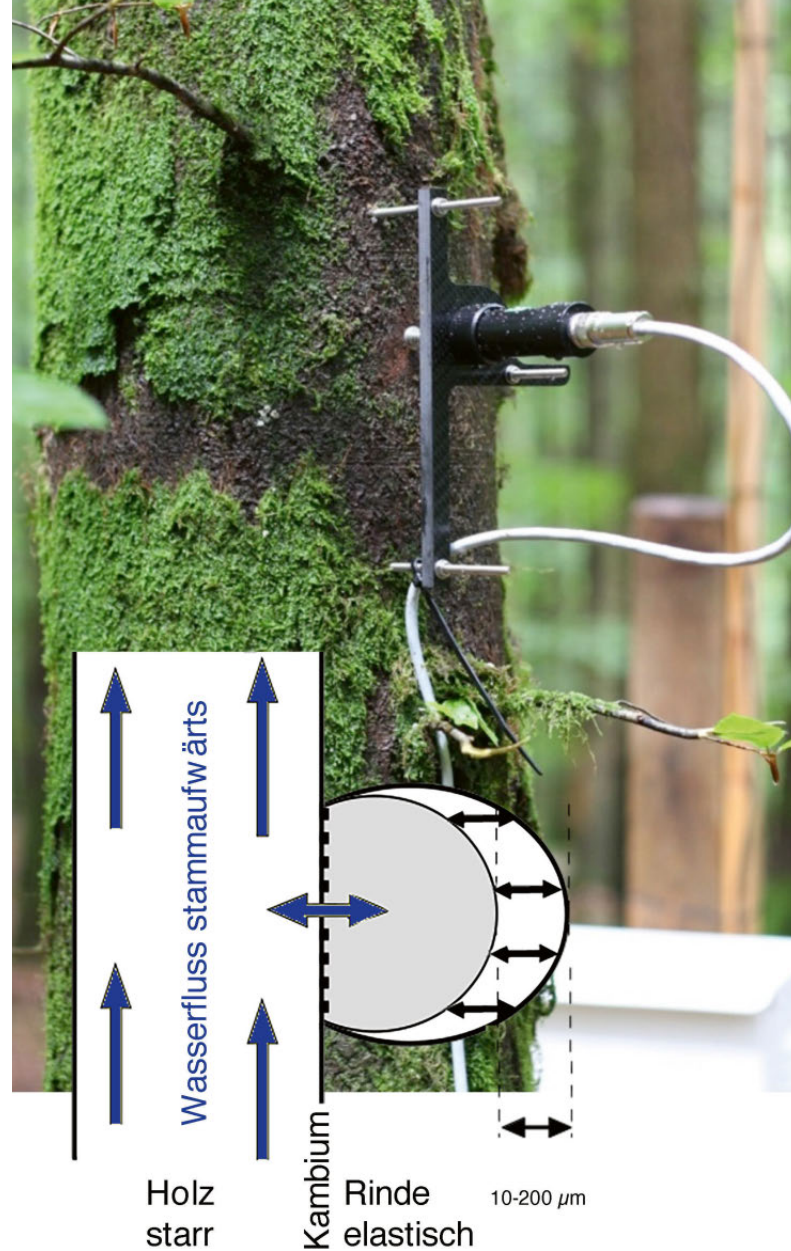


# TreeNet – am Puls der Bäume

R. Zweifel, S. Etzold, S. Braun, R. Köchli,  
G. Hoch, W. Eugster, L. Walthert\* | Im  
Forschungs-Netzwerk TreeNet werden seit  
rund zehn Jahren Wachstum und Wasser-  
haushalt von Bäumen mit Punktdendrome-  
tern erforscht. Alle zehn Minuten werden  
schweizweit an gut 300 Bäumen automatisch  
Stammradien in Mikrometergenauigkeit  
gemessen. TreeNet befindet sich wortwört-  
lich am Puls der Bäume.

