Vlaanderen
is erfgoed

Dendrochronologie en erfgoedonderzoek

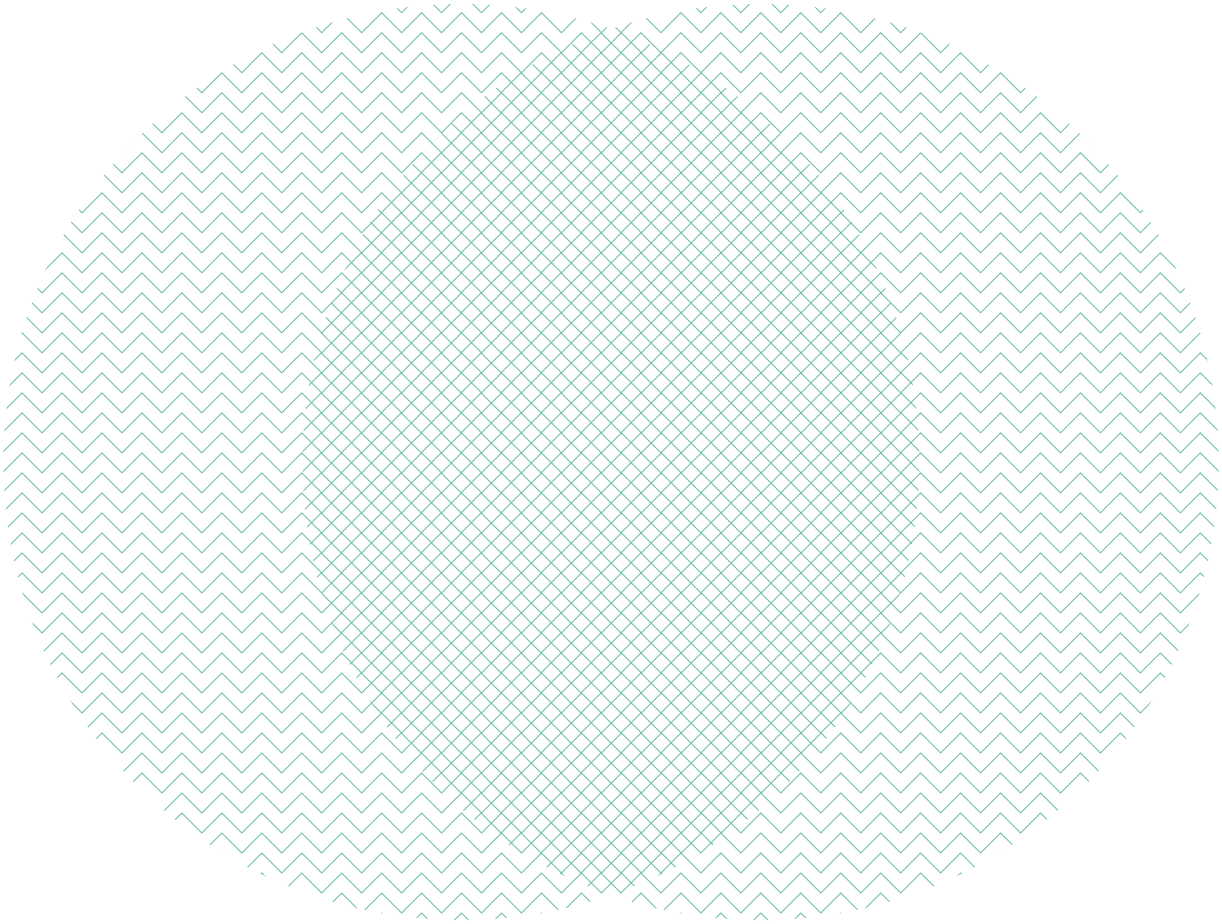
Handleiding Onroerend Erfgoed

Agentschap
Onroerend
Erfgoed

www.onroerenderfgoed.be

Dendrochronologie en erfgoedonderzoek

Kristof Haneca



COLOFON

deze handleiding maakt deel uit van de reeks handleidingen van het agentschap Onroerend Erfgoed.

16: Dendrochronologie en erfgoedonderzoek

Een uitgave van agentschap Onroerend Erfgoed wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Overheid, Beleidsdomein Ruimtelijke Ordening, Woonbeleid en Onroerend Erfgoed
Published by the Flanders Heritage Agency Scientific Institution of the Flemish Government, Policy area Town and Country Planning, Housing Policy and Immovable Heritage

VERANTWOORDELIJKE UITGEVER
Sonja Vanblaere

AUTEUR
Kristof Haneca

LEDEN KLANKBORDGROEP
Vincent Debonne, Sofie Debruyne, Koen Deforce, Anton Ervynck, Koen Smets.

OMSLAGILLUSTRATIE
Staal van een stuk archeologisch hout voor dendrochronologisch onderzoek
© Onroerend Erfgoed / Kristof Haneca.

FOTO'S EN ILLUSTRATIES
© Onroerend Erfgoed / Kris Vandevorst en Kristof Haneca.

agentschap Onroerend Erfgoed
Koning Albert II-laan 19 bus 5, 1210 Brussel
T +32 2 553 16 50
info@onroerenderfgoed.be
www.onroerenderfgoed.be

Dit werk is beschikbaar onder de Open Data Licentie Vlaanderen v. 1.2.
This work is licensed under the Free Open Data Licence Flanders v. 1.2

Dit werk is beschikbaar onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie.
Bezoek http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ om een kopie te zien van de licentie.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

ISSN 2565-7003

Inhoudstafel

HOOFDSTUK 1 7
INLEIDING

1.1 Dendrochronologie 8
1.2 Van cel tot jaarring 8

HOOFDSTUK 2 13
ONDERZOEKSVRAGEN

HOOFDSTUK 3 17
BASISBEGRIPPEN EN RANDVOORWAARDEN

3.1 Houtsoort 18
3.2 Aantal ringen 20
3.3 Regelmatige groei 22
3.4 Spinthout en wankant 22

HOOFDSTUK 4 25
INTERPRETATIE

HOOFDSTUK 5 29
BEMONSTEREN

5.1 Archeologisch en subfossiel hout 30
5.2 Bouwkundig erfgoed 33
5.3 Panelen, sculptuur, meubilair, ... 35
5.4 Levende bomen 36

HOOFDSTUK 6 39
VERPAKKEN EN BEWAREN

6.1 Strijd tegen degradatie 40
6.2 Overdracht naar de specialist 41

HOOFDSTUK 7 43
METEN EN ANALYSEREN

HOOFDSTUK 8 47
RAPPORTEREN

8.1 Assessment 48
8.2 Basisrapportage 48
8.3 Dataopslag 50

HOOFDSTUK 9 53
KRUISBESTUIVING MET RADIOKOOLSTOF

BRONNEN 57

BEGRIPPEN 61

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

1.1 DENDROCHRONOLOGIE

Dendrochronologie is de studie van groeiringen in houtige planten. Het is binnen de natuurwetenschappen een sterk uitgebouwd onderzoeksdomein met een eigen methodologie, dat ook daarbuiten vele praktische toepassingen kent. Binnen de erfgoedwereld bedienen het archeologisch, het historisch en het bouwhistorisch onderzoek zich van de resultaten van de dendrochronologie. En toch is niet iedereen binnen deze vakgebieden reeds ten volle op de hoogte van de mogelijkheden van het dendrochronologisch onderzoek. Nog te vaak verdwijnt oud hout, zonder dat het onderzocht is, bij archeologische opgravingen, bij de restauratie van bouwkundig erfgoed of bij de omgang met levend houtig erfgoed in onze landschappen.

Het onderwaarderen van oud hout als informatiebron in de context van erfgoedstudies heeft vooral te maken met een onderschatting van het potentieel aan informatie dat dendrochronologisch onderzoek kan bieden, niet enkel in een puur wetenschappelijke context maar ook in dossiers rond bescherming, behoud, beheer en studie van het boven- en ondergrondse erfgoed. Bovendien is er grote onzekerheid over wat een keuze van materiaal of staalname voor dendrochronologisch onderzoek precies inhoudt. Om de nodige kennis en ervaring te versterken, is wat toelichting op zijn plaats.

In wat volgt, worden eerst de basisprincipes van de dendrochronologie kort behandeld. Vanuit deze kennis worden een aantal onderzoeksvragen (hoofdstuk 2) geformuleerd, relevant voor het onderzoek van houten constructies en voorwerpen met erfgoedwaarde, rekening houdend met een aantal randvoorwaarden (hoofdstuk 3). Na het eigenlijke onderzoek is uiteraard een correcte interpretatie van de onderzoeksresultaten (hoofdstuk 4) van belang. In deze handleiding wordt daarnaast ook voldoende aandacht besteed aan praktische richtlijnen voor: het nemen van de meest geschikte stalen van stukken hout met erfgoedwaarde (hoofdstuk 5), hun bewaring (hoofdstuk 6), de nodige documentatie, de uiteindelijke analyse (hoofdstuk 7) en de rapportage van het onderzoek (hoofdstuk 8). Mocht een dendrochronologisch onderzoek uiteindelijk toch niet het gewenste resultaat opleveren, kan de wisselwerking met radiokoolstofdatering alsnog een uitweg bieden (hoofdstuk 9).

1.2 VAN CEL TOT JAARRING

Bomen vormen elk groeiseizoen een nieuwe laag houtcellen. Deze ontstaan door celdeling in het **cambium**, een uiterst dun laagje weefsel net onder de bast bevindt (figuur 1). Vanuit het cambium worden naar de binnenzijde van de boom stamcellen gevormd die zich daarna verder ontwikkelen tot houtcellen. Naar de buitenzijde ontwikkelen de stamcellen zich tot de bast. De activiteit van het cambium is echter niet continu. In streken met een gematigd klimaat valt de activiteit van het cambium stil tijdens de winter. De bomen zijn dan in rust en er is geen actieve celdeling. Het nieuwe groeiseizoen start in het voorjaar, wanneer de temperatuur opnieuw stijgt en de dagen langer worden. Op dat moment wordt het cambium terug actief en wordt geleidelijk een nieuwe laag hout (= groeiring) gevormd. In het najaar stop de houtaanwas en wordt het actieve groeiseizoen afgesloten. Op een dwarse doorsnede van een tak of stam zijn de afzonderlijke groeiringen te herkennen als concentrische cirkels. Aangezien in onze (klimatologische) regio één groeiseizoen altijd binnen één kalenderjaar valt, is jaarring een perfect synoniem voor groeiring. In Mediterraan gebied of in de tropen is dit niet altijd het geval, en betekent 'groeiring' niet noodzakelijk hetzelfde als 'jaarring'.

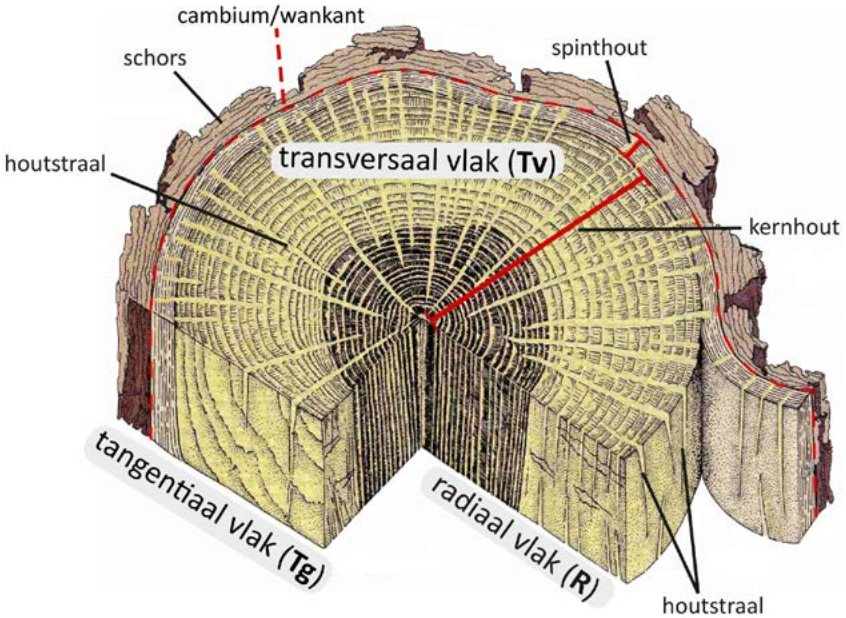


FIG 1 **Opbouw van een stam of tak, met aanduiding van de loodrecht op elkaar georiënteerde vlakken waarop de anatomische kenmerken van hout worden geobserveerd en beschreven.**

In het voorjaar start de aanmaak van een nieuwe laag hout. Dit voorjaarshout, ook **vroeghout** genoemd, is bij veel houtsoorten iets meer poreus in vergelijking met het hout dat later in het groeiseizoen wordt gevormd: het zogenaamde **laathout** of zomerhout. In het najaar stopt de aanmaak van nieuw hout en gaat het cambium in rust, tot aan het volgende voorjaar. Dan herneemt de cyclus en wordt opnieuw vroeghout aangemaakt. Daardoor vormt er zich steeds weer een abrupte overgang van laathout naar vroeghout, met hun kenmerkende verschillen in de opbouw van het houtweefsel. Dit zorgt ervoor dat de jaarringen meestal goed van elkaar te onderscheiden zijn. De groeiringen in een boom vormen zich niet gelijkmatig. Afhankelijk van de jaarlijkse weeromstandigheden, de globale schommelingen in het klimaat, of de lokale omstandigheden waarin een boom moet groeien, vormen zich bredere of smallere groeiringen.

Het registreren van de jaarringen op een stuk hout is het vertrekpunt van een dendrochronologisch onderzoek. Met 'registreren' wordt (meestal) het opmeten van de breedte van elke jaarring bedoeld. Het is daarbij niet enkel de breedte van elke individuele ring die van belang is, maar vooral het patroon gevormd door de opeenvolging van bredere en smallere ringen. Dit patroon weerspiegelt de opeenvolging van jaren met goede groeiomstandigheden (brede ringen) en minder gunstige groeiseizoenen (smalle ringen). Aangezien de groeiomstandigheden onvoorspelbaar en onregelmatig zijn en van jaar tot jaar verschillen, vormen de jaarringen op elk stuk hout een uniek patroon, vergelijkbaar met een streepjescode, karakteristiek voor een bepaalde tijdsperiode.

Aangezien de opbouw van het jaarringpatroon in een boom voor een deel gestuurd wordt door klimatologische omstandigheden, kan het jaarringpatroon van meerdere bomen uit een zelfde gebied en binnen eenzelfde tijdsperiode grote gelijkenissen vertonen. De individuele bomen reageren immers op dezelfde omgevingsprikkels, die van jaar tot jaar variëren. Daardoor kunnen de jaarringpatronen van bomen die binnen een zelfde regio of klimatologische zone groeien met elkaar gesynchroniseerd worden. Dat wil zeggen dat we die ene, onderlinge positie vinden waarbij alle jaarringpatronen synchroon lopen.

