt dat bijvoorbeeld de sterkte in lengterichting (longitudinaal) anders is dan in de richting loodrecht erop. Zo geldt dat ook voor de fysische eigenschappen. In het hout zijn de drie richtingen bekend onder de termen longitudinaal, tangentieel en radiaal. In de praktijk van de houtindustrie worden deze richtingen meestal aangeduid als 'kwartiers (of rift) gezaagd' voor vlakken in de radiale richting. 'Dosse gezaagd' staat voor planken waarvan de brede zijde een zuiver tangentieel vlak heeft. De longitudinale richting wordt meestal 'lengterichting' genoemd. De verschillende richtingen zijn schematisch weergegeven in afbeelding 7.



Afbeelding 7. Schematische weergave van de drie richtingen in hout. Afbeelding: Innovita advies & projectbegeleiding

De fysische eigenschappen van hout zijn niet in alle richtingen gelijk. Wanneer het hout water afstaat, ontstaat er krimp. Andersom ontstaat er zwel als het hout water opneemt. Grofweg kan gesteld worden dat in de lengterichting van het hout de krimp en zwel praktisch verwaarloosbaar is, meestal slechts enkele procenten in tangentiële richting. Wanneer de tangentiële en radiale krimp en zwel vergeleken worden, blijkt dat in tangentiële richting gemiddeld ongeveer twee keer zo veel krimp en zwel ontstaat als in de radiale richting bij verder gelijke omstandigheden. Het gevolg daarvan is dat hout de neiging heeft om te vervormen. Als het materiaal in alle richtingen gelijk zou krimpen en zwellen, zouden er veel minder spanningen optreden en zou er theoretisch ook geen vervorming optreden. Het anisotrope karakter van hout maakt dat het houtdrogen van groot belang is voor veel toepassingen en dat houtdrogen anderzijds zorgvuldig moet gebeuren om vervormingen (en scheurvorming) te voorkomen.

vervorming



Afbeelding 8. Mogelijke vervormingen van hout

Afbeelding 8 laat de mogelijke vervormingen zien die behoren bij planken met zuiver radiaal en tangentieel gezaagde zijden. Regelmatig komen ook halfkwartierse delen voor in de praktijk, zoals in afbeelding 8 is te zien. Ten slotte komen soms ook delen voor waarbij op één zijde zowel radiale als tangentiële zones voorkomen. In dat geval zal de vervorming in overeenstemming zijn met de zaagwijze in het betreffende deel van de plank (resultierend in een ‘draaiing’ van de plank). Wanneer de vervorming te sterk is, zal het hout niet meer gebruikt kunnen worden voor de beoogde toepassing en is er sprake van uitval.

1.3.2 Houtvochtgehalte

Vanwege het hydrofiele en hygroscopische karakter van hout, zal zich altijd water in het hout bevinden. Hydrofiel wil zeggen dat hout in staat is om water chemisch aan zich te binden (zie verder bij ‘gebonden water’, paragraaf 1.3.3), terwijl hygroscopische eigenschappen het aantrekken van water aanduiden zonder dat het overigens chemisch gebonden is (zie verder bij ‘vrij water’, paragraaf 1.3.3). Om het aandeel water in het hout uit te drukken, wordt in de praktijk gebruikgemaakt van het bepalen van het percentage water op basis van het gewicht. De gangbare formule die daarbij gebruikt wordt is als volgt (en deze definitie wordt ook in dit artikel aangehouden, tenzij anders vermeld):

$$HV\% = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad [1.1]$$

Hierin is:

- HV% houtvochtgehalte in procenten;
- m_0 massa ovendroog;
- m_1 massa nat.

*nul procent vocht betekent nog niet volkomen
watervrij*

‘Ovendroog’ is een term die nog toelichting behoeft. De ovendroge massa wordt gedefinieerd door een proefstuk te drogen bij 103 °C. Wanneer de massa niet meer verandert, wordt aangenomen dat het proefstuk de oven-droge status heeft bereikt: er verdampt immers geen water meer waardoor het gewicht stabiel blijft. Dit is praktisch gezien het 0%-houtvochtgehalte, maar vanuit de wetenschap is bekend dat er dan nog steeds een klein aandeel water in het hout gebonden kan zijn. Anderzijds is het percentage mogelijk onjuist omdat er naast water ook andere chemische stoffen kunnen vervluchtigen bij 103 °C. Voor de praktijk werkt de benadering met dit praktische 0%-houtvochtgehalte en leidt het niet tot problemen. Deze methode wordt bovendien breed geaccepteerd, onder andere in Europese normen.

1.3.3 Water in hout

Water kan globaal genomen op twee manieren in hout aanwezig zijn: vrij water en gebonden water. Voor een goede en succesvolle verwerking van hout in een product is in veel gevallen het juiste vochtgehalte van essentieel belang.

Vrij water

Vrij water wordt door middel van capillaire werking in het hout vastgehouden in holten en vaten in de houtstructuur. Het wordt hoofdzakelijk door capillaire krachten vastgehouden en zal dus ook relatief gemakkelijk uit het hout kunnen verdwijnen, waarbij het handig gebruikmaakt van de aanwezige transportkanalen in het hout.

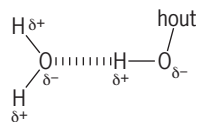
Een capillair is een dunne/smalle ruimte die het water als het ware opzuigt. Vergelijk het met een dunne injectienaald: ondanks de opening aan de onderzijde zal de vloeistof niet spontaan uittreden. Er is druk nodig om een druppel te laten uittreden. In deze zin zijn vaten en holten te beschouwen als ‘capillairen’.

Wanneer het vrije water uit het hout verdwijnt, is er geen sprake van een effect op de houtafmeting en ook niet of nauwelijks op de overige houteigenschappen (zoals de mechanische eigenschappen). Dat geldt ook andersom wanneer het hout water opneemt in de holten en vaten: dan zal er geen zwel optreden.

Gebonden water

zwellen en krimpen

Ook door middel van een chemische binding is er water aanwezig in hout. Dit water is dan verbonden met de celwand in het houtweefsel. De celwand bestaat uit zogeheten microfibrillen. Deze microfibrillen (een soort mini-vezeltjes) liggen op verschillende manieren geordend in de verschillende onderdelen van de celwand. De watermoleculen dringen zich tussen de microfibrillen, waardoor de celwanden uitzetten. Hoe meer water er in de houtstructuur dringt, hoe meer uitzetting. Op macroniveau resulteert dat in zwellen van het hout (of krimpen bij het onttrekken van gebonden water). De soort chemische binding is de zogenoemde 'waterstofbrug'. In afbeelding 9 is weergegeven hoe deze binding tot stand komt. De waterstofbinding kan ontstaan tussen watermoleculen onderling, maar ook tussen watermoleculen en een zuurstofmolecule in de houtstructuur.



Afbeelding 9. Schematische weergave van een waterstofbrug, de chemische binding waarmee water gebonden zit aan de hydroxylgroepen van het hout

Van kap tot schap

De levenscyclus van hout start enorm vochtig. In de levende boom is sprake van hoge vochtgehalten, waarbij het spint beduidend vochtiger is dan het kernhout, als gevolg van het watertransport (zie afbeelding 1). Na het zagen van de boom tot planken en balken, blijft 'vers hout' over: hout met nog steeds een hoog vochtgehalte. Hoe dikker de delen, hoe langzamer het vocht uit het hout zal verdwijnen. Het verschil tussen houtsoorten komt hier al naar voren: lichte houtsoorten bezitten een meer open structuur, met meestal weinig verdikte celwanden en met grote celholten. Er is dus veel ruimte voor water en het houtvochtgehalte in verse toestand kan wel 100 tot 200% bedragen. Zware houtsoorten kenmerken zich over het algemeen door dikkere celwanden en kleinere celholten, zodat in dat hout weinig plaats is voor water. De grootte en het aantal houtvaten zijn ook van invloed op het gewicht van het hout. Bovendien bevatten deze soorten meestal ook veel inhoudsstoffen. Voor dergelijke zware houtsoorten zal het vochtgehalte niet snel boven de 60% uitkomen: er is simpelweg veel minder ruimte om watermoleculen in het hout kwijt te kunnen. Bedenk dat hout met grote vaten wel degelijk zwaar kan zijn, namelijk wanneer het aantal vaten (per vierkante millimeter kops hout) laag is. Zoals gezegd is voor een goede en succesvolle verwerking van hout in een product het juiste vochtgehalte van essentieel belang.

1.3.4

Vezelverzadigingspunt

De term vezelverzadigingspunt is vooral theoretisch van aard. Het wijst op de situatie in het hout, waarbij alle celwanden maximaal gevuld zijn met water, maar waarbij de holten en vaten al volledig vrij van water zijn. Aan deze theoretische situatie gaat de veronderstelling vooraf dat bij het droogproces het vrije water eerst de celholten en houtvaten zal verlaten en dat daarna pas via diffusie het water aan de celwanden zal worden onttrokken. In de praktijk blijkt echter dat deze scheiding tussen vaten en holten enerzijds en

praktische betekenis van vezelvezadigingspunt

de celwanden anderzijds niet opgaat. Terwijl er nog vrij water in het hout aanwezig is, kan er al via de celwanden water onttrokken worden. Ook zullen de smalle vaten en holten door de sterkere capillaire werking (hoe smaller de diameter van de vaten of holten, hoe sterker de capillaire kracht) langer vrij water kunnen vasthouden vergeleken met brede en grote celholten en vaten. Bovendien kunnen de nabij de oppervlakte gelegen delen van een balk al geheel vrij zijn van vrij water, terwijl dat in de kern nog aanwezig is. De achtergrond van het begrip vezelvezadigingspunt krijgt een praktische invulling bij het drogen van hout: alle veranderingen in het houtvochtgehalte boven het vezelvezadigingspunt zullen (theoretisch) niet tot vormverandering leiden (krimp of zwel). Zoals hiervoor is uitgelegd, zal in de praktijk deze strikte scheiding minder strikt verlopen: vrij water zal in de vaten en holten kunnen voorkomen, terwijl aan de celwanden al water onttrokken wordt. Verder heeft het begrip ook een betekenis in het duiden van het droogproces: boven het vezelvezadigingspunt wordt meestal een ander drogingsklimaat aangehouden dan beneden het vezelvezadigingspunt.

1.3.5

Evenwichtshoutvochtgehalte

Omdat hout hygroscopisch en hydrofiel is, zal het sterk reageren op het klimaat waarin het is geplaatst. Vooral de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de omringende lucht dringen het hout naar een evenwichtssituatie toe: het evenwichtshoutvochtgehalte. De snelheid waarmee dat gebeurt, is afhankelijk van de houtsoort en de afmeting. De luchtdruk is ook van invloed op het evenwichtshoutvochtgehalte, maar de variatie daarin het jaar door is zodanig beperkt, dat deze factor verwaarloosd mag worden.

Nadat het hout is gezaagd, zal het dus de neiging hebben om te drogen totdat het in evenwicht is met de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de omringende lucht. Andersom geldt dat droog hout dat in een vochtig klimaat wordt geplaatst, water zal willen opnemen.

Water kan in twee vormen door het hout worden opgenomen: vloeibaar water en waterdamp. Wanneer gesproken wordt over het evenwichtshoutvochtgehalte, is er altijd sprake van waterdamp. Via het proces van diffusie kan waterdamp (water in de gasvormige fase) het hout binnendringen (of verlaten tijdens het droogproces). Diffusie is een term die verwijst naar de beweging van deeltjes in vloeistoffase of gasfase. De willekeurige beweging van deze deeltjes en de kinetische energie zorgen ervoor dat er netto deeltjes verplaatst worden van een plaats met hogere concentratie naar een plaats met lagere concentratie. Diffusie is over het algemeen een langzaam proces.

buitentoepassingen

Voor houttoepassingen in een buitenklimaat hebben we ook te maken met vloeibaar water: regen en bijvoorbeeld grondwater en oppervlaktewater. Vloeibaar water kan zowel via diffusie worden opgenomen als via capillaire opname. De buisvormige structuur van hout en de vele holten maken dat het water als het ware naar binnen wordt gezogen (capillaire opname). Omdat diffusie van waterdamp een traag proces is, zal een evenwichtshoutvochtgehalte pas na enige tijd bereikt worden (afhankelijk van het te overbruggen verschil en afhankelijk van de houtsoort). Capillaire wateropname gaat veel sneller, waardoor hout na een regenbui al aanzienlijk vochtiger is. Afhankelijk van de houtsoort zal bij een relatieve luchtvochtigheid van 98% het houtvochtgehalte rond de 18% tot 25% uitkomen. Wanneer eenmaal gedroogd hout een vochtgehalte van boven 20 tot 25%, heeft, moet er sprake zijn van opname van vloeibaar water in het hout.

Afwerking en evenwichtshoutvochtgehalte

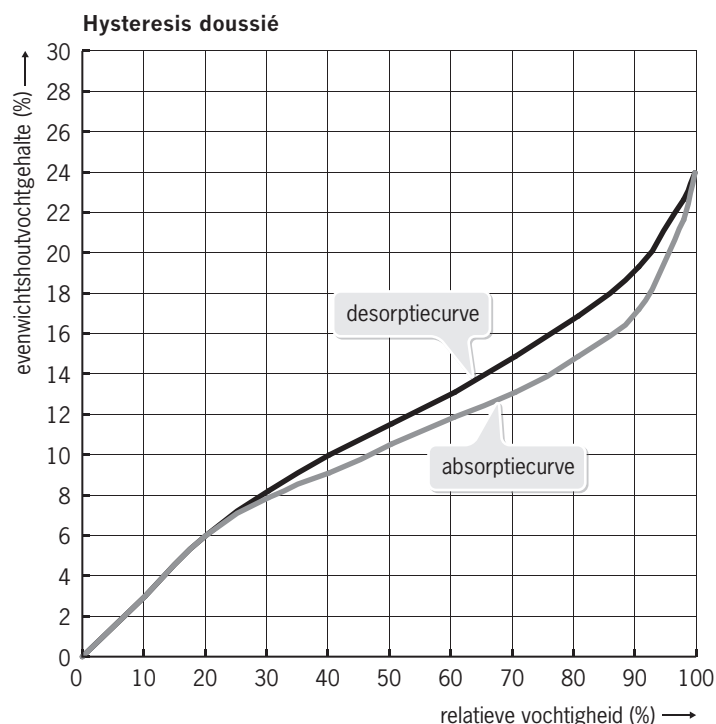
Wanneer hout is afgewerkt met een verf of beits, zal dat een licht remmende werking hebben op de snelheid waarmee het evenwichtshoutvochtgehalte wordt bereikt. Hierdoor zal afgewerkt hout trager het evenwichtshoutvocht-

gehalte bereiken dan niet-afgewerkt hout. De huidige generatie verven en beitsen is sterk 'ademend', wat wil zeggen dat het hout door de afwerklaag heen toch waterdamp kan afgeven of aantrekken. Dat is positief voor de mogelijkheid om het hout vrij te laten in het natuurlijke gedrag ten aanzien van veranderingen in relatieve luchtvochtigheid. Een intacte verflaag verhindert (theoretisch) de opname van vloeibaar water in het hout, omdat het directe contact tussen water en houtoppervlak voorkomen wordt.

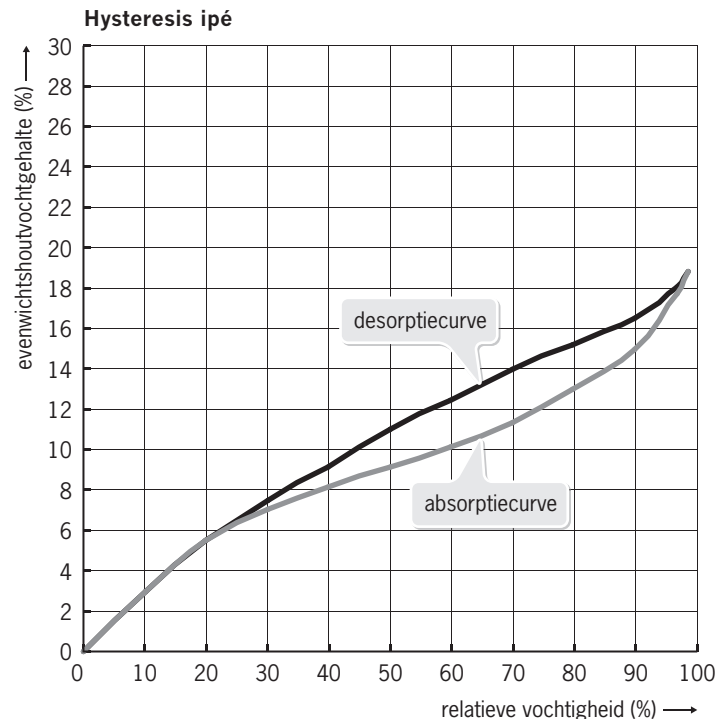
1.3.6 Hysteresis

Omdat houtdrogen ook alles te maken heeft met de vormveranderingen in het hout, wordt hier ook aandacht besteed aan het verschijnsel hysteresis. Hysteresis is een Griekse term die 'het achterblijven' betekent. Het is een verschijnsel dat op veel terreinen voorkomt. Algemeen gesteld geeft de term aan dat het verband tussen oorzaak en gevolg niet alleen afhangt van de grootte van de oorzaak, maar ook van de richting waarin de oorzaak verandert [bron: url 1]. Hysteresis wordt veroorzaakt doordat een systeem bij dezelfde externe factoren twee verschillende stabiele toestanden tot gevolg heeft. Wanneer het systeem naar de andere toestand overgaat, zal het anders op externe veranderingen reageren.

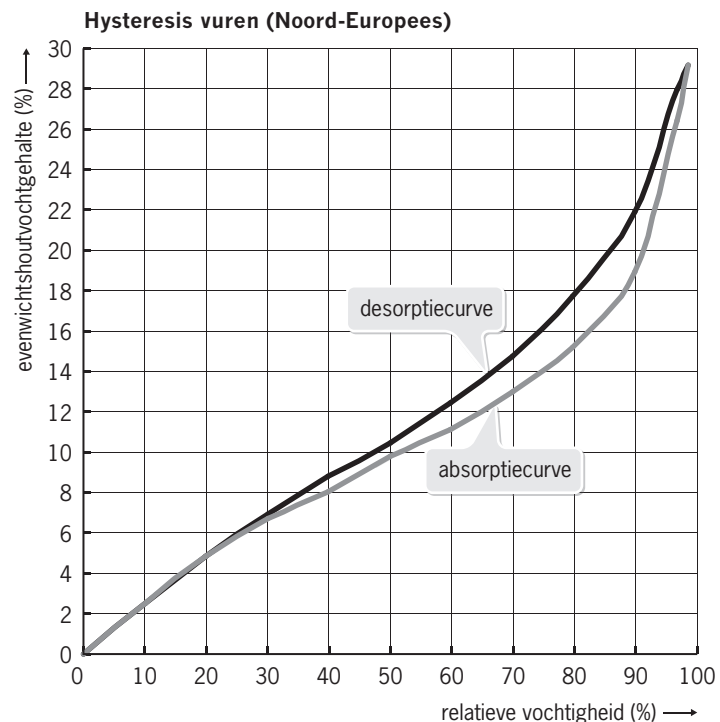
Het algemene verschijnsel hysteresis komt veel voor bij natuurlijke materialen en is ook van toepassing op de zogenoemde absorptie- en desorptiecurve van een houtsoort. Wanneer hout met een houtvochtgehalte van rond het vezelverzadigingspunt gaat drogen, zal het houtvochtgehalte uiteraard afnemen. Wanneer die lijn van afnemende houtvochtgehalten wordt uitgezet in een grafiek tegen de relatieve vochtigheid van de lucht (behorend bij dat houtvochtgehalte), ontstaat de 'desorptiecurve'. Als het hout echter weer in een vochtiger klimaat wordt geplaatst, zal het houtvochtgehalte weer toenemen. Ook deze lijn kunnen we in de grafiek plaatsen, en zo word de 'absorptiecurve' zichtbaar. Hysteresis kan nu afgelezen worden: de beide curven vallen op een aanzienlijk deel van het traject niet met elkaar samen. Zie voor enkele voorbeelden, afbeelding 10, 11 en 12, alle drie gebaseerd op data uit literatuur 10.



