

BOMEN HEBBEN HUN HOOGTE-BOVENGRENS

Bomen groeien niet tot in de hemel en ze zijn de hoogste levende organismen op aarde. Maar waar ligt de hoogte-boven grens van bomen en waardoor wordt die bepaald? Tot voor kort was hierover weinig bekend. Bioloog George W. Koch van de Northern Arizona University van Flagstaff en zijn driekoppig biologenteam publiceerden de resultaten van hun metingen aan de toppen van de hoogste bomen ter wereld, de sequoia's, in het tijdschrift 'Nature'. Uit deze metingen blijkt dat deze bomen nooit hoger dan ongeveer 130 m kunnen worden. De hoge bomen leveren als het ware een gevecht met de zwaartekracht, waarbij op een gegeven ogenblik op grote hoogte de opwaartse sapstroom bezwijkt onder het eigen gewicht, waardoor er geen fotosynthese meer mogelijk is.

De indrukwekkende sequoia's.

In het Amerikaanse 'Redwood Empire' dat gelegen is in de nevelige kuststrook van Noord-Californië, bevindt zich naast de 'Avenue of the Giants' o.a. het Humboldt Redwoods State Park. In dit park staan 89 van de 116 hoogste bomen op aarde (hoger dan 107 m), inclusief de hoogste boom op aarde. Langs de Amerikaanse westkust in Noord-Californië groeien de hoogste bomen ter wereld, de Coast Redwoods, de sequoia's (*Sequoia sempervirens*). Deze bomen zijn vaak meer dan 2000 jaar oud en hebben aan de voet een stamdiameter van meer dan 5 m.

Lang geleden, nog voor de ijstijden, moeten sequoia's veel meer verspreid over de aardbol zijn voortgekomen. Fossiele resten werden in Cornwall (Engeland) en Griekenland gevonden.

Van de redwoodbossen, die ooit langs de kust van Californië en Oregon stonden is nu nog slechts vier of vijf procent over. De rest is gekapt door de houtindustrie, die de grootste exemplaren uitzochten op de gemakkelijkst bereikbare plaatsen. Er zijn meldingen van bomen met een lengte van 135 tot 140 m. Maar dat is niet meer hard te maken, omdat bij het kappen vaak de top uit de boom brak en men niet de moeite nam de stukken op te meten. Er is wel een betrouwbare meting van een Douglas spar (*Pseudotsuga menziesii*) van 126 m. Dat is ook al bijna 15 m langer dan de huidige langste boom.

Eerdere metingen aan het watertransport van deze reuzen maakten al duidelijk dat een sequoia van 'slechts' 45 m hoog al 600 liter water per dag gebruikt en dat getal is nog veel groter bij hogere en dikkere bomen. Het water dat de sequoia's via hun wortels opzuigen doet er soms wel 24 dagen over om de top te bereiken. Deze hoge bomen hebben dus een waterreservoir in de vorm van het water-transporterende spint - de buitenste houtlaag van slechts 4-5 cm dik, dat ligt tussen kern en bast. In een 60 m hoge Douglas spar voorziet dit opgeslagen water 18% van het voor de fotosynthese benodigde water, bijna het dubbele van een 15 m hoge boom. Het kern beslaat wellicht slechts 2 - 3% van de hele staminhoud. Bij de hoogste bomen betekent dit een substantieel watervoorraad reservoir.

Aan het eind van de zomer valt er gedurende een paar maanden vrijwel geen regen, maar dan komt er wel vaak mist opzetten vanuit de oceaan en dat zorgt voor aanvullend vocht. De bomen filteren als het ware de waterdamp letterlijk uit de atmosfeer. De mist condenseert op de bladeren en de stam en, druppelt vervolgens op de grond. Zonder mist zouden deze bossen niet kunnen bestaan.

Metten aan de 'Stratosphere Giant'.