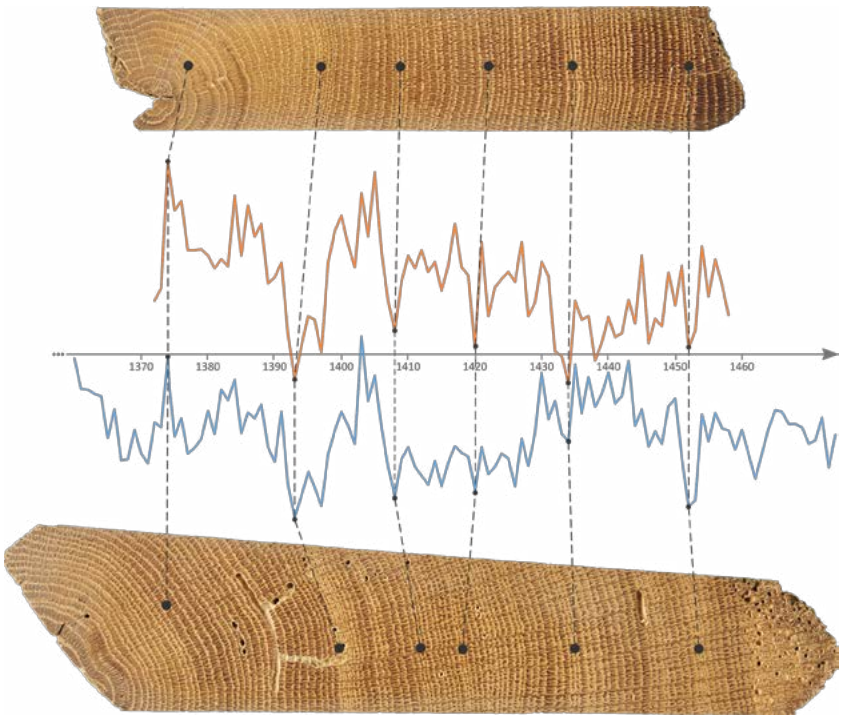


FIG 2 **Stukken historisch bouwhout met de opgemeten jaarringbreedtes uitgezet in een grafiek. De twee jaarringreeksen vertonen onderling een sterk gelijklopend patroon.**

Synchronisatie of cross-dating is het basisprincipe van de dendrochronologie. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat bomen die over een bepaalde tijdsperiode gelijkaardige groeiomstandigheden ondervinden (klimaat, bodem, hoogteligging, ...), ook een gelijkaardig jaarringpatroon zullen ontwikkelen. Daardoor kunnen jaarringreeksen van een specifieke boomsoort uit een bepaalde regio onderling, tot op het kalenderjaar precies, gesynchroniseerd worden op basis van de unieke afwisseling van brede en smalle ringen.

Een verzameling van meerdere gesynchroniseerde jaarringpatronen afkomstig van bomen die groeiden in een zelfde regio, kunnen gebundeld worden tot één **jaarringkalender**, of jaarringchronologie (= chronologie, referentiekalender, middelcurve, ...). Zo een referentiekalender kan een langere tijdsperiode overspannen dan de individuele jaarringreeksen waaruit ze is opgebouwd (figuur 3). Dat kan indien oudere stukken hout zijn opgemeten, waarvan het jaarringpatroon overlapt met het jaarringpatroon van meer recente stukken hout. Weten we van één reeks in welk kalenderjaar de laatste groeiring werd gevormd, dan is de referentiekalender absoluut gedateerd. Bij zo een chronologie is geweten in welk kalenderjaar elke ring werd gevormd. Is dit niet het geval, hebben we m.a.w. geen link tussen de jaarringen en de overeenstemmende kalenderjaren, dan kunnen synchroniserende jaarringreeksen toch samengevoegd worden in een zogenaamd 'zwevende' chronologie. In dit geval is de chronologie niet absoluut gedateerd. Wel kunnen de individuele stukken hout dan ten opzichte van elkaar chronologisch geordend worden, zonder dat er evenwel een ijking met een kalenderdatum mogelijk is.

"De jaarringen vormen een uniek patroon, vergelijkbaar met een streepjescode, karakteristiek voor een bepaalde tijdsperiode"

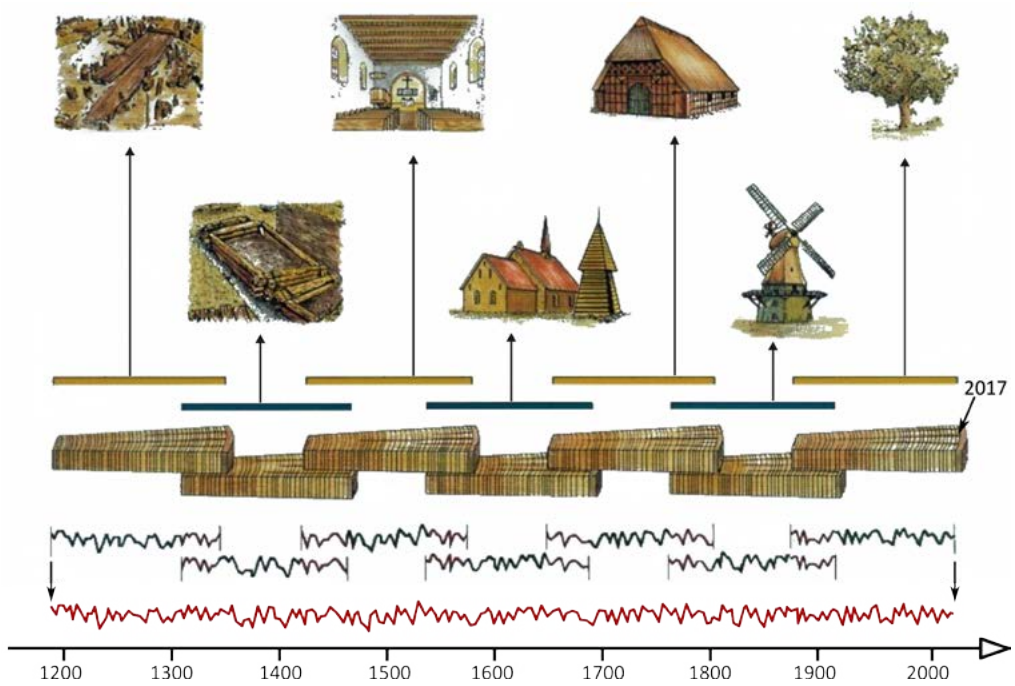


FIG 3 Stukken hout kunnen op basis van het jaarringpatroon, tot op het jaar precies, t.o.v. elkaar gesynchroniseerd worden. Met de opgemeten en gesynchroniseerde jaarringpatronen (= de breedte van elke groeiring) kan een middelcurve (= chronologie = jaarringkalender) berekend worden (rode curve). Een chronologie geeft de gemiddelde jaarringbreedte weer voor elke jaar.

Het jaarringpatroon op een stuk historisch bouwhout, houten object of archeologische vondst laat toe de ouderdom van het hout exact te achterhalen. Dat gebeurt door het opgemeten groeiringpatroon te vergelijken met lange, absoluut gedateerde referentiekalenders. Indien een duidelijke visuele en statistisch betrouwbare overeenkomst wordt gevonden tussen het opgemeten jaarringpatroon en één of meerdere referentiekalenders, is meteen geweten in welk kalenderjaar elke jaarring werd gevormd. Dit maakt van dendrochronologie de meest precieze natuurwetenschappelijke dateringstechniek.

“Dendrochronologie is de meest precieze natuurwetenschappelijke dateringstechniek”

HOOFDSTUK 2

ONDERZOEKSVRAGEN

De meest populaire toepassing van de dendrochronologie is het **dateren** van houten constructies en voorwerpen. Dit kan zowel worden toegepast op archeologisch, bouwkundig als roerend erfgoed. Vanuit methodologisch standpunt is er geen verschil tussen het analyseren van hout uit de bekisting van een Romeinse waterput, balken in een middeleeuwse dakkap, een houten sculptuur of schilderijpanelen. Het zijn immers allemaal objecten gemaakt uit stukken hout, waar groeiringen op te zien zijn. Bij een daterend dendrochronologisch onderzoek wordt de **veldatum** van een boom zo precies mogelijk bepaald. De veldatum is het kalenderjaar waarin een boom werd gekapt, of in het geval van subfossiele bomen – dit zijn bomen die zonder ingrijpen van de mens zijn afgestorven en bewaard gebleven in de ondergrond – het jaar waarin de boom is afgestorven.

Het is met andere woorden niet het object of de structuur zelf die wordt gedateerd, maar het afsterven van de boom waarvan het hout afkomstig is. Aangezien er vaak een directe relatie is, of kan vermoed worden, tussen het kappen van een boom en het gebruik van zijn hout, heeft de datering van het afsterven van de boom een duidelijke relatie met het tijdstip waarop de houten structuur of het object werd gemaakt. Hergebruik van ouder bouwhout, latere herstellingen met 'jonger' hout of het jarenlang laten drogen van houten panelen vooraleer ze in gebruik te nemen, moet waar nodig uiteraard ook in rekening gebracht worden.

Een datering van meerdere objecten of structuren binnen een zelfde archeologische site, of meerdere fasen in een historisch gebouw kan uitsluitsel geven over de **gelijktijdigheid** of onderlinge positie in de tijd van deze structuren of sporen. Ook bij een stuk hout zonder exacte dendrochronologische datering kan het opmeten van het jaarringpatroon een antwoord bieden op de vraag of bepaalde houten elementen op hetzelfde tijdstip werden gemaakt. In sommige gevallen zijn de overeenkomsten in het groeipatroon immers zo markant dat kan worden besloten dat houten elementen uit een **zelfde boom** zijn gehaald.

Een dendrochronologische datering kan in sommige gevallen ook de **authenticiteit** van objecten bevestigen of ontkrachten. Een paneelschilderij of viool waarvan bepaalde elementen (bv. een individuele plank of het bovenblad) door een dendrochronologische analyse na het overlijden van de artiest of instrumentenbouwer worden gedateerd, kan onmogelijk door die persoon zijn gemaakt.

Naast een exacte datering slaagt een dendrochronologisch onderzoek er dikwijls ook in om een idee te geven over het herkomstgebied van het hout - dit is de regio waar de boom oorspronkelijk is gegroeid. Bij een **herkomstbepaling** (Eng.: *dendro-provenancing*) wordt het groeipatroon van een stuk hout vergeleken met referentiekalenders uit verschillende streken. Op die manier wordt nagegaan met welke regionale referentiekalenders de beste overeenkomst optreedt. Regionale referentiekalenders zijn opgebouwd met hout afkomstig uit één welbepaalde regio, maar de omvang van een regio is daarbij wel sterk variabel. Zo bestaan er referentiekalenders die zijn samengesteld met gedateerde groeiringreeksen uit een groot gebied zoals Zuid-Duitsland, terwijl andere enkel hout uit één bepaalde stad (bv. Gdansk, Polen) of uit een kleine regio (bv. Vlaanderen) vertegenwoordigen. Door het herkomstgebied te bepalen krijgen we meer inzicht in de vroegere **handel in bouwhout**. Dit is niet onbelangrijk voor een regio als Vlaanderen waar vanaf de middeleeuwen aanzienlijke hoeveelheden kwaliteitsvol hout werden geïmporteerd. Deze toepassing van het dendrochronologisch onderzoek laat toe om het onderscheid te maken tussen lokaal en geïmporteerd hout. Dit laatste is zeker van belang bij vondsten die niet noodzakelijk ter plaatse zijn gemaakt. Denken we bijvoorbeeld aan tonnen die als verpakkingsmateriaal werden gebruikt, (beschilderde) panelen, meubilair of sculpturen, allemaal goederen die over grote afstanden konden verhandeld worden. Maar ook een (middeleeuwse) dakkap is vaak opgetrokken uit balken die werden aangevoerd uit verafgelegen en meer bosrijke gebieden. En zeker bij scheepshout is de vindplaats van een wrak of scheepsonderdeel zelden dezelfde plek waar het schip werd gebouwd.

Het aandeel van lokaal versus geïmporteerd hout kan ook een indicator zijn voor de natuurlijke omgeving in het verleden (beschikbaarheid van lokaal hout) en veranderingen daarin (ontbossing). Daarnaast zijn in archeologisch hout, historisch bouwhout of subfossiele boomstammen soms trends of verstoringen in het jaarringpatroon op te merken die wijzen op plots veranderde groeiomstandigheden (langdurige overstroming, stijging grondwatertafel, ...), calamiteiten (bosbrand) of ingrepen van de mens (regelmatige snoei, hakhoutbeheer, ...). Daardoor kan dendrochronologisch onderzoek ook een belangrijke bijdrage leveren aan de **reconstructie** van de samenstelling, ontwikkeling en exploitatie **van de vegetatie in het verleden**. Hierbij wordt het dendrochronologisch onderzoek best gekoppeld aan ecologische informatie afgeleid uit archeobotanisch (houtsoortidentificatie, palynologie, identificatie van zaden en vruchten, ...), archeozoölogisch (insectenresten, ...) en/of bodemkundig onderzoek.

Ook bij levende vegetatie met erfgoedwaarde – denken we aan **monumentale bomen** – kan dendrochronologie een antwoord bieden op een aantal vragen. De meest evidente toepassing is het bepalen van de **leeftijd** van een (monumentale) boom. Maar een grondige analyse van het groeiringpatroon kan ook meer duidelijkheid scheppen over het vroegere **beheer** van de boom: bijvoorbeeld het regelmatig snoeien of knotten.

Daarnaast zijn jaarringreeksen ten slotte ook te beschouwen als archieven van klimatologische gegevens. De groei van bomen wordt immers voor een deel gestuurd door het heersende klimaat en de schommelingen in temperatuur en neerslag van jaar tot jaar. Onderzoek naar de relatie tussen klimaatsvariabelen (metingen van temperatuur, neerslag, ...) en jaarringkarakteristieken (breedte van de jaarringen, verschillen in densiteit, ...) noemen we **dendro-klimatologie**. Indien een relatie wordt gevonden tussen een jaarringvariabele en één of meerdere klimaatsvariabelen zoals maandelijkse neerslag, gemiddelde temperatuur of een droogte-index, kunnen lange jaarringkalenders gebruikt worden om het klimaat in het verleden te reconstrueren.

HOOFDSTUK 3

BASISBEGRIPPEN EN RANDVOORWAARDEN

3.1 HOUTSOORT

Niet alle houtsoorten komen in aanmerking voor een **daterend dendrochronologisch onderzoek**. Sommige boomsoorten vormen in onze streken immers een jaarringpatroon dat zich niet of nauwelijks laat synchroniseren. Daarom zal een dendrochronologische analyses steeds starten met het bepalen van de houtsoort. Hout is opgebouwd uit verschillende types van cellen die samen een aantal kenmerkende weefsels vormen, karakteristiek voor elke houtsoort. Om de houtsoort te bepalen op basis van de anatomische opbouw van het hout moeten de weefsels en celtypes met behulp van een microscoop bestudeerd worden vanuit drie gezichtspunten: het transversaal, radiaal en tangentiaal vlak (figuur 1).

Op het transversaal vlak – ook wel het 'kopse' vlak genoemd, wat overeen komt met een dwarse doorsnede van een stam of tak – is het met behulp van een vergrootglas of microscoop mogelijk om op basis van de geobserveerde celstructuren en weefsels de houtsoort te bepalen. Een eerste belangrijk kenmerk bij **loofhout** is de schikking van de houtvaten. Deze vaten – die op het transversaal vlak te zien zijn als poriën – vormen een netwerk van kanalen waarbinnen zich de sapstroom van de wortels naar de bladeren afspeelt. De schikking van die vaten binnen één jaarring kan gelijkmatig zijn (verspreidporig hout) of geordend in banden waarbij tevens ook de diameter van de vaten sterk kan verschillen (ringporig hout), of volgens een aantal tussenvormen (semi-ringporig). Op het transversaal vlak zijn ook straalvormige weefsels te zien die georiënteerd zijn van het merg naar de schors: de houtstralen (figuur 1). De opslag en het inwaarts transport van water en voedingsstoffen is hun belangrijkste functie. De breedte van die houtstralen, die op het tangentiaal vlak accuraat is waar te nemen, en hun opbouw (best waar te nemen op het radiaal vlak) is vaak een belangrijk kenmerk om soorten van elkaar te onderscheiden. **Naaldhout** heeft een veel eenvoudiger opbouw dan hout van loofbomen en bestaat hoofdzakelijk uit één celtype dat zowel instaat voor het transport van voedingstoffen en de nodige stevigheid garandeert. Bij naaldhout zijn op het transversaal vlak soms ook ronde doorboringen te zien, maar dit zijn geen vaten maar harskanalen. De combinatie van alle kenmerken die waarneembaar zijn op het transversaal, tangentiaal en radiaal vlak van het hout, laat toe om te bepalen tot welke botanische familie of genus een boom behoort, en dikwijls zelfs tot welke soort.