Am Anfang von TreeNet stand die wissenschaftliche Idee, nicht nur rückblickend, sondern auch in Echtzeit verfolgen zu können, wie es unseren Waldbäumen geht. Das heisst zu erforschen, wie die Bäume auf sich ändernde Umweltbedingungen bezüglich Wachstum und Wasserhaushalt reagieren. Die Idee wurde 2009 von der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL und der ETH Zürich initiiert und ab 2011 vom Bundesamt für Umwelt BAFU (Abteilung Wald) mitfinanziert und realisiert. Einzelne Standorte, z.B. der Seehornwald in Davos, weisen Datenreihen auf, die seit mehr als 20 Jahren ununterbrochen weitergeführt werden und damit belegen, wie sich das Baumwachstum über die Jahre verändert.

Heute sind neben der WSL und der ETH Zürich zwei weitere Schweizer Institute an TreeNet beteiligt: das Institut für angewandte Pflanzenbiologie IAP und seit Kurzem die Universität Basel. An über 30 Waldstandorten in der Schweiz (siehe Karte, Seite 32) werden Bäume von zehn verschiedenen Arten gemessen. Die



Das Messgerät wird über drei Gewindestangen im Kernholz verankert. Eine Feder drückt den beweglichen Stift sachte auf die Stammoberfläche. Die Bewegungen des Stammradius werden so auf den Sensor übertragen und in Mikrometerauflösung elektronisch aufgezeichnet. Die täglichen Stammradiusänderungen entstehen hauptsächlich im elastischen Gewebe der Rinde und sind je nach Wetterbedingungen und Baumart zwischen 10 und 200 µm gross. Rinde und Holz sind via das Kambium (dort entstehen die neuen Zellen) miteinander verbunden. Das Wasser wird zwischen den Geweben ausgetauscht und durch die Verdunstung der Blätter im Holz baumaufwärts gesogen.

Bildcredit: Roman Zweifel, WSL

TreeNet-Standorte wurden nicht zufällig ausgewählt, sondern so selektiert, dass sie möglichst breit die landesweiten Gradienten der Temperatur, der Wasserversorgung und der atmosphärischen Stickstoffdeposition abdecken. Zudem wurden alle TreeNet-Standorte auf schon bestehende Waldforschungsstandorte gelegt, um von möglichst viel Basiswissen zu profitieren und Synergien sinnvoll zu nutzen. Über die Jahre kamen weitere Standorte der Projektpartner dazu, die ein Interesse an den TreeNet-Resultaten haben. Die heutige Verteilung der Standorte spiegelt daher auch teilweise die Hotspots der Waldforschung wider, die sich z.B. im Wallis speziell auf Trockenheit beziehen.

\*Roman Zweifel, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Walddynamik, 8903 Birmensdorf  
Sophia Etzold, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Walddynamik, 8903 Birmensdorf  
Sabine Braun, Institut für Angewandte Pflanzenbiologie AG, 4108 Witterswil  
Roger Köchli, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Waldböden und Biogeochemie, 8903 Birmensdorf  
Günter Hoch, Universität Basel, Botanik  
Werner Eugster, ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften  
Lorenz Walthert, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Walddynamik, 8903 Birmensdorf

**Messtechnologie**

Zentrales Messgerät von TreeNet ist das sogenannte Punktdendrometer (Abbildung Seite 31, oben). Der verwendete Dendrometertyp besteht aus einem Karbonfaser-rahmen, der über drei Gewindestangen im Holz verankert ist. Ein Metallstift wird über einen sanften Federdruck gegen die Oberfläche des Stammes gedrückt und folgt damit den Bewegungen, die in den Geweben des Stammes entstehen. Ein elektronischer Weggeber wandelt diese Bewegungen des Metallstifts in ein elektrisches Signal um. Damit lassen sich Stammradiusänderungen in der Grössenordnung von wenigen Mikrometern alle zehn Minuten zuverlässig messen. Die Daten werden über lokale Datenlogger aufgezeichnet und direkt per Mobiltelefon oder über das sogenannte Long-Range-(LoRa-)Netzwerk in eine zentrale Datenbank gesendet. Die aufgezeichneten Rohdaten der letzten fünf Tage von TreeNet sind öffentlich einsehbar unter <https://wsl.decentlab.com>.