In het Humboldt Redwoods State Park bestudeerden Koch en zijn biologenteam tientallen sequoia's, inclu-



De 'Stratospheric Giant' in Humboldt Redwoods State Park, *Sequoia sempervirens* van 112,7 m hoog

sief deze hoogste boom op aarde, de 'Stratosphere Giant'. Deze sequoia is 112,7 m hoog, net even groter dan de Utrechtse Domtoren, een gebouw van 40 verdiepingen of 16 m langer dan een voetbalveld.

Met professioneel klimgereedschap klommen de biologen ook in de toppen van de 5 hoogste sequoia's van 110 m hoog en namen 'onderweg' naar boven en in de toppen met hun draagbare apparatuur monsters van de waterdruk in de houtvaten. Voor zonsopgang was de druk vrijwel gelijk als die op grond van de zwaartekracht was berekend. Op dat ogenblik was er geen verdamping van de bladeren.

Bij elke meter hoger neemt de onderdruk toe.

Met elke meter hoger in de boom nam de onderdruk van de sapstroom (t.o.v. het drukkiveau op de grond) toe, tot een verschil van -1,4 megapascal (-14 atmosfeer) aan de top. In de middag, als de zon op volle sterkte scheen en de bomen flink water verdampten, nam de onderdruk in de sapstroom nog verder af. Aan de top was de waarde gedaald tot -1,9 megapascal, tot net iets boven de grens waarbij cavitatie optreedt. Bij dat effect 'breekt' als het ware bij planten de waterkolom in de vaten. Door luchtbellens raakt de sapstroom geblokkeerd en blijven de hoger gelegen delen versto-

ken van water en mineralen. De hoogste takken lopen het grootste risico, omdat het drukverschil nabij de top het grootst is. Sequoia's hebben veel dode takken in de top, mogelijk veroorzaakt door deze cavitatie. Hoewel ook infecties en blikseminslag dat kunnen veroorzaken en mogelijk dat ook droogte een rol speelt.

Watertoevoer in de top is de 'bottleneck'.

Metingen aan de toppen van de hoogste bomen ter wereld maken duidelijk waarom bomen niet hoger kunnen groeien dan 130 m. De watertoevoer op die hoogte blijkt namelijk de 'bottleneck'. De meetresultaten bevestigen de gangbare theorie voor watertransport in planten. Volgens die theorie is de zuigkracht die ontstaat door de verdamping van water aan het bladoppervlak de belangrijkste *motor* achter de sapstroom. Door de verdamping ontstaat een onderdruk in de spits toelopende naalden (ongeveer als bij de taxus), waardoor het water uit de houtvaten wordt opgezogen. Bijgestaan door de capillaire werking van de houtvaten en de aantrekkingskracht ten tussen de watermoleculen onderling, levert dit voldoende kracht om water en mineralen vanuit de wortels tot in de hoogste bladeren te transporteren, tegen de zwaartekracht in. Dat is veel hoger dan de waterkolom van zo'n 10 m uit de klassieke natuurkunde (of de 76 cm kwik in de buis van Torricelli).

Hoge C₁₃ concentraties in de boomtoppen.

De biologen maakten bij hun metingen gebruik van het feit dat de enzymen van de fotosynthese bij watergebrek minder kieskeurig worden in het soort koolstofatoom dat zij gebruiken. Het CO₂ uit de lucht bevat behalve C₁₂ koolstofisotopen, ook een kleine fractie C₁₃ koolstofisotopen. Normaal gesproken heeft C₁₂ de voorkeur, maar bij waterstress komt ook C₁₃ in beeld. Dat is een direct gevolg van de sluiting van de huidmondjes in het bladoppervlak bij droogte. Daardoor daalt de concentratie CO₂ in de holle ruimtes in het blad vrij snel en leggen de bladgroenkorrels uit nood meer C₁₃ vast.