> "Eikenhout kan je met het blote oog vrij gemakkelijk herkennen aan de hand van enkele typische kenmerken"

In Vlaanderen is er binnen het erfgoedonderzoek op houten objecten en structuren één onbetwistbare hoofdrolspeler: de **eik**. Deze benaming omvat twee verschillende botanische soorten: nl. zomer- en wintereik (resp. *Quercus robur* en *Q. petraea*), die weliswaar een zeer vergelijkbare houtanatomie hebben. Bij een daterend dendrochronologisch onderzoek moet tussen beide soorten geen onderscheid gemaakt worden, aangezien ze onder vergelijkbare groeiomstandigheden een gelijkaardig jaarringpatroon ontwikkelen. Deze houtsoort laat zich bovendien vrij gemakkelijk **herkennen**, zowel in natte (bij archeologisch terreinonderzoek) als droge toestand (constructiehout in bouwkundig erfgoed of bij sculpturen en paneelschilderijen). Door de microscopische opbouw van het hout te bekijken, kan je op vrij eenvoudige wijze vaststellen of het eikenhout betreft. Maar een aantal kenmerken zijn ook met het blote oog, of met behulp van een loep (10x), gemakkelijk te observeren. Daarvoor snij je op het kopse vlak (= het transversaal vlak, figuur 4) een kleine zone glad, met een scherp breekmes, scheermesje of scalpel (veiliger!). Je kan besluiten dat het om eikenhout gaat indien volgende kenmerken duidelijk waarneembaar zijn met het blote oog, of met behulp van een loep (10x) (figuur 5):

- duidelijk herkenbare groeiringen op het kopse vlak (transversaal),
- een poreuze zone (= lentehout of vroeghout) met grote vaten (te herkennen als gegroepeerde, ronde poriën) afgewisseld met een zone zonder duidelijk te observeren vaten (zomerhout of laathout),
- met het blote oog herkenbare, brede, licht glanzende houtstralen die vanuit de kern naar de schors toe lopen.

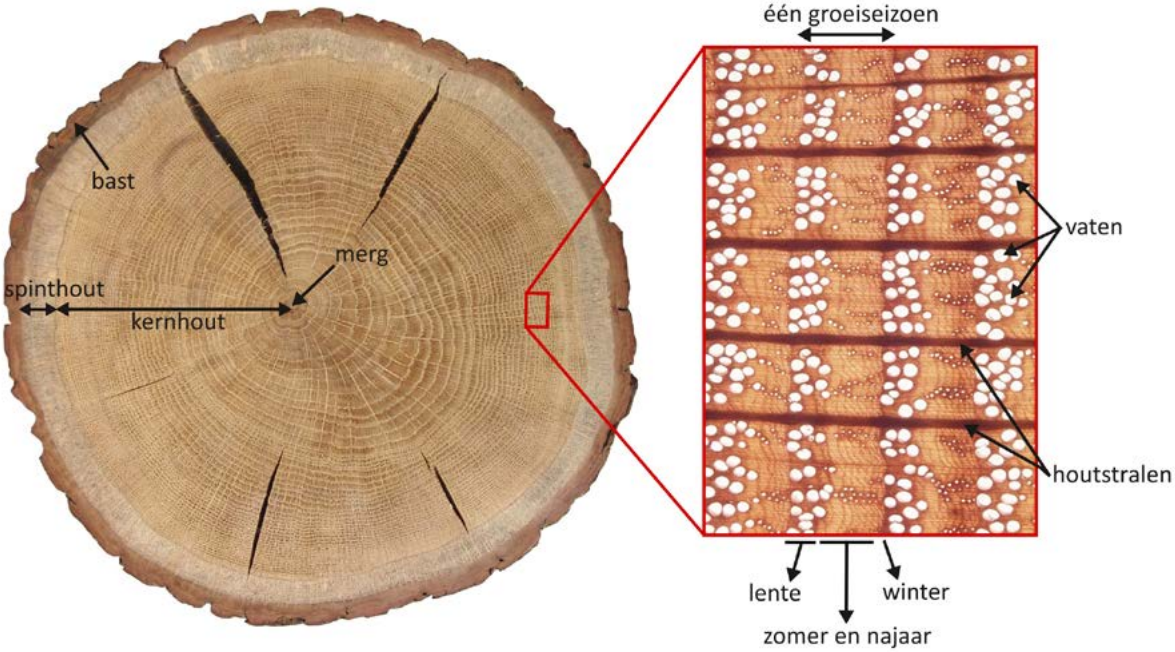


FIG 4 **Detailopname van het transversaal (= kopse) vlak van een eiken stam.**

Op het radiaal vlak zijn dikwijls 'spiegels' te zien op het eikenhout: dit zijn glanzende, brede lijnen met een soms grillig verloop. Het zijn de houtstralen die in de lengterichting worden aangesneden. Aan de buitenzijde van het stamhout is bij eik ook een blekere zone te zien. Dit is het spinthout (zie verder), wat bij eik typisch bleker gekleurd is dan het kernhout.

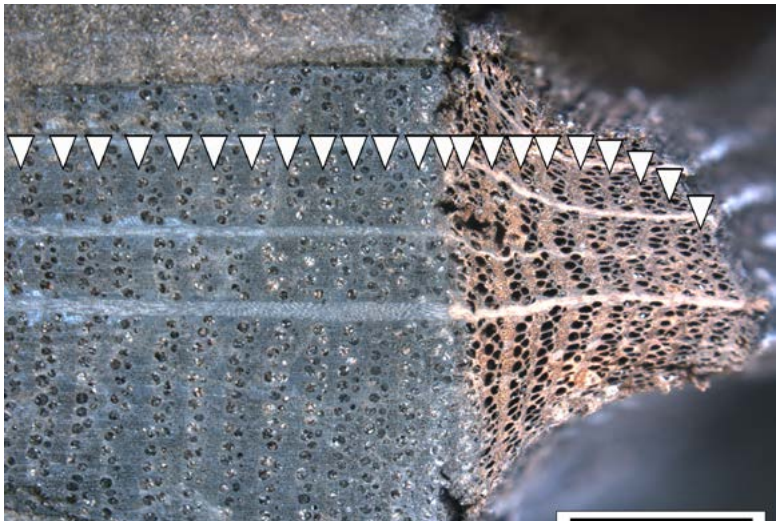


FIG 5 **Detailopname van een stuk eikenhout gevonden bij archeologisch veldonderzoek. Op het kopse vlak zijn alle houtanatomische structuren die kenmerkend zijn voor eikenhout – zoals de grote vaten in het vroeghout en de brede houtstralen – duidelijk te observeren. De blekere zone aan de buitenzijde is het spinthout. De jaarringgrenzen zijn aangeduid met een witte driehoek.**

Ook andere loofhoutsoorten, zoals **beuk** (*Fagus sylvatica*), **es** (*Fraxinus excelsior*) en **olm** (*Ulmus* spp.) hebben in onze streken een zeker potentieel voor daterend dendrochronologisch onderzoek, al zijn er beduidend minder referentiekalenders ter beschikking.

Naaldhoutsoorten als **zilverspar** (*Abies alba*), **fijnspar** (*Picea abies*) en **grove den** (*Pinus sylvestris*) komen eveneens in aanmerking voor daterend dendrochronologisch onderzoek. Naaldhout heeft een eenvoudiger opbouw dan loofhout. Bij grove den zijn met een handloep ook buisvormige kanalen te zien, maar deze zijn niet zo talrijk en ook niet gegroepeerd (figuur 6). In tegenstelling tot bij loofhout zijn dit geen vaten, maar harskanalen. Bij ons wijst

dendrochronologisch onderzoek van naaldhout dikwijls uit dat het werd aangevoerd uit regio's waar grove den, fijnspar of zilverspar – in tegenstelling tot Vlaanderen – wel van nature voorkomt. In onze streken werd naaldhout pas vanaf de 18de eeuw aangeplant.

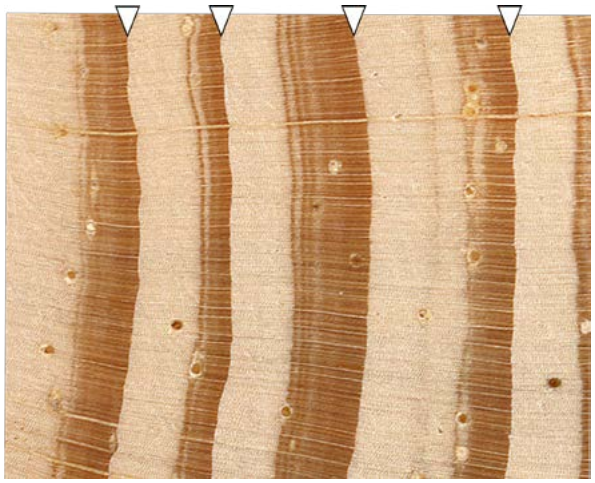


FIG 6 **Detailopname van een stuk grove den. De cirkelvormige structuren op het transversaal vlak zijn harskanalen.**

3.2 AANTAL RINGEN

De ervaring leert dat een stuk hout enkel geschikt is voor daterend dendrochronologisch onderzoek indien er **minstens 70 groeiringen** af te lezen zijn op een dwarse doorsnede. Indien het opgemeten groeiringpatroon korter is, kan een eventuele overeenkomst met een referentiekalender nooit met zekerheid gevalideerd worden – zowel statistisch als louter visueel. Globaal gezien kan je stellen dat hoe meer ringen er kunnen opgemeten worden op een stuk hout (= hoe langer het jaarringpatroon), des te hoger de kans op een geslaagde datering.

FIG 7 **Drie stukken eikenhout. Het stuk bovenaan is snel gegroeid en heeft ca. 31 brede ringen, het stuk onderaan is traag gegroeid en telt ca. 92 smalle jaarringen. Bij het middelste stuk is het jaarringpatroon sterk verstoord. Bij de onderste twee stukken is het spinthout zwaar aangetast door insectenvraat.**

Het aantal ringen dat te zien is op een stuk hout hangt in grote mate samen met de **groeisnelheid** van de boom. Indien een boom traag is gegroeid, zullen in het hout smalle groeiringen te zien zijn; een boom die snel is gegroeid zal in zijn stam brede groeiringen gevormd hebben (figuur 7 en 8). Dit heeft tot gevolg dat zelfs grote stukken hout, als ze afkomstig zijn van een snel gegroeide boom, toch nog te weinig groeiringen kunnen hebben om tot een sluitende datering te komen. De diameter van een stuk hout is dus van minder belang dan de groeisnelheid van de boom.

FIG 8 **Drie plankjes uit eikenhout. (a) Snel gegroeid eikenhout met brede jaarringen. Dit stuk is 'kwartiers' gezaagd (= loodrecht op de jaarringen). Op het radiaal vlak zijn glanzende 'spiegels' te zien. Dit zijn de houtstralen die overlangs worden aangesneden. (b) Traag gegroeid stuk eikenhout met heel smalle jaarringen. Deze plank is 'dosse' gezaagd. (c) Een stuk subfossiel eikenhout met een gemiddelde en regelmatige groei. De pijlen wijzen in de richting van de bast .**

Daarnaast wordt het aantal voor een datering bruikbare jaarringen ook bepaald door de **wijze waarop de stam is verzaagd of gekliefd**. Het verspanen van een stam tot de gewenste palen, planken of panelen speelt dus een belangrijke rol. Op planken die 'dosse' gezaagd zijn – dit is de meest eenvoudige manier om een stam te verzagen, nl. in evenwijdige stroken – zijn doorgaans minder ringen af te lezen dan bij planken die kwartiers gezaagd of gekliefd zijn (figuur 9). Een stam kan gekantrecht worden tot één zware balk, of opgedeeld tot een aantal balken met kleinere afmetingen. Toch kan het aantal ringen dat valt af te lezen op het kopse vlak bij beide types balken ongeveer hetzelfde zijn (figuur 10).

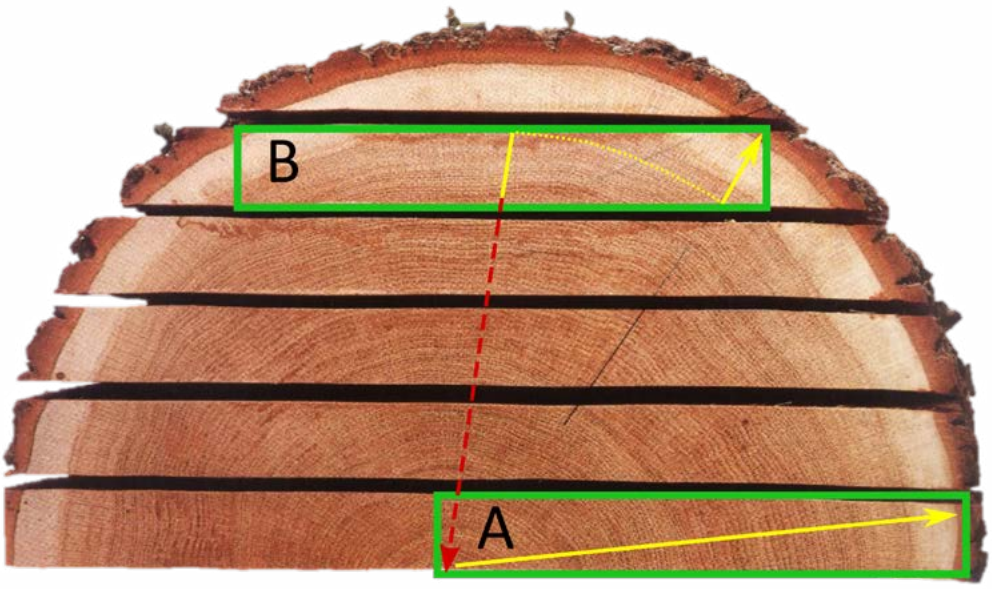


FIG 9 **Een stam die 'dosse' wordt verzaagd levert planken op met vergelijkbare afmetingen, maar het jaarringpatroon dat valt af te lezen, is afhankelijk van de positie binnen de stam. Op planken waar zowel het merg als de buitenzijde van de stam aanwezig zijn (plank A), kunnen veel meer ringen worden opgemeten dan bij planken met jaarringen die een sterke kromming vertonen (plank B). Het op te meten jaarringpatroon is aangeduid in geel; de 'ontbrekende' ringen bij een zuiver dosse plank zijn aangeduid met de rode pijl.**

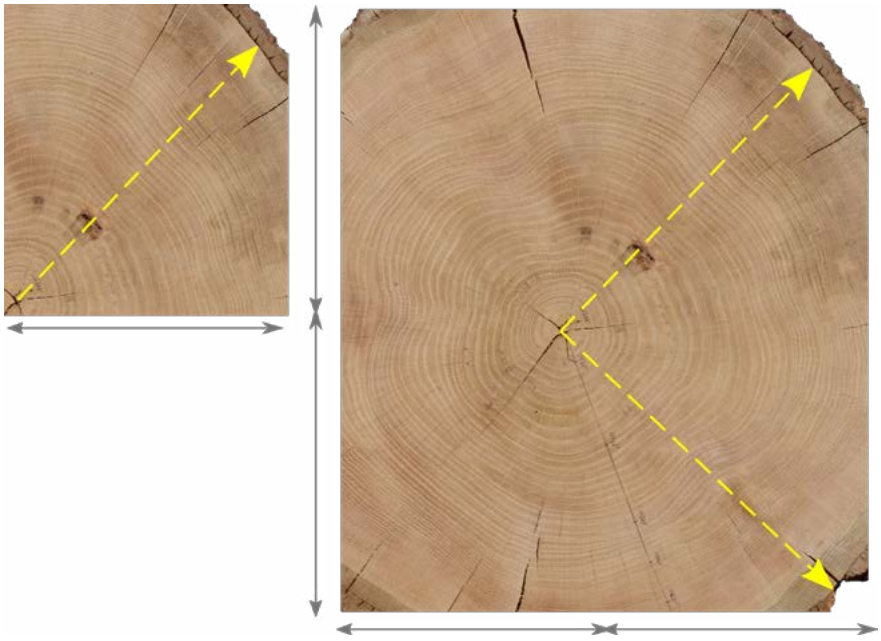


FIG 10 **Twee balken afkomstig uit éénzelfde stam. De balk aan de linkerzijde is bekomen door de stam in 4 delen te klieven, de balk aan de rechterzijde is bekomen door de originele stam enkel te kantrechten. De oppervlakte van de dwarse doorsnede van de kleine balk bedraagt slechts ¼ kleiner van de grote balk, maar toch is het dat kan worden opgemeten even lang (aangeduid in geel).**

De afmetingen van een stuk hout zeggen dus weinig over het aantal jaarringen dat kan opgemeten worden. Het is beter om de selectie van te bemonsteren stukken hout niet al te veel te laten bepalen door hun afmetingen.