**Am Puls der Bäume**

In den erfassten Stammradiusänderungsdaten stecken Informationen über den Wasserhaushalt von Bäumen in Form des sogenannten (reversiblen) Baumwasserdefizits und der (irreversiblen) Wachstumsprozesse.

Der Stamm eines Baumes schrumpft normalerweise am Tag, wenn der Baum mehr Wasser über die Verdunstung verliert, als er über die Wurzeln aufnehmen kann. In der Nacht verdunstet er kaum Wasser und er kann das fehlende Wasser wieder ersetzen. Der Stamm quillt damit nachts wieder leicht auf. Je nach Trockenheit entstehen so kleinere oder grössere Wasserdefizite

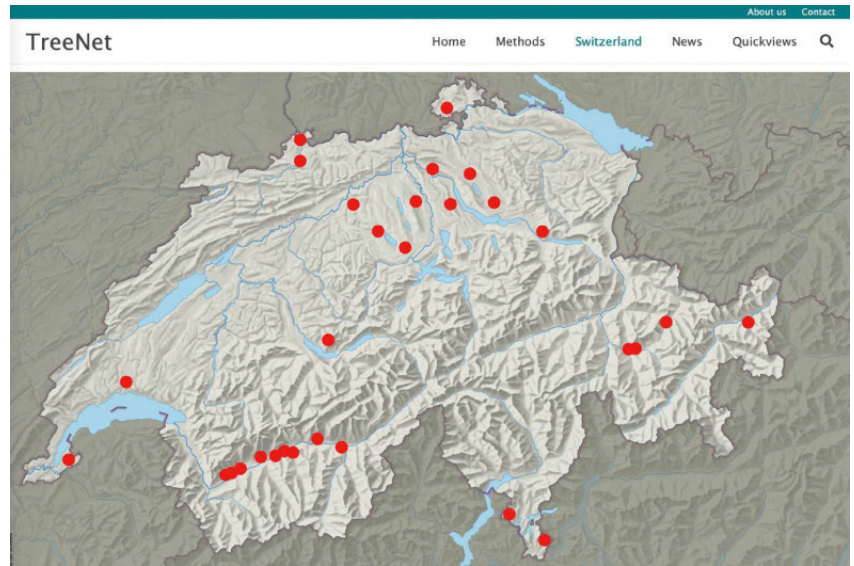
im Baum, die über Stunden, Tage oder Wochen anhalten können. Ein Schrumpfen des Stamms bedeutet immer, dass das Wasserleitsystem einem Unterdruck ausgesetzt ist. Dieser Unterdruck (auch Wasserpotenzial genannt) kann je nach Trockenheit in der Grössenordnung von 0 bis >50 bar (!) gross sein. Und dieser Unterdruck lässt alle elastischen Gewebe in einem Baum schrumpfen. Dabei verlieren diese Gewebe Wasser. Im Stamm sind das hauptsächlich die lebenden Zellen in der Rinde. Auch das Holz reagiert auf die Druckveränderungen, allerdings ist dessen Anteil an der Stammradiusänderung wegen der Festigkeit des Holzes nur klein.

Den Wasserhaushalt eines Baumes bildet ein geschlossenes hydraulisches System, an dem alle wasserhaltigen Teile des Baums

angeschlossen sind. Das beginnt mit den Wurzeln im Boden, führt über den Stamm, die Äste und endet mit den Blättern und Früchten in der Krone. Das Wasser wird darin nicht etwa nach oben gepumpt, sondern durch die Verdunstung von Wasser in den Blättern nach oben gesaugt. Die unterschiedlichen Fließwiderstände der Wasserleitungen zusammen mit den verschiedenen Wasserspeichern, z.B. der lebende Teil der Baumrinde, bestimmen darüber, wie schnell und wie stark sich äussere Veränderungen auf die Gewebe des Baums übertragen. Die Wasserverfügbarkeit im Boden oder die Verdunstung der Baumkrone sind Beispiele solcher äusseren Veränderungen. Nicht nur der Stamm zieht sich zusammen und dehnt sich wieder aus, sondern sämtliche anderen Organe auch: die Blätter, die Früchte und sogar die Wurzeln. Je elastischer ein Organ ist und je näher es bei den Blättern liegt, desto stärker und schneller zeigt sich das Schrumpfen.