De hoogste C₁₃ concentraties werd altijd nabij de boomtoppen aangetroffen. In de hoogste boomtoppen, boven de 110 m, werden waarden gemeten, die heel dicht liggen bij de meest extreme waarde die ooit gemeten is bij (woestijn)planten. Hoe hoger in de boom, hoe hoger ook het aandeel C₁₃ in de vastgelegde koolstof, een bewijs dat de waterstress toeneemt met de hoogte.

Hoe hoger de boom, hoe kleiner de bladeren.

De veervormige bladerenlaag in de boom zijn groot en volledig ontwikkeld. Maar hoe hoger in de boom, hoe kleiner de bladeren worden, totdat zij in de kroon zijn verworden tot miezerige dikke schubben, die zeer dicht tegen elkaar aan groeien. Dit effect werd vaak aan de lichtintensiteit toegeschreven, maar volgens Koch blijkt nu de watertoevoer de bepalende factor

voor deze verschillen in 'blad'vorm.


Bladeren hebben sapdruk nodig om zich goed te kunnen ontvouwen. Hiervoor vond het team nog andere duidelijke aanwijzingen. Boven in de sequoia's vindt men een hoop epifyten, zaailingen van andere planten, die kiemen zonder contact met de aarde. Er groeien vele soorten coniferen, varens, mossen, bosbessen, enz.. Hoewel deze planten op grote hoogte leven, worden ze even groot als op de grond. Tussen de takken van de sequoia's blijven soms allerlei bladeren en takjes hangen die in de boom een dikke mat van organisch materiaal vormen van soms wel van een meter dik. Dit geheel werkt als een spons, waardoor de watertoevoer altijd voldoende blijft. Soms wortelden de epifyten ook direct in de stam van de sequoia, als daarin bijvoorbeeld door brandschade dood hout was ontstaan.

Toevallig troffen de biologen ook een jong sequoia-boompje van twee meter lengte aan, dat was gekiemd nabij de top van een 95 m hoge sequoia. De naalden van het jonge boompje bleken op die hoogte veel beter ontwikkeld dan die van zijn gastheer. Het verschil kan puur verklaard worden uit de afstand die het water vanuit de wortels moet afleggen, 95 m vergeleken met 2 m.

Ook plantten de biologen een afgebroken tak uit de top van een sequoia op de begane grond in de aarde. De tak met dicht opeen gepakte miniblaadjes kreeg prompt uitlopers met grote naalden. Extreem hoge bomen kunnen groeien op plaatsen waar water en mineralen ruimschoots voorhanden zijn en waar de bomen beschut zijn tegen harde wind of onweer. Op die plaatsen mondt de competitie om zonlicht tussen de bomen uit in reuzengroei. Voldoende vocht is daarbij cruciaal, maar dankzij de nabijheid van de Stille Oceaan is dat in de bossen aan de Amerikaanse westkust geen probleem.

Hoger dan een 130 meter plafond gaat het niet.

Het watertekort leidt tot sluiting van de huidmondjes in de te hoog gelegen naalden, waardoor de fotosynthese stil komt te liggen en verdere groei onmogelijk wordt.

Volgens Koch is het hoogste punt in de 'Stratosphere Giant' nog niet bereikt. Als men de grafieken voor de vier fysiologische elementen, - waterstress, - efficiëntie van de fotosynthese, - CO₂ voorziening van het blad en - bladdichtheid extrapoleert, komt men uit op een fysiologisch bepaalde maximumhoogte van 122 tot 130 m. De hoogste sequoia's groeien nu nog steeds 25 cm per jaar, dus het kan zeker nog hoger. Maar op een gegeven moment is het plafond bereikt. Koch twijfelt er niet aan dat zulke 'bovengrensbomen' 200 jaar geleden nog overeind stonden. 

Bron: 'Nature' van 22 april 2004 en 'Boomgrens' uit NRC Handelsblad van 24/25 april 2004

Kleve, 2004
Tjerk Miedema
miedematj@AOL.com