



Figuur 1: Opstelling van een meting van een geluidstomogram.

# Boomtografie:

Dit artikel geeft een uitleg over de werking van boomtomografie zoals die heden ten dage wordt gebruikt: de Picus en zijn concurrenten. Het is geschreven naar aanleiding van alle commotie rond de Anne Frankboom en als aanvulling op de heldere lezing die Frank Rinn gaf op een themadag in 2008, en waarover al eerder verslag werd gedaan in Bomen 8 uit 2009.

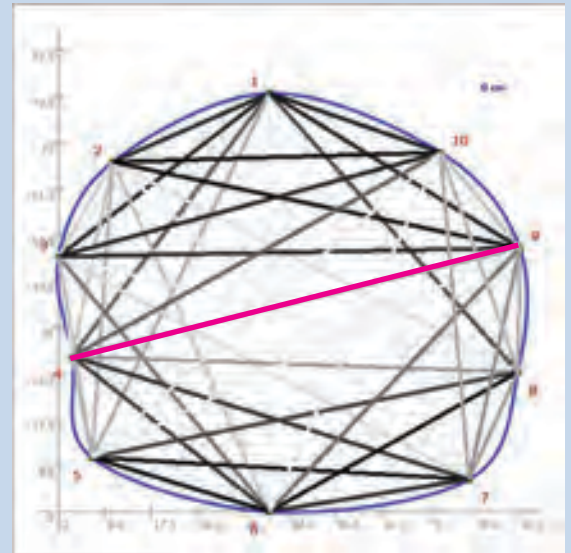
## Spijkers slaan

Geluidstomografie gaat uit van het principe dat de geluidssnelheid in hout iets zegt over de kwaliteit van het hout. Als het hout rot is, gaat het geluid langzamer. En als er een holte in een boom is moet het geluid eromheen reizen, zodat het langer onderweg is. Dat principe werd al gebruikt bij de impulshamer, waar de vertraging tussen de hamertik en het aankomen van het geluid aan de andere kant van de boom wordt gemeten. Door dit principe uit te breiden naar meerdere meetpunten, is het mogelijk om een beeld van de binnenkant van een boom te verkrijgen (figuur 1).

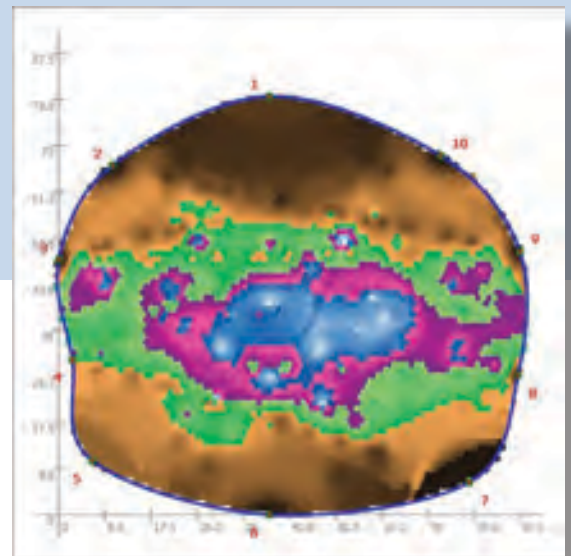
Stel, er worden 10 meetpunten gebruikt. Bij het slaan op meetpunt 1 (een spijker in een boom) wordt op 9 sensoren (op de spijkers 2 t/m 10) gemeten hoe lang het duurt voor het geluid aangekomen is. Vervolgens wordt op spijker 2 geslagen en meten de sensoren 1 en 3 t/m 10. Uiteindelijk krijg je een matrix met daarin de geluidsvertra-

Tabel 1: Gemeten geluidssnelheden met 10 sensoren bij een eik met een diameter van 83 cm. De snelheid 1113 komt overeen met de rode lijn in figuur 2.

Punt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	908	1003	1040	917	745	792	1018	1041	952
2	1371	0	818	1036	983	837	883	924	1436	1587
3	1344	848	0	866	980	1206	874	907	1143	1479
4	1307	1045	895	0	963	1400	1512	1293	1113	1349
5	926	855	772	605	0	993	1276	1014	769	794
6	749	844	1012	1034	1000	0	996	1020	987	827
7	801	804	860	1233	1300	1007	0	630	839	915
8	1242	959	930	1096	1259	1346	978	0	936	1053
9	1352	1456	1361	1070	873	1193	1085	939	0	987
10	1007	1270	1262	1145	813	776	936	847	685	0



Figuur 2



Figuur 3 Tomogram van de eik uit tabel 1 en figuur 2.