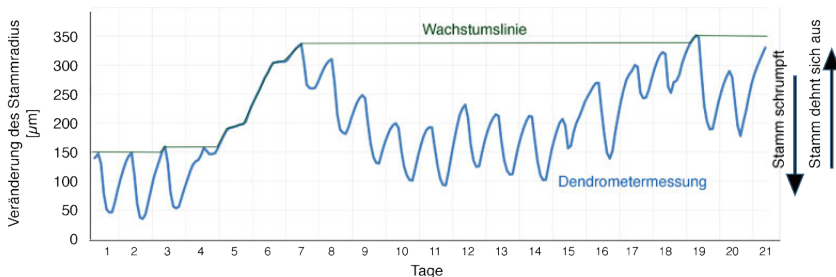
**Die Bedeutung des Baumwasserhaushalts für das Baumwachstum**

Wir wissen alle: Ohne Wasser wächst kaum ein Blatt. Aber warum ist das so? Wasser braucht es zum einen, um den Kohlenstoff, den der Baum aus der Luft aufnimmt, in Zucker umzuwandeln (die sogenannte Photosynthese). Zucker ist der Grundbaustoff der Pflanzen und kann aber nur gebildet werden, wenn der Baum genügend Wasser hat, um die Spaltöffnungen geöffnet zu halten, um Kohlendioxid aufzunehmen. Allerdings wird Zucker auch gespeichert und kann damit auch zu Zeiten verfügbar gemacht werden,



Messstandorte von TreeNet Ende 2019.

Bildcredit: Nicolas De Girardi, TreeNet



Die Grafik zeigt 21 Messtage von einer Föhre im Bündnerland. Der Stammradius zieht sich zusammen, sobald die Sonne aufgeht und die Verdunstung von Wasser über die Nadeln einsetzt. Nachts dehnt sich der Stamm wieder aus. In trockenen Perioden (z.B. Tage 7–18) bleibt der Stamm im geschrumpften Zustand, d.h., er kann das verlorene Wasser der Tagesstunden nachts nicht wieder auffüllen. Wir sprechen von einem sogenannten Baumwasserdefizit. Bei wassergesättigten Bedingungen wächst der Baum (grüne Wachstumslinie).

Bildcredit: Roman Zweifel, WSL

in denen keine Fotosynthese stattfindet. In vielen Fällen ist somit nicht ein Mangel an verfügbaren Zuckern der Grund für nicht stattfindendes Wachstum bei Trockenheit. Vielmehr sind es die wasserabhängigen Druckbedingungen in einer Zelle, die eine entscheidende Rolle spielen. Wir sprechen vom sogenannten Turgordruck oder kurz Turgor. Erreicht dieser Turgor im Kambium – in der Zellschicht im Stamm, in der neue Zellen entstehen – die kritische Schwelle nicht, können sich Zellen nicht teilen und wachsen. Im Gegensatz zum speicherbaren Zucker wirkt sich die ungenügende Verfügbarkeit von Wasser via den zu kleinen Turgor unmittelbar negativ auf das Wachstum aus.