3.3 REGELMATIGE GROEI

De aanwezigheid van zware takken, wondweefstel of kwasten (ingegroeide takaanzet) verstoort lokaal het groeiringpatroon (figuur 7). De jaarringen zijn op die plaatsten abnormaal breed of smal en geven geen correct beeld van de globale houtaanwas. Het is daarom beter om dergelijke zones in het hout te vermijden voor daterend dendrochronologisch onderzoek. Ook wortels en takken zijn, door hun doorgaans grillige vorm, minder of niet geschikt.

Een onregelmatige groei kan ook het gevolg zijn van menselijk ingrijpen op de boomgroei, bijvoorbeeld door de boom regelmatig te snoeien. Afhankelijk van de intensiteit van dit ingrijpen, kan dit een duidelijke invloed hebben op de diktegroei – en dus de breedte van de jaarringen – in de daaropvolgende jaren. Deze onregelmatigheid in het groeiringpatroon zal opgemerkt worden over de volledige omtrek van de boom, en zich niet manifesteren als een lokale 'verstoring'.

3.4 SPINTHOUT EN WANKANT

Voor de precisie van de datering zijn stukken hout met wankant of een gedeelte van het spinthout het meest informatief. **Spinthout** bevindt zich tussen het verkernde deel van de stam en de schors van de boom (figuur 1 en 4). Het spinthout is het levende houtweefsel dat de sapstroom verzorgt in de stam en dient als opslagplaats voor voedingsstoffen. Het heeft exact dezelfde structuur als het kernhout, maar bij het spinthout zijn de transportkanalen (vaten bij loofhout) nog grotendeels vrij. Dit in tegenstelling tot het kernhout, dat dood houtweefsel is waar geen actief transport van water en voedingsstoffen meer kan plaatsvinden.

De **wankant** krijg je te zien als de bast van de stam wordt gehaald. Het is de scherpe overgang van de bast naar het spinthout (figuur 1). Het is de zone waar het cambiumweefsel nieuw hout (afgezet naar de binnenzijde van de stam) en bast (naar de buitenzijde van de stam) vormt tijdens het groeiseizoen. Een stuk bouwhout waarbij de wankant bewaard is gebleven, kan je herkennen aan het afgeronde oppervlak waar de buitenzijde van de originele boom nog in is te herkennen (figuur 11). Indien de bast nog aan een stuk bouwhout vast hangt, dan is de wankant zeker aanwezig. De aanwezigheid van de wankant geeft aan dat de groeiring die werd gevormd tot aan het afsterven van de boom nog bewaard is gebleven.

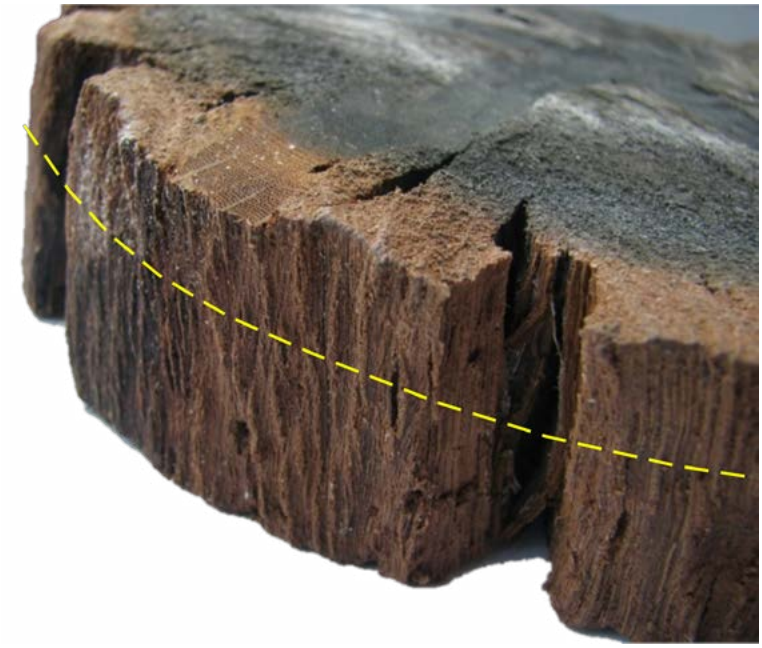


FIG 11 **Stuk archeologisch eikenhout waarop de wankant zichtbaar is. De afgeronde vorm volgt de omtrek van de originele stam. Foto: © Van Daalen Dendrochronologie.**

Aangezien stukken hout met wankant of (een gedeelte van het) spint tot een heel precieze datering kunnen leiden (zie: hoofdstuk 5: Interpretatie), moeten dergelijke stukken steeds voorrang krijgen bij een staalname. Het spinthout is ook het **minst duurzame gedeelte van een stam**. Daardoor is het dikwijls ook het meest gedegradeerd of werd het bij het bewerken van het hout reeds preventief verwijderd. Bij de staalname worden daarom best maatregelen genomen zodat, indien nog aanwezig, de schors en/of het spinthout aan het (kern-)hout vast blijft zitten. Archeologisch hout met spint mag daarom zeker niet uitdrogen. Dit gedeelte zal tijdens het drogen immers het sterkst vervormen (zie bijvoorbeeld figuur 5) en aldus onbruikbaar worden voor jaarringanalyse. Bij droog hout is het spinthout vaak het zwaarst aangetast door insecten (zie bijvoorbeeld het spinthout van de houtstalen in figuur 7, die volledig zijn aangetast door insectenvraat). Ook hier is het aangewezen om het uiteenvallen van het spinthout tegen te gaan door extra voorzichtig om te springen met de spinthoutzone.

> “Het is best om de selectie van te bemonsteren stukken hout niet al te veel te laten bepalen door hun afmetingen”

HOOFDSTUK 4

INTERPRETATIE

Het uiteindelijke doel van een dendrochronologische analyse is de veldatum te bepalen van de boom waaruit het onderzochte stuk hout afkomstig is. Een eerste stap in dit proces is het zoeken naar een betrouwbare overeenkomst tussen het opgemeten jaarringpatroon en de beschikbare referentiekalenders. Indien dit een goed resultaat oplevert, is het jaarringpatroon exact gedateerd. Van elke jaarring is dan geweten in welk kalenderjaar deze is gevormd. Om vanuit een gedateerd jaarringpatroon de veldatum af te leiden, kunnen er zich drie situaties voordoen (figuur 12):

- indien de **wankant nog aanwezig** is, kan de veldatum tot op het jaar, en in sommige gevallen zelfs tot op het seizoen, nauwkeurig bepaald worden. De datering én de anatomische opbouw van de laatste ring uit het jaarringpatroon is hierbij van belang. Is de boom gekapt aan het einde van het groeiseizoen, dan zal de laatste groeiring volgroeid zijn (vroeghout én laathout). Werd de boom echter aan het begin van het groeiseizoen gekapt, dan zal een onvolledige groeiring te zien zijn die enkel uit vroeghout bestaat. Bij sommige houtsoorten, zoals eik, kan aan de hand van de anatomische opbouw van die laatste gevormde ring de kapdatum tot op het seizoen bepaald worden. In deze situatie krijgen we de meest precieze bepaling van een veldatum;
- tijdens het omvormen van een stam tot balk of plank, gaan dikwijls de schors en (een deel van) het spinthout verloren. Als echter nog een **deel van het spinthout bewaard** is gebleven, weten we dat er slechts een beperkt aantal ringen – en dus jaren – ontbreken tussen de laatste opgemeten ring en de wankant. Bij eik is de spreiding op het aantal spinthoutringen relatief constant, en kan er een onderbouwde schatting gemaakt worden van het aantal ontbrekende spinthoutringen. In dit geval is de veldatum te situeren binnen een concreet tijdsinterval. We kunnen dan zowel de vroegst mogelijke veldatum (*terminus post quem*) bepalen als de uiterste tijdsgrens voor het vellen van de boom (*terminus ante quem*);
- als er **alleen maar kernhout bewaard** is, kan enkel de vroegst mogelijke veldatum bepaald worden (*terminus post quem*). De kapdatum ligt dan zeker ná de datering van de laatste kernhoutring, met daarbij opgeteld het minimale aantal te verwachten spinthoutringen.

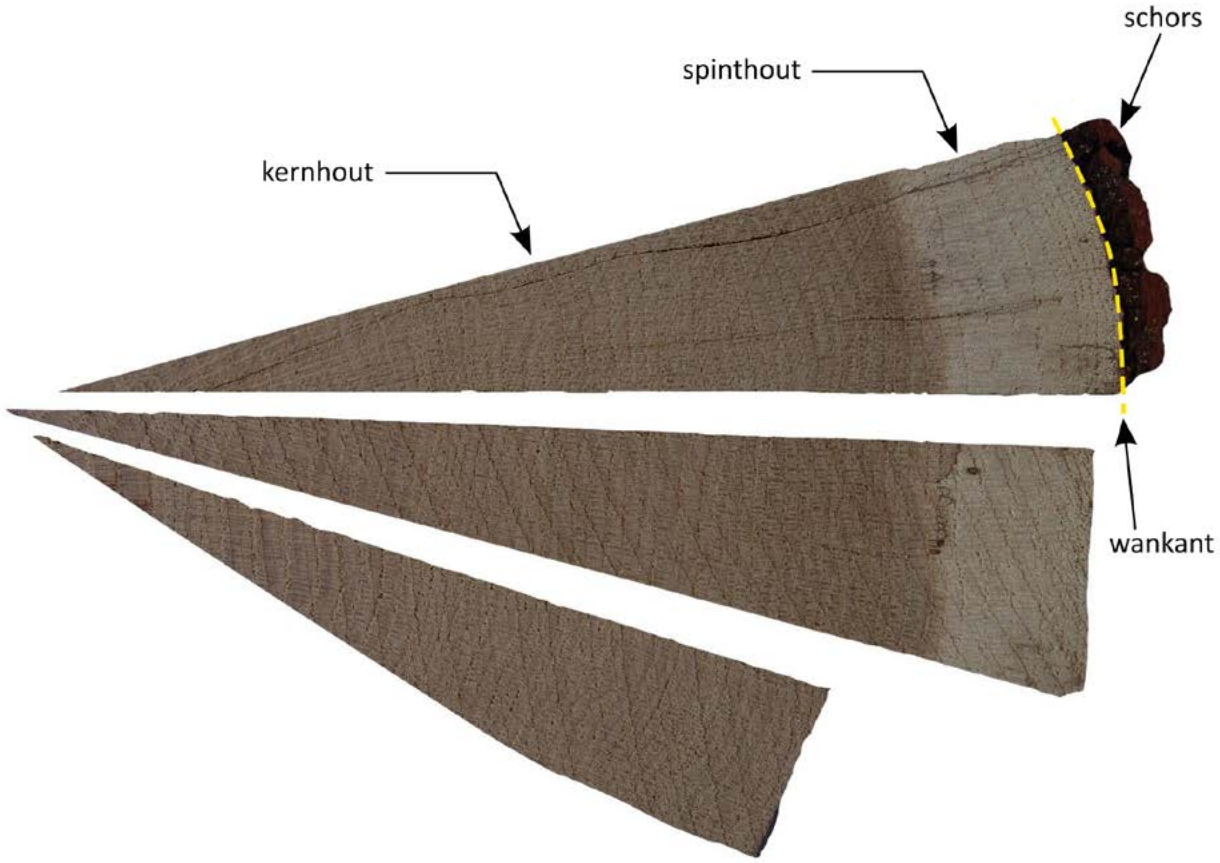


FIG 12 **Drie stukken hout waar (a) zowel het volledige spinthout als de wankant aanwezig is, (b) enkel een gedeelte van het spinthout bewaard is gebleven, en (c) er geen spinthout meer aanwezig is en ook een ongekend stuk kernhout is verloren gegaan.**

In het minst gunstige geval is de uitkomst van het dendrochronologisch onderzoek dat het opgemeten jaarringpatroon geen overeenkomst vertoont met de beschikbare referentiekalenders. In dat geval blijft het stuk hout ongedateerd.

Bij de interpretatie is het van belang bovenstaande situaties telkens goed te rapporteren. Een *terminus post quem* datering geeft alleen de vroegst mogelijke veldatum aan, maar geeft geen indicatie hoe veel later die dan wel kan liggen. Indien nog spinthout aanwezig is, kan zoals gezegd soms een interval bepaald worden waar binnen de werkelijke veldatum zich situeert. Enkel indien de wankant bewaard is gebleven kunnen we het tijdstip van het kappen van de boom tot op het jaar precies, en soms tot op het seizoen exact bepalen. Dit valt samen te vatten in een grafische voorstelling aan de hand van een staafdiagram (figuur 13):

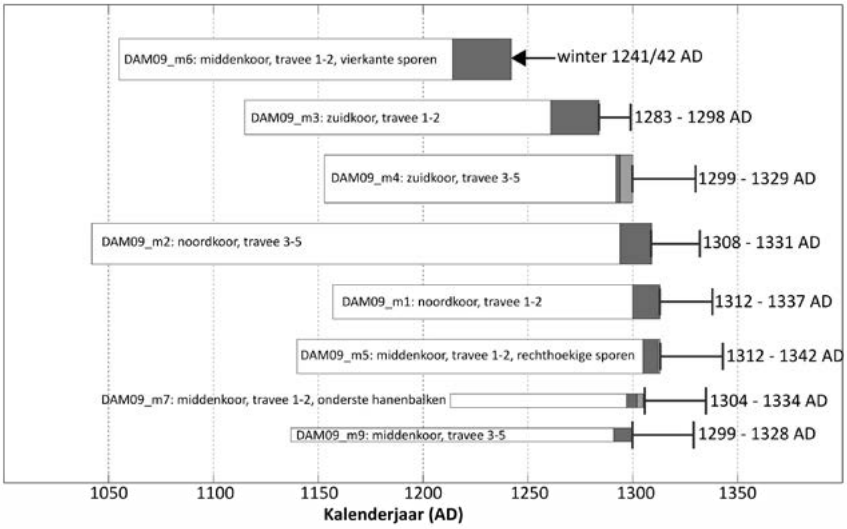


FIG 13 **Voorstelling van de dendrochronologische dateringsresultaten in een staafdiagram. De lengte van de balken geeft aan welke periode wordt overspannen door de opgemeten en gedateerde jaarringreeksen. De aanwezigheid van spint wordt aangeduid door een zwart ingekleurd stuk. Het geschatte minimale aandeel spinthout is aangeduid in een grijze tint. De foutenbalk reikt tot aan het maximale aantal spinthoutringen.**

Volgend op de bepaling van de veldatum, zijn er meerdere factoren die de datering van het bouwen van de onderzochte houten structuur of het object kunnen bijsturen. Zijn er bijvoorbeeld sporen van **hergebruik** op het geanalyseerde stuk bouwhout te zien, dan is de datering van dit stuk hout niet gerelateerd aan de datering van de structuur die men onderzoekt. De dendrochronologische datering verwijst dan naar het gebruik van dit stuk hout in een oudere constructie, en geeft dan enkel een post quem aan voor de geanalyseerde structuur. Kunnen binnen één structuur meerdere stukken hout gedateerd worden, en heeft één een beduidend jongere kapdatum, dan wijst dit mogelijk op een latere **herstelling** waarbij een nieuw stuk hout werd gebruikt. Ook in dit geval heeft deze datering geen betrekking op de bouw, maar op een vroegere activiteit.