# de principes

ging in milliseconden tussen alle spijkers. Deze matrix wordt omgerekend naar snelheden door de kortste afstand tussen de spijkers in meters te delen door de vertragingstijd: dit geeft m/seconde. De afstanden worden gehaald uit de gemeten contouren van de boom. Zijn die niet nauwkeurig genoeg gemeten, dan treedt de eerste fout op. (Zie figuur 7 en 8.)

De berekende snelheden kunnen worden uitgezet in een matrix (tabel 1).

## Combinatie van lijnen

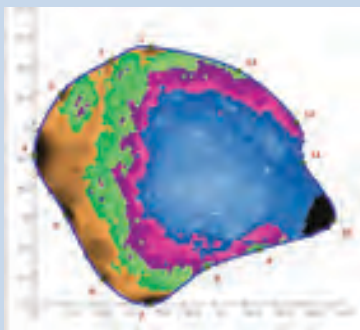
Deze snelheden kunnen ook worden uitgezet als lijnen (figuur 2). Zwarte lijnen geven hoge snelheden weer, lichte lijnen lage snelheden. Een zwarte lijn impliceert daarom een goede houtkwaliteit, zodat de lijnenfiguur al veel informatie over de boom geeft.

In de tomografie komt men tot een plaatje door de gemeten snelheden van alle lijnen te combineren. Daartoe zoekt de computer een plaatje

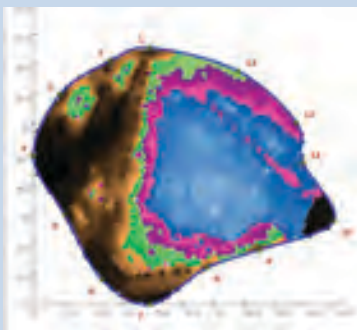
dat consistent is met de gemeten snelheden. Met andere woorden, uit de combinatie van alle lijnen wordt een plaatje berekend. Er zijn echter maar 90 kruispunten van lijnen waar op grond van de gemeten waarden iets over de houtkwaliteit gezegd kan worden. Via ingewikkelde computerprogramma's worden de tussenliggende waarden rekenkundig benaderd (geïnterpoleerd). Vervolgens wordt er een verdeling gemaakt in groepen snelheden, waarbij een hoge snelheid als goed geldt, en een lage snelheid als rot. Ieder punt krijgt nu een kleur en daar is het plaatje dat we kennen (figuur 3).

De vraag is: heb je nu een plaatje van het inwendige van de boom? In een groot aantal gevallen blijkt het plaatje aardig te kloppen met de werkelijkheid. Alleen: iedereen kent gevallen waarin puntgave bomen of bomen met alleen scheuren ten onrechte zijn geroid op basis van een geluidstomogram. Hoe kan dat?

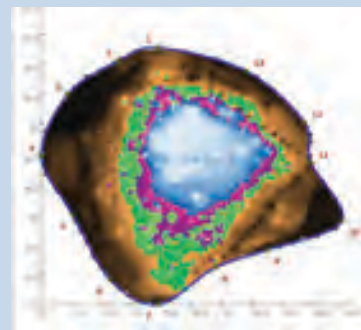




Figuur 5



Figuur 6



Figuur 7

Ten eerste is er de resolutie. Alleen op de lijnen heb je daadwerkelijk gemeten waarden. De afstand tussen de twee centrale lijnen door het centrum van een boom met een doorsnede van 83 cm is 23 cm: daartussen is geen informatie beschikbaar! Alle andere punten op het beeld zijn benaderd, en het is dat wat Frank Rinn op de themadag in 2008 'voodoo' noemde. Ten tweede is er het feit, dat de geluidssnelheid door bomen niet alleen per soort, maar ook tussen bomen van dezelfde soort behoorlijk kan verschillen (bijvoorbeeld tussen 1300 en 700 m/s). We hebben het hier over gezond hout. De verschillen zijn zelfs meetbaar tussen twee metingen bij dezelfde boom op dezelfde plek op verschillende tijdstippen. In ieder geval bij de *Picus* houdt het programma hiermee rekening door de waarden relatief te nemen: de hoogst gemeten waarde wordt gebruikt als referentiewaarde: is goed hout.