Afbeelding 10. Hysteresis van de Afrikaanse loofhoutsoort doussié (*Afzelia bipindensis*)



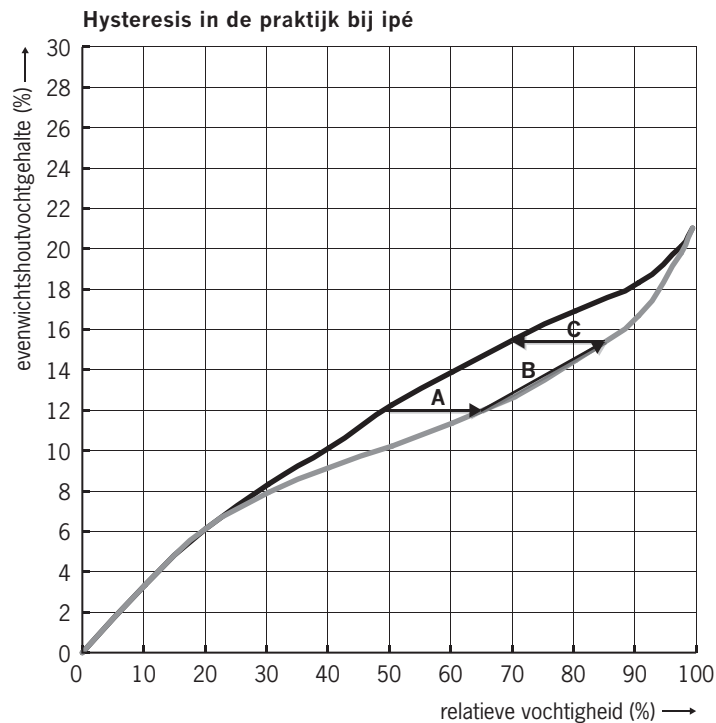
Afbeelding 11. Hysteresis van de Zuid-Amerikaanse loofhoutsoort ipé (*Tabebuia serratifolia*)



Afbeelding 12. Hysteresis van Noord-Europees vuren (*Picea abies*)

De grafieken van de houtsoorten doussié, ipé en Noord-Europees vuren laten een aantal aspecten zien die relevant zijn om te vermelden. Allereerst is het precieze verloop van de curven voor elke houtsoort verschillend, hoewel het principe gelijk is: de desorptiecurve ligt steeds boven de absorptiecurve. De vorm en de locatie van het oppervlak tussen de twee curven in de grafiek verschillen per soort. Verder is goed te zien dat het evenwichtshoutvochtgehalte eveneens houtsoortafhankelijk is. Daarbij springt in het oog dat naaldhout (bijvoorbeeld vuren) bij een toenemende relatieve vochtigheid van de omringende lucht op een hoger evenwichtshoutvochtgehalte uitkomt vergeleken met veel loofhoutsoorten, onder dezelfde condities. De variatie

tussen de tropische houtsoorten is daarentegen veel groter dan bij naaldhoutsoorten onderling. Vergelijk bijvoorbeeld de hysteresis van ipé en doussié. Ipe komt niet boven de 20%-houtvochtgehalte, terwijl doussié richting de 24% gaat.



Afbeelding 13. De praktische betekenis van het effect van hysteresis grafisch weergegeven (A: overschakelen van een gedroogde situatie naar een vochtiger situatie. Vanaf B ontstaat een stijging in het evenwichtshoutvochtgehalte (en dus zwel). Bij C gaat het hout weer over naar een drogende situatie)

De praktische betekenis van hysteresis is voor het proces van houtdrogen beperkt. Voor de verwerking van een houtsoort in een product heeft het wel betekenis. Door hysteresis zal gedroogd hout, wanneer het in een vochtige toestand wordt gebracht, met enige vertraging reageren met absorptie van waterdamp. Dat is theoretisch te onderbouwen door vanaf een bepaald punt op de desorptiecurve een horizontale lijn te trekken naar de absorptiecurve (zie afbeelding 13 bij A). Afhankelijk van de vormgeving van beide curven zal het enige tijd duren voordat het evenwichtshoutvochtgehalte van een houtsoort daadwerkelijk zal stijgen bij een vochtiger klimaat (B). De praktische consequentie kan bijvoorbeeld zijn dat buitendeuren van hardhout met een sterk hysteresis-effect minder snel gaan, vergeleken met soorten die een minder sterk hysteresis-effect hebben. Uiteraard speelt daarbij dat dit geldt in het bereik van een relatieve luchtvochtigheid van 60 tot 90%. Wanneer het hout vervolgens droogt, wordt weer overgestapt naar de desorptiecurve (C). Of het hysteresis-effect na bijvoorbeeld tien keer water(damp)opname en -afgifte nog steeds even sterk is als bij de eerste keer, is niet zeker. Daarom zal wellicht het gemiddelde van de desorptiecurve en absorptiecurve de meest relevante lijn blijken te zijn voor de toepassing van het hout.

2 Gedroogd hout in zijn toepassing

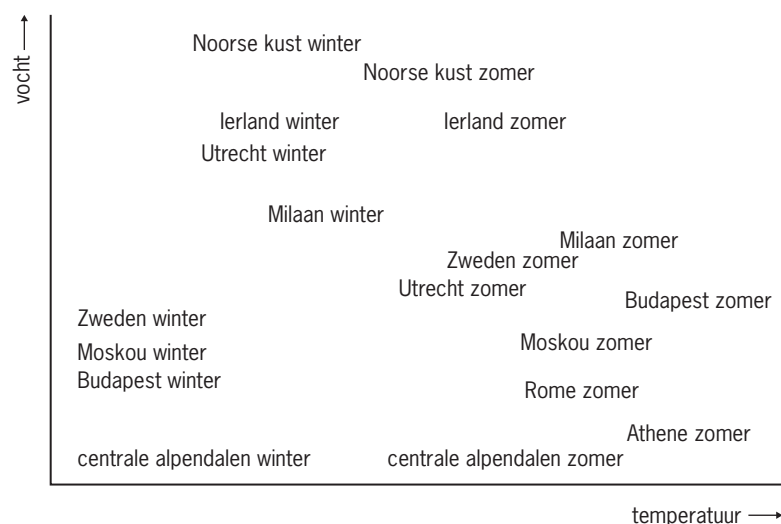
Na de behandeling van de basiskennis in hoofdstuk 1, beschrijft dit hoofdstuk een aantal aspecten die van belang zijn voor de toepassing van gedroogd hout. Voor veel uiteenlopende toepassingen is goed gedroogd hout een 'must' terwijl ook veel toepassingen met een gedroogd product beter af zijn.

Voordat het hout gedroogd wordt, dient het doelvochtgehalte te worden bepaald. En dat hangt samen met de beoogde toepassing. Om het juiste doelvochtgehalte te vinden, wordt gekeken naar de range van houtvochtgehalten die een houten product in zijn toepassing redelijkerwijs kan aannemen. Een houten buitenkozijn bijvoorbeeld heeft aan de binnenzijde een duidelijk binnenklimaat, terwijl de buitenste delen beïnvloed worden door het buitenklimaat. Daardoor zal in het houten kozijn een evenwicht gezocht worden tussen beide klimaten.

Tabel 1 geeft voor een aantal veelvoorkomende toepassingen indicatief aan welke houtvochtgehalten worden gehanteerd. Ook in de Europese productnormen worden uiteenlopende houtvochtgehalten gevraagd. Voor een deel is het natuurlijk prima te regelen, maar anderzijds komt hier ook vakmanschap bij kijken: wat is voor welke toepassing het meest geschikt? Europese regelgeving op dit gebied dient in ieder geval rekening te houden met de verschillende Europese regio's: Zuid-Europa heeft een compleet ander klimaat dan bijvoorbeeld de Scandinavische landen (zie afbeelding 14).

Tabel 1. Indicatief overzicht van de verschillende toepassingshoutvochtgehalten voor uiteenlopende toepassingen in Nederland

Toepassing	Toepassingshoutvochtgehalte gemiddeld (%)
Parket/vloeren	6 - 10
Meubels van massief hout	6 - 10
Binnenkozijnen	8 - 10
Bekleding van wanden en plafonds	8 - 12
Buitendeuren en buitenramen	10 - 16
Gevelbekleding	12 - 18
Buitenmeubilair/bankplanken	18 - 20
Onderdelen voor exterieur speeltoestellen	18 - 20
Leuningten ten behoeve van bruggen en buitentrappen	18 - 20
Galerijen/loopdekken rondom gebouwen	18 - 25
Tuinhoutproducten	18 - 25



Afbeelding 14. Diagram met relatieve indicatie voor de verschillen tussen Europese regio's met betrekking tot de relatie tussen vocht (RV) en temperatuur. Afbeelding: W.E.G. Hurkmans

richtlijnen zijn aan verandering onderhevig

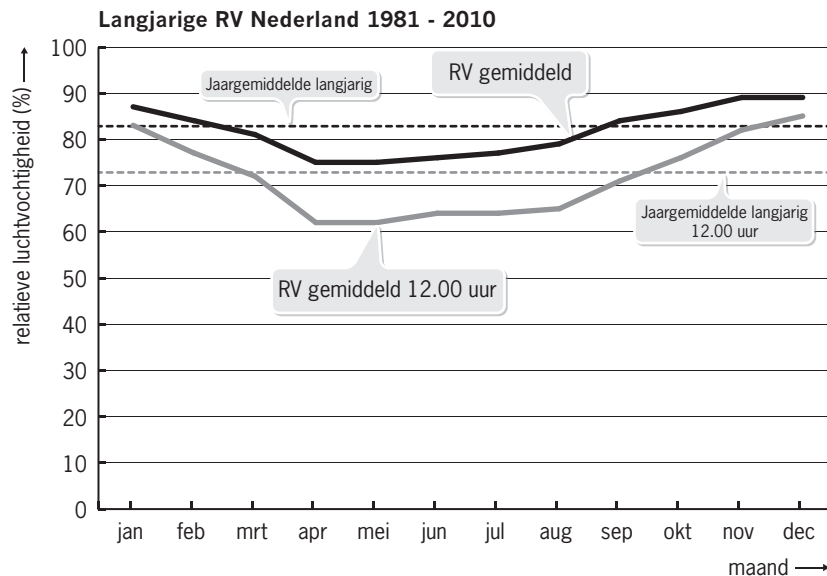
Er zijn ook producten die juist nat moeten worden toegepast. Heel bekend zijn de zogeheten damwanden, die grotendeels in de grond geslagen worden langs een rivier of kanaal. Omdat deze delen permanent in contact staan met water, zal er hout moeten worden gebruikt dat niet meer zwelt (anders drukken de delen zich uit de constructie).

Opvallend is dat de houtvochtgehalten voor veel toepassingen de laatste jaren steeds meer naar beneden zijn bijgesteld. Hieraan is te zien dat het buitenklimaat in Nederland onmiskenbaar droger wordt, waardoor ook de toepassingshoutvochtgehalten naar beneden bijgesteld moeten worden. Een duidelijk voorbeeld – waarbij de eisen betreffende het houtvochtgehalte ook in de regelgeving zijn verwerkt – zijn de Nederlandse kozijnen en deuren (voor buitentoepassing). Houten kozijnen werden vroeger ‘luchtdroog’ verwerkt. Vervolgens werd het regime 17-21% aangehouden, daarna 16% +/- 2% en sinds een aantal jaren is een houtsoortspecifiek houtvochtgehalte vastgesteld, onder andere op basis van onderzoek naar het krimp- en zwelgedrag en de evenwichtshoutvochtgehalten bij bepaalde relatieve vochtigheden. In tabel 2 zijn de huidige houtsoorten beschreven die toegelaten zijn voor kozijnen met KOMO®-keurmerk en de houtvochtgehalten die een timmerfabriek moet hanteren bij het maken van zijn kozijnen en deuren [bron: lit. 11].

Tabel 2. Toegelaten houtsoorten voor toepassing in kozijnen, deuren en ramen met KOMO®-keurmerk inclusief de toepassingshoutvochtgehalten voor kozijnen en deuren (en ramen)

Toegelaten houtsoorten	Toepassingshoutvochtgehalte (%)	Toepassingshoutvochtgehalte (%)
	voor deuren Tolerantie: +/- 2%	voor kozijnen Tolerantie: +2% / -4%
<i>Naaldhout</i>		
Douglas	13	14
Grenen	13	14
Lariks	13	14
Oregon pine	13	14
Californian redwood*	13	14
Western red cedar*	13	14
Vuren*	13	14
<i>Loofhout</i>		
Afzelia (doussié)	14	16
Bintangor	12	12
Bossé	14	16
Ceder	12	12
Cedrorana	12	12
Congo Khaya	14	16
Guariuba	12	12
Iroko	12	12
Kosipo	14	16
Lauan, Red	14	16
Louro gamela (Louro vermelho)	12	12
Makoré	12	12
Meranti, rood	14	16
Merbau	13	14
Moabi	13	14
Robinia	9	9
Santa Maria	12	12
Sapeli	13	16
Sapupira	12	12
Seraya, white	14	16
Sipo	14	16
Teak	14	16
Wengé	14	16
Tatajuba	12	12

De tolerantie van de range aan houtvochtgehaltes voor houten kozijnen is naar beneden toe groter dan naar boven toe. De reden is dat het voor een kozijn niet erg is als het wat verder gedroogd is, maar dat juist bij een te hoog houtvochtgehalte er mogelijk wel kwaliteitsproblemen kunnen ontstaan.



Afbeelding 15. Langjarige gemiddelden van de RV per maand en 12.00 uurs gemiddelden per maand. De periode betreft 1981–2010. Bron: KNMI

In afbeelding 15 is te zien wat de langjarige gemiddelde waarden zijn voor de relatieve luchtvochtigheid per maand in Nederland en wat de bijbehorende waarden zijn om 12.00 uur overdag. De ‘zomerdip’ is goed te zien in de maanden april tot en met augustus. Ook maakt de grafiek duidelijk dat de 12.00 uurs waarden veel lager uitkomen. Wanneer de daggemiddelden vergeleken worden, is de variatie aanzienlijk groter.

3 Houtdrogen: een ambacht

Het doel van het houtdrogen is om het houtvochtgehalte van een partij hout op het niveau te brengen van het vereiste toepassingsvochtgehalte. Het proces van houtdrogen is eenvoudig voor te stellen als het proces waarbij het ‘teveel’ aan water in het hout via het oppervlak wordt verdampt, totdat het juiste houtvochtgehalte is bereikt. Daarbij dienen de overige houteigenschappen en -kwaliteiten niet te zijn verminderd. Omdat het hout anisotroop is (zie hoofdstuk 1), treden bij het houtdrogen spanningen op die tot kwaliteitsverlies kunnen leiden. Aangezien houtsoorten onderling sterk verschillen en er ook nog eens variatie voorkomt binnen een houtsoort, dient daar ook rekening gehouden te worden in het droogproces. Met recht kan daarom wel gesteld worden dat houtdrogen een ambacht is.

let op, vochtgehalte is relatieve waarde

Verder verdient opmerking dat het houtvochtgehalte wordt uitgedrukt in massaprocenten (zie formule 1.1). Omdat uitgegaan wordt van massaprocenten, volgt daaruit dat 1%-vochtgehalte voor een zware houtsoort meer water betekent dan voor een lichte houtsoort. Bij Western red cedar (gemiddelde volumieke massa 380 kg/m^3) komt 1%-houtvochtgehalte overeen met 3,8 kg water per m^3 hout. Voor een zware tropische houtsoort van 1000 kg/m^3 betekent 1% maar liefst 10 kg water per m^3 . Aan zwaar tropisch hardhout moet dus per procent droging veel meer water worden onttrokken vergeleken met lichtere houtsoorten.

In dit gedeelte van het artikel wordt aandacht besteed aan de factoren die houtdrogen beïnvloeden. Er zijn verschillende factoren die van invloed zijn op het proces en die door de houtdroger bestuurd kunnen worden. Ze komen hierna aan bod.

3.1 Principe van houtdrogen

gradiënt is van groot belang

De gangbare manieren van houtdrogen zijn allemaal te herleiden tot één basisprincipe: door dampdrukverschillen tussen de kern en de rand te laten ontstaan, wordt het watertransport vanuit de kern naar de oppervlakte van de plank tot stand gebracht. Dit wordt bereikt doordat het houtvochtgehalte in de kern hoger is dan aan de rand. Hoe groter dit dampdrukverschil (en dus de vochtgradiënt), hoe sneller het water vanuit de kern naar de rand getransporteerd zal worden. De kunst is om tijdens het droogproces deze gradiënt in stand te houden, omdat zonder gradiënt de droging zal stilvallen. Wanneer de dampdrukverschillen te groot worden, verloopt het drogen te snel, waardoor problemen kunnen ontstaan met de houtkwaliteit (zie hoofdstuk 4). Wanneer het water vanuit de kern naar de oppervlakte verplaatst wordt, zal het verschil in vochtgehalte tussen kern en oppervlak afnemen, waardoor de droging langzamer gaat verlopen. Daarom dient ook de verdamping via het houtoppervlak in balans gehouden te worden met het vochttransport vanuit de kern. Op die manier kan een flow van water vanuit de kern via verdamping aan het oppervlak uit het hout worden afgevoerd. Er zijn verschillende manieren om de verdamping te beïnvloeden. Tijdens het verplaatsen van water door het hout naar het oppervlak, worden de transportkanalen die het hout heeft, benut. Globaal zijn er twee type watertransport: via capillaire krachten en via diffusie van waterdamp vanuit het houtweefsel. Het eerste is een snel proces (dat dus ook vooral aan het begin van het droogproces zal plaatsvinden), terwijl diffusie een trager proces is waar ook meer energie voor nodig is.

3.2 Beïnvloeding van droogproces

Het droogproces is een complex gebeuren waarop veel factoren van invloed zijn. Hierna volgen de belangrijkste, ingedeeld naar drie thema's: het klimaat in de droogkamer, het hout en de droogkamer zelf. Deze factoren worden in de volgende paragrafen meer uitgebreid besproken.

Factoren betreffende het klimaat in de droogkamer (paragraaf 3.3)

- Luchttemperatuur
- Relatieve luchtvochtigheid (RV)
- Luchtsnelheid
- Luchtdruk

Factoren betreffende het hout (paragraaf 3.4)

- Houtsoort
- Houtkwaliteit
- Houtafmetingen
- Houttemperatuur
- Houtvochtgehalte

Factoren betreffende de droogkamer zelf (paragraaf 3.5)

- Vulling van de kamer
- Oplatten van het hout
- Meet- en regeltechniek
- Homogeniteit van het droogklimaat in de kamer

3.3 Factoren betreffende klimaat in droogkamer

In de basis zijn de vier genoemde factoren relevant voor het aansturen van een droogkamer. De factoren temperatuur en relatieve luchtvochtigheid hangen natuurlijk ook samen. De luchtsnelheid speelt daarbij een rol om het drogingsklimaat door de stapels hout in de kamer te krijgen. Hoewel de luchtdruk ook van invloed is op het klimaat, is de betekenis ervan beperkt (met uitzondering van het proces van vacuümdrogen). De afzonderlijke factoren worden kort besproken.

Luchttemperatuur

Om water uit het hout te krijgen, wordt het hout verwarmd. Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller het water uit het hout verdwijnt (want hoe sneller de verdamping verloopt). Toch kan er niet zomaar voor hoge temperaturen gekozen worden. Wanneer de temperatuur hoger wordt (bij gelijkblijvende relatieve luchtvochtigheid), zal het hout kapot drogen omdat het klimaat dan veel te scherp wordt. Door de relatieve luchtvochtigheid dan te verhogen, neemt ook de tijdswinst weer af.

Houtsoorten reageren niet allemaal hetzelfde op de temperatuur. Er zijn houtsoorten waarbij rond temperaturen van 30 °C of 40 °C al collaps (zie hoofdstuk 4) optreedt als het hout nog redelijk nat is.

risico op gebreken door verhoogde temperatuur

Volgens Rijdsdijk [lit. 9] bestaat voor naaldhout vanaf circa 50 °C de kans op uitvloeiing van harsen. Bovendien is er dan ook meer kans op het ontstaan van losse kwasten. Verkleuringen kunnen al vanaf 35 °C of 40 °C optreden in bijvoorbeeld beuken, terwijl bij toenemende temperatuur ook andere houtsoorten kunnen gaan verkleuren. Bij nog hogere temperaturen (vanaf circa 80 °C) kan de glans van een houtsoort verminderen wat vooral esthetisch kwaliteitsverlies betekent [lit. 9].

De factor temperatuur is van groot belang om het water uit het hout te krijgen, maar anderzijds zal er zeer zorgvuldig mee omgesprongen moeten worden om kwaliteitsverlies te voorkomen.