“Het uiteindelijke doel van een dendrochronologische analyse is de veldatum te bepalen van de boom waaruit het stuk hout afkomstig is”

HOOFDSTUK 5

BEMONSTEREN

5.1 ARCHEOLOGISCH EN SUBFOSSIEL HOUT

Voor het bemonsteren van archeologisch of subfossiel hout wordt gebruik gemaakt van een handzaag, een elektrisch aangedreven (cirkel-)zaag of een kettingzaag. Daarmee wordt een dwarse doorsnede gemaakt van de te onderzoeken stam, paal of plank. Hieronder volgen enkele vuistregels voor de selectie en bemonstering van archeologisch hout:

- zaag een dwarse doorsnede van **maximaal 2 à 3 vingers dik** (ca. 3-5 cm). Dat bespaart extra werk bij transport en analyse;
- besteed aandacht aan de aanwezigheid van **spinthout en wankant**, en zorg ervoor dat dit aan het stuk hout blijft vasthangen, eventueel door vóór het verzagen een tape aan te brengen (zie figuur 14);
- indien er **barsten** in het hout aanwezig zijn, wikkel dan tape of folie om het stuk hout vóór het zagen. Zo valt het staal niet uit elkaar in meerdere delen;
- vermijd het nemen van een staal ter hoogte van een takaanzet, kwast, wondweefsel of een rot stuk.

Neem een staal van **zoveel mogelijk verschillende elementen per structuur, context of bouwfase**. De kans op een succesvolle datering stijgt aanzienlijk indien er meer stukken kunnen onderzocht worden. De dendrochronologische datering van een individueel stuk hout (sculptuur, boomstamgrafkist, ...) is doorgaans veel problematischer dan het hout van bijvoorbeeld een waterput die is opgebouwd uit tientallen planken en palen. Zeker als het te onderzoeken hout relatief weinig groeiringen heeft per houten element, is het essentieel om zoveel mogelijk stalen te nemen.

Bezorg zo veel mogelijk stalen aan de expert. Die kan dan de meest geschikte stukken uitkiezen voor verdere analyse. Indien slechts een paar willekeurig gekozen stalen de expert bereiken, bestaat de kans dat een beduidend aantal stukken minder of niet geschikt wordt bevonden.

Bij een **boomstamwaterput** is enkel het buitenste deel van een stam bewaard. Het is aan te raden hier op meerdere plaatsen (minstens 2) een wigvormig stuk uit het bewaarde deel van de stam te zagen (figuur 15). Ga na of er schors aanwezig is, en zorg ervoor dat dit dan aan het hout blijft vastzitten (vooraf verstevigen met tape is aangewezen).

> “Neem een dwarse doorsnede van maximaal 3-5 cm dik. Dat bespaart extra werk bij transport en analyse”

FIG 14 **Een staal voor dendrochronologisch onderzoek wordt genomen van een archeologisch stuk hout (a-f). Indien scheuren of barsten voorkomen wordt best eerst een tape of folie rond het te verzagen stuk hout gewikkeld (g-h). Let tijdens de staalname op de aanwezigheid van spinthout of schors (i). Zorg dat dit gedeelte zeker vast blijft hangen aan het staal.**

a

b

c

d

e

f

g

i

h

FIG 15 **Doorsnede van een boomstamwaterput. De plaats (en vorm) waar een staal voor dendrochronologisch onderzoek kan genomen worden is afgelijnd in het geel. Foto: © KLAD.**

Subfossiele boomstammen, aangetroffen in een opgravingsvlak of -put, kunnen bemonsterd worden door een deel van de stam te ondergraven en daarna met een kettingzaag een stamschijf te zagen (zie figuur 16).

Scheepshout moet nauwkeurig ingetekend worden vóór een dendrochronologische staalname. De selectie van de scheepsonderdelen voor het dendrochronologisch onderzoek gebeurt in samenspraak met de maritiem-archeoloog. Het aantal te onderzoeken elementen is afhankelijk van de onderzoeksvragen (louter datering of ook herkomstbepaling, opsporen van herstellingen, ...)

Bij **waardevolle houten objecten of structuren**, waar een conservatietraject wordt overwogen, voer je zelf geen staalname uit. Raadpleeg in dergelijke gevallen altijd een specialist. Er zijn immers omstandigheden waarbij een dendrochronologisch onderzoek mogelijk is zonder een destructieve staalname, maar na een minimale oppervlaktebehandeling of reiniging.

"De kans op een succesvolle datering stijgt aanzienlijk indien er meer stukken uit een zelfde structuur kunnen onderzocht worden"

5.2 BOUWKUNDIG ERFGOED

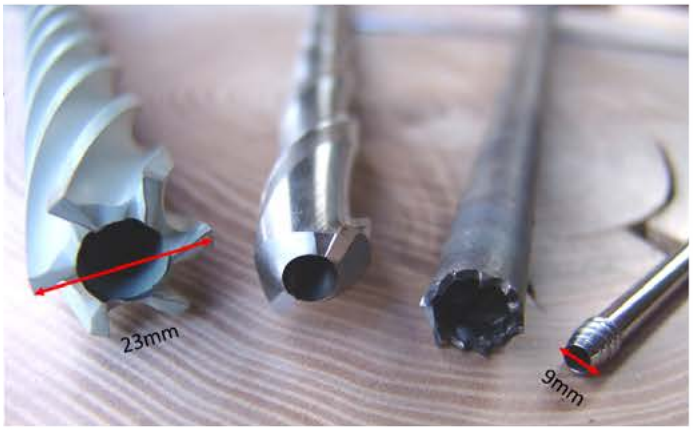
De meest geschikte stalen van balken of planken uit historische gebouwen zijn dwarse doorsnedes, m.a.w. gelijkaardig aan wat beschreven is voor archeologisch en subfossiel hout (figuren 14 en 16). Op een dwarse doorsnede van ca. 5 cm dik kan het groeiringpatroon zonder problemen worden opgemeten. Bij vervanging van historisch bouwhout kunnen dergelijke stalen makkelijk genomen worden. Zo blijft het onderzoekspotentieel van het historische bouwhout bewaard en het te bewaren volume tot een minimum beperkt.

Deze wijze van bemonsteren is echter niet altijd mogelijk of te verantwoorden omwille van de onomkeerbare destructieve impact op het gebouw. Als alternatief wordt meestal gebruik gemaakt van holle boren waarmee een cilinder van hout uit een balk kan gehaald worden (figuur 17). Uiteraard geldt hier eveneens de regel dat er voldoende stalen moeten genomen worden per bouwfase. Indien slechts één balk wordt bemonsterd per bouwfase, is de kans bijzonder klein dat dit tot een datering zal leiden. Zelfs indien dit lukt, zal de interpretatie van één staal dikwijls problematisch zijn. Het is daarom aan te bevelen om per geïdentificeerde bouwfase telkens **minimum 5 stalen te nemen**.

Essentieel is wel dat de plaats van staalname en het bemonsterde onderdeel worden geregistreerd en dat die in relatie kunnen gebracht worden met het opgemeten groeiringpatroon. Bij staalname in een historische dakkap, worden alle genomen boorkernen best aangeduid op een zogenaamd **dakenplan**. Dit is een schematische weergave van de dakstructuur, waarop de oriëntatie van de dakkap wordt weergegeven (noordpijl, situering binnen gebouw of t.o.v. aanpalende weg), en waarop de plaats van staalname (nummering per sporenpaar, trekbalk, ...), het bemonsterde onderdeel (korbeel, stijl, dekbalk, ...), eventuele telmerken (nummering op sporen, kepers of dekbalken) en handelsmerken worden aangeduid (figuur 17i). Dit geldt uiteraard ook indien geen boorkernen maar dwarse doorsnedes worden ingezameld van elementen die vervangen worden tijdens een restauratiecampagne.

“Indien slechts één balk wordt bemonsterd per bouwfase, is de kans bijzonder klein dat dit tot een datering zal leiden”

FIG 16 **Staalname van een subfossiele stam. Met een kettingzaag wordt een dwarse doorsnede van de stam gezaagd.**


23mm
9mm

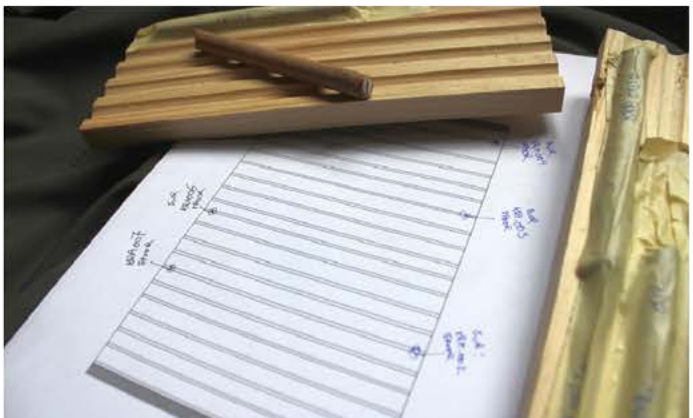


FIG 17 **Een dwarse doorsnede van een trekbalk die werd vervangen uit een dakkap (a). Indien schors, wankant of spint aanwezig zijn, wordt best op die plaats een boorkern genomen. Een aanzetstuk helpt bij de positionering (b). Holle houtboren voor het nemen van een boorkern uit historisch bouwhout (c). De holle boor wordt met een boormachine in het hout geboord (d). De boorkern wordt uit het stuk bouwhout gehaald en het boorgat opgevuld (e-h). De plaats van staalname wordt aangeduid op een dakenplan of schets van de houten constructie (i). Boorkernen klaar voor onderzoek (j).**

5.3 PANELEN, SCULPTUUR, MEUBILAIR, ...

Bij waardevolle objecten – paneelschilderijen, houten sculpturen of meubilair – is een (semi-)destructieve staalname meestal uitgesloten. Als de groeiringen echter zichtbaar zijn op een kops vlak kan ook met digitale beelden gewerkt worden. De absolute voorwaarde is wel dat alle groeiringgrenzen duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn. Eén jaarring 'missen' tijdens het registreren van het jaarringpatroon betekent immers dat de analyse en datering zal falen. Dikwijls is een lichte reiniging van het kops vlak nodig (door schuren, borstelen of met behulp van lichte solventen). Pas daarna kunnen kwaliteitsvolle macro-opnames van het groeiringpatroon gemaakt worden. Dergelijke beelden kunnen aan de hand van een schaallat achteraf gekalibreerd worden, en opgemeten op scherm (figuur 18).

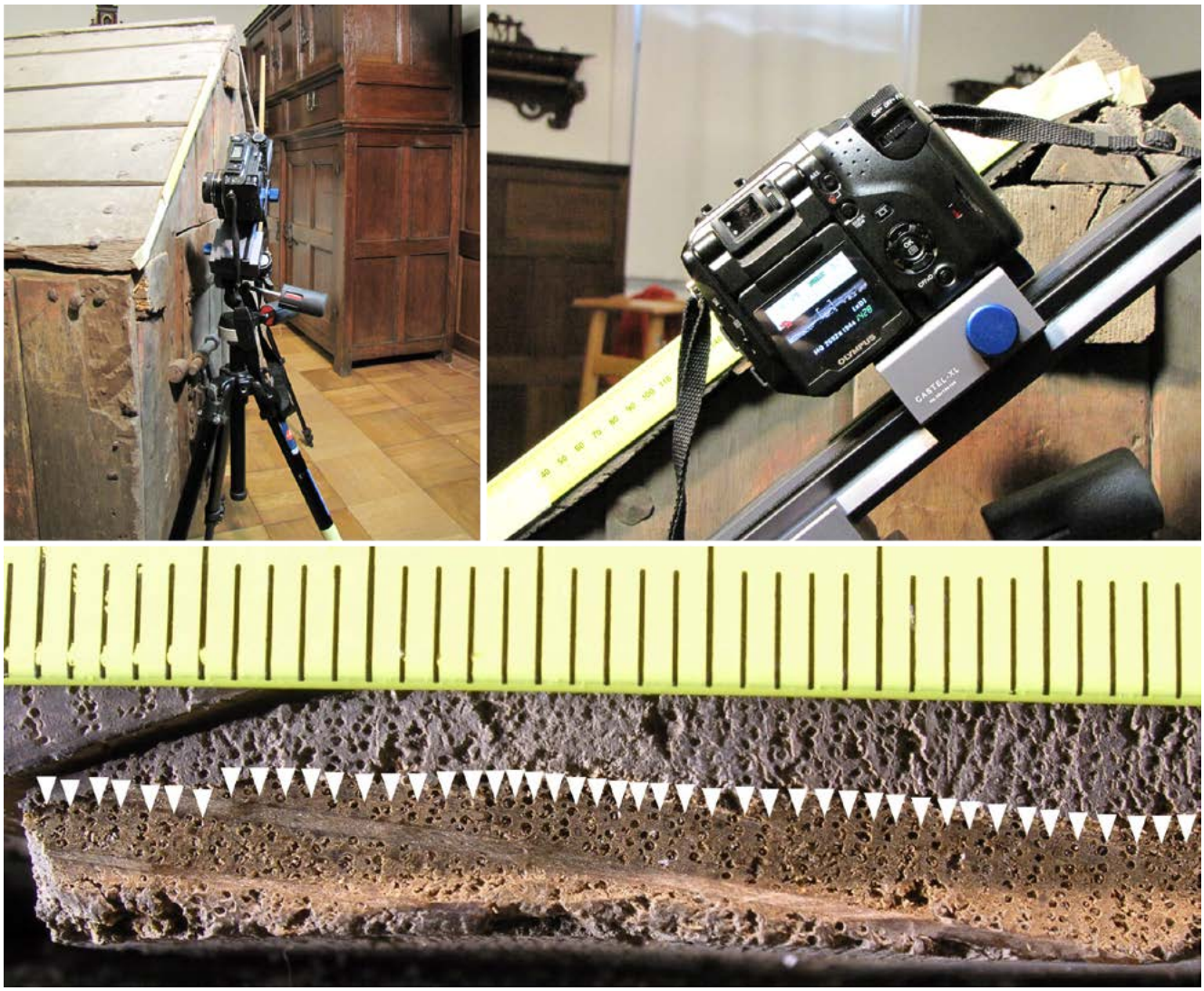


FIG 18 **Macro-fotografie om het jaarringpatroon op een plank van een middeleeuws reliekschrijn te registreren. Een schaallat wordt mee in beeld gebracht om de opnames achteraf te kunnen kalibreren. De witte driehoeken markeren de overgang tussen twee opeenvolgende jaarringen.**

5.4 LEVENDE BOMEN

Jaarringanalyse is de meest nauwkeurige manier om de leeftijd van een levende boom te bepalen. Indien er een duidelijke (mathematische) relatie bestaat tussen de omtrek en de leeftijd van bepaalde bomen, rekening houdend met de soort en de standplaats, kan de leeftijd worden ingeschat door de omtrek te meten. Indien een dergelijk rekenmodel niet voorhanden is, kan een boorkern (of meerdere) genomen worden uit de stam van de boom. Een holle boor (Pressler-boor) wordt dan handmatig in de stam gedraaid (figuur 19). Binnenin vormt zich dan een cilinder van hout (= de boorkern) waarop de groeiringen te zien zijn. Deze boorkernen hebben doorgaans een diameter van 4,3 of 5,1 mm, al bestaan er ook boren met een andere diameter.
Indien een boorkern van de schors (wankant) tot in het merg van de boom kan genomen worden, kan de leeftijd van de boom bepaald worden door simpelweg de ringen te tellen. Voorwaarde is wel dat de staalname laag op de stam wordt uitgevoerd. Indien men een boring op bijvoorbeeld 1,5 m hoogte uitvoert, dan 'mist' men het aantal jaar(ringen) dat de boom nodig had om 1,5 m groot te worden. Wanneer de kern van een boom echter rot is – wat bijvoorbeeld bij lindes vaak het geval is – kan het jaarringpatroon dat nog valt af te lezen op de buitenste schil enkel dienen om een (zeer) ruwe inschatting te maken van de totale leeftijd.

Bij bomen met erfgoedwaarde is de groei dikwijls door ingrijpen van de mens gestuurd, bijvoorbeeld door regelmatige snoeiwerken, schade aan de stam en takken of aanpassingen van de standplaats. Daardoor is de omtrek van een erfgoedboom geen betrouwbare parameter om de leeftijd in te schatten. Het nemen van een boorkern kan dan overwogen worden. Daarbij dient de vitaliteit van de boom zeker in overweging te worden genomen. Bij sterk verzwakte bomen wordt het nemen van een boorkern best vermeden om het aftakelingsproces niet te versnellen. Door het boren kan immers de afgrendeling van bepaalde houtzwammen in het hout doorbroken worden.