### Een miljoen lijnen

Maar hoe doen ze dat dan in de medische wereld? Waar je bij de boomtomografie uitgaat van het principe dat waar de lichte lijnen samenkomen, rot zit, gaat men er bij de CT-scan van uit dat waar de straling het meest wordt tegengehouden, bot zit. Een CT-scan bestaat namelijk uit röntgenfoto's. Maar bij een gangbare moderne CT-scanner wordt een plak opgebouwd uit een miljoen lijnen. Dat is wel iets meer dan 90! De resolutie wordt daardoor een stuk hoger; bij een scandoorsnede (lees: lichaam) van 50 cm wordt een resolutie van 0,05 cm of beter gehaald.

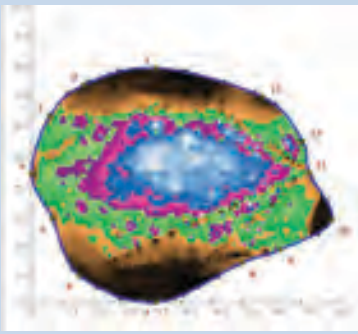
Bij een boomtomogram kan de resolutie verbeterd worden door meer sensoren te gebruiken. Vanwege geluidsinterferentie wordt aangeraden om de minimumafstand tussen twee sensoren op 15 cm te houden; bij een omtrek van 250 cm (83 cm doorsnede) betekent dat maximaal 17 sensoren. Dit geeft bijna een verdubbeling van de resolutie. Maar tegelijk is het veel duurder wegens de extra hoeveelheid werk die het kost.

Verder gaan de berekenwijzen er vanuit dat er geen scheuren of holtes in de boom zitten die de geluidsgolven tegenhouden. Maar juist bij oudere bomen, waar we de plaatjes graag van willen hebben, is dat vaak wel het geval. En helaas kan de methode geen onderscheid maken tussen holtes (die gevaar kunnen opleveren) en scheuren (die met name bij oudere eiken doodnormaal zijn). Geluid gaat veel langzamer door lucht dan door hout (daarom klinkt de boormachine van de burens in beton ook zo goed door, terwijl je buiten bijna niets hoort) en het geluid via het hout komt dan ook het eerste bij de sensor – maar dan wel om de scheur heen, dus met een flinke vertraging. Omdat aan de buitenkant niet te zien is of er een holte is of een scheur, wordt op het plaatje een holte weergegeven – terwijl de boom misschien kerngezond is. Met stervormige scheuren of ringscheuren is dat probleem nog groter.

### Truc met de hamer

Nu zijn daar wel enige trucs op te bedenken. De eerste is de truc met de hamer. Als er werkelijk een heel grote holte zou zijn, geeft kloppen met de hamer een holle klank. Ook bij een vergevorderde witrot is een holle klank te horen. Geeft het plaatje dus een grote holte of vergevorderde rot aan en is bekend dat de bomen te lijden hebben onder aantasting van de honingzwam, dan moet je dat kunnen horen met kloppen. Als het niet 'klopt', dan klopt het niet. Bij twijfel kan een resistograafmeting gedaan worden: een goede resistograafmeting op de plek waar een holte wordt verwacht op basis van het tomo-gram, betekent dat er sprake is van een scheur en niet van een holte.

Een tweede valkuil is de hoeveelheid water in het hout. Nat hout geeft geluid veel trager door dan droog hout. Van bijvoorbeeld eiken is bekend dat aan het eind van de zomer het binnenste hout erg vochtig wordt, terwijl het buitenste hout droog blijft. Ook dit wordt door het systeem niet goed herkend. Ook bomen die



Figuur 8

Serie van 4 foto's van tomogrammen van dezelfde boom, die de variabiliteit aantonen van geluidstomogrammen. Zo'n zelfde serie kan gemaakt worden voor ieder nu beschikbaar apparaat.