Relatieve luchtvochtigheid (RV)

De vochtigheid van het klimaat in een droogkamer is van evidente betekenis voor de droogsnelheid. Het in hoofdstuk 1 beschreven evenwichtshoutvochtgehalte speelt een cruciale rol bij het houtdrogen, aangezien hout de neiging heeft om zijn vochtgehalte aan te passen aan het omringende klimaat. In geval van vers hout wordt over het algemeen gestart met een hoge relatieve vochtigheid. Naarmate het houtvochtgehalte van de te drogen partij hout afneemt, laat men ook de relatieve vochtigheid in de kamer afnemen, totdat uiteindelijk het doelhoutvochtgehalte bereikt is. In wezen stuurt de relatieve luchtvochtigheid op die manier het houtvochtgehalte in de partij hout in de kamer. Uiteraard speelt in een dergelijk proces de temperatuur ook een belangrijke rol. Vanuit het perspectief van de relatieve luchtvochtigheid zijn er verschillende situaties te onderscheiden, aldus Rijdsdijk [lit. 9].

Wanneer relatief 'vers hout' wordt gedroogd, start de droogfase onder omstandigheden waarbij er zich als het ware vloeibaar water aan het oppervlak van het hout bevindt. De verdamping van het water lijkt dan op verdamping vanuit bijvoorbeeld een schaal. Om de droging op gang te brengen, is enerzijds luchtsnelheid nodig, terwijl het voorzichtig verlagen van de relatieve luchtvochtigheid ook bijdraagt. Deze omstandigheden duren overigens vrij kort, omdat al spoedig veel water is verdampt uit de oppervlakte van het hout. Overigens behoort het opwarmen van de kamer niet tot de droogfase, maar gaat daaraan vooraf (zie hoofdstuk 5).

Wanneer het transport van water vanuit de kern van het hout naar de oppervlakte op gang komt (omdat de oppervlakte minder water bevat dan de kern), ontstaat een andere situatie. Hierbij begint de snelheid van water-

onder vezelvezadigingspunt

onttrekking af te nemen, doordat ook langzaam de diffusie van water uit de kern van het hout op gang komt ten koste van het snellere capillaire watertransport. Onder deze omstandigheden wordt nog steeds met vrij hoge relatieve luchtvochtigheid gewerkt, omdat anders het hout kwaliteitsverlies zou lijden. Deze droogsituatie duurt voort totdat het houtvochtgehalte op het vezelvezadigingspunt is aangeland. Tot dan toe heeft er nog steeds geen krimp van het hout plaatsgevonden, omdat krimp pas na het passeren van het vezelvezadigingspunt ontstaat. De invloed van de luchtsnelheid neemt onder deze omstandigheden snel af.

Wanneer het vezelvezadigingspunt wordt gepasseerd, ontstaat een nieuwe situatie. Om de droging voort te laten gaan, moet de relatieve luchtvochtigheid sterker verlaagd worden. Het watertransport vanuit de kern naar de oppervlakte van het hout, verloopt ook alleen nog maar via het proces van diffusie. Daardoor zal bij deze omstandigheden de droogsnelheid veel lager liggen. Het droogklimaat zal ook scherper moeten worden. Veelal regelt men het klimaat in de kamer op een iets droger evenwichtshoutvochtgehalte dan het doelhoutvochtgehalte.

Luchtsnelheid

De luchtsnelheid heeft vooral een betekenis bij het begin van het houtdrogen, vooral bij vers hout. Ook bij het drogen van dun hout is luchtsnelheid een belangrijke factor. In dergelijke situaties is er nog duidelijk sprake van capillair watertransport. Wanneer de diffusie een grotere rol gaat spelen bij het transport van water vanuit de kern naar de rand van het hout, neemt het belang van de luchtsnelheid af.

Luchtdruk

De luchtdruk speelt theoretisch ook een belangrijke rol in het klimaat van de droogkamer. In veel droogtechnieken wordt alleen gebruikgemaakt van de atmosferische druk en daarmee is deze factor min of meer constant. In bijvoorbeeld de vacuümdroogtechniek speelt de druk (het vacuüm beter gezegd) een essentiële rol, maar daarover meer bij de beschrijving van deze techniek in hoofdstuk 5.

3.4 Factoren betreffende hout

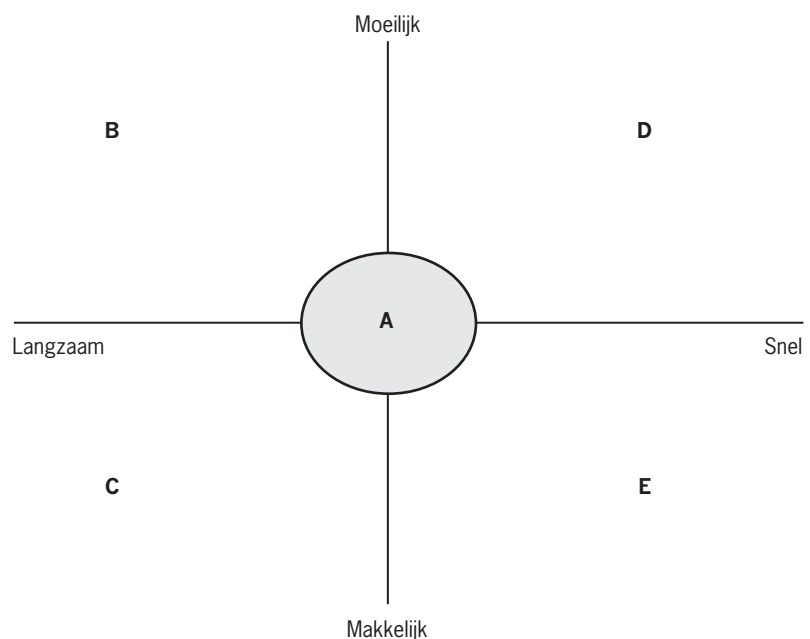
Naast de genoemde klimaatfactoren, is het hout zelf ook van invloed op het droogproces. Daarbij spelen de voor een houtsoort typerende kenmerken een rol, de afmetingen en eventuele onvolkomenheden.

Houtsoort

De houtsoort zelf speelt een belangrijke rol in het gehele droogproces. Er zijn soorten die gemakkelijk drogen en andere juist moeilijk. Ook de snelheid van drogen is heel wisselend. Daarmee is de houtsoort de meest variabele parameter te noemen en ook een van de minst te beïnvloeden factoren. Het is goed om te realiseren dat bij het drogen van hout het water vanuit de kern naar het oppervlak getransporteerd moet worden om van daaruit te kunnen verdampen. Daarom zal door het droogproces het watertransport naar het oppervlak gestimuleerd moeten worden. Dat transport ondervindt barrières en die zijn per houtsoort verschillend. Daarmee zijn we bij de droogbaarheid van een houtsoort aangekomen. Deze droogbaarheid is in te delen langs twee richtingen (zie afbeelding 16): de lijn snel-langzaam en de lijn makkelijk-moeilijk. De eerste lijn heeft betrekking op hoe snel het water uit het hout kan verdampen, terwijl de tweede lijn betrekking heeft op de kwaliteit na het drogen en hoeveel risico er tijdens het droogproces is op beschadigingen en droogfouten. Een houtsoort kan dus op verschillende manieren worden getypeerd:

- A: in dit gebied is er sprake van een milde houtsoort in alle opzichten. Het drogen gaat niet opvallend snel of langzaam en de risico's op beschadigen en droogfouten zijn heel gemiddeld.
- In de gebieden B tot en met D bevinden we ons meer in de extremen. Langzaam-moeilijk of snel-moeilijk zijn de lastigste houtsoorten vanuit droogbaarheid gezien.

Een houtsoort als melancieira (*Alexa grandiflora*) droogt niet erg langzaam maar vooral buitengewoon moeilijk, vooral vanwege de grote risico's op collaps (zie hoofdstuk 4). Daarmee kan deze soort ingedeeld worden in het kwadrant van letter B, maar dan tegen A aan waar het de snelheid van drogen betreft. De houtsoort Louro gamela (*Sextonia rubra*) droogt in dunne afmetingen (15-26 mm) snel en relatief gemakkelijk (kwadrant E), terwijl het in grote afmetingen (groter dan 52 mm) nauwelijks droogt (extreem langzaam). Bovendien ontstaan er dan ook heel snel droogfouten zoals collaps. Daarom kan dergelijk dik Louro gamela ingedeeld worden in kwadrant B.



Afbeelding 16. Indeling droogbaarheid houtsoorten in twee richtingen: langzaam-snel en makkelijk-moeilijk. Afbeelding: Innovita advies & projectbegeleiding

diffusieweerstand

De belangrijkste houtsoortafhankelijke parameter die bij het houtdrogen een rol speelt, is de diffusieweerstand van het hout. Deze parameter wordt bepaald door de volumieke massa, de anatomische houtstructuur en het aanwezig zijn van bepaalde inhoudsstoffen. Feitelijk wordt onder de diffusieweerstand verstaan: de moeite die het water in het hout ondervindt om naar het oppervlak van het hout te worden getransporteerd. De diffusieweerstand bepaalt vooral de snelheid van het droogproces. Deze diffusieweerstand beïnvloedt dus vooral de lijn langzaam-snel in afbeelding 16.

De diffusieweerstand is over het algemeen gekoppeld aan de volumieke massa (VM) van de houtsoort: hoe hoger de volumieke massa, hoe hoger de diffusieweerstand en hoe langzamer het hout droogt. Dat valt te verklaren wanneer we de celwandopbouw van hout met een hoge volumieke massa vergelijken met die van hout met een lage volumieke massa. Hoe zwaarder het hout, hoe meer celwandsubstantie er is. Het water in het hout moet via die celwanden diffunderen om aan het oppervlak te komen. Hoe meer celwandsubstantie moet worden gepasseerd, hoe langzamer het droogproces zal verlopen.

anatomie van hout

De anatomische structuur van de houtsoort speelt daarin ook een belangrijke rol: grote open transportkanalen bevorderen uiteraard het transport vanuit de kern van het hout naar de oppervlakte van het hout. Daarbij is de aard van de stralen en het aantal van betekenis. In sommige houtsoorten zijn de transportkanalen onderbroken door bijvoorbeeld thyllen of gomafzettingen. Dat remt een vlot watertransport en dat heeft ook zijn weerslag op de diffusieweerstand.

De inhoudsstoffen in houtsoorten kunnen ook tot enorme verstoringen van het droogproces leiden. Een bekend voorbeeld is de al eerder genoemde houtsoort Louro gamela. De houtstructuur is als het ware doordrenkt met een wasachtige substantie, waardoor houtdikten boven 33 mm nauwelijks droog te krijgen zijn. Ook een lichtgewicht houtsoort als Redwood (*Sequoia sempervirens*) droogt erg langzaam als gevolg van het voorkomen van inhoudsstoffen.

Houtkwaliteit

Een vaak vergeten aspect dat zeker van invloed is op het droogproces, betreft de houtkwaliteit van het te drogen hout vóórdat het de droogkamer in gaat. Als hout met een lagere houtkwaliteit wordt gedroogd, zal het over het algemeen door het droogproces niet veranderen in een hoge houtkwaliteit. Zoals verderop blijkt (hoofdstuk 4), zullen bepaalde houtgebreken door het proces van houtdrogen eerder verslechteren. Eindscheuren zullen meestal dieper het hout intrekken als gevolg van de droging.

Andere gebreken zijn bijvoorbeeld kwasten en sterk draadverloop. Houten delen die al in niet-gedroogde staat dergelijke houtgebreken kennen, zullen tijdens het droogproces ook dienovereenkomstig reageren. Afbeelding 17 laat zien dat sterk draadverloop in dun hout bij niet-gedroogd hout op de lat al tot sterke vervorming kan leiden.

belang van vakkennis

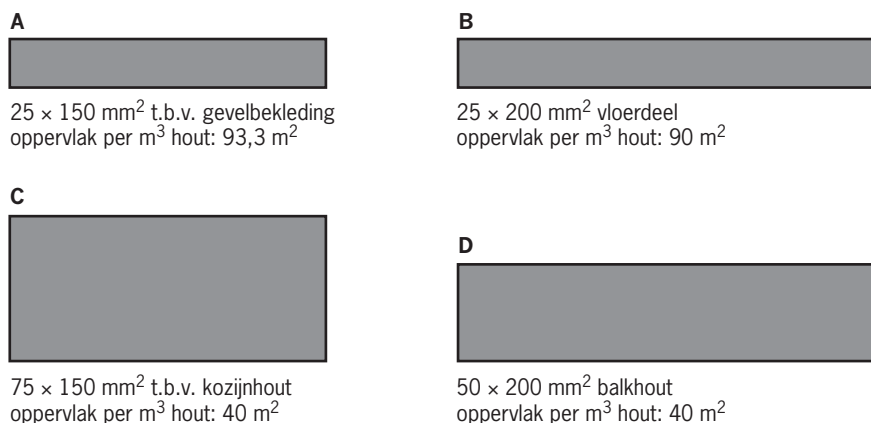
Een goede houtdroger kan in sommige gevallen de schade wel beperken: hout dat buiten aan een scherp klimaat wordt blootgesteld, kan in een kamer veel behoedzamer worden behandeld, waardoor de vervormingen en/of scheuren beperkt kunnen blijven. Toch kan niet genoeg benadrukt worden, dat de kwaliteit van het te drogen hout vooraf bepaalt welke houtkwaliteit na het drogen haalbaar is.



Afbeelding 17. Zichtbare vervorming in dun hout als gevolg van sterk wisselend draadverloop. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

Houtafmetingen

Naast de typische eigenschappen van de houtsoort zelf, spelen ook de afmetingen een rol. Vooral de dikte maar in mindere mate de breedte van het hout spelen een rol. Met de voorgaande kennis over houtdrogen is te argumenteren wat de invloed van de afmeting op het houtdrogen is. Voor het houtdrogen speelt het beschikbare oppervlak per plank een bepalende rol: immers via dat oppervlak zal de verdamping moeten plaatsvinden teneinde het houtvochtgehalte op het gewenste niveau te brengen. Wanneer we nu een aantal diktematen/breedtematen in gedachten nemen, kan een rekenvoorbeeld duidelijk maken wat voor gevolgen dit heeft voor de verdampingsmogelijkheden.



Oppervlak per kubieke meter hout is gerekend zonder de kopse vlakken mee te rekenen

Afbeelding 18. Verdampingsmogelijkheden per kubieke meter hout, uitgaande van verschillende dikte- en breedtematen. Afbeelding: Innovita advies & projectbegeleiding

In afbeelding 18 is het oppervlak per kubieke meter hout gerekend alsof alle delen netto in een kubieke meter hout zijn verpakt. Door de kopse kanten buiten beschouwing te laten, kan het oppervlak per plank worden berekend en tevens hoeveel planken er in een kubieke meter passen. Wanneer we het effect van de breedte en de dikte dan vergelijken met betrekking tot het verdampingspotentieel, blijkt de dikte verreweg het grootste effect op te leveren. Vergelijking van A en B in afbeelding 18 laat zien dat het verdampingspotentieel nauwelijks iets afneemt wanneer de houtbreedte met 33% toeneemt. Wanneer de dikte echter drie keer zo groot wordt (vergelijk A en C), dan neemt het verdampingspotentieel per kubieke meter fors af. Hetzelfde effect is zichtbaar wanneer B en D vergeleken worden. Hiermee is aangetoond dat de droogsnelheid dus sterk gekoppeld is aan de houtafmeting, waarbij de invloed van de dikte verreweg de grootste rol speelt. De dikte heeft ook invloed op de snelheid waarmee het water uit de kern diffundeert naar de oppervlakte. Juist naarmate het droogproces vordert, zal de droogsnelheid omlaag gaan. Bij de dikkere afmetingen zal dat proces in het algemeen veel langzamer verlopen dan bij de dunnere houtafmetingen. Het duurt ook langer om een verandering van de temperatuur over te brengen tot in de kern van het hout.

Houttemperatuur

De temperatuur van het hout dat in de kamer geplaatst wordt, speelt eveneens een rol in het droogproces. Vooral voor de opwarmfase is het van belang om hier goed rekening mee te houden. Hout dat uit een buitenopslag komt en wellicht zelfs bevroren is (gedurende de winter), zal zeer voorzichtig opgewarmd moeten worden.

3.5 Factoren betreffende droogkamer zelf

Houtvochtgehalte

Het beginhoutvochtgehalte van de te drogen partij hout bepaalt eveneens voor een zeer belangrijk deel het verloop van het droogproces. Vooral het begin van het hele proces zal hierop aangepast moeten worden. Het doel-houtvochtgehalte (eindhoutvochtgehalte) is natuurlijk eveneens van grote invloed: het maakt erg veel uit of er voor een houtvochtgehalte van 18% gedroogd moet worden of voor 8%!

In de praktijk komt het regelmatig voor dat er partijen hout gecombineerd worden in één kamer, die een wisselend beginhoutvochtgehalte hebben. Ook combinaties met dik hout dat al aangedroogd is en dunner hout dat vrij vers is, komen voor. Het vakmanschap en de ervaringen van de droger komen in die gevallen zeker om de hoek kijken. Over het algemeen kan aangehouden worden dat het natste hout bepaalt welk droogklimaat aan het begin van het proces aangehouden moet worden. Een dergelijke combinatie zal dus voor het drogere hout tot een langere droogtijd leiden.

Naast de klimaatfactoren in de droogkamer en de eigenschappen van het hout dat gedroogd wordt, speelt ook de vulling van de kamer en de bundeling van het hout een rol bij het droogproces.

Vulling van de kamer

Het meest ideaal is om de kamer volledig gevuld te krijgen. Daarmee kan het beoogde klimaat in de kamer bovendien zo homogeen mogelijk worden bereikt. Wanneer er grote 'gaten' tussen de houtpakketten in de kamer zijn, leidt dat tot verstoringen in het klimaat: lokaal kan het klimaat scherper zijn terwijl anderzijds bepaalde pakketten hout minder snel worden bereikt. Deze ongelijkmatigheid kan ook zijn weerslag hebben op de uiteindelijke droogkwaliteit. Hoe beter de kamer gevuld is, hoe homogener ook de uiteindelijke droogkwaliteit (zie afbeelding 19).



Afbeelding 19. Bundels hout in een conventionele droogkamer. Foto: Houtindustrie Schijndel

Oplatten van het hout

Om alle afzonderlijke planken te bereiken met het droogklimaat om zo-doende elke plank te drogen, is het van belang dat de delen niet op elkaar gestapeld liggen, maar dat ze opgelat zijn. Dat betekent dat op elke laag met planken, stapellatten worden gelegd. Deze zorgen ervoor dat de afzonder-

lijke lagen op enige afstand van elkaar in het pakket worden gehouden. Het toepassen van deze stapellatten en de manier waarop ze worden geplaatst, zijn van cruciaal belang voor de uiteindelijke kwaliteit van het gedroogde hout.

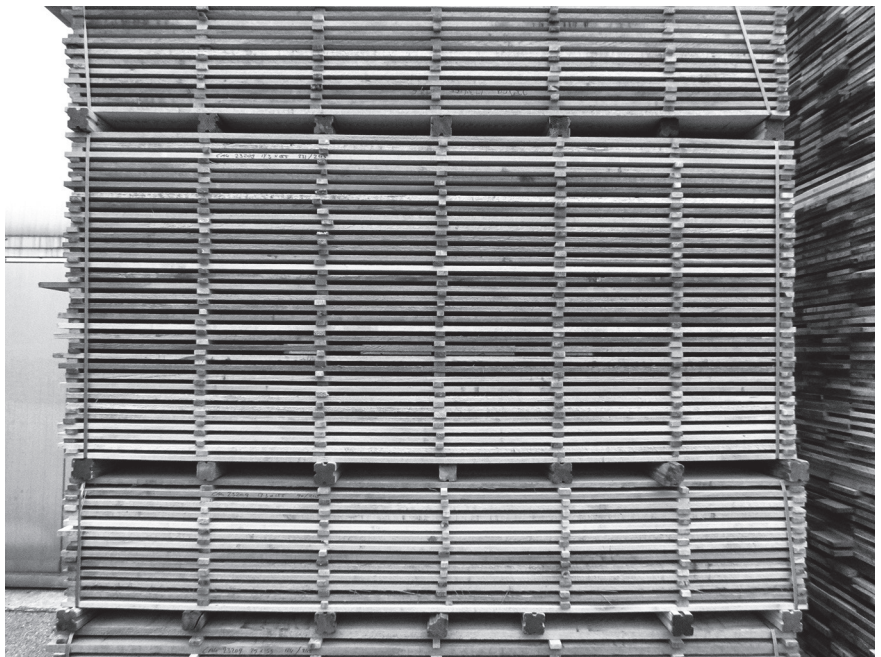
Allereerst is de vraag wat de afmetingen van de stapellatten moet zijn. Er zijn latten van $20 \times 20 \text{ mm}^2$ en van $25 \times 25 \text{ mm}^2$ in gebruik. De dikkere stapellatten worden gebruikt om meer lucht door de houtstapels te kunnen transporteren.

*drooglatten moeten zachter zijn
dan hout dat droogt*

Als er standaardlatten worden gebruikt, zouden deze minder hard moeten zijn dan het te drogen hout, om mogelijk 'indeuken' in het te drogen hout tijdens het droogproces te voorkomen.