Daarnaast is het ook belangrijk om tussen twee boringen bij verschillende individuen de boor zelf grondig te ontsmetten (met fungicide, bleekwater, ontsmettingsalcohol) om geen schimmelsporen en kiemen van ziekteverwekkers over te brengen tussen de bomen. Ook is het aan te raden de boorkop regelmatig te slijpen. Enkel met een scherpe boor bekom je bruikbare boorkernen voor verder onderzoek en blijft de schade aan de boom tot een minimum beperkt.

FIG 19 **Staalname van een levende, monumentale linde met behulp van een Pressler-boor. Op de boorkern zijn de jaarringen na drogen en opschuren of bijsnijden af te lezen.**

Afgestorven of omgewaaide monumentale bomen vormen soms een interessante bron van gegevens voor verder onderzoek naar hun leeftijd of het historisch beheer dat ze hebben ondergaan (figuur 20). Een dwarse doorsnede van die stam is dan het ideale onderzoeksmateriaal, op voorwaarde dat goed gedocumenteerd is op welke hoogte deze is genomen.

FIG 20 **Stamschijf van een afgestorven knoteik. Het groeiringpatroon laat toe de frequentie van het knotten – en aldus het voormalig beheer van de boom – te reconstrueren. De driehoeken markeren de jaarringgrenzen. De geel ingekleurde driehoeken geven aan wanneer deze boom werd geknot. Het aantal tussenliggende jaarringen geeft aan hoeveel jaren er verstreken tussen twee knotbeurten.**

Monumentale bomen hebben dikwijls ook een monumentale omvang. Om praktische redenen is een stamschijf van een afgestorven boom daarom **best zo dun mogelijk (ca. 5 cm)**; dit om zowel het transport als de analyse onder de microscoop minder omslachtig te maken. De voorkeur gaat uit naar een volledige schijf. Mocht dit niet mogelijk zijn, dan is een overlangse doorsnede van zo'n schijf ook goed, en als ook dat niet lukt, is een wigvormig stuk een goed alternatief (figuur 21). Let er op dat bij het verzagen ook het merg – dit is het centrum van de boom – in het staal is inbegrepen. Na de staalname wordt met een alcoholstift de **locatie** (adres en/of coördinaten) van de boom **genoteerd op het hout**. Vergeet niet zowel de omtrek als de hoogte op de stam waar het staal werd genomen te registreren!

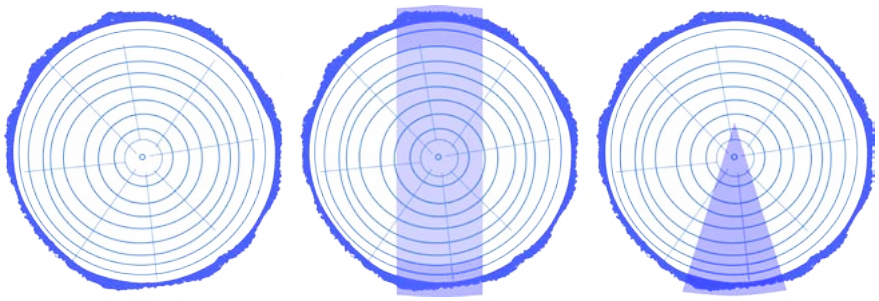


FIG 21 **Schematische voorstelling van de doorsnede van een stam. Om het volume te beperken kan ook enkel een deel van de stam bewaard worden voor verder onderzoek (blauwe zone).**

HOOFDSTUK 6

VERPAKKEN EN BEWAREN

6.1 STRIJD TEGEN DEGRADATIE

Na de staalname moeten de bemonsterde stukken hout zo snel mogelijk verpakt worden. Dit is vooral van belang bij **nat en waterverzadigd hout**. Pas opgegraven hout degradeert snel door de plotse blootstelling aan zuurstof en hogere temperaturen. Daardoor kan het onderzoekspotentieel van het hout onherroepelijk verloren gaan. Vooral het snel drogen van natte stukken hout zal er in veel gevallen voor zorgen dat het hout sterk zal beginnen krimpen, scheuren en uiteindelijk zelfs uiteen vallen in meerdere stukken. Daarom is het van groot belang archeologisch hout te beschermen tegen felle uitdroging van zodra het wordt opgegraven. Dit kan op terrein door het af te dekken met plastic of vochtige doeken.

Na het registreren en intekenen van het houten element kunnen best zo snel mogelijk stalen worden genomen. De regel is dat **nat hout** bij voorkeur nat wordt gehouden tot aan het onderzoek. Volgende stappen worden best gevolgd bij het verpakken van een houtstaal, in het geval dat een dwarse doorsnede of stamschijf wordt gezaagd:

- verpak het staal, samen met een vondsten- of staalkaartje, in een propere plastic zak of omwikkel het met een aansluitende folie;
- besteed aandacht aan het voorkomen van spint en schors: verzeker de blijvende aanhechting van het spinthout (met tape). Houd er ook rekening mee dat het spinthout meestal het sterkst is gedegradeerd. Omwikkel het staal op die plaats niet te strak aangezien dit makkelijk tot een vervorming van het spinthout kan leiden;
- druk zoveel mogelijk lucht uit de verpakking;
- maak de zak zorgvuldig dicht met tape. Dit zorgt ervoor dat het hout niet kan uitdrogen. Extra water toevoegen is niet nodig;
- breng aan de buitenkant van de verpakking een tweede vondsten- of staalkaartje aan dat duidelijk leesbaar, met vermelding van het staalnummer en de overige vereiste gegevens (spoor/vlak/vak/projectcode/...);
- duid de locatie van het staal aan op een detailplan van de bemonsterde structuur;
- stapel de genomen stalen niet hoog op. Door het gewicht kunnen de onderste stalen breken of vervormen.

“Na het registreren en intekenen kunnen best zo snel mogelijk stalen worden genomen”

Bewaar natte houtstalen bij voorkeur op een koele (bij voorkeur onder de 6° C), donkere plek. Zo beperkt je de kans dat er zich schimmels ontwikkelen. Pas bij temperaturen van 0° en lager valt schimmelontwikkeling en -groei volledig stil. Breng de stalen daarom zo snel mogelijk naar het labo waar het verdere onderzoek zal plaatsvinden.

Stalen van historisch bouwhout die reeds droog zijn, kunnen meestal zonder problemen voor langere periode bewaard worden. Hout dat droog is, met een houtvochtgehalte onder de 20%, wordt niet aangetast door schimmels en is daardoor stabiel. Enkel houtaantastende insecten kunnen voor problemen zorgen.

Bewaring van natte houtstalen op langere termijn is en blijft een delicate opdracht. Het vraagt monitoring om zeker te zijn dat het vochtgehalte niet te sterk daalt, wat houtdegraderende schimmels de kans zou geven om zich te ontwikkelen. Daarom is het laten drogen van waterverzadigde stalen op lange termijn meestal de enige optie. Vriesdrogen kan hiervoor een oplossing aanreiken, al dient dit dan te gebeuren zonder impregnatie met PEG (polyethyleenglycol) of toevoeging van conserverende chemische bestanddelen. Zo blijft het staal ook bruikbaar voor een radiokoolstofdatering (^{14}C) of stabiele isotopenonderzoek. Vervorming van het staal is dan onvermijdelijk, maar niet onoverkomelijk voor later dendrochronologisch onderzoek. De graad van vervorming zal vooral afhangen van de graad van degradatie. Indien het hout al sterk is aangetast zal de vervorming groot zijn. Reeds geïmpregneerde stukken hout zijn mogelijk nog steeds dateerbaar met ^{14}C, mits toepassing van speciale reinigingstechnieken. Overleg met een specialist ter zake is in dit geval noodzakelijk

6.2 OVERDRACHT NAAR DE SPECIALIST

Op vlak van timing kan er maar één advies gegeven worden: breng de stalen voor dendrochronologisch onderzoek zo snel mogelijk, met de nodige documentatie (zie verder), naar de specialist. Die zal een doorgedreven selectie en analyse uitvoeren. Door de tijdspanne zo kort mogelijk te houden, wordt vermeden dat de houtstalen verder kunnen degraderen door biologische aantasting of mechanische vervorming.

Bij nat hout is dit uiteraard dwingender dan bij droog hout. In droge toestand (vochtgehalte onder de 20%) is het hout vrij stabiel en zal het niet verder degraderen.

Bij de overdracht van de stalen aan de dendrochronoloog wordt een **overzichtslijst** bijgevoegd met daarop:

- naam van de opdrachtgever + contactgegevens;
- naam van de archeologische site / historisch gebouw of houtconstructie + adres (eventueel met de centrale geografische coördinaten van de site of het gebouw);
- een overzicht van alle stalen met hun nummer. De nummering moet per staal uniek zijn;
- archeologisch hout: per staalnummer het spoor waartoe het behoort. Zo is duidelijk welke stalen afkomstig zijn van eenzelfde structuur of spoor. Ook de samenhang tussen stalen op basis van stratigrafie wordt meegedeeld;
- hout uit bouwkundig erfgoed: per staal de locatie van het staal binnen de structuur en – indien gekend of verondersteld – de bouwfase;
- andere indicaties voor datering (associatie, historische bronnen, kunsthistorische interpretatie, ...);
- sporen van hergebruik (bv. open, niet-functionele verbindingen).

> “Breng stalen voor dendrochronologisch onderzoek, samen met de nodige documentatie, zo snel mogelijk naar de specialist”

Een goede documentatie van de stalen is uitermate belangrijk, en zal bij de interpretatie van de dateringen een groot verschil maken. De combinatie van stalen uit een zelfde structuur of bouwfase kan in sommige gevallen tot een meer precieze datering leiden. Ook het interpreteren van mogelijk afwijkende dateringen wordt door een goede inventaris meteen concreet.

> “Een goede documentatie van de stalen is uitermate belangrijk en zal bij de interpretatie van de dateringen een groot verschil maken”

HOOFDSTUK 7

METEN EN ANALYSEREN

Het eigenlijke opmeten van de groeiringpatronen op de aangeleverde stukken hout gebeurt met behulp van een stereomicroscoop en een meettafel (figuur 22). Eerst worden de te onderzoeken stukken hout – afhankelijk van de toestand (nat/droog) – op het opmeten voorbereid. Bij nat archeologisch hout wordt op het kopse vlak een 'leesspoor' aangebracht, van minstens 0,5 cm breed, door met scheermesjes of een scalpel het hout bij te snijden. Droog hout kan ofwel worden bijgesneden met een scalpel of een breekmes, maar ook schuren is hier een optie. In het laatste geval wordt het stuk hout of de boorkern meerdere keren opgeschuurd met schuurpapier met steeds fijnere korrel (P80 > P120 > P240 > P360 > P400 > P800), en wordt tussen twee beurten door steeds het stof weggeblazen. De voorbereiding zorgt ervoor dat de groeiringgrenzen duidelijk van elkaar te onderscheiden zijn. Daarna wordt op het stuk hout elke groeiringbreedte langs het leesspoor opgemeten met een nauwkeurigheid van 0,01 mm. Dit gebeurt onder een stereomicroscoop met een vergroting van x10 tot x100. Indien gewerkt wordt met macro-foto's, worden deze eerst gekalibreerd waarna de breedte van de groeiringen op scherm wordt opgemeten.

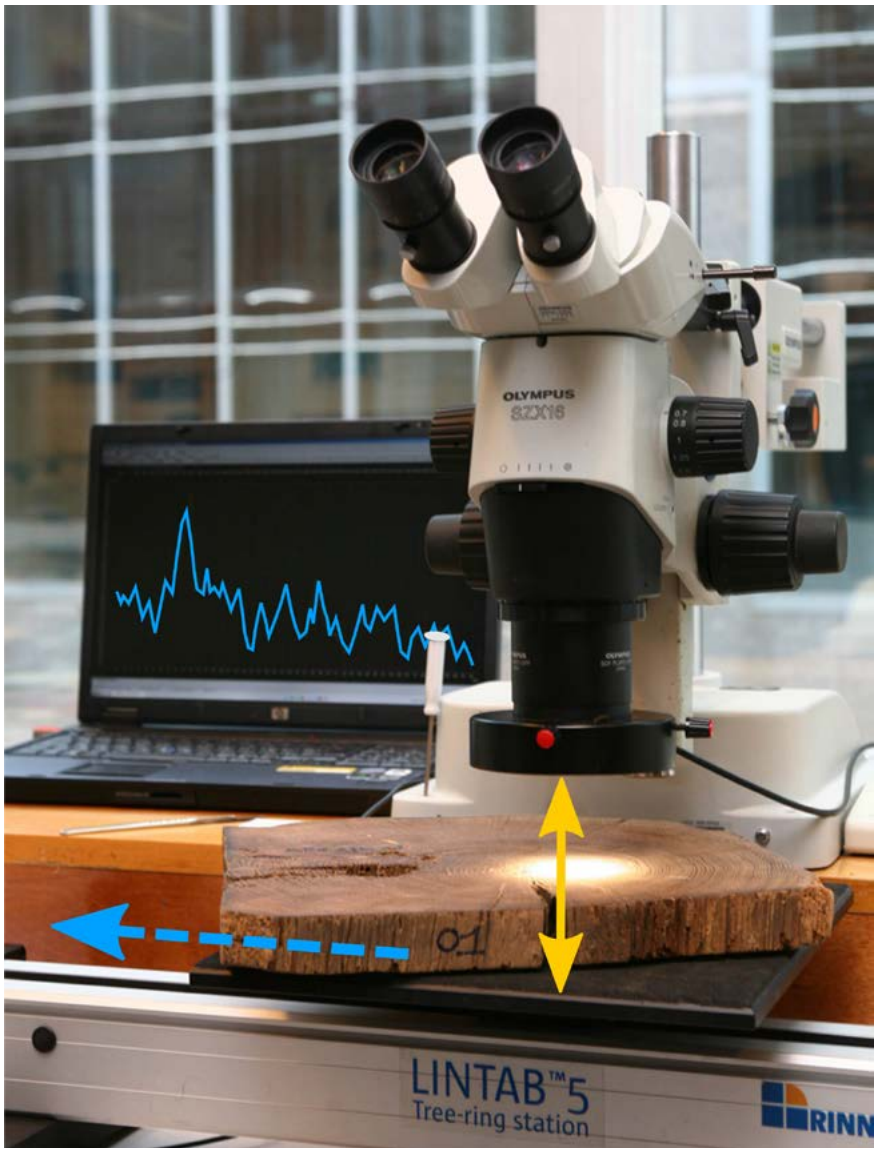


FIG 22 **Opstelling met stereomicroscoop en meettafel voor het opmeten van jaarringpatronen.**

Het opmeten resulteert in een bestand waarin de meting van elke groeiringbreedte staat geregistreerd (figuur 23). Dergelijke bestanden worden in gespecialiseerde software eenvoudig omgezet naar een grafiek (figuur 23) of staafdiagram. Deze bestanden vormen de basis van verdere analyses.

```
HEADER:
SpeciesName=Quercus spp.
Species=QUSP
Length=188
DateBegin=-150
DateEnd=37
Continent=Europe
Country=Belgium
PersId=Kristof Haneca
FirstMeasurementDate=07/02/2012
KeyCode=SDW11.07
Project=Flanders Expo '11, zone 5, WP50480
Location=Sint-Denijs-Westrem
Pith=-
Unit=1/100 mm
DataType=Ringwidth
SeriesType=Single curve
Town=Gent
Longitude=03.6900742 E
Latitude=51.030196 N
Bark=-
DateofSampling=25/09/2011
Dated=Dated
TownZipCode=9051
SiteCode=SDW-Expo-'11
DataFormat=Tree
SapWoodRings=15
DATA:Single
   341   225   210   222   156   222   124   158   152   209
   249   181   178   180   133   112    85    65   130   164
   160   148   129   123   118   239   206   273   255   299
   289   252   163   187   224   203   194   120   165   128
   162   189   274   257   288   322   250   216   159   131
   186   218   253   248   293   313   304   265   243   151
   124   153   169    73    91    69    65   101    72   128
   126   100    89   111   111   151   167   140   213   196
   228   151    92   110   109    90   111   104   114   154
   129   136   143   160   152   149   152   127    85   142
   140   154   115   108   146    91   101   164   112   152
   110   100    94   113    91   132   105   128   126   103
   109    86    86   119    99    83    87    98   111   117
   133   134   100    89    80   142   111   152   157   223
   187   196   160   131   119   267   168   216   146   119
   217   123   147   123   132   103   120   103    98   146
   109    87   103    95   101    98    92   138   145   124
   162   164   164   163   149   140   125   163   168   130
   182   222   355   219   174   163   141   151     0     0
```