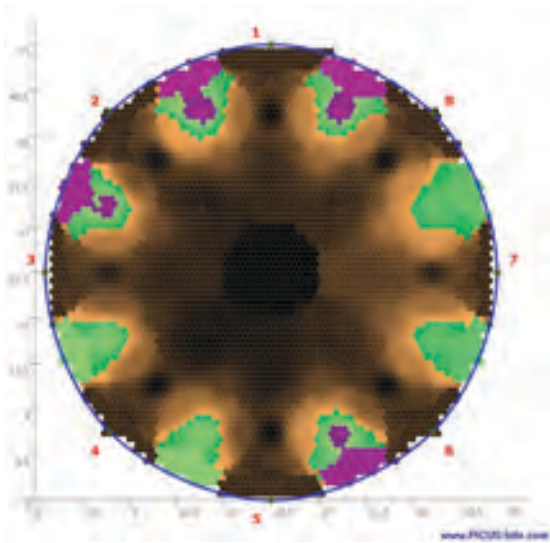
Figuur 5: Tomogram (Picus, methode B) van een eik (doorsnede 1 meter) in 2008. De boom klinkt hol bij punt 10.

Figuur 6: Zelfde tomogram, andere rekenwijze (Picusmethode 2007, ofwel C).

Figuur 7: Zelfde boom, een jaar later gemeten (Picus, methode B). De boom is beter geworden!?

Figuur 8: Tomogram van figuur 7, maar nu met fout gemeten omtrek (geluidssnelheden gelijk).

bacterievloed in hun hout hebben zijn deels nat van binnen en worden door het tomogram vaak als 'rot' bestempeld, terwijl van bacterievloed bekend is dat dit juist beschermend kan werken tegen schimmelinvasie. (figuur 4)



Figuur 4 Voorbeeld van een 'tandwiel'plaatje door nat spint-hout in een gezonde boom (met dank aan Frits Gielissen).

Als dit speelt, dan is er een probleem. De resistograaf kan het verschil dan namelijk ook niet weergeven. Net als bij zijn bodembroertje, de penetrograaf, in de bodem, glijdt hij makkelijker door het hout heen als het natter is. Als het er werkelijk om gaat dat je feitelijk een boom zou moeten afkeuren en je bomeninstinct zegt dat er iets niet klopt, dan zit er niets anders op dan het nemen van een boorkern.

### Nieuwsgierige voorbijgangers

Dit allemaal wetend, zou het dan niet beter zijn om ook een CT-scan voor bomen te ontwikkelen? CT-scanapparatuur voor bomen is al langere tijd beschikbaar en goed te gebruiken in het bos, waar geen mensen in de buurt wonen. De stralingsactiviteit die nodig is om een CT-scan te maken van een boom van maximaal 72 cm is 350 mCurie [Ridder 2994]. Als je daar

op ca. 1 meter afstand van één uur in de bundel staat, ontvang je evenveel straling als een jaar aan natuurlijke achtergrondstraling. Voor bomen tussen de 72 en 100 cm doorsnede is 5 Curie straling nodig, wat 15 keer zo veel is. Buiten de bundel is het fors minder, maar de arbodienst is hier vast niet gelukkig mee, om van nieuwsgierige voorbijgangers maar te zwijgen. Niet helemaal geschikt voor toepassing in de bebouwde kom, dus. Bovendien duurt het maken van een tomogram ook daar een half uur tot een uur, en moet eveneens rekening worden gehouden met het watergehalte van de boom.

Kortom, boomtomografie is – zoals het nu is – een gigantische verbetering ten opzichte van vroeger, maar het is bepaald nog niet het ei van Columbus. Er moet zeer precies worden gemeten en de interpretatie moet worden uitgevoerd door mensen die niet alleen het apparaat goed kennen, maar ook veel weten van boombiologie.

### Literatuur

Ridder, H.W. (1994): Das Verfahren der Computer-Tomographie, mobile Geräte zur Baum-Tomographie und neue PC-Software zur Darstellung der Tomogramme. In: Habermehl (ed): Die Computer-Tomographie als diagnostische Methode bei der Untersuchung von Bäumen, pp 6-18. Phillips-Universität Marburg/Lahn.

### Picusmeting anno 2010

Door extra spijkers tussen de sensoren te gebruiken kun je de resolutie vergroten. Bij 20 spijkers en 10 sensoren krijg je 190 meetpunten in plaats van 90. Bij de nieuwste generatie Picus is het mogelijk om met 10 sensoren een nog hogere resolutie te krijgen. Daartoe plaats je 20 spijkers in de boom en meet je in twee meetronden alle spijkers door. In de tweede meetronde worden de sensoren een plaats opgeschoven. Het programma houdt hier rekening mee. Je krijgt hierdoor 380 meetpunten in plaats van 190.

Met dank aan Frits Gielissen.