De afstand tussen de latten mag niet te groot zijn en hangt ook samen met de dikte van het hout. Bij dun hout is het raadzaam om de latten tussen de 45 en 60 cm te leggen om zodoende doorbuiging tijdens het drogen te voorkomen. Voor dikker hout mag de afstand wel 100 cm worden, aangezien dat hout minder de neiging heeft om door te buigen.

De latten dienen exact boven elkaar te liggen in een pakket (zie afbeelding 20). Onder het pakket kunnen dan de zogenoemde 'strijkhouten' of 'klossen' worden geplaatst, precies onder een rij met stapellatten. Op die manier wordt een pakket op de goede plaats ondersteund. Wanneer dit niet in deze vorm wordt gedaan, ontstaan (voor en) tijdens het droogproces storende vervormingen (met name (door)gebogen hout, zie afbeelding 21). Wat het verschijnsel van latstrepen in hout betreft, zie hoofdstuk 4.



Afbeelding 20. Mooi opgelat eikenhout. Foto: Innovita / Houtindustrie Schijndel



Afbeelding 21. Wanneer bij het stapelen van hout de latten en klossen niet exact onder elkaar liggen, ontstaat er 'gebogen' hout. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

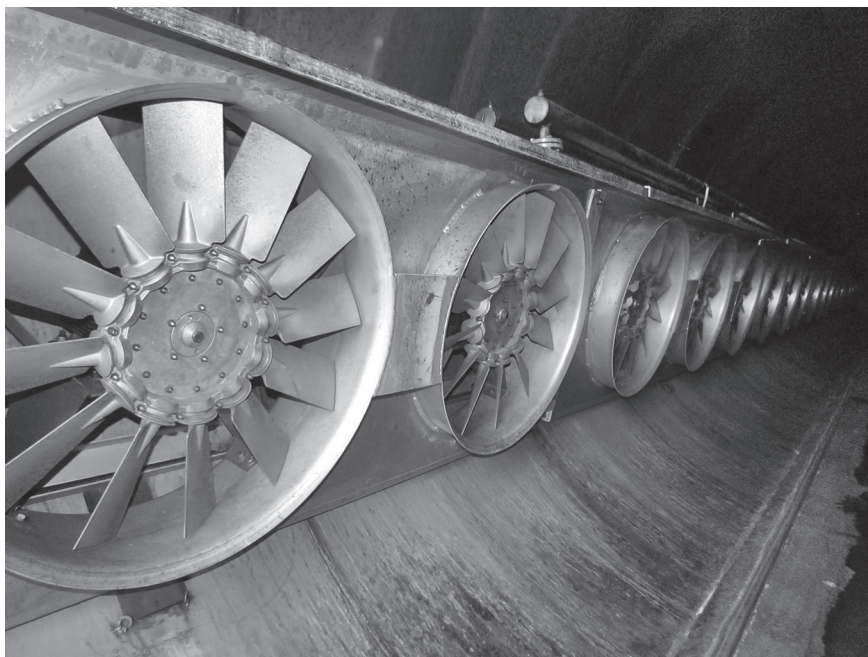
Meet- en regeltechniek

Om de kamer goed te kunnen besturen, is deze uitgerust met meet- en regeltechniek. De mogelijkheden van deze techniek zijn van groot belang om het houtdrogen tot een goed einde te brengen. De mogelijkheden variëren per leverancier en per type droogkamer (zie afbeelding 22 en 23).

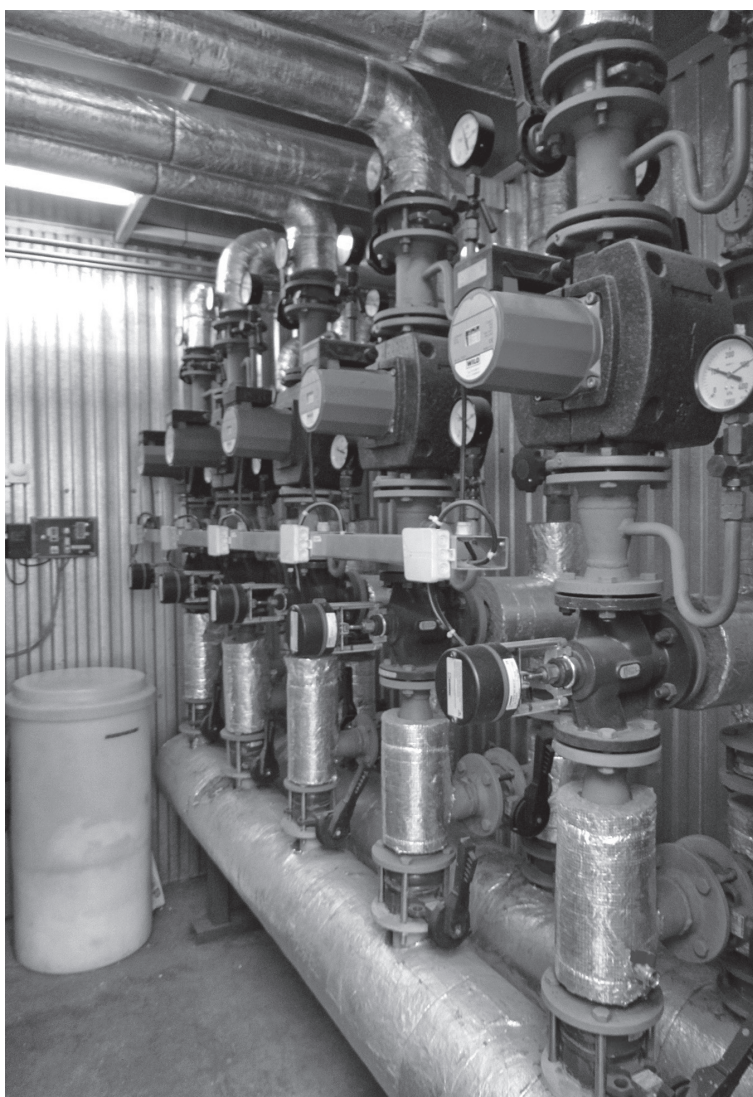
Wat betreft de meettechniek is het van belang dat er betrouwbare metingen kunnen worden gedaan in het te drogen hout (real-time tijdens het droogproces). Daarnaast zijn meetgegevens nodig om het klimaat in de kamer te kunnen volgen (met name temperatuur en relatieve luchtvochtigheid). Wanneer de metingen niet betrouwbaar zijn, wordt het tijdig aanpassen van het droogklimaat erg bemoeilijkt. Met een min of meer constante standaardafwijking kan nog gewerkt worden, maar onregelmatige (on)betrouwbaarheid kan tot grote schade leiden.

Wat betreft de regeltechniek is vooral relevant hoe snel en hoe nauwkeurig een verandering geëffectueerd wordt in de droogkamer. Een aanpassing in temperatuur of relatieve luchtvochtigheid zal altijd met enige vertraging bereikt worden. Met deze kennis in het achterhoofd kan de timing om een verandering tot stand te brengen, verbeterd worden.

Veel droogkamers laten zich tegenwoordig met behulp van een computer aansturen, waardoor ook 'besturing op afstand' tot de mogelijkheden behoort.



Afbeelding 22. Ventilatoren in een vacuümdroger bij UVO Lopik. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding



Afbeelding 23. 'Ketelhuis' van een conventionele droogkamer bij Houtindustrie Schijndel. Foto: Houtindustrie Schijndel

Homogeniteit van het droogklimaat in de kamer

Een laatste factor die van invloed is op het droogproces, is de homogeniteit van het klimaat in de kamer. Hoe homogener het klimaat is, hoe nauwkeuriger er gedroogd kan worden. Een niet-optimale vulling van de kamer kan al tot lokale klimaatverschillen leiden. Ook de manier waarop de kamer wordt verwarmd, de werking van de kleppen, ventilatoren en bevochtigers zijn allemaal van invloed op de homogeniteit van het klimaat.

4 Droogkwaliteit

Het hoofddoel van het houtdrogen is om het vochtgehalte van een partij hout terug te brengen naar het doelhoutvochtgehalte (zie tabel 5). Wanneer is het doel van het houtdrogen nu bereikt? Deze vraag kan worden beantwoord door te kijken naar enerzijds het bereikte houtvochtgehalte en anderzijds naar de houtkwaliteit na het droogproces. Hierbij is gebruikgemaakt van de studies van J.F. Rijsdijk [lit. 9 en 10] en Th. Trübswetter [lit. 12]. Ook is gebruikgemaakt van het handboek van H.E. Desch en J.M. Dinwoodie [lit. 2]. De toepasselijke normen zullen daarbij ook aan de orde komen, want daarmee wordt een objectieve maatstaf aangereikt. Ten slotte gaat dit deel van het artikel in op droogfouten en houtonvolkomenheden die met houtdrogen gepaard kunnen gaan. Als laatste mag een paragraaf over de ‘gedroogd hout’-opslag niet ontbreken.

4.1 Houtvochtgehalte meten

Al voor het drogen komt het onderwerp houtvochtmeten aan de orde. Voor details wordt verwezen naar literatuur 8, waar meer informatie te vinden is over houtvochtmeetmethoden.

De meest betrouwbare methode is het meten, wegen en drogen van schijfjes hout gezaagd uit een plank. Door middel van formule 1.1 is dan eenvoudig het houtvochtgehalte te berekenen. Let er wel op dat de berekende waarde een *gemiddelde* is over de doorsnee van de plank! Het geeft geen waarde voor het houtvochtgehalte in de kern. Om dat euvel op te vangen, kan ook de kern uit de doorsnede van een schijf worden gezaagd. Wanneer de weegschaal nauwkeurig genoeg meet, kan op deze manier het randvochtgehalte én het kernvochtgehalte worden bepaald. Wel is van belang om de schijven direct na het zagen te wegen, omdat afhankelijk van de houtsoort er al spoedig substantieel water kan worden verdampt via de kopse kanten van de schijven.

elektrische houtvochtmeter

De meest gebruikte methode in de praktijk is het meten met een elektrische houtvochtmeter. Door twee elektroden in het hout in te brengen en vervolgens een stroom door het hout te sturen, kan bepaald worden hoeveel weerstand er is. Hoe meer water in het hout, hoe beter de geleiding van de stroom en hoe minder weerstand er gemeten wordt. Per houtsoort dient een ijklijn bepaald te zijn, omdat de houtsoort zelf ook invloed heeft op de geleiding. Deze methode geeft een redelijk betrouwbare meting in het gebied tussen globaal 8% en 30%. Raadpleeg in ieder geval de aanwijzingen die de fabrikant van de houtvochtmeter geeft. Nadeel van deze methode is de afhankelijkheid van de temperatuur, aangezien deze ook invloed heeft op de geleiding. Er zal dus ook een temperatuurcorrectie toegepast moeten worden (en dus ook een temperatuurmeting). Het voordeel is dat met behulp van geïsoleerde elektroden tot in de kern gemeten kan worden (zie afbeelding 24). De meetmethode werkt ook nog eens snel en de schade aan het hout is zeer gering (twee gaatjes).

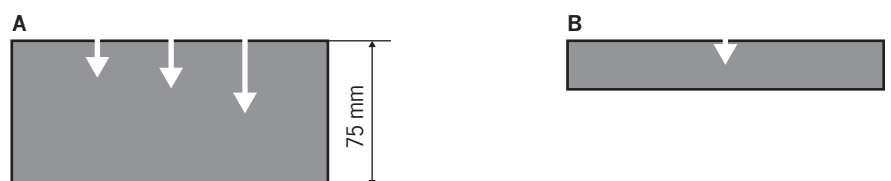


Afbeelding 24. Elektrische houtvochtmeter met zogeheten 'ram-elektroden'

In de meeste droogkamers werkt men met een elektrische houtvochtmeter. Er worden verschillende meetpunten aangebracht in een partij hout, op diverse plaatsen in de kamer. Op die manier kan een continu beeld gevormd worden van de ontwikkeling van het houtvochtgehalte in de partij hout in de kamer. Ook hier geldt natuurlijk het belang van de temperatuurcorrectie en de houtsoortafhankelijke correctie.

Voor het houtdrogen – zeker bij dikkere afmetingen (meer dan 50 mm) – geldt dat het onderscheid tussen kernvochtgehalte en randvochtgehalte van groot belang is. In afbeelding 25 is schematisch voorgesteld wat het onderscheid inhoudt. Hoe dikker het hout dat gedroogd moet worden, hoe groter het risico dat er een verschil in houtvochtgehalte ontstaat tussen de kern (het binnenste van de plank) en de rand. Dit verschil wordt meestal als 'vochtgradiënt' aangeduid.

In de regelgeving en in de praktijk ontstaat er regelmatig discussie waar precies gemeten moet worden met de meetpennen. Om een gemiddelde waarde te bereiken, is het gebruikelijk om op een derde ($\frac{1}{3}$) van de houtdikte te meten. In geval van een balk van 75 mm (voorbeeld A) zou dat neerkomen op 25 mm diepte. Het randvochtgehalte is gedefinieerd als een vierde ($\frac{1}{4}$) en de kern als de helft ($\frac{1}{2}$) (respectievelijk 19 mm en 38 mm). Wil men echt weten of een balk goed gedroogd is, dan volstaat het meten op $\frac{1}{3}$ van de houtdikte niet. Het houtvochtgehalte in de kern moet dan ook bepaald worden. Het is daarom altijd te adviseren op $\frac{1}{2}$ van de houtdikte te meten, om zodoende zeker te weten dat de kern ook droog geworden is. Het mag duidelijk zijn dat bij dun hout deze discussie nauwelijks speelt (voorbeeld B in afbeelding 25).



Afbeelding 25. Houtvochtmeter op respectievelijk $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ en $\frac{1}{2}$ van de houtdikte (A) bij een houtdikte van 75 mm. Bij dun hout speelt deze discussie veel minder (B)

4.2 Is juiste houtvochtgehalte bereikt?

Wanneer het droogproces ten einde is, blijft de vraag over of het juiste houtvochtgehalte is bereikt. Nu wordt hout altijd gedroogd met een zekere tolerantie. Bij een natuurproduct als hout kan het nooit zo zijn dat alle planken exact (op de komma nauwkeurig) hetzelfde houtvochtgehalte hebben. Daarom wordt een tolerantie opgegeven bij een gekozen doelhoutvochtgehalte. Deze tolerantie heeft betrekking op enerzijds de variatie in houtvochtgehalte tussen planken in dezelfde partij en anderzijds de vochtgradiënt in een plank. Deze vochtgradiënt betreft het verschil tussen het kernvochtgehalte en het randvochtgehalte. Hoe groter de vochtgradiënt in de plank is, hoe groter het risico op mogelijke vervormingen en scheurvorming in de plank. Dat kan zich al uiten tijdens de verwerking, maar ook wanneer het hout daadwerkelijk is toegepast.

Welke tolerantie vereist is, hangt sterk af van de toepassing, de regelgeving en de hoogte van het doelvochtgehalte (hoe hoger, hoe meer spreiding is toegestaan). Zo zijn de eisen en toleranties voor de toepassingsvochtgehalten voor kozijnhout en deurbout in Nederland geregeld in de SKH Publicatie 99-05 [lit. 11]. Zie daarvoor tabel 2 in dit artikel.

Heel gebruikelijk is om een tolerantie van $\pm 2\%$ aan te houden op het houtvochtgehalte (of er dan sprake is van kernvochtgehalte of op $\frac{1}{3}$ van de houtdikte laten we hier voor het gemak in het midden). Toch zal in de praktijk blijken dat een bepaald percentage van de houten delen buiten de toegestane tolerantie valt. In de praktijk wordt niet elke plank gecontroleerd (met uitzondering van grootschalige houtbewerking met in-line houtvochtmeting). Daarom worden vanuit de verschillende Nederlandse en Europese normen handreikingen gedaan om objectief de droogkwaliteit vast te stellen.

4.3 Relevante normen

Er zijn enkele normen gepubliceerd die gebruikt kunnen worden om de droogkwaliteit te beoordelen op een objectieve manier. Hierna worden de relevante normen kort besproken en uitgelegd. De normen zijn te bestellen via www.nen.nl.

NEN-EN 844-4:1997 Rondhout en gezaagd hout – Termen en definities – Deel 4: Termen betreffende het vochtgehalte

Veel begrippen rondom het vochtgehalte van hout zijn gedefinieerd in vier talen in deze norm. Het is goed te melden dat er bij de NEN een boekje is verschenen waarin alle termen uit de NEN-EN 844-serie zijn samengevat, het zogeheten Houtwoordenboek.

NEN 5461:2004 Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2000) – Gezaagd hout en rondhout – Algemeen gedeelte

De kwaliteitseisen in de meest brede zin van het woord zijn gedefinieerd in de NEN-EN 5461. Hierin worden definities van tal van houtonvolkomenheden gegeven. Er worden geen feitelijke eisen gegeven, maar alleen definities hoe houtkwaliteitsaspecten te classificeren. Zo is er ook aandacht voor begrippen als vervormingen en allerlei soorten scheuren.

NPR-CEN/TS 12169:2008 Criteria voor de aanvaarding van een partij gezaagd hout

Een belangrijke vraag om te beantwoorden is hoeveel planken er gemeten moeten worden om te kunnen stellen dat de hele partij droog is (een partij wordt dan opgevat als een verzameling van bundels met dezelfde houtsoort en kopmaat). In de praktijk wordt hier vaak pragmatisch mee omgesprongen en wordt volstaan met een beperkt aantal metingen. Deze praktijkrichtlijn geeft een handleiding voor de omvang van een steekproef in relatie tot

de omvang van de partij hout. Doelstelling is om met een hoge mate van waarschijnlijkheid te kunnen vaststellen of een partij hout daadwerkelijk het gewenste vochtgehalte heeft bereikt.

Allereerst dient er te worden nagegaan hoeveel pakketten minimaal moeten worden geopend. Daarvoor geeft de praktijkrichtlijn een duidelijke richting. Wanneer het minimaal benodigde aantal planken zich niet in het aantal te openen bundels bevindt, zullen extra bundels geopend moeten worden (zie tabel 3).

Tabel 3. Leidraad voor het minimumaantal te openen bundels
(bron: NPR-CEN/TS 12169:2008)

Aantal bundels in partij	Aantal te openen bundels
1	1
2 - 5	2
6 - 11	3
≥ 12	4

Een belangrijk begrip is de AQL (Acceptable Quality Level). Hoeveel procent van de delen mag er maximaal afwijken van de gewenste boven- en ondergrens? Zonder dat er iets is bepaald, wordt AQL 10 aangehouden. Dat wil zeggen dat met 90%-betrouwbaarheid bepaald kan worden of een partij hout als ‘conforming’ of als ‘non-conforming’ beoordeeld mag worden. De norm zegt ook hoeveel proefstukken gemeten moeten worden. Dat zijn er meer wanneer vergeleken wordt met wat er gangbaar is in de praktijk. De norm voorziet in twee methoden: ‘single sampling’ en ‘double sampling’. Voordeel van de laatste methode is dat er met een lager aantal in de steekproef gewerkt wordt. Wanneer het aantal afwijkende proefstukken tussen de waarden voor *A* en *R* (in tabel 4) uitkomt, moet een tweede hoeveelheid gemeten worden. De beschreven steekproefmethoden worden in ieder geval gebruikt in geval er een formeel oordeel geveld moet worden of een partij hout voldoet aan de opgegeven specificatie.

Tabel 4. Twee methoden om een steekproef te nemen uit een partij gedroogd hout om te beoordelen of het houtvochtgehalte voldoet aan de gestelde eisen (afgeleid van NPR-CEN/TS 12169:2008)

Aantal planken in partij	‘Single sampling’: AQL 10		‘Double sampling’: AQL 10					
	<i>S</i>	<i>A</i>	<i>S</i> ₁	<i>A</i>	<i>R</i>	<i>S</i> _{tot}	<i>A</i>	<i>R</i>
100 - 150	20	5	13	2	5	26	6	7
151 - 280	32	7	20	3	7	40	8	9
281 - 500	50	10	32	5	9	64	12	13
501 - 1200	80	14	50	7	11	100	18	19
> 1201	125	21	80	11	16	160	26	27

S = aantal te meten delen in de steekproef.

*S*₁ = aantal te meten delen in de eerste trekking van de ‘double sampling’-steekproef.

*S*_{tot} = aantal gemeten delen na de tweede meting van de ‘double sampling’-steekproef.

A = maximaal aantal afwijkende delen waarmee een partij als ‘conforming’ wordt beoordeeld.

R = minimaal aantal afwijkende delen waarmee een partij als ‘non-conforming’ wordt beoordeeld.