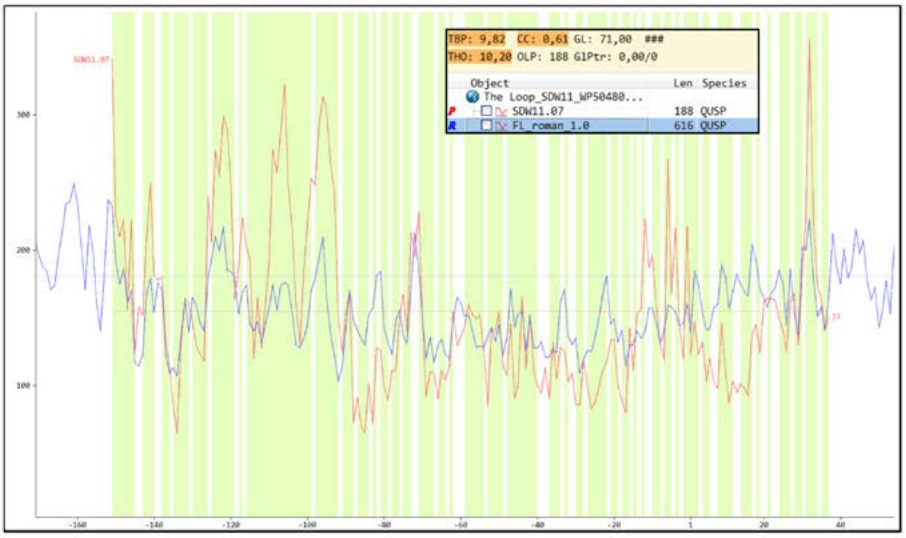


FIG 23 **Eén van de mogelijke data-formaten met opmetingen van jaarringbreedtes (links) en de grafiek die met deze metingen wordt opgebouwd (rechts). De groen ingekleurde zones zijn de jaren waar de opgemeten jaarringreeks (rood) en de referentiekalender (blauw) eenzelfde parallel verloop kennen.**

Bij het vergelijken van het opgemeten groeiringpatroon met referentiekalenders of andere jaarringreeksen, worden op elke mogelijke positie telkens statistische parameters berekend die een maat van overeenkomst tussen beide reeksen trachten weer te geven. Bij dendrochronologisch onderzoek wordt voor het inschatten van de overeenkomst vooral gebruik gemaakt van zogenaamde ***t*-waarden** en het percentage aan **parallelle variatie** (%PV = GLK = *Gleiläufigkeit*). T-waarden moeten in theorie uitstijgen boven 3,5 om een betekenisvolle overeenkomst aan te duiden. In de praktijk blijkt dit echter een te lage waarde en worden waarden pas vanaf 5 als betrouwbaar aanzien. De %PV varieert theoretisch tussen 0 en 100. Bij een %PV van 50 is er totaal geen overeenkomst tussen de twee vergeleken jaarringpatronen, bij lagere waarden is er eerder een tegenovergesteld patroon waar te nemen. In de praktijk wijzen waarden boven de 65% op een betrouwbare datering. Minder geschikt voor dendrochronologisch onderzoek, maar soms ook gerapporteerd is de **correlatiecoëfficiënt**. Ook deze dient zo hoog mogelijk en statistisch significant te zijn om een goede overeenkomst te bekrachtigen. Belangrijk bij het interpreteren van dergelijke statistische correlatiecoëfficiënten is de **overlap** tussen de opgemeten groeiringreeks en de referentiekalender. De overlap is het aantal jaren dat beide reeksen gezamenlijk overspannen, wat maximaal even lang is als de kortste jaarringreeks.

HOOFDSTUK 8

RAPPORTEREN

8.1 ASSESSMENT

Bij een assessment van potentiële stalen voor dendrochronologisch onderzoek wordt een beperkt aantal kenmerken in kaart gebracht om zo een goede inschatting te kunnen maken van het onderzoekspotentieel. Daarbij wordt een antwoord geformuleerd op de volgende vragen:

- Betreft het een houtsoort waarvoor er in onze regio referentiekalenders beschikbaar zijn (eik, beuk, zilverspar, grove den, fijnspar)?
- Hoeveel groeiringen zijn er bij benadering op te meten op het kopse vlak?
- Zijn er verstoringen aanwezig in het groeiringpatroon door knoesten, wondweefsel of een takaanzet?

Indien het een geschikte houtsoort betreft, er een voldoende lange jaarringreeks kan opgemeten worden en er geen al te grote verstoringen te zien zijn in het hout, is het geselecteerde staal zeker geschikt voor verder dendrochronologisch onderzoek. Houtstalen die te weinig ringen bevatten of uit een houtsoort bestaan die moeilijk of niet te dateren valt, worden op deze manier weggeselecteerd en niet opgenomen in het vervolgonderzoek.

8.2 BASISRAPPORTAGE

Na het opmeten en analyseren van de geselecteerde stukken hout dienen volgende zaken duidelijk gerapporteerd te worden. Enkel zo kan men tot een kwaliteitsvolle interpretatie van de resultaten komen:

- label toegekend aan het staal en de administratieve gegevens uit het archeologisch of bouwhistorisch onderzoek (spoor- en vondstnummer, locatie in gebouw, ...);
- aantal opgemeten jaarringen per staal (= lengte jaarringpatroon);
- aanwezigheid van spint (aantal jaarringen in het spinthout apart vermeld) en wankant per staal. Indien de wankant aanwezig is, volgt ook een beschrijving van de anatomische opbouw van de laatste ring (bv. bestaat de laatste ring enkel uit vroeghout?). Dit is van belang om tot de meest precieze interpretatie van de datering te komen (zie: hoofdstuk 4);
- in het geval dat het staal kon gedateerd worden: de datering van de meest recente ring per staal;
- correlatiewaarden met referentiekalenders (*t*-waarden, percentage aan parallelle variatie, correlatiecoëfficiënt, ...);
- verantwoording bij de gebruikte referentiekalenders (auteur, samenstelling, geografische dekking, ...).

TABEL 1 Voorbeeld van een tabel waarin de dateringen volgens het dendrochronologisch onderzoek worden gerapporteerd. Voor de gedateerde jaarringreeksen wordt telkens vermeld met welke referentiekalender er een betrouwbare overeenkomst werd gevonden. Dit wordt hier uitgedrukt door de tBP waarden en het percentage aan parallelle variatie (%PV). Ook de overlap (= aantal jaar) tussen de opgemeten jaarringreeks en de referentiekalender wordt vermeld (OVL).

LABEL JAARRINGREEKS	REFERENTIEKALENDER	DATERING (BC/AD)	T_{BP}	%PV	OVL
IEDS17.08	BE.Ieper (1132 – 1362 AD)[1]	1093 – 1199 AD	4.7	63*	68
	BE.Meuse5 (672 – 1991 AD)[2]	*id.*	6.6	65**	107
	FR.Moselle (671 – 1969 AD)[3]	*id.*	5.4	63**	107
	DE.Holl80 (400 BC – 1975 AD)[4]	*id.*	4.9	66**	107
IEDS17.10	FL_Medieval (237 BC – 379 AD)[5]	1128 – 1232 AD	4.6	60*	105
	BE.Ieper (1132 – 1362 AD)[1]	*id.*	5.0	60*	101
	BE.Meuse5 (672 – 1991 AD)[2]	*id.*	4.4	60*	105
	FR.Moselle (671 – 1969 AD)[3]	*id.*	5.7	63**	105

- [1] Referentiekalender (1132 – 1362 AD) opgebouwd met archeologische hout uit Ieper (Haneca *et al.* 2009).
- [2] Referentiekalender (672 – 1991 AD) opgebouwd met eikenhout uit archeologische en bouwhistorische contexten uit de Maasvallei (Hoffsummer 1995).
- [3] Referentiekalender opgebouwd met archeologisch hout uit de vallei van de Moezel (W. Tegel, ongepubliceerde data, www.dendronet.de)
- [4] Referentiekalender (400 BC – 1975 AD) opgesteld met archeologisch en subfossiel eikenhout uit Centraal -en Zuid-Duitsland (Hollstein 1980).
- [5] Referentiekalender (808 AD - 1530 AD) voor middeleeuws eikenhout uit Vlaanderen (K. Haneca, ongepubliceerde referentiekalender).

TABEL 2: **Voorbeeld van de benadering van de veldatum voor elke gedateerde jaarringreeks. Bij de berekening van de veldatum wordt gebruik gemaakt van de einddatering en het voorkomen van spinthout of wankant.**
*** W = schors en/of wankant aanwezig**

LABEL JAARRINGREEKS	AANTAL RINGEN	SCHORS/ WANKANT*	SPINTHOUT-RINGEN	EINDDATERING	SCHATTING ONTBREKEND SPINT	VELDATUM
997-328	94		7	1294	min. 1 - max. 31	tussen 1295 en 1325
977-092	52	-	-	1279	min. 8	ná 1287 AD
977-099	85	-	11	1285	max. 27	tussen 1285 en 1312 AD
977-098	75	-	15	1285	max. 23	tussen 1285 en 1309
977-106	64	-	6	1277	min. 2 - max. 32	tussen 1279 en 1309
977-350	61	-	16	1284	max. 22	tussen 1276 en 1306
977-345	68	-	-	1239	min. 8	ná 1247 AD
977-100	53	-	-	1232	min. 8	ná 1240 AD
977-337	54	-	-	1211	min. 8	ná 1219 AD
NOV-14	100	w	19	1271	-	voorjaar 1273 AD
NOV-17	114	-	16	1269	max. 22	tussen 1269 en 1291
NOV-23	104	-	-	1253	min. 8	ná 1261 AD
NOV-16	116	-	13	1260	max. 25	tussen 1260 en 1285
NOV-13	61	-	1	1247	min. 7 - max. 37	tussen 1254 en 1284
NOV-20	127	w	18	1289	-	voorjaar 1290 AD
NOV-22	66	-	-	1257	min. 8	ná 1265 AD

8.3 DATAOPSLAG

Maak bij de overdracht van de stalen aan een specialist meteen duidelijke afspraken over de latere bewaring, terugname of opgave van de onderzochte stukken hout. Ook over het gebruik en archivering van de eigenlijke meetgegevens worden best concrete afspraken gemaakt. Worden deze in het rapport vermeld, bewaard bij de specialist of gearchiveerd in een databank?

Voor dit laatste zijn er momenteel 2 mogelijkheden:

- ITRDB: International Tree Ring Data Bank, https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring
    - Weinig historische jaarringreeksen.
    - Eerder focus op klimatologische studies en ecologische datasets.
- DCCD: Digitaal Collaboratorium voor Culturele Dendrochronologie, http://dendro.dans.knaw.nl/
    - Focus op jaarringreeksen van historische houtconstructies, archeologisch en subfossiel hout.
    - Laat toe om veel meta-data te archiveren.
    - Hoofdzakelijk Europese datasets.

HOOFDSTUK 9

KRUISBESTUIVING MET RADIOKOOLSTOF

Niet alle dendrochronologische analyses leveren een absolute datering op. In sommige gevallen laten de opgemeten groeiringpatronen zich niet inpassen in een referentiekalender of worden de stukken hout niet weerhouden omdat ze te weinig groeiringen hebben. Dan is een radiokoolstofdatering het beste alternatief.

Een ^{14}C-datering op archeologisch hout wordt in veel gevallen uitgevoerd op stukken jong hout. Dit is hout van jonge bomen, dunne takken of spinthout die door het beperkt aantal ringen op zich al niet geschikt zijn voor dendrochronologisch onderzoek. Aan de hand van het aantal groeiringen en/of hun oriëntatie kan worden nagegaan of het geselecteerde hout wel degelijk juveniel is.

Indien geen geschikte stukken hout beschikbaar zijn voor een dendrochronologisch onderzoek (verkeerde houtsoort, te weinig ringen, enkel takhout, ...), maar er toch een precieze datering gewenst is, kan ***wiggle-matching*** overwogen worden. Deze techniek levert een veel exactere uitkomst op dan een ^{14}C-datering van één staal. Op een stuk hout worden, aan de hand van het groeiringpatroon, verschillende bemonsteringspunten vastgelegd, met een gekend interval (= aantal jaarringen) tussen de verschillende punten (figuur 24). Op elk van deze punten wordt een radiokoolstofanalyse uitgevoerd en de resultaten hiervan in een mathematisch model gebracht. In principe speelt de houtsoort hier geen rol als er maar jaarringen kunnen onderscheiden worden.

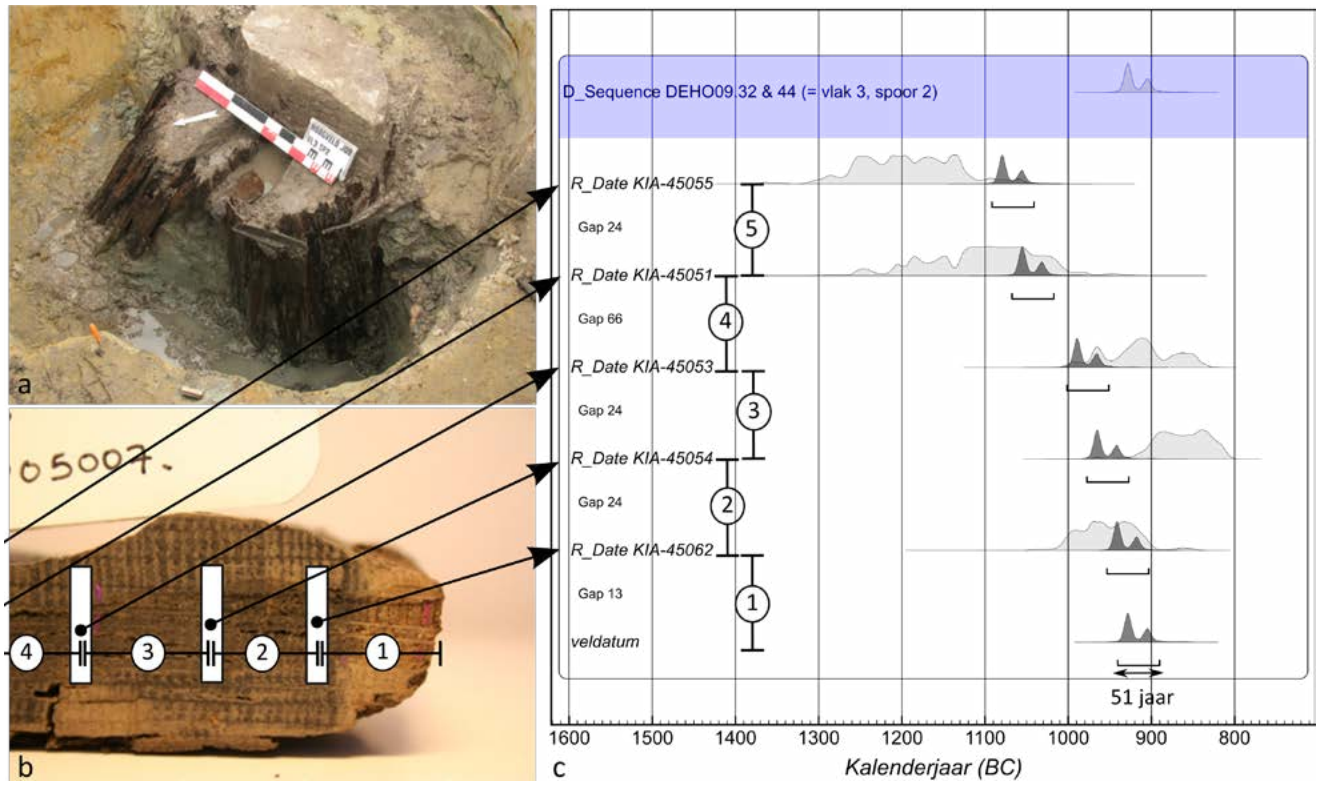


FIG 24 *Wiggle-matching* uitgevoerd op een plank van een waterputbekisting uit de late bronstijd (a). Vijf stalen waarop een radiokoolstofdatering werd uitgevoerd (b) worden in een wiskundig model aan elkaar verbonden door de tussenafstand, uitgedrukt in aantal jaarringen, in het model op te nemen (c). Het opgebouwde model laat toe om de veldatum van dit stuk hout (tussen 940 BC en 890 BC (95,4% betrouwbaarheidsinterval)) veel preciezer te bepalen dan op basis van een individuele radiokoolstofdatering mogelijk is.

Interactie tussen ^{14}C-analyses en dendrochronologische dateringen kunnen de interpretatie van bepaalde structuren of gebruiksfasen scherper stellen en verfijnen. Op de archeologische site Kluizenmolen (Sint-Gillis-Waas) werd in 2010 een waterput dendrochronologisch gedateerd met een veldatum tussen 52 en 61 AD. Uit diezelfde waterput werd ook een takje uit de organische basisvulling met de radiokoolstofmethode gedateerd. Dit leverde een datering op van 2001 ±31 BP (RICH-20248, KIK-8698), wat gekalibreerd een datering tussen 56 BC en 72 AD (93.8%) of 88 BC en 76 BC (1,6%) oplevert. Koppelen we dit terug met de dendrochronologische datering, en nemen we aan dat de organische opvulling zich pas is beginnen vormen na de opgave van de waterput, dan is deze maximaal 12 tot 20 jaar in gebruik geweest (figuur 25). De combinatie van beide dateringstechnieken liet hier toe om tot een meer diepgaande interpretatie te komen.

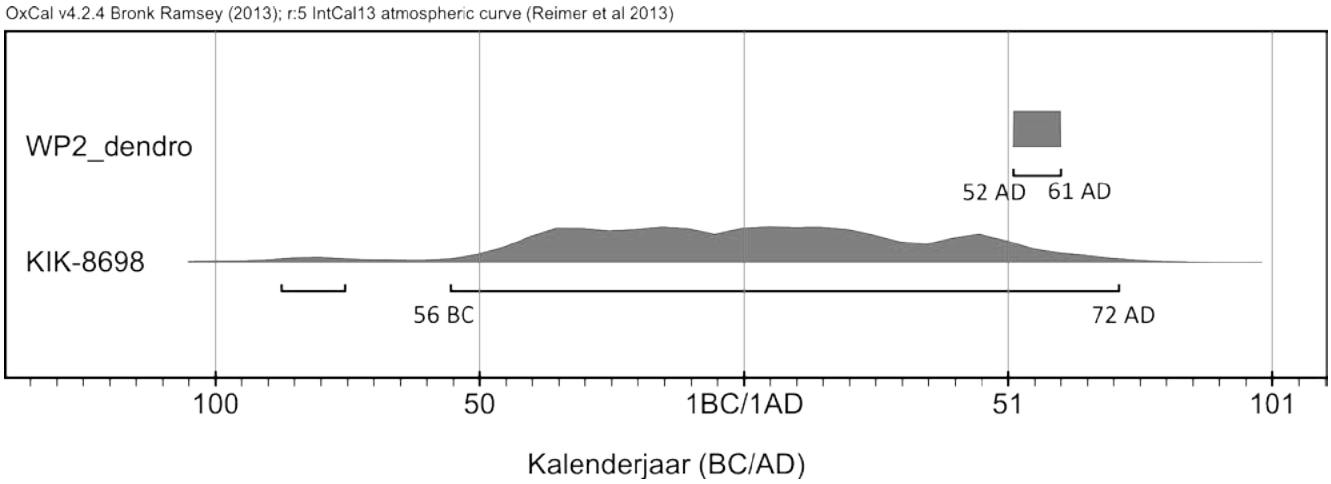


FIG 25 **De dendrochronologische datering van de Romeinse waterput WP2 van de site Kluizenmolen en de gekalibreerde radiokoolstofdatering van een takje uit de organische vulling van de waterput. Daaruit valt af te leiden dat deze waterput maximaal 12 tot 20 jaar in gebruik was, als we aannemen dat de organische opvulling pas startte na opgave van de waterput.**

BRONNEN

Carmiggelt A. & Schulten P.J.W.M. (red.) 2002: *Veldhandleiding Archeologie, Archeologie Leidraad 1*, Zoetermeer. [online: http://www.sikb.nl/doc/archeo/veldhandleiding_leidraad1.pdf]

Cook E.R. & Kairiukstis L.A. 1990: *Methods of dendrochronology*, Dordrecht, Boston, London.
Eckstein D., Baillie M.G.L. & Egger H. 1984: Dendrochronological dating. *Handbooks for Archaeologists, No. 2*, Strasbourg.

English Heritage 2004: *Dendrochronology. Guidelines on producing and interpreting dendrochronological dates*, London. [online: https://content.historicengland.org.uk/images-books/publications/dendrochronology-guidelines/dendrochronology.pdf]

Ervynck A., Debruyne S. & Ribbens R. 2015: *Assessment. Een handleiding voor de archeoloog*, Onroerend Erfgoed Handleidingen, Brussel [online: https://www.vlaanderen.be/nl/publicaties/detail/assessment].

Fraiture P. (red.) 2011: *Tree rings, art, archaeology: proceedings of an international conference, Brussels, Royal Institute for Cultural Heritage, 10-12 February 2010*, Scientia Artis 7, Brussels.

Haneca K. 2005: *Tree-ring analyses of European oak: implementation and relevance in (pre-)historical research in Flanders.* Doctoraatsverhandeling, Universiteit Gent. [online: https://biblio.ugent.be/publication/470536]

Haneca K. 2008: Dendrochronologie. In: *Onderzoeksbalans agentschap Onroerend Erfgoed*. [online: https://onderzoeksbalans.onroerenderfgoed.be/onderzoeksbalans/archeologie/dateringsonderzoek/dendrochronologie]

Haneca K., Dewilde M., Ervynck A., Boeren I., Beeckman H., Goetghebeur P. & Wyffels F. 2009: De "houten" eeuw van een Vlaamse stad. Archeologisch en dendrochronologisch onderzoek in Ieper (prov. W.-Vl.), *Relicta* 4, 99–134. [online: https://oar.onroerenderfgoed.be/publicaties/RELT/4/RELT004-004.pdf]

Haneca K. 2014: Groene veteranen. Levende getuigen van de eerste wereldbrand, *M&L. Monumenten, landschappen en archeologie* 33.6, 6–17.

Haneca K. 2015: Historisch bouwhout uit Vlaanderen: import uit noodzaak?, *Bulletin KNOB* 114.3, 158–169.

Haneca K., Cufar K. & Beeckman H. 2009: Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe, *Journal of Archaeological Science* 36.1, 1–11.

Hoffsummer P. 1995: *Les charpentes de toiture en Wallonie, typologie et dendrochronologie, (XIe-XIXe siècle)*, Etudes et Documents, Monuments et Sites 1, Namur.

Hollstein E. 1980: *Mitteleuropäische Eichenchronologie: Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte*, Trierer Grabungen und Forschungen 11, Mainz am Rhein.

Houbrechts D. 2000: Dendrochronologie en de handel in hout, *Berichten en Rapporten over het Antwerps Bodemonderzoek en Monumentenzorg* 4, 99–114.

Houbrechts D. & Eeckhout J. 2003: Dendrochronologie, *Erfgoedmemo* 3, Gent.

Jansma E. 1995: RememberRINGs. The development and application of local and regional tree-ring chronologies of oak for the purposes of archaeological and historical research in the Netherlands, *Nederlandse Archeologische Rapporten* 19, Amersfoort. [online: https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/45149]

Jansma E. 2006: Dendrochronologie. In: *Nationale Onderzoeksagenda voor de Archeologie (NOAA), version 1.0*. [online: https://archeologieinnederland.nl/sites/default/files/3%20DEF%20Jansma%20Dendrochronologie.pdf]

Jansma E., Van Lanen R.J., Brewer P.W. & Kramer R. 2012: The DCCD: A digital data infrastructure for tree-ring research, *Dendrochronologia* 30(4), 249–251.

Miles D. 1997: The interpretation, presentation and use of tree-ring dates, *Vernacular architecture* 28, 40–56.

Miles D. 2006: Refinements in the interpretation of tree-ring dates for oak building timbers in England and Wales, *Vernacular Architecture* 37, 84–96.

Schweingruber F.H. 1989: *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*, Dordrecht.

S. n. 2008: *Mindestanforderungen für dendrochronologische Untersuchungen in der historischen Bauforschung*, Arbeitsblatt der Vereinigung der Landesdenkmalpfleger, erarbeitet von der Arbeitsgruppe Historische Bauforschung im November 2008. [online: http://www.vdl-denkmalpflege.de/fileadmin/dateien/Arbeitsbl%C3%A4tter/Nr28.pdf]

Speer J.H. 2010: *Fundamentals of tree-ring research*, Tucson, Arizona.

Westphal T. & Heussner K.-U. 2016: *Kleiner Leitfaden für den Umgang mit Holz für dendrochronologische Altersbestimmungen Buch*, München.

BEGRIPPEN

Bast: dit weefsel wordt door het cambium naar de buitenzijde van de boom aangemaakt. Het staat in voor transport van voedingsstoffen en andere assimilaten, die door fotosynthese in de bladeren worden aangemaakt, naar de overige delen van een boom. Aan de buitenzijde van de bast vormt zich een cambium dat kurkweefsel aanmaakt (= de schors).

Boorkern: cilinder van hout die uit een balk, stam of houten object wordt gehaald met behulp van een holle boor. Om bruikbaar te zijn voor dendrochronologisch onderzoek moet de boorrichting loodrecht op de jaarringen georiënteerd zijn.

Cambium: zie vasculair cambium

Chronologie: tijdreeks met metingen van een bepaalde karakteristiek (breedte, densiteit, aandeel vroeghout, ...) van opeenvolgende jaarringen. De chronologie kan ook per kalenderjaar het gemiddelde (of andere afgeleide statistiek) weergeven van meerdere gesynchroniseerde (zie *cross-dating*) jaarringreeksen.

Correlatiecoëfficiënt: statistische maat die de samenhang/overeenkomst tussen twee variabelen uitdrukt. Een hoge correlatiecoëfficiënt geeft aan dat de waarden van de beide variabelen een zelfde (positieve correlatiecoëfficiënt) of een tegengesteld (negatieve correlatiecoëfficiënt) verband vertonen.

Cross-dating : bij dit basisprincipe van de dendrochronologie wordt er vanuit gegaan dat bomen die over een bepaalde tijdsperiode gelijkaardige groeiomstandigheden ondervinden (klimaat, bodem, hoogteligging, ...), ook een gelijkaardig groeiringpatroon zullen ontwikkelen. Daardoor kunnen jaarringreeksen van een specifieke boomsoort uit een bepaalde regio onderling, tot op het kalenderjaar precies, gesynchroniseerd worden, op basis van de unieke afwisseling van brede en smalle ringen.

Dendrochronologie of **jaarringonderzoek**: is de wetenschappelijke discipline waarbij de datering van groeiringen in hout centraal staat. De opeenvolgende groeiringen worden hierbij beschouwd als een kalender, waarbij men als het ware terug kan gaan in de tijd door de groeiringen van een boom één voor één te registreren.

Dendro-klimatologie: de studie van het klimaat in het verleden met behulp van gedateerde jaarringreeksen.

Dendro-provenancing : bepaling van het oorspronggebied van hout aan de hand van het jaarringpatroon.

Floëem: bastweefsel. Dit weefsel staat in voor het transport van voedingsstoffen en andere assimilaten, die door fotosynthese in de bladeren worden aangemaakt, naar andere delen van de boom. Nieuw floëemweefsel ontstaat door celdeling en -differentiatie vanuit het vasculair cambium.

Houtanatomie: de studie en gedetailleerde beschrijving van de anatomische opbouw van hout.

Houtstraal: weefsel in het hout dat straalsgewijs is georiënteerd. De houtstralen zorgen voor het horizontale (radiale) transport van water en voedingsstoffen en de opslag van reservestoffen.

Houtvaten: reeks van korte, boven elkaar gelegen cellen waarvan de onderlinge tussenschotten verdwenen zijn. Daardoor vormen ze samen een doorlopend, buisvormig netwerk. Op een dwarse doorsnede zijn deze vaten te herkennen als ronde of ovale poriën.

Jaarring: de houtaanwas, gezien op het transversaal vlak, van één groeiperiode. Wanneer de groeiring een jaarlijkse aanwas is, wordt hij jaarring genoemd, bestaande uit vroeghout (of lentehout) en laathout (of zomerhout).

Kernhout: dood houtweefsel waarin geen actief transport van water en voedingsstoffen meer kan plaatsvinden. Het bevindt zich in het centrale gedeelte van de stam en grenst aan het spinthout.

Laathout: deel van de groeiring dat later op het groeiseizoen wordt gevormd en zich dikwijls onderscheidt van het vroeghout door een dichtere opbouw.

Merg: het (parenchymatisch) weefsel in het centrum van de stam of wortel.

Ringporig hout: loofhout waarbij opvallend grotere vaten zijn gevormd aan het begin van het groeiseizoen (in het vroeghout) gevolgd door een zone, binnen dezelfde jaarring, met duidelijk kleinere vaten (het laathout).

Schors: het weefsel dat zich aan de buitenzijde van stam en wortels bevindt. Het bestaat grotendeels uit dode cellen (kurkweefsel) dat wordt aangemaakt vanuit een cambium, op de overgang tussen schors en bast.

Spinthout: levend of fysiologisch actief deel van het hout. Het spinthout is het levende houtweefsel dat de sapstroom verzorgt in de stam en dient als opslagplaats voor voedingsstoffen. Het heeft exact dezelfde structuur als het kernhout, maar bij het spinthout zijn de transportkanalen (vaten) nog grotendeels vrij. Het bevindt zich tussen het kernhout en de bast van de boom Het spinthout is bij eik, net zoals bij veel andere houtsoorten, gekenmerkt door een lichtere kleur dan het kernhout.

Subfossiel: eeuwenoude, niet volledig gefossiliseerde resten van dieren of planten. In tegenstelling tot fossiel materiaal, waar de oorspronkelijke organische weefsels volledig vervangen zijn door een minerale matrix, is bij subfossiele resten het oorspronkelijke organische materiaal nog (gedeeltelijk) bewaard.

Synchroniseren: zie *cross-dating*.

Terminus post quem : vroegst mogelijke tijdstip (ondergrens) waarop een gebeurtenis kan hebben plaatsgevonden.

Terminus ante quem : laatst mogelijke tijdstip (bovengrens) waarop een gebeurtenis kan hebben plaatsgevonden.

Vasculair cambium: weefsellaag aan de buitenzijde van de stam of takken van struiken en bomen, waar nieuwe cellen worden aangemaakt. Dit (deel)weefstel zorgt voor de aanmaak van nieuw hout (xyleem) en bast (floëem).

Verspreidporig hout: loofhout met een uniforme verdeling van de vaten over de groeiring.

Vroeghout: het deel van de groeiring dat bij de aanvang van het groeiseizoen wordt gevormd. Het is bij veel houtsoorten te herkennen aan een meer poreuze en lichtere opbouw dan het later op het groeiseizoen gevormde laathout.

Wankant: de overgang tussen hout en bast. Dit komt overeen met de zone waar het cambium te vinden is. Naar de binnenzijde toe grenst het aan de meest recent gevormde groeiring.

Wiggle-matching : combinatie van meerdere radiokoolstofdateringen met een onderling gekende tussenafstand of schikking in de tijd om zo de precisie van de gekalibreerde radiokoolstofdateringen te verhogen. Indien *wiggle-matching* wordt toegepast op één of meerdere stukken hout, kan de chronologische afstand tussen twee bemonsteringspunten exact bepaald worden door het aantal tussenliggende jaarringen te tellen.

Xyleem: houtweefsel. Dit weefsel staat in voor het transport van water, en daarin opgeloste stoffen, van de wortels naar de bladeren toe. Nieuw xyleemweefsel ontstaat door celdeling en -differentiatie vanuit het vasculair cambium.