NEN-EN 13183-serie

Deze normenserie bevat drie normen hoe het houtvochtgehalte te meten. Deel 1 beschrijft de methode die bekend staat als ‘ovendrogen’. Van belang voor het zagen van de te meten schijf is om 30 cm bij het uiteinde van de plank vandaan te blijven. Hierdoor worden kopse effecten omzeild. De schijf – doorsnede van de plank – dient ongeveer 20 mm breed te zijn en vrij van opvallende houtonvolkomenheden die de houtvochtgehaltemeting kunnen beïnvloeden, zoals hars, kwasten, enzovoort.

Deel 2 beschrijft een methode voor het meten met een elektrische houtvochtmeter. Deze methode geeft volgens de norm een ‘schatting’ van het

houtvochtgehalte van een plank hout. Het is goed om te benadrukken dat de werking van een vochtmeter als schatting wordt getypeerd. Volgens de norm mag deze methode worden toegepast in het bereik tussen 7%- en 30%-houtvochtgehalte. Daarbuiten zijn de onnauwkeurigheden te groot. De norm gaat ervan uit dat de meetpennen met de draad van het hout mee moeten worden geplaatst, tenzij de handleiding van de fabrikant anders voorschrijft. Ook hier geldt dat om eventuele kopse effecten te voorkomen, ten minste 30 cm uit de kant gemeten moet worden.

Deel 3 beschrijft de meting met behulp van een capacitatieve methode. Deze methode geldt als minst betrouwbaar en kan niet meer bieden dan een globale indicatie. Bovendien is de meetdiepte sterk beperkt (maximaal 30 mm) en wordt een gemiddelde van het meetbereik gegeven in plaats van een meting op een bepaalde houtdiepte. Er wordt gewerkt met een sensor die op het houtoppervlak gelegd wordt, waardoor het hout niet beschadigt. Dit is een duidelijk voordeel ten opzichte van de elektrische houtvochtmeting. Ook deze meetmethode is geschikt voor een bereik tussen 7%- en 30%-houtvochtgehalte. De relatie met de dichtheid is heel bepalend voor deze methode en de dichtheid moet dus correct worden opgegeven. De dikte van het hout moet ook worden aangegeven. Naast een handapparaat kan deze methode ook zijn toegepast in in-line houtbewerkingsapparatuur.

NEN-EN 14298:2004 Gezaagd hout – Beoordeling van de droogkwaliteit

Deze norm geeft een methode die is ontwikkeld om de droogkwaliteit (louter gedefinieerd in termen van houtvochtgehalte met de toegelaten variatie) objectief te beoordelen. Er kan sprake zijn van ‘standard drying’ of van ‘specific end use drying’. In beide gevallen wordt uitgegaan van een doelhoutvochtgehalte, uitgedrukt in hele procenten (dus een enkel getal: 12%). Verder speelt het gemiddelde houtvochtgehalte van de steekproef een rol (eveneens een enkel getal, uitgedrukt als een percentage). Afhankelijk van het gekozen AQL-niveau (Acceptance Quality Level), mogen de meeste individuele meetwaarden de onder- en bovengrens niet overschrijden, terwijl een kleiner percentage dat wel mag. De genoemde onder- en bovengrens zijn gedefinieerd als $0,7 \times$ doelvochtgehalte en $1,3 \times$ doelvochtgehalte. Stel dat het doelhoutvochtgehalte op 15% is gesteld, dan mag na meting het gemiddelde van alle meetwaarden tussen de 13% en 16,5% zitten. 93,5% van de individuele meetwaarden moet zich tussen de onder- en bovengrens bevinden (AQL 6,5). Zie tabel 5.

Tabel 5. Doelhoutvochtgehalte, gemiddelde en de onder- en bovengrens, afgeleid uit NEN-EN 14298

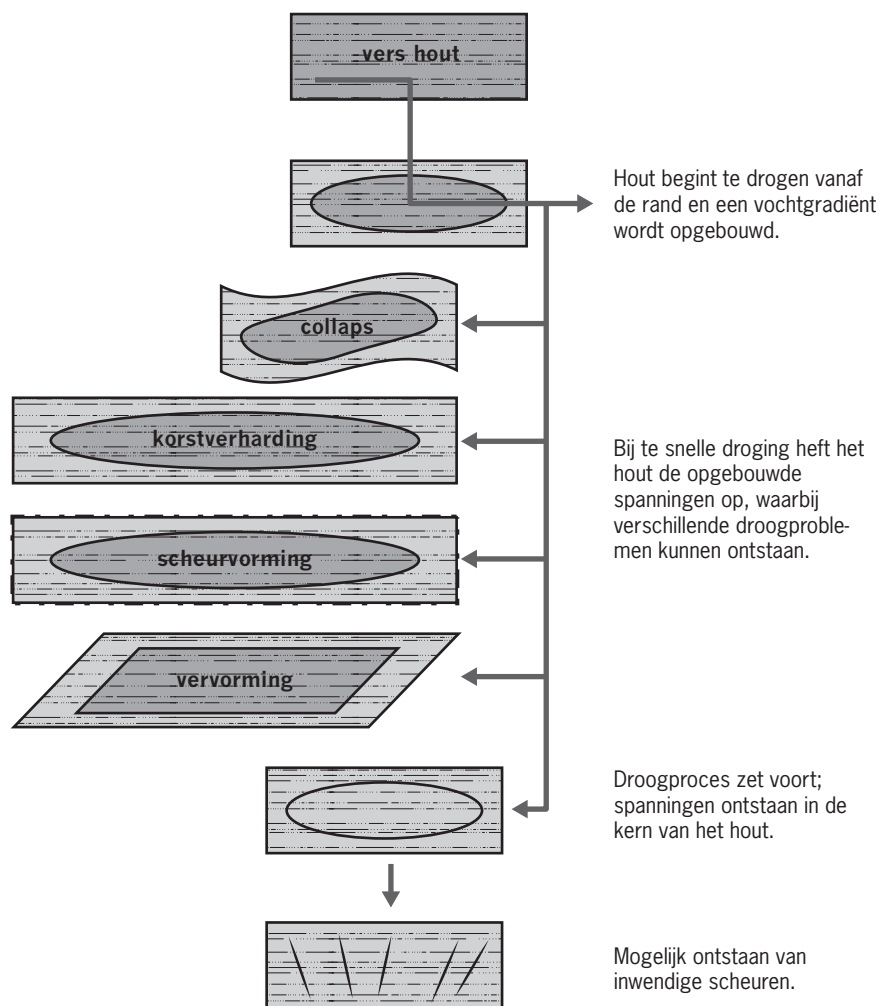
Doelhoutvochtgehalte (%)	Gemiddelde van partij (%)	Onder- en bovengrens (%)
7	6 - 8	4,9 - 9,1
8	7 - 9	5,6 - 10,4
9	8 - 10	6,3 - 11,7
10	8,5 - 11,5	7 - 13
11	9,5 - 12,5	7,7 - 14,3
12	10,5 - 13,5	8,4 - 15,6
13	11 - 14,5	9,1 - 16,9
14	12 - 15,5	9,8 - 18,2
15	13 - 16,5	10,5 - 19,5
16	13,5 - 18	11,2 - 20,8
17	14,5 - 19	11,9 - 22,1
18	15,5 - 20	12,6 - 23,4

NPR-CEN/TS 14464:2010 Gezaagd hout – Methode voor beoordeling van de droogspanning

Deze norm beschrijft een destructieve methode hoe het verschijnsel ‘case-hardening’ (korstverharding) kan worden gemeten en beoordeeld. Er wordt een schijf uit een gedroogde plank genomen, die vervolgens in twee stukken wordt gezaagd. Deze delen worden 24 uur (naaldhout) of 48 uur (loofhout) in plastic bewaard. Daarna worden de delen in een speciale mal geplaatst en wordt de vervorming gemeten. Deze maatstaf geeft een objectieve waarde voor de droogspanning in een plank gezaagd hout. Wanneer er een grote vochtgradiënt aanwezig is, zal dit zich uiten in een hoge waarde voor de vervorming.

4.4 Houtkwaliteit

Als gevolg van het droogproces loopt de houtdroger het risico drooggebreken in een partij hout te veroorzaken. Met alle kennis en onderzoek van jaren is inmiddels vrij duidelijk waar in het droogproces bepaalde drooggebreken kunnen ontstaan. Het schema in afbeelding 26 geeft indicatief weer wanneer er tijdens het droogproces risico's ontstaan op bepaalde drooggebreken. In het vervolg zullen deze gebreken uitvoeriger besproken worden.



Afbeelding 26. Indicatief overzicht waar tijdens het droogproces drooggebreken kunnen ontstaan. Afbeelding: Innovita advies & projectbegeleiding

Het al dan niet aanwezig zijn van drooggebreken na het droogproces vormt een minstens zo'n belangrijk onderdeel als het bereiken van het juiste houtvochtgehalte met bijbehorende tolerantie! Door het droogproces mogen de houteigenschappen niet negatief zijn beïnvloed.

De volgende drooggebreken (die deels in afbeelding 26 zijn genoemd) worden uitvoeriger besproken:

- 1 korstverharding;
- 2 droogspanning;
- 3 collaps;
- 4 scheurvorming;
- 5 verkleuringen;
- 6 vervormingen.

Korstverharding (Engels: case-hardening)

Korstverharding wordt in alle gevallen veroorzaakt doordat tijdens het begin van de droging het hout aan de rand beneden het vezelvezadigingspunt komt, waardoor er krimp ontstaat. Op dat moment is de kern nog boven vezelvezadigingspunt en deze krimpt nog niets. Er ontstaat dan als het ware een 'korst' van droger hout rondom een kern die zich nog boven vezelvezadigingspunt bevindt. Als gevolg van deze korstverharding ontstaat er spanning tussen de niet-gekrompen kern en de krimpende rand. Het hout sluit zich min of meer af voor watertransport vanuit de kern naar de oppervlakte, waardoor het droogproces aanzienlijk vertraagt of het zelfs stil komt te liggen. Daarnaast neemt het risico op een ongelijkmatige droging toe: er is immers een grote kans dat de kern natter blijft dan de rand. Ook bestaat er een groter risico op vervormingen en scheuren.

Droogspanning

Tijdens het droogproces treden er onvermijdelijk spanningen op in het hout, juist ook omdat hout een anisotroop materiaal is (zie hoofdstuk 1). Globaal genomen komen spanningen voor tijdens de verschillende stadia van het droogproces.

Bij de aanvang van het proces

Vanwege de krimp aan de oppervlakte ontstaat daar 'trekspanning' terwijl in de kern 'drukspanning' ontstaat. Bij te grote spanningen kunnen snel scheuren ontstaan, vooral oppervlaktесcheuren (zie verderop).

Gedurende het droogproces

Tijdens het droogproces gaat ook de kern water afstaan, wat uiteindelijk tot krimp in de kern leidt. Ook daarbij kunnen spanningen ontstaan.

Aan het einde van het proces

Hierbij kan trekspanning in het binnenste van de plank ontstaan. In tegenstelling tot trekspanning aan de buitenzijde (bij de aanvang van het droogproces), ontstaan in deze fase dus vooral de spanningen in de kern van het hout. Als het tot scheuren komt, zullen deze vooral ook in het binnenste van de plank voorkomen. Wanneer een plank in deze omstandigheden door de kern wordt open gezaagd, zal er een vervorming optreden als gevolg van de interne spanningen.

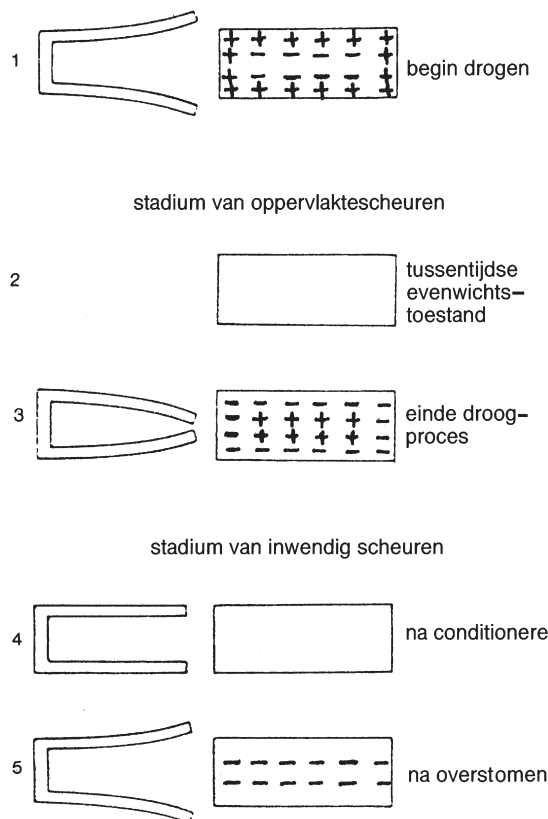
De kunst van het drogen is om de onvermijdelijke spanningen in de hand te houden. De volgende suggesties kunnen helpen om de spanning in het hout te beperken:

- Te snelle droging van de rand van het hout aan het begin van het proces voorkomen door het hout aan de buitenzijde te bevochtigen (waardoor de krimp van de buitenste zones wordt uitgesteld).
- Let erop dat bij het opwarmen van de kamer niet al gestart wordt met houtdrogen. Ook dat versterkt namelijk de snellere droging aan de rand van de plank.

- Stuur op een beperkte vochtgradiënt in het hout: te grote verschillen tussen rand en kern versterken de kans op interne spanningen.
- Aan het einde van het proces (voldoende) *conditioneren*: door de RV in de kamer aan het einde van het proces iets hoger te kiezen dan het doelhoutvochtgehalte, kan het hout zich ‘ontspannen’ van het droogproces (waarbij steeds het watertransport vanuit de kern naar de oppervlakte aan de gang gehouden is).

Er zijn verschillende manieren om eventuele droogspanning in het hout vast te stellen. De meest inzichtgevende methode is het openzagen van een gedroogde plank en zien of er vervorming (= indicatie voor spanning) optreedt. Daarnaast kan ook een zogenoemde ‘droogvork’ of ‘spanningsvork’ gezaagd worden (zie afbeelding 27).

Wanneer het houtvochtgehalte niet gelijkmatig is door de plank, zal door het zagen een natter gedeelte van het hout aan het directe klimaat worden blootgesteld. Als het hout aan de ene zijde natter is dan aan de andere, zal het willen acclimatiseren, waardoor er dus krimp in het natte stuk optreedt. Daardoor zal het hout snel vervormen. Zie verder afbeelding 27 waar een en ander is uitgewerkt voor geconditioneerd hout en niet-geconditioneerd hout.

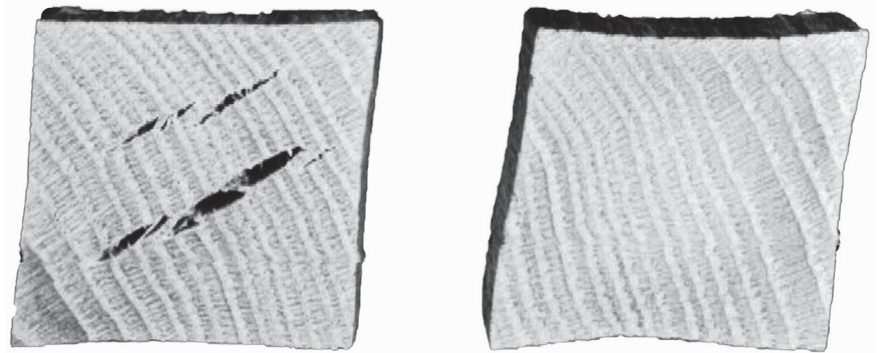


Afbeelding 27. Spanningsvork of droogvork om droogspanning aan te tonen

Collaps

Dit verschijnsel wordt zichtbaar doordat het hout naar het midden van de doorsnede smaller en/of dunner wordt (zie afbeelding 28). In beide richtingen (dikte/breedte) van de doorsnede kan er dus collaps optreden. Het verschijnsel gaat vaak gepaard met grote inwendige scheuren van soms millimeters breed. Deze scheuren lopen dan gelijk met de houtstralen (radiale scheurvorming).

Het begrip ‘collaps’ wijst op ‘instorten’ van een deel van het hout. Niet elke houtsoort is gevoelig voor collaps. Van soorten als eiken, eucalyptussoorten, Louro gamela, Melancieira en populier is bekend dat deze gevoelig zijn voor collaps. Daarnaast is het verschijnsel ook gemeld bij houtsoorten als meranti, keruing, imbuia en vuren.



Afbeelding 28. Collaps en inwendige scheuren in populier

Een sterke vervorming van houtcellen/houtvezels leidt tot collaps. Deze sterke celdeformaties treden op als gevolg van onderdruk die ontstaat tijdens het droogproces. De soorten die hier gevoelig voor zijn, hebben relatief veel dunwandige cellen in de houtstructuur (parenchymweefsel), die vrij snel kunnen vervormen. Dikkere celwanden hebben over het algemeen meer weerstand tegen vervormingen.

Collaps ontstaat doordat er een te scherp droogklimaat wordt toegepast in de natte fase van het droogproces. De minimale waarden die genoemd worden, zijn 35%- tot 40%-houtvochtgehalte [lit. 9]. Beneden die waarden kan er in principe geen collaps meer voorkomen. De typische ‘collaps’-vervorming die optreedt, kan niet veroorzaakt worden door normale krimp, omdat het houtvochtgehalte zich ruim boven vezelverzadigingspunt bevindt. De vervorming heeft dus een andere oorzaak.

invloed van veel parenchym in hout

Wanneer houtsoorten met relatief veel parenchymweefsel (dunwandige cellen) in een te scherp klimaat in de natte fase gedroogd worden, ontstaat de mogelijkheid dat de dunwandige cellen de optredende onderdruk niet goed meer kunnen opvangen. Als gevolg daarvan trekken deze dunwandige cellen samen in die delen van het hout waar de onderdruk ontstaat. Vervolgens vallen de cellen volledig uit elkaar en verkleven, waardoor de vervorming ontstaat die kenmerkend is voor collaps. Om deze problemen te voorkomen, helpt het om tussentijds het hout te bevochtigen waardoor de sterke trekspanningen verminderd worden. In standaarddroogschema's voor bijvoorbeeld eucalyptussoorten wordt dit dan ook voorgeschreven.

Scheurvorming

Scheurvorming kent veel variatie: van kleine haarscheurtjes op het langsvlak tot brede inwendige scheuren in het hart van de plank. Voor het gemak worden drie soorten scheuren onderscheiden: inwendige scheuren, oppervlaktische scheuren en eindscheuren. In de NEN 5461:2004 worden meer soorten scheuren onderscheiden.

Inwendige scheuren

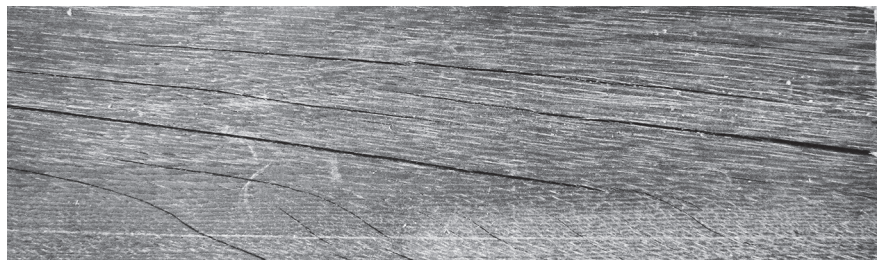
Inwendige scheuren (zie afbeelding 28) kunnen ontstaan in dezelfde omstandigheden waarin ook collaps ontstaat. Voor deze situaties wordt verwezen naar de beschrijving van collaps. De maatregelen om collaps te voorkomen, helpen ook om deze inwendige scheuren te voorkomen. Daarnaast kunnen inwendige scheuren ook iets later in het droogproces ontstaan. Wanneer hout al aardig begint te drogen en een gemiddeld houtvochtgehalte van

30-25% heeft bereikt, wordt meestal overgegaan op een scherper droogklimaat. Dat is ook nodig om verder te kunnen drogen. Wanneer nu echter een grote gradiënt in het hout aanwezig is (bijvoorbeeld een kern van 40% en een rand van 15%), zal de kern sterk gaan drogen. De kern heeft op dat moment nog geen krimp vertoond en zal dus nog maximaal moeten gaan krimpen. De oppervlakte is al sterk gekrompen en werkt dus niet hard mee om de krimp in de kern op te vangen. Wanneer het droogklimaat te scherp is en de krimp dus te snel gaat in de kern, kan deze niet opgevangen worden en zullen er een of meer inwendige scheuren ontstaan. Inwendige scheuren ontstaan altijd in radiale richting, in de richting van de houtstralen. Dit drooggebrek wordt vooral beoordeeld op het aantal scheuren en minder op de afmeting van de scheuren. Het verschijnsel is bovendien een 'verborgen gebrek', aangezien het hout er aan de buitenkant vaak netjes uitziet. Door steekproefsgewijs enkele planken door te zagen, kan vastgesteld worden of er sprake is van inwendige scheuren.

Oppervlaktescheuren

Oppervlaktescheuren ontstaan meestal aan het begin van het droogproces. Wanneer de rand te snel droogt, ontstaan droogscheuren. Dit heeft te maken met een te scherp droogklimaat (evenwichtshoutvochtgehalte van het klimaat in de kamer) aan het begin van het proces. Het is daarom aan te raden niet te snel op te warmen en/of de relatieve vochtigheid van de lucht hoger in te stellen.

Voorals rechttradige houtsoorten splijten relatief gemakkelijk. De oppervlaktescheuren (en ook de eindscheuren) ontstaan dan ook relatief gemakkelijk in rechttradige houtsoorten. Ook houtsoorten met grote krimpwaarden zijn gevoeliger voor dergelijke scheuren. Opnieuw geldt dat de radiale richting (de richting van de stralen) de meest gevoelige plek is voor scheurvorming en oppervlaktescheuren zullen dan ook in radiale richting verlopen (zie afbeelding 29).



Afbeelding 29. Oppervlaktescheuren in een geschaafd oppervlak. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

Eindscheuren

Naast de scheuren in de oppervlakte, zijn ook de eindscheuren bekende gebreken. Abusievelijk wordt ook wel de benaming 'kopscheuren' gebruikt. Volgens de definities uit de NEN 5461 heeft de term 'kopscheuren' echter betrekking op rondhout en de term 'eindscheuren' op gezaagd hout. Eindscheuren verlopen vanuit het uiteinde van een plank en kunnen eventueel ook de plank doorsnijden. In het laatste geval worden ze 'splijtscheuren' genoemd. Eindscheuren kunnen vervelende gevolgen hebben voor de toepassing van het hout, wanneer er te weinig overlengte beschikbaar is om de eindscheuren uit te korten.

Eindscheuren ontstaan wanneer het hout aan de uiteinden al sterk droogt als gevolg van snelle waterafgifte via de kopse kanten van de plank. Daardoor start daar ook al de krimp na het passeren van het vezelverzadigingspunt, terwijl de rest van de plank nog lang zover niet is. Om de daardoor ontstane spanning op te vangen, scheurt het hout in vanaf het uiteinde op de zwakste plek.

Eindscheuren kunnen ook ontstaan wanneer nat hout buiten staat opgeslagen (zie afbeelding 30). Tijdens het droogproces trekken al aanwezige eindscheuren bijna altijd verder het hout in.

Om eindscheuren/splijtscheuren tegen te gaan, wordt succesvol gebruik gemaakt van afdichtmiddelen op de kopse kanten van het hout (zie afbeelding 31). Veelal worden de uiteinden ingesmeerd met een wasachtig product dat als doel heeft de waterafgifte via de kopse kanten sterk af te remmen. Ook witte houtlijm kan al een deel van de problemen ondervangen. Met dergelijke afdichtingsmiddelen wordt de oorzaak voor eindscheuren sterk gereduceerd. Overigens wordt het afdichten van de uiteinden van het hout ook vaak toegepast in producten die relatief nat in een buitenklimaat worden verwerkt (vlonderdelen bijvoorbeeld). Daarmee wordt eenzelfde effect beoogd en bereikt, namelijk voorkomen dat er te veel water via de uiteinden verdampt met eindscheuren (en eventueel vervormingen) tot gevolg.



Afbeelding 30. Eindscheuren in niet-gedroogd hout dat in opslag staat. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding



Afbeelding 31. Afdichten van de kopse kanten van hout om snelle waterafgifte via het kopse vlak tegen te gaan. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

Verkleuringen

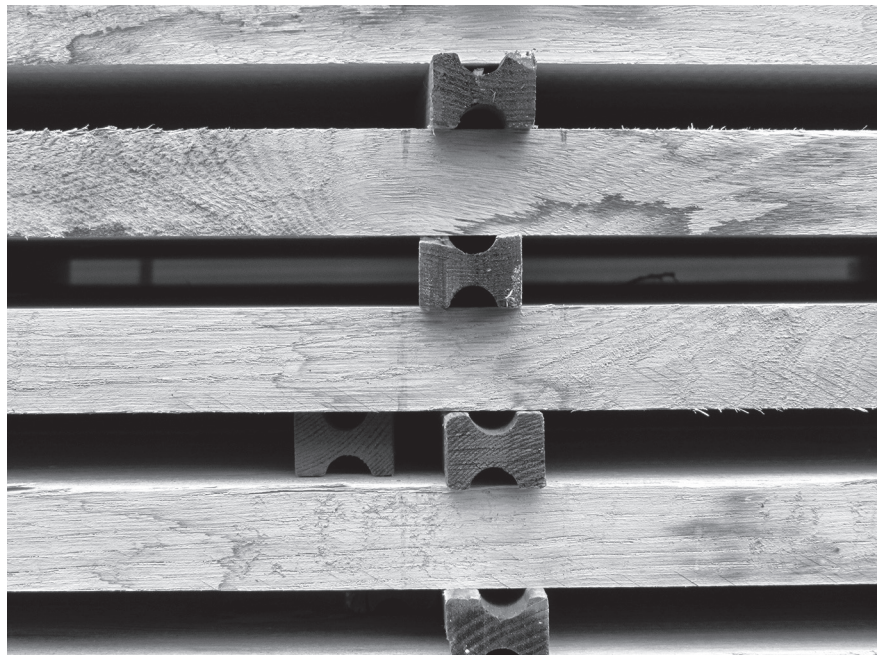
Gedurende een droogproces kan hout verkleuren. Er zijn verschillende soorten verkleuringen die kunnen optreden tijdens het droogproces.

Latstrepen

Latstrepen zijn verkleuringen rondom de plaats waar stapellatten hebben gelegen (zie hoofdstuk 3). De strepen kunnen hardnekkig zijn en ook dieper in de houtstructuur gedrongen zijn. Bij die plaatsen waar de stapellatten (drooglatten) zich bevinden in een pakket hout, kan het droogklimaat van de kamer niet goed komen. Als gevolg daarvan blijft het daar veel langer vochtig. Wanneer een houtsoort dan inhoudsstoffen bevat, ontstaat de combinatie van opeenhoping van water en inhoudsstoffen en deze situatie kan leiden tot de verkleuring in het hout die bekend staat als 'latstrepen'.

Er zijn diverse maatregelen bekend om latstrepen tegen te gaan:

- het gebruik van smalle stapellatten om het remmend effect op de lokale houtdroging in de plank zo klein mogelijk te maken;
- het gebruik van geventileerde stapellatten (zie afbeelding 32), eveneens om het remmend effect van de lat op de lokale houtdroging tegen te gaan;
- het gebruik van droge stapellatten (deze kunnen juist water opnemen uit het natte hout);
- het gebruik van spintvrije stapellatten;
- in de praktijk wordt voor sommige houtsoorten aangeraden om stapellatten van dezelfde houtsoort te gebruiken teneinde latstrepen te voorkomen. Niet iedereen is er overigens van overtuigd dat deze maatregel ook daadwerkelijk bijdraagt. Een voorbeeld is het drogen van iroko, waarbij irokolatten worden gebruikt.



Afbeelding 32. Het gebruik van geventileerde stapellatten in eikenhout. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

Verkleuring door schimmels

Sommige verkleuringen tijdens het droogproces hebben te maken met schimmelgroei. Het betreft in dit geval geen houtaantastende schimmels, maar zogenoemde oppervlakteschimmels. De hier bedoelde schimmels (in het Engels ook bekend als 'sap-stain' of 'bluestain') tasten de houtstructuur niet aan en breken het hout niet af, in tegenstelling tot de houtaantastende schimmels. Ze leven van inhoudsstoffen in de celholten van het hout en niet van de essentiële bouwstenen van hout. Het grote nadeel is vooral esthetisch

van aard: ze veroorzaken verkleuringen. Deze zijn vaak blauw, maar meer kleuren zijn mogelijk zoals grijs, zwart(grijs), rood en soms bruin. Daarnaast kunnen oppervlakteschimmels de hechting van verven op hout negatief beïnvloeden.

omstandigheden die schimmelgroei bevorderen

De voorwaarden voor de groei van deze schimmels zijn:

- voldoende hoog houtvochtgehalte (meer dan 20-25% of boven vezelverzadigingspunt);
- aanwezigheid van voldoende voedsel (in de celholten);
- voldoende hoge temperatuur (vaak met een specifiek temperatuuroptimum);
- voldoende zuurstof.

Omdat tijdens het droogproces aan de voorwaarden voor schimmelgroei wordt voldaan, bestaat in dergelijke situaties een kans op het ontstaan van verkleuringen door schimmels. Wanneer de kern van het hout lang nat blijft, kan er ook verkleuring (vaak verblauwing) in het binnenste van de plank ontstaan. Dit levert vooral esthetische schade op, want het schaven lost het probleem vaak niet op. Overigens kan een dergelijke schimmelinfectie ook al in het rondhout optreden, alhoewel de bast om de boom vaak bescherming biedt. In tropische gebieden is van bepaalde houtsoorten bekend dat de stammen niet lang in het bos mogen blijven liggen, om het risico op verblauwing tegen te gaan. Wanneer de verblauwing tot het oppervlak beperkt is gebleven, kan de schade vaak met schaven opgelost worden.

Waterlekken

In een droogproces kan de combinatie van inhoudsstoffen en water leiden tot een oppervlakkige verkleuring. Het gaat dan wel om vloeibaar water. Dat water kan ontstaan als gevolg van condensatie in de kamer door bijvoorbeeld een minder goede isolatie of het uitvallen van de verwarming. Daardoor koelt lokaal de wand of het plafond af, waardoor er water condenseert en naar beneden drupt. Het water blijft dan op de brede zijden van het hout staan, waardoor in water oplosbare, gekleurde inhoudsstoffen oplossen. Nadat het water is verdampt gedurende het vervolg van het droogproces, blijft een duidelijk zichtbare vlekvorming over. Dit wordt overigens niet als een drooggebrek beschouwd: na het schaven is er niets meer van te zien.

Effecten van ijzer

Veel bundels hout worden of werden afgebonden met bandijzer van gewoon staal. Door het vochtige klimaat in de kamer kan in een aantal houtsoorten een vervelende interactie ontstaan tussen het water, het staal en bepaalde inhoudsstoffen. Dit is bekend bij eiken, maar ook bijvoorbeeld bij tropische hardhoutsoorten met veel inhoudsstoffen. In die combinatie kan dit leiden tot zwarte vlekken rondom het bandijzer (zie afbeelding 33). Dit kan overigens ook ontstaan als er sporen van ijzerdeeltjes op het hout zijn beland, ergens in het voortraject. Deze kunnen tot hetzelfde effect leiden. Deze verkleuringen kunnen soms ook wat dieper in het hout doordringen en zijn na schaven dan nog steeds zichtbaar. Overigens wordt tegenwoordig steeds meer gebruikgemaakt van plastic bindmateriaal, mede ook door het toenemende gebruik van containers voor het transport van het hout, waardoor een lagere sterkte voor het bindmateriaal kan volstaan.



Afbeelding 33. Stalen bandijzer kan bij sommige houtsoorten tot een zwarte verkleuring leiden, wanneer het bandijzer in contact komt met het houtoppervlak en water. Deze verkleuring kan in een droogkamer versterkt worden. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

Harsuittreding

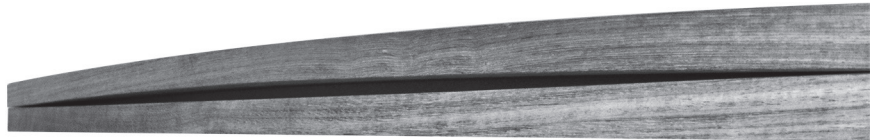
Harsrijke houtsoorten (zoals grenen, vuren, maar ook sommige tropische hardhoutsoorten) kunnen bij het droogproces uittreding van harsen vertonen. Deze worden bij hogere temperaturen (meestal pas boven de 60 °C) vloeibaar en stromen over de onderliggende delen. Na afkoelen is een hardere laag van harsen zichtbaar op het houtoppervlak. Uiteraard is dit na het schaven niet meer zichtbaar. Wel kan het schaven bemoeilijkt worden. Het voordeel is overigens dat na een ‘warm’ droogproces, de gedroogde delen in hun toepassing niet snel meer harsen zullen uitlogen bij hogere temperaturen.

Vervormingen

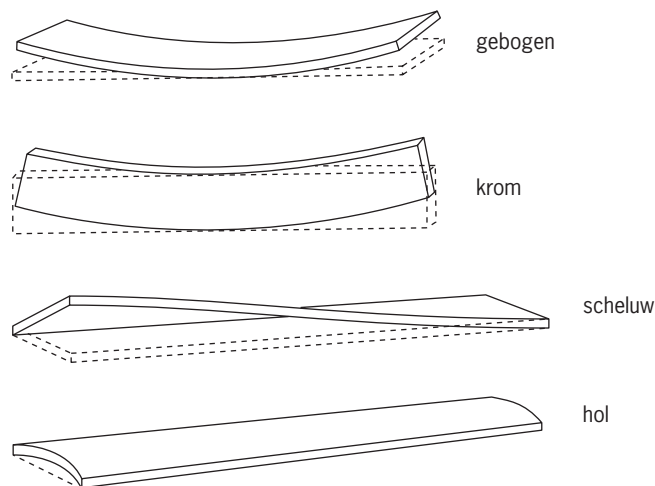
Gedurende een droogproces kan hout vervormen. Dit is samen met collaps en scheurvorming de belangrijkste van de drooggebreken met de meest negatieve impact op de toepasbaarheid van het gedroogde hout. Er worden verschillende typen vervormingen onderscheiden in de NEN 5461:2004 (Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2000) – Gezaagd hout en rondhout – Alge-

meen gedeelte). Achtereenvolgens worden gebogen, krom, scheluw en hol onderscheiden. ‘Gebogen’ heeft betrekking op vervorming van een deel in de lengterichting van het hout (zie afbeelding 34). ‘Krom’ heeft betrekking op een vervorming in de breedterichting van het hout en ‘scheluw’ betreft een vervorming waarbij een deel dat plat op de grond ligt, aan een of meer hoeken omhoog staat. Tot slot heeft het begrip ‘hol’ betrekking op het ‘hol trekken’ van een deel over de volle lengte.

Afbeelding 35 illustreert de verschillende type vervormingen zoals die in hout kunnen voorkomen en zoals deze worden gedefinieerd in de NEN 5461:2004.



Afbeelding 34. Vervorming (gebogen) in iroko balk. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding



Afbeelding 35. Mogelijke vervormingen van hout

De mate van vervorming wordt uitgedrukt in aantal millimeters vervorming per 2 m lengte. Ook grenzen die gesteld worden aan vervormingen van hout worden vaak op deze manier uitgedrukt. In de praktijk blijkt hierover echter onduidelijkheid te bestaan, aangezien de eisen veelal lineair opgevat worden.

Voorbeeld 1

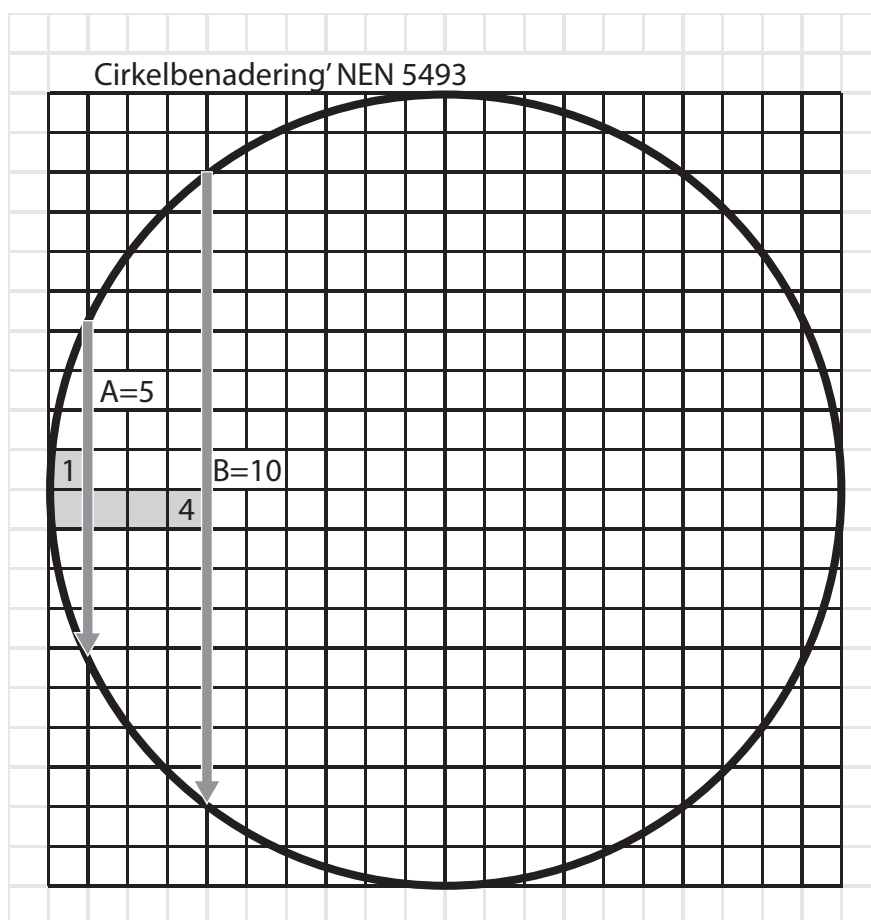
Voor een bepaald product wordt vereist dat de toelaatbare kromming niet meer mag zijn dan 4 mm per 2 m. Voor het betreffende bestek zijn delen nodig van 200, 400 en 600 cm. Leverancier X meent dat de eis lineair moet worden opgevat. Voor de delen van 400 en 600 cm betekent de eis volgens hem maximaal 8 mm kromming per deel van 400 cm en maximaal 12 mm kromming voor een deel van 600 cm.

De lineaire opvatting in voorbeeld 1 is onjuist. Om die reden is in de recente NEN 5493:2010 (Kwaliteitseisen voor loofhout in grond-, weg- en waterbouwkundige werken en andere constructieve toepassingen) een informatieve annex opgenomen, waarin een tabel is gepubliceerd die doorgerekend heeft wat de eis per 2000 mm betekent voor delen die een andere lengte hebben. Tabel 6 vergelijkt de lineaire benadering met de benadering zoals die in de NEN 5493 is toegepast. In de juiste benadering wordt de vervorming die ontstaan is, gezien vanuit een veel grotere cirkel (zie afbeelding 36). Deze benadering doet recht aan wat er in de praktijk gebeurt bij een vervorming. Dat

deze benadering het bij het rechte einde heeft, blijkt ook wanneer bijvoorbeeld een deel van 600 cm met een bepaalde kromming wordt gehalveerd in lengte: de vervorming neemt daarbij ook evenredig af (niet lineair dus).

Voorbeeld 2

Leverancier Y vat de eis op zoals deze is uitgewerkt in de NEN 5493:2010. Deze benadering is vanuit de normgeving ook zo bedoeld. De delen van 400 cm mogen dus maximaal 16 mm kromming hebben en de delen van 600 cm mogen 37 mm kromming vertonen.



Afbeelding 36. Schematische voorstelling van de 'cirkelbenadering' zoals deze in de informatieve bijlage van de NEN 5493 staat toegelicht. De verhouding tussen de lengte van A en B is een factor 2. Vergelijk dit bijvoorbeeld met de verhouding tussen een plank van 200 cm en van 400 cm. De toelaatbare vervorming wordt nu bepaald door de afstand vanaf het midden van de pijlen naar de cirkelrand. Wanneer de lengte verdubbelt (van 5 naar 10), verviervoudigt de toelaatbare vervorming

Tabel 6. Vergelijking van de lineaire benadering en de 'cirkelbenadering' uit de informatieve bijlage van de NEN 5493 met betrekking tot het toepassen van de eisen voor vervorming

	Lineaire benadering		NEN 5493 benadering	
	Toelaatbare maatafwijking, uitgedrukt in millimeters per 2 m houtlengte		Toelaatbare maatafwijking, uitgedrukt in millimeters per 2 m houtlengte	
Handelslengte in cm	2	4	2	4
200	2	4	2	4
305	3	6	5	9
400	4	8	8	16
550	5,5	11	15	30
610	6	12	19	37

4.5 Systematische beoordeling droogkwaliteit

Op basis van het voorgaande kan een formulier worden samengesteld, waarin de droogkwaliteit van een specifieke partij hout kan worden beschreven. In een procedure zou moeten worden beschreven hoe de genoemde drooggebreken gemeten moeten worden. Het resultaat per onderdeel kan dan op het formulier worden opgenomen. Tevens zal moeten worden vastgelegd wanneer een partij succesvol is gedroogd en wanneer niet. Hier geldt overigens dat het vaak sterk van de toepassing (en de klant) afhangt, welke eisen aan de droogkwaliteit gesteld moeten worden. Wellicht kunnen de droogklassen die het 'Wood Drying Centre Europe' heeft voorgesteld, gehanteerd worden, aldus Trübswetter [lit. 12].

4.6 Houtopslag

Nadat aan het houtproduct veel zorg is besteed door de zagerij, tijdens het transport, gedurende de opslag en tijdens het droogproces, mag ook verlangd worden dat het houtproduct zorgvuldig opgeslagen wordt. Inmiddels is een aanzienlijke waarde toegevoegd. Toch gaat het nog geregeld mis met de opslag van een gedroogd houtproduct. Het is altijd verstandig om goed rekening te houden met de specifieke partij hout, de houtsoort, het houtvochtgehalte waarop gedroogd is, de tijd van het jaar, het klimaat in de betreffende periode en mogelijke effecten van zon. In elk geval zal een gedroogd product droog opgeslagen moeten worden. Regen zal het houtvochtgehalte van de partij direct beïnvloeden en kan leiden tot een toenemend houtvochtgehalte en tot verschillen tussen de delen aan de buitenkant en meer naar binnen in het pak hout.

Soms kan volstaan worden met opslag onder een overkapping (zie afbeelding 37), bijvoorbeeld bij kortdurende opslag van hout dat niet veel droger is geworden dan circa 16% (uiteraard afhankelijk van de weersomstandigheden). Wanneer het buitenklimaat past bij het houtvochtgehalte van de partij hout, kan zo'n opslag dus volstaan. Een overkapping schiet echter tekort in andere situaties. Zeker wanneer het houtvochtgehalte van de partij hout (veel) lager is dan passend bij de relatieve vochtigheid van het buitenklimaat. Voor veel binnentoepassingen is dat het geval. Wanneer een dergelijke partij hout toch buiten onder een overkapping staat, zal het houtvochtgehalte zich geleidelijk aanpassen aan het buitenklimaat, te beginnen met de delen aan de buitenkant van het pakket. Afhankelijk van onder andere de houtsoort en de houtafmeting zal na verloop van tijd een hoger houtvochtgehalte in het hout aanwezig zijn dan waarop gedroogd werd. En dat kan in de verwerking tot ongewenste krimp leiden met de nodige reclamaties als gevolg.



Afbeelding 37. Overdekte buitenopslag voor niet-gedroogd hout met pragmatische oplossing tegen fel zonlicht bij UVO Lopik. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding

*ideale situatie: binnenruimte met
klimaatbeheersing*

pas op met folie

Wanneer gedroogd hout voor interieuroepassingen moet worden opgeslagen, zal dit altijd in een binnenruimte moeten plaatsvinden. De relatieve vochtigheid van de lucht speelt dan een grote rol in een dergelijke loods. Gedurende de winter of het voorjaar kan de relatieve luchtvochtigheid in onverwarmde binnenruimten erg laag worden, waardoor een scherp droogklimaat kan ontstaan.

Ook in verwarmde binnenruimten (zelfs met klimaatregeling) kan negatieve invloed verwacht worden wanneer warme (en droge) lucht direct over een stelling met gedroogd hout blaast. Lokaal kan dan een zeer droog klimaat ontstaan wat kan leiden tot haarscheuren en andere oppervlaktescheuren. Vanuit het hout gedacht is opslag in een geklimatiseerde binnenruimte de meest gunstige opslagmogelijkheid. Niet altijd beschikken bedrijven echter over een dergelijke ruimte, hoewel in de industrie in toenemende mate aan klimaatbeheersing wordt gedaan.

Ten slotte nog een opmerking over verpakking van hout in folie. Wanneer ingepakt hout buiten wordt geplaatst, is vooral het effect van zonlicht te vrezzen. Door lokale opwarming verdampt er water dat vervolgens aan de niet-beschenen kant van het pakket condenseert en lokaal dus voor benatting van de delen kan zorgen. Hierdoor kunnen grote verschillen in het houtvochtgehalte ontstaan met bovendien risico's op het ontstaan van schimmelgroei tussen, op en in de houten delen.

5 Droogtechnieken

Er zijn uiteenlopende technieken om hout te drogen. De meest eenvoudige en meest oude techniek is het drogen van hout aan de lucht. Hoe eenvoudig deze techniek ook lijkt, er zitten toch veel nadelen aan. Allereerst is het klimaat van de lucht niet te beïnvloeden en de afhankelijkheid van het weer is daarom groot. Extreem droge perioden kunnen bij sommige houtsoorten al snel tot scheurvorming (droogscheuren/eindscheuren) leiden. Vervolgens kost de methode veel tijd (en dus ook ruimte), afhankelijk van diverse factoren. Overigens kan het voordeel van een lange droogtijd buiten zijn, dat het – mits onder gunstige omstandigheden – heel gelijkmatig en rustig droogt, wat de eindkwaliteit ten goede kan komen. Als laatste moet genoemd worden dat de lagere houtvochtgehalten in een Nederlands buitenklimaat niet bereikt worden. Het gaat dan om houtvochtgehalten van bijvoorbeeld producten voor interieuroepassingen en kozijnen. Daarom is het kunstmatig drogen of het versneld drogen ontwikkeld. In dit hoofdstuk beschrijven we de gangbare droogmethoden in Nederland en wat het kenmerkende principe is van de verschillende droogtechnieken.

De volgende droogtechnieken komen aan de orde:

- 1 conventioneel drogen;
- 2 condensatiedrogen;
- 3 stoomdrogen/hogetemperatuurdrogen;
- 4 vacuümdrogen;
- 5 overige technieken.

Conventioneel drogen is een veelgebruikte methode en kan als basismethode gelden. Daarom wordt deze methode iets uitgebreider beschreven. In de beschrijvingen van de andere droogtechnieken wordt dan vooral het verschil ten opzichte van conventioneel drogen beschreven.

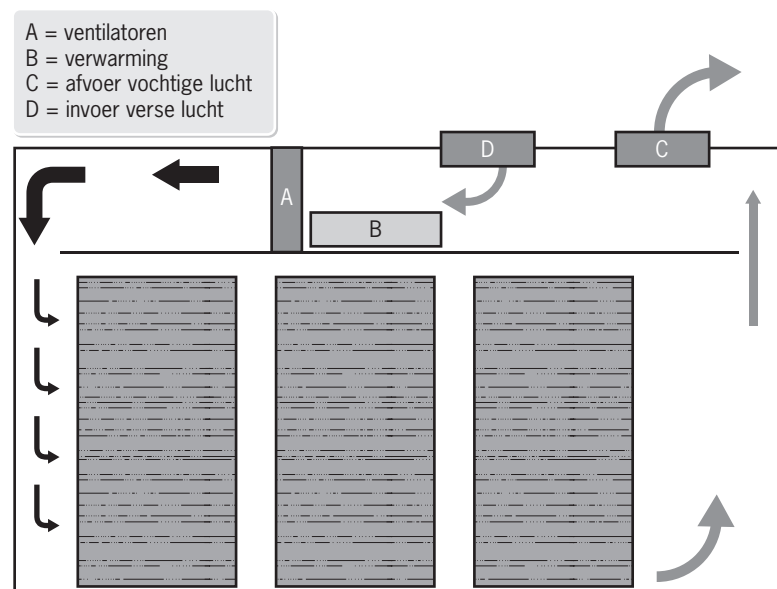
Droogschema's

Er zijn veel droogschema's voorhanden, die aangeven hoe hout gedroogd kan worden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen milde droogpro-

gramma's en scherpe droogprogramma's. Toch blijft gelden dat de ervaring met een kamer, houtsoort en de uitgangssituatie (beginvochtgehalte, aanwezige vochtgradiënt, enzovoort) van wezenlijk belang is. In de literatuur worden vaak verschillende voorbeelden van basisschema's gegeven, op basis waarvan maatwerkdroogschema's samengesteld kunnen worden, aldus onder meer Trübswetter [lit. 12].

5.1 Conventionele droging

Conventionele droging maakt in principe gebruik van warmte als energiebron. Een conventionele droogkamer bestaat uit een dampdichte, goed geïsoleerde kamer (zie afbeelding 38). Op het verlaagde plafond worden de ventilatoren (ten behoeve van luchtcirculatie) en de verwarmingselementen geplaatst. Het kernprincipe van deze droogtechniek is dat het water uit het hout verdampt in de omringende lucht. Als gevolg van deze verdamping zal de relatieve vochtigheid van de lucht stijgen, met als gevolg dat er minder water uit het hout kan verdampen. Daarom moet de vochtige lucht vervangen worden door verse (droge) lucht. Door het afvoeren van de vochtige lucht naar buiten, wordt er buitenlucht naar binnen gezogen. Door deze lucht te verwarmen, is het weer mogelijk om het water uit het hout via verdamping aan de lucht af te geven.



Afbeelding 38. Schematische weergave van een conventionele droogkamer met toe- en afvoer van lucht

Hoewel op basis van ervaring door houtdrogerijen per houtsoort en kopmaat een specifiek droogprogramma wordt gehanteerd, is het wel mogelijk in algemene termen de verschillende fasen in het droogproces te beschrijven. Voor een conventionele droging worden de volgende fasen wel onderscheiden (deze indeling is onder andere ontleend aan lit. 3):

- 1 opwarmfase;
- 2 droogfase (boven en beneden vezelverzadigingspunt);
- 3 conditioneringsfase;
- 4 afkoelfase.

Opwarmfase

Gedurende de opwarmfase wordt de kamer naar de gewenste starttemperatuur gebracht, in overeenstemming met het te hanteren droogschema. Omdat tijdens het opwarmen al allerlei schade kan ontstaan, is het zaak om op te warmen bij een betrekkelijk hoge relatieve vochtigheid. Ook mag het

opwarmen niet te snel gebeuren om verlies van houtkwaliteit te voorkomen. Wanneer er te droog wordt opgewarmd, loopt men het risico dat het hout aan de oppervlakte te veel gaat drogen met kans op korstverharding en/of scheurvorming (zie hoofdstuk 4).

Wanneer de kamer en het houtoppervlak de doeltemperatuur bereikt hebben, is het hout in de kern meestal nog niet op temperatuur. Als vuistregel geldt dat er circa 1 tot 2 uur per centimeter houtdikte nodig is om het hout op te warmen [lit. 9]. De opwarmfase mag niet verward worden met de volgende fase: het werkelijk drogen van hout. De opwarmfase is afgerond wanneer het hout ook in de kern op de doeltemperatuur is gekomen.

Droogfase

De droogfase is te onderscheiden in twee delen: boven en beneden vezelvezelverzadigingspunt. Boven vezelvezelverzadigingspunt zal met een mild droogklimaat gewerkt worden. De droogsterkte is een objectieve maatstaf om te bepalen hoe scherp de droging verloopt [lit. 12]. Deze eenheid zegt vooral iets over hoe snel de droging in het hout verloopt. In formulevorm:

$$\text{droogsterkte} = \frac{U_{\text{act}}}{U_{\text{gl}}} \quad [1.2]$$

Hierin is:

- U_{act} actuele houtvochtgehalte van de partij hout;
- U_{gl} evenwichtshoutvochtgehalte behorend bij het klimaat van de kamer.

Door de verhouding tussen het werkelijke houtvochtgehalte en het evenwichtshoutvochtgehalte te vergelijken, ontstaat een maatstaf voor de droogsterkte. Normaal gesproken varieert de droogsterkte tussen de 1,5 en de 5.

Voorbeeld 3

Een partij hout met een gemiddeld houtvochtgehalte van circa 40% wordt gedroogd bij een U_{gl} (droogklimaat) van 18%. De droogsterkte is op dat moment: $40 / 18 = 2,2$. Het natte hout wil water afstaan totdat het een houtvochtgehalte van 18% heeft bereikt. Wanneer de U_{gl} lager wordt ingesteld, neemt de droogsterkte toe, evenals het risico op kwaliteitsverlies.

In de droogfase boven het vezelvezelverzadigingspunt wordt een milde droogsterkte gehanteerd. Te scherpe droogsterkte zal kunnen leiden tot kwaliteitsverlies door korstverharding of scheurvorming. Wanneer het vezelvezelverzadigingspunt is gepasseerd, kan er sterker worden gedroogd, zonder dat er grote risico's op verlies van houtkwaliteit ontstaan. Het zal ook wel moeten, omdat het steeds moeilijker is om nog meer water uit het hout te onttrekken.

Conditioneringsfase

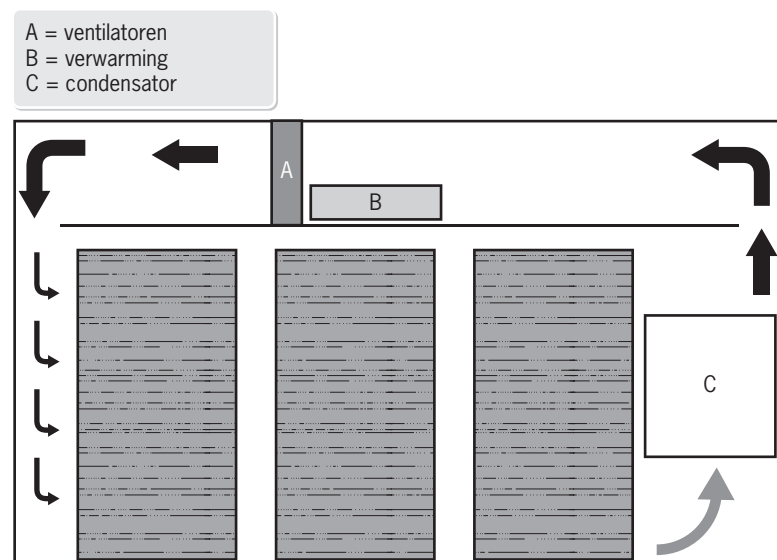
Nadat het houtvochtgehalte in de kern op het juiste niveau is gebracht, heeft het hout nog steeds een vochtgradiënt tussen rand en kern. Dit is onwenselijk voor de meeste toepassingen en daarom is een conditionering van essentieel belang. In deze fase wordt ernaar gestreefd om de gradiënt naar ongeveer nul terug te brengen. Er vindt dus geen daadwerkelijke droging meer plaats, maar het hout krijgt tijd om zich te stabiliseren op het gewenste eindvochtgehalte. De houtdikte bepaalt in dit geval in belangrijke mate de tijdsduur van de conditioneringsfase. Om de conditionering te versnellen, wordt het hout met water besproeid, waardoor het houtvochtgehalte van de rand het vochtgehalte van de kern weer benadert.

Afkoelfase

Na conditionering moet het hout nog afkoelen. Wanneer het warme hout te snel met koude lucht in aanraking komt, kan scheurvorming in het oppervlak plaatsvinden. Het hout zal langzamerhand op de temperatuur van de opslag gebracht moeten worden.

5.2 Condensatiedrogen

Condensatie is de overgang van de gasvormige fase (dampfase) naar de vloeibare fase. Het cruciale punt wordt het dauwpunt genoemd (vergelijk ook de dauw na een koele nacht). Dit principe is toegepast in condensatiedrogers. Wanneer warme en vochtige lucht plotseling wordt afgekoeld (lager dan het dauwpunt), zal de aanwezige waterdamp condenseren. Een condensatiedroger bevat dan ten opzichte van een conventionele droger een warmtepomp (zie afbeelding 39). De warme vochtige lucht wordt afgekoeld, waarbij het water in de lucht condenseert. De warmte die het water had, wordt weer benut om lucht, waaruit het water is gecondenseerd, weer op te warmen. Uiteindelijk stroomt er weer opgewarmde droge lucht de kamer in. Doordat de warmte van de afgekoelde lucht wordt benut om deze weer op te warmen, is energiebesparing een groot voordeel van deze techniek: het spaart zowel de kosten voor het drogen als het milieu.



Afbeelding 39. Schematische weergave van een condensatiedroger

5.3 Stoomdrogen/ hogetemperatuur- drogen

De termen stoomdrogen en hogetemperatuurdrogen worden beide gebruikt en doelen op hetzelfde principe. Kenmerkend is het toevoegen van stoom (verzadigde en oververhitte stoom) en het gebruiken van temperaturen in het bereik van 100 tot 120 °C. In de opwarmfase wordt in plaats van lucht 'verzadigde stoom' in de kamer gelaten. Verzadigde stoom is lucht die het maximum aan waterdamp bevat. Wanneer de temperatuur zal dalen, vindt er direct condensatie plaats. Tijdens de opwarming gaat de temperatuur van het hout naar de 100 °C. Door stoom toe te blijven voegen, wordt voorkomen dat er kwaliteitsverlies optreedt. Doordat de temperatuur vervolgens boven de 100 °C uitkomt, ontstaat oververhitte stoom. Wanneer het hout zich dan nog boven vezelverzadigingspunt bevindt, zal de houttemperatuur gelijk zijn aan die van kokend water (100 °C). Hierdoor ontstaat in het hout een lichte overdruk, wat het vochttransport vanuit de kern naar de oppervlakte aanzienlijk zal versnellen. Ten opzichte van een conventionele droging zal de droogtijd met 30 tot 50% worden bekort, met een vergelijkbare kwaliteit als een conventioneel gedroogde partij hout.

effect van sterk verhoogde temperatuur

Doordat het hout een redelijke tijd boven de 100 °C komt, zal het hout verkleuren (in de meeste gevallen donkerder worden). Een ander effect van de hogere temperaturen is dat het hout mogelijk iets van 'thermische modificatie' ondergaat, waarbij sommige eigenschappen wellicht kunnen verbeteren (bijvoorbeeld duurzaamheid en stabiliteit). Voor zover bekend is dit niet formeel onderzocht.

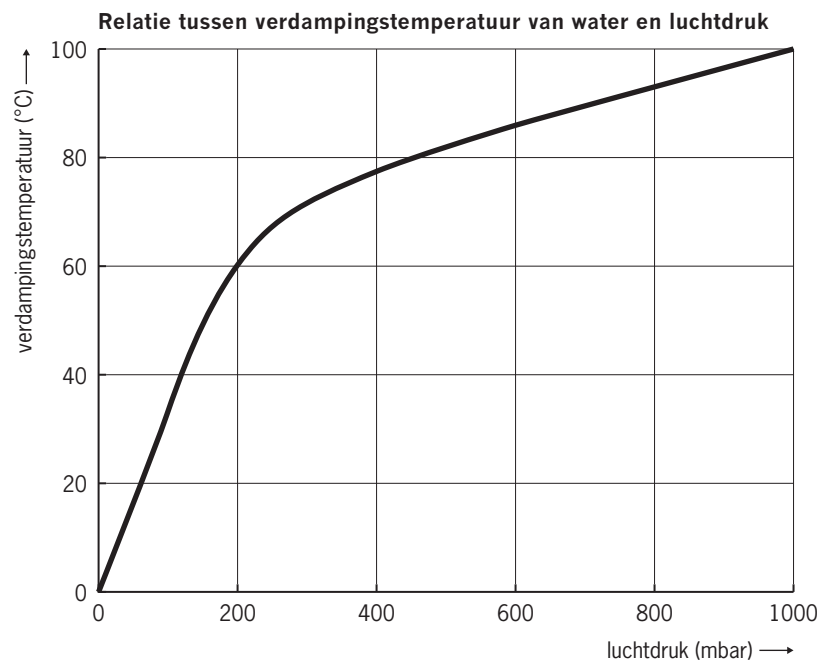
Stoomdrogen wordt in Nederland door enkele bedrijven op grotere schaal toegepast. Wood Drying Centre Europe heeft op zijn website meer informatie over deze droogtechniek [zie url 2]. Houtsoorten waarvan bekend is dat ze op grotere schaal worden gedroogd via deze techniek, zijn bijvoorbeeld eiken en beuken.

5.4 Vacuümdrogen

Het kenmerkende van deze droogtechniek is het drogen in een vacuüm. In de praktijk betekent vacuüm een onderdruk tussen 500 en 80 mbar. 80 mbar wordt het technisch vacuüm genoemd. Het absolute vacuüm van 0 mbar is in een installatie slechts tegen hoge kosten te bereiken en voegt voor de droogtechniek weinig extra toe. Het werken met onderdruk heeft verschillende effecten op de houtdroging. We bespreken ze hierna.

Lager kookpunt van water

Door de verlaging van de druk zal het kookpunt van water verlaagd worden. Water zal dus bij het technische vacuüm in een droger bij lagere temperaturen verdampen.



Afbeelding 40. Verband tussen de verdampingstemperatuur van water en de luchtdruk. Wanneer de luchtdruk afneemt tot 200 mbar, zal het kookpunt van water verlaagd worden tot 60 °C

Hoe groter het verschil tussen de temperatuur van de waterdamp en het kookpunt van water behorend bij de heersende onderdruk (zie afbeelding 40), hoe scherper de droging verloopt. Feitelijk ontstaat een bepaalde mate van oververhitting van de damp en daarmee lijkt dit principe op stoomdrogen/hogetemperatuurdrogen. Omdat de temperatuur en de druk veel lager zijn, is het een mildere vorm van drogen.

Het werkend principe – waardoor deze droogtechniek ook sneller verloopt dan de conventionele droging – is als volgt. Door de luchtdrukverschillen in de kamer en de restdruk in het hout ontstaat er een stroom van de kern uit

naar buiten. De restdruk duwt als het ware het water naar buiten. Omdat het kookpunt verlaagd wordt door de onderdruk in de kamer, gaat de verdamping veel sneller dan bij conventionele droging, waarbij vooral de diffusie van water de snelheid bepaalt.

Versterkte beweging van waterdamp

Bij deze versterkte beweging van waterdamp gaan we ervan uit dat de vacuümdroger eerst wordt opgewarmd en daarna pas vacuümgetrokken. Waterdamp in deze situatie mét onderdruk beweegt veel sneller dan in een situatie met atmosferische druk. Zo blijkt dat bij een onderdruk van 200 mbar de waterdampbeweging verdubbelt en bij het technisch vacuüm van 80 mbar is deze beweging vijf keer zo snel. Deze versterkte beweging versnelt het droogproces.

Praktische aspecten

De houtdroger kan in een vacuümdroger verschillende aanpassingen doen tijdens het droogproces. De variabelen zijn temperatuur en druk, terwijl ook het houtvochtgehalte in het hout een factor van betekenis is. Boven het vezelvezadigingspunt (juist ook bij zwaar tropisch hardhout) is het aan te raden om de temperatuur niet boven het kookpunt van water te laten komen, omdat anders ook het vrije water in het hout gaat verdampen. Hierdoor kunnen vervolgens (ernstige) inwendige scheuren veroorzaakt worden.

Voorbij het vezelvezadigingspunt kan het verlagen van de onderdruk tijdens het droogproces bij constante temperatuur tot een snellere droging leiden. Daarbij leidt deze maatregel over het algemeen niet tot ontoelaatbare spanningen voor het hout.

pas op met verkleuringen door zuurstof

De aanwezigheid van zuurstof bevordert het ontstaan van verkleuringen. Een voordeel van de vacuümtechniek is dat er juist nauwelijks zuurstof aanwezig is, waardoor de kans op verkleuringen (oxidatie) aanzienlijk wordt verkleind. In sommige vacuüminstallaties kan ook de hoeveelheid onttrokken water worden gemeten. Dat biedt extra informatie over hoe het droogproces vordert en helpt om greep te houden op het droogproces in de kamer.

Installatie

De vacuümdroogtechniek is inmiddels redelijk in gebruik geraakt. Aanvankelijk is ze ontwikkeld voor het drogen van met name eiken en beuken. Al snel is de techniek ook succesvol ingezet voor het drogen van verschillende soorten (tropisch) loofhout. Er zijn kamers van vijf tot tien kubieke meters tot enkele tientallen kubieke meters. Grotere kamers zijn zeker mogelijk, maar minder gangbaar. De voordelen van deze techniek zijn tweeledig: snellere droging (twee tot vier keer zo snel als conventioneel) en sommige moeilijk te drogen soorten/afmetingen blijken met deze techniek wel droogbaar. De nadelen zijn gelegen in de inhoud van de kamer: relatief kleine kamers die vaker gewisseld moeten worden, leiden tot meer arbeid(skosten). Het feit dat de vacuümdrogers inmiddels breed ingang gevonden hebben, bewijst de toegevoegde waarde (zie afbeelding 41 en 42).

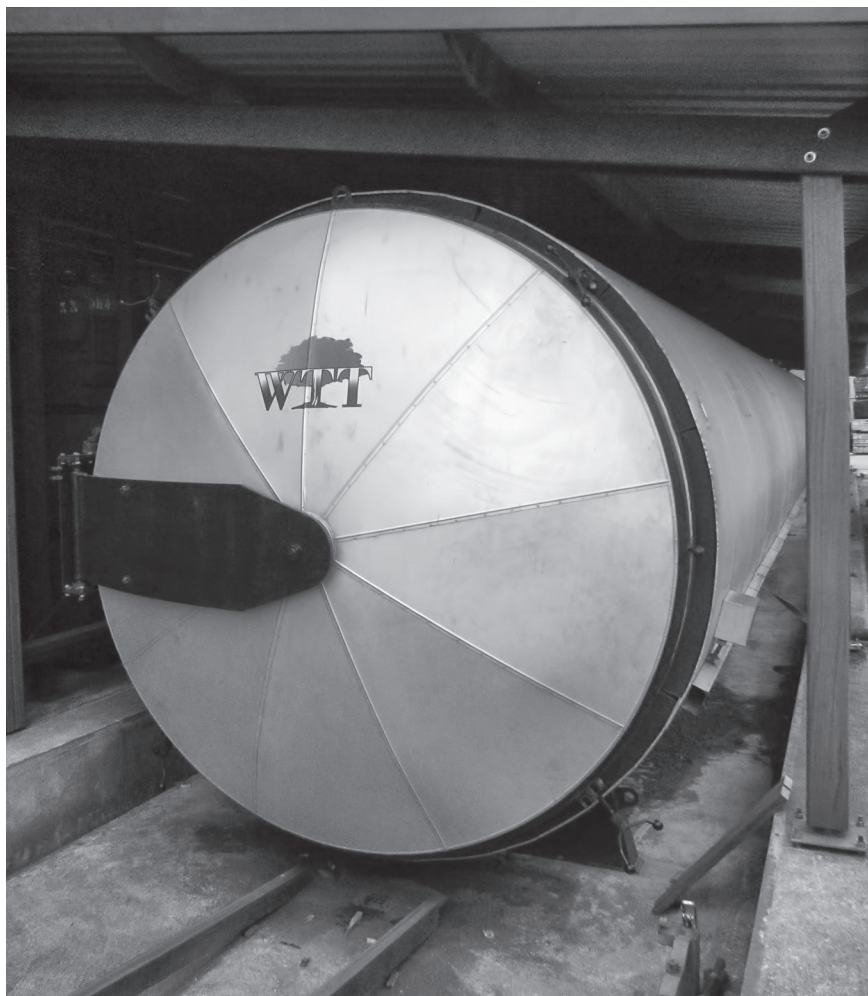
Een installatie bestaat meestal uit de volgende elementen:

- rvs-ketel (of andere kamer die een vacuüm kan bevatten);
- vacuümpomp;
- heetwaterpomp;
- koudwaterpomp;
- compressor;
- ventilatoren.

De vacuümpomp is het meest kenmerkende onderdeel van de installatie. Zowel het vacuüm trekken van de kamer als het vacuüm houden tijdens het proces (vanwege lekken in de ketel en het onttrekken van waterdamp uit het hout gedurende het proces), zijn de taken die de vacuümpomp moet vervullen. De opwarming van de kamer wordt uitgevoerd via een warmwaterpomp en warmtewisselaar. Via bijvoorbeeld een dubbelwandige buitenkant waardoor heet water wordt geleid, kan de kamer verwarmd worden. Het onttrokken water wordt afgevoerd via condensatie aan de koelere wanden of met behulp van een condensator.



Afbeelding 41. Interieur van de vacuümdroger bij UVO Lopik. Links zijn de ventilatoren te zien. Foto: Innovita advies & projectbegeleiding



Afbeelding 42. Extérieur van de vacuümdroger bij UVO Lopik. Foto: Innovita advies & project-begeleiding

5.5 Overige droogtechnieken

Naast de genoemde technieken zijn er nog enkele technieken die het vermelden waard zijn, al worden deze in Nederland niet op grote schaal gebruikt of zelfs helemaal niet toegepast. Allereerst wordt het drogen met behulp van 'hoogfrequentiedrogers' gedaan, bijvoorbeeld in Canada. In Nederland is deze nieuwe droogtechniek voor zover bekend nog niet commercieel toegepast. 'Press drying' is ook een techniek die in Nederland niet wordt toegepast. Door tussen elke laag hout stalen verwarmingsplaten te bevestigen, wordt de warmte direct overgebracht op het te drogen hout. Het is een vorm van 'contactdrogen'. Drogen met behulp van chemicaliën wordt ook wel genoemd in de literatuur. Door bepaalde chemische stoffen kan water aan een materiaal worden onttrokken. Ook hiervan is geen praktische toepassing bekend in Nederland.

6 Houtdrogen in Nederland

Om een beeld te krijgen van de situatie rondom houtdrogen in Nederland is een beperkt interview gehouden met enkele bedrijven die zelf houtdrogen. De selectie is beperkt en biedt daarmee geen volledig beeld van alle drogers in Nederland. Wel geven de resultaten trends aan waaruit afgeleid kan worden hoe het houtdrogen in Nederland ervoor staat. Aan de hand van enkele thema's wordt een situatieschets gegeven.

Droogvolume 2013 en daarna

Sinds 2008 raakt de financiële crisis (met de economische crisis als gevolg) de houtindustrie. Het jaar 2007 geldt daarbij dus als het laatste volledige jaar voor de crisis. Het jaar 2012 is het recentste volledige jaar. Vergelijking van beide jaren is niet in absolute getallen uit te drukken; daarvoor is een meer gedetailleerd onderzoek nodig en medewerking van alle houtdrogers. Wel is duidelijk dat het te drogen volume hout in de afgelopen jaren fors is afgenomen. Sectoren zoals de kozijn- en deurindustrie waarvoor altijd nog veel hout in Nederland werd gedroogd, zijn in volume substantieel verminderd. Ook de interieursector (vloeren en parket) heeft de crisis hard gevoeld. Voor de komende jaren wordt voorzien dat er eerder nog een daling dan een groei van het volume te drogen hout in Nederland zal zijn.

Droogtechnieken en capaciteit

De genoemde droogtechnieken die momenteel in Nederland commercieel worden toegepast, zijn het conventioneel drogen, hogetemperatuurdrogen en vacuümdrogen. Het grootste volume wordt nog steeds conventioneel gedroogd.

Als gevolg van het afnemende droogvolume in Nederland is er sprake van een overcapaciteit. Sommige bedrijven geven aan dat het drogen van hout in eigen beheer is weggefallen. Deze bedrijven kopen nu zelf gedroogd hout in.

Houtdrogen in land van herkomst

Een duidelijke trend is dat er steeds meer toegevoegde waarde aan houtproducten wordt geleverd door het land van herkomst. De tropische landen waaruit hardhout wordt geïmporteerd, ontwikkelen zich op dat gebied. Landen als Maleisië en Indonesië hebben op dat gebied al een jarenlange ervaring. Doordat zij in de meeste gevallen goedkoper kunnen drogen dan bedrijven in Nederland en het transport ook voordeliger wordt (minder gewicht, dus meer laadvolume mogelijk in een container), is de verwachting dat deze trend zal doorzetten. Landen als Bolivia en Brazilië bieden in toenemende mate gedroogde en verder bewerkte producten aan. Dat plaatst het houtdrogen in Nederland in internationaal perspectief. De geïnterviewde bedrijven herkennen deze trend en verwachten dat deze doorzet.

Innovaties

Tijdens de interviews is ook gebleken dat het innoveren op het gebied van houtdrogen momenteel ongeveer stil ligt. Niet alleen in Nederland, maar in heel Europa is deze ontwikkeling zichtbaar. Wanneer de website van het 'Wood Drying Centre Europe' wordt bekeken, zijn de laatste publicaties uit de beginjaren van deze eeuw. Aan de TU Delft zijn nog steeds onderzoeksfaciliteiten beschikbaar, ook op het gebied van houtdrogen, maar er wordt slechts mondjesmaat gebruik van gemaakt. De Vereniging van Nederlandse Houtonderneming (VNH) te Almere heeft een werkgroep die zich specifiek met houtdrogen bezighoudt en bestaat uit leden van de vereniging die zelf houtdrogen. Het delen van kennis en ervaring komt de kwaliteit van het droogwerk in de houtsector ten goede.

Specialismen en kwaliteit

De ondervraagden geven aan dat specialismen en kwaliteit kansen bieden voor het houtdrogen in Nederland. Een specialisme is bijvoorbeeld een extreme maatvoering of een moeilijk droogbare houtsoort. De droogindustrie speelt hier al gedeeltelijk op in.

Vooruitzichten voor houtdrogen in Nederland

Is er nog ruimte voor houtdrogen in Nederland over vijf of tien jaar? Wan-

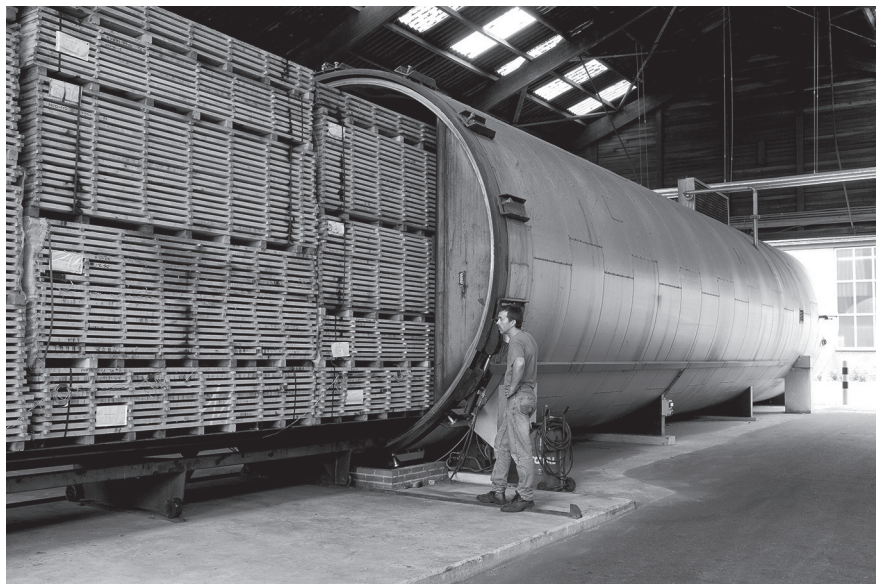
neer alle signalen eerlijk op een rij gezet worden, zal het volume hout dat in Nederland gedroogd wordt, niet snel weer fors toenemen. Als gevolg van de ontwikkeling van derdewereldlanden en de sterke concurrentie op kostprijs van houten producten, zal de trend van toegevoegde waarde in het land van herkomst toenemen.

De bouwsector zal de crisis van 2008 en daarna slechts langzaam overgroeien. Toch is de verwachting dat er op termijn weer een groei van de woningbouw mogelijk is, al is het maar om de tekorten van de afgelopen jaren weer in te halen. Dat biedt zeker kansen om het volume te drogen hout op termijn in Nederland te vergroten. De houtindustrie doet er dan ook goed aan om daarvoor de juiste argumenten voor het voetlicht te brengen. Zo is de nauwkeurigheid en kwaliteit van houtdrogen in Nederland over het algemeen beter dan in het buitenland. Vervolgens kost het handelsbedrijven tijd voordat zij betaald krijgen voor hun producten (drogen kost tijd), waardoor er ook een trend zichtbaar is dat er ruw hout verkocht wordt en de toegevoegde waarde aan de volgende schakel in de keten wordt overgelaten. Die volgende schakel bevindt zich dan al in Europa en komt dan als vanzelf bij (loon)drogers terecht.

Voor sommige producten is de kwaliteitsbewaking van groter belang dan het behalen van de laagste kostprijs. De eventuele vervolgschade van een minder vakkundig gedroogd product is daarvoor te groot. Ook bedrijven die zelf een hoogwaardig product maken, kiezen er vaak voor om zelf het hele proces van kap tot en met productie in eigen hand te houden. In veel gevallen zal in deze situatie ook in Nederland of Europa gedroogd worden.

De markt voor het drogen van hout in Nederland zal op de middellange termijn wat gaan toenemen als gevolg van het aantrekken van de economie en de daaruit voortkomende vraag naar houtproducten. De goede argumenten kunnen de houtindustrie daarbij helpen om werk naar zich toe te trekken. Anderzijds zal ook de trend van meer toegevoegde waarde in het land van herkomst doorzetten. Wat geweest is keert niet terug, maar met nieuwe argumenten zoals kwaliteit en betrouwbaarheid kan wel een versterkte positie voor specialistisch droogwerk worden bereikt.

*Nederlandse drogers werken nauwkeurig en
leveren kwaliteit!*



Afbeelding 43. Het vullen van een grote vacuümdroger bij Houtindustrie Schijndel. Foto: Houtindustrie Schijndel

Normen en overige regelgeving

Houtwoordenboek NEN 5461:2004	Termen en definities voor rondhout en gezaagd hout volgens NEN-EN 844. Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2000) – Gezaagd hout en rondhout – Algemeen gedeelte.
NEN 5493:2010	Kwaliteitseisen voor loofhout in grond-, weg- en waterbouwkundige werken en andere constructieve toepassingen.
NEN-EN 844-4:1997	Rondhout en gezaagd hout – Termen en definities – Deel 4: Termen betreffende het vochtgehalte.
NEN-EN 13183-1:2002	Vochtgehalte van een stuk gezaagd hout – Deel 1: Bepaling door middel van wegen en drogen in een oven.
NEN-EN 13183-2:2002	Vochtgehalte van een stuk gezaagd hout – Deel 2: Benadering met behulp van een elektrische vochtmeter.
NEN-EN 13183-3:2005	Rondhout en gezaagd hout – Methode voor het meten van het vochtgehalte – Capacitatieve methode voor het benaderen van het vochtgehalte van een stuk gezaagd hout.
NEN-EN 14298:2004	Gezaagd hout – Beoordeling van de droogkwaliteit.
NPR-CEN/TS 12169:2008	Criteria voor de aanvaarding van een partij gezaagd hout.
NPR-CEN/TS 14464:2010	Gezaagd hout – Methode voor beoordeling van de droogspanning.

Literatuur

- 1 Bladel, L. Van & J.J. van de Groep (2011). *Loofhout herkennen. Praktische handleiding voor houtkenner en beginner*. Eerste druk. BIM Media, Den Haag.
- 2 Desch, H.E. & J.M. Dinwoodie (1996). *Timber. Structure, properties, conversion, and use*. Zevende druk.
- 3 Gard, W.F. (2010). *Cursus drogen van gezaagd hout*. TU Delft, Delft.
- 4 Kickken, ir. J.A.M. (2005). 'Hout als grondstof'. *Handboek Houtdocumentatie*, rubriek B1-110. BIM Media, Den Haag.
- 5 Kickken, ir. J.A.M. (2005). 'Hout en vocht'. *Handboek Houtdocumentatie*, rubriek B1-140. BIM Media, Den Haag.
- 6 Kickken, ir. J.A.M. (2005). 'Macroscopische kenmerken van hout'. *Handboek Houtdocumentatie*, rubriek B1-112. BIM Media, Den Haag.
- 7 Kickken, ir. J.A.M. (2005). 'Microscopische kenmerken van hout'. *Handboek Houtdocumentatie*, rubriek B1-111. BIM Media, Den Haag.
- 8 Prins, J. (2005). 'Houtvochtgehalte en meetmethoden'. *Handboek Houtdocumentatie*, rubriek B1-141. BIM Media, Den Haag.
- 9 Rijdsdijk, J.F. (1977). *Versneld drogen van hout*. Houtinstituut TNO.
- 10 Rijdsdijk, J.F. & P.B. Laming (1994). *Physical and related properties of 145 timbers. Information for practice*. Eerste druk. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- 11 SKH Publicatie 99-05 (2013). *Goedgekeurde houtsoorten voor de toepassing in houten gevelelementen + kwaliteitseisen*. Versie 10 juli.
- 12 Trübswetter, Th. (2009). *Holztrocknung. Verfahren zur Trocknung von Schnittholz – Planung von Trocknungsanlagen*. Tweede geactualiseerde druk. Hanser Fachbuchverlag.
- 13 Wiselius, S.I. (hoofdredactie) (2010). *Houtvademecum*. Tiende druk. BIM Media, Den Haag.
- 14 Zwan, R.P. van der & A.L. van Oosten (1998). *Hout herkennen*. Vierde druk.

Url's

- 1 www.wikipedia.nl
- 2 <http://w-d-c-e.com/downloads//public/SteamDryingBasics.pdf>