#### Am Puls der Bäume

Und hier schliesst sich der Kreis zu den Dendrometerdaten im Messnetzwerk TreeNet. Das kontinuierliche Aufzeichnen von Stammradiusänderungen erlaubt es uns, innerhalb von zehn Minuten zu erkennen, ob ein Baumstamm schrumpft und damit nicht mehr wachsen kann, ob sich der Stamm wieder ausdehnt, weil sich dehydriertes Gewebe mit Wasser füllt, oder ob er sich ausdehnt, weil er neue Zellen bildet. Ist die Wasserversorgung ungenügend, beginnen alle lebenden Gewebe inklusive des Stamms zu schrumpfen, und das Wachstum stoppt sofort (Grafik Seite 32, unten). Das gleichzeitige Aufzeichnen der wichtigsten

Umweltbedingungen in Luft und Boden erlaubt zudem, den Bezug zu wachstumsfördernden und wachstumsfeindlichen Bedingungen herzustellen. Jede Baumart zeigt ihre eigenen charakteristischen Muster, wie sie auf äussere Einflüsse, z.B. andauernde Trockenheit, reagiert. Gleichsam zeigt jede Baumart, ab welchem Trockenheitsgrad sie nicht mehr wachsen kann. Dies ist ein spannender Aspekt der TreeNet-Daten, auf die wir in einem späteren Artikel eingehen möchten.

Trockenstressperioden lassen sich aus solchen Messungen ebenso herauslesen wie Perioden des Wachstums. Am gezeigten Beispiel einer Waldfähre (Grafik Seite 32, unten) wird deutlich, dass Stammwachstum von Bäumen in vergleichsweise wenigen Stunden stattfindet. Es sind regnerische Tage (Tage 5–7 in der Grafik, Seite 32) oder feuchtere Stunden in der Nacht (Tage 3 und 19), in denen der Stammradius irreversibel zunimmt. Demgegenüber stehen ganze Tage oder Wochen mit Bedingungen, die es dem Baum nicht erlauben, seine Wasserspeicher zu füllen und zu wachsen. Der Stamm verbleibt in solchen Perioden in einem sich zwar dynamisch ändernden Zustand, aber immer unterhalb der Schwelle, ab der er wieder neue Holz- und Rindenzellen bilden kann.

Der generelle Zusammenhang zwischen dem Schrumpfen von Baumstämmen und dem Stoppen des Wachstums ist eine

Schlüsselerkenntnis, die aus Forschungsarbeiten im Rahmen von TreeNet hervorgegangen ist (Zweifel et al. 2016, Etzold and Zweifel 2018). Unterdessen wird diese Erkenntnis von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern weltweit angewendet, um Stammradiusdaten für das Beurteilen von Umwelteinflüssen auf das Gedeihen von Bäumen zu nutzen. Der Puls der Bäume wird deshalb auch international an einer stetig wachsenden Anzahl Standorte erforscht. ■

#### Hintergrundinformationen zum Projekt TreeNet:

- Offizielle Homepage: [www.treenet.info](http://www.treenet.info)
- Projekt-Seite WSL: <https://www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/versuchsanlagen-und-labors/flaechen-im-wald/treenet.html>
- TreeNet-Resultate der ersten fünf Messjahre [WSL Berichte, 72 2018]: <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:18938>
- Sammlung von Reportagen über TreeNet: <https://treenet.info/treenet-newspaper/>
- Logging-Infrastruktur: [www.decentlab.com](http://www.decentlab.com)

#### LITERATUR

**Etzold, S., and R. Zweifel. 2018.** TreeNet-Daten und Analysen der ersten fünf Messjahre mit Beiträgen von Matthias Haeni, Susanne Burri, Sabine Braun, Lorenz Walthert, Melissa Dawes, Nina Buchmann, Elena Haeler, Roger Köchli, Marcus Schaub und Werner Eugster. WSL Birmensdorf, Birmensdorf.

**Zweifel, R., M. Haeni, N. Buchmann, and W. Eugster. 2016.** Are trees able to grow in periods of stem shrinkage? *New Phytologist* 211:839–849.




HeizoHack

Vorführung Konrad Highlander + Heizohack Hacker  
am 2. + 3. April, Start um 9:00 Uhr und 14:00Uhr  
Schwimmbad Grillenauweg 40 3177 Laupen  
Anmeldung: 079 969 61 15 oder 079 509 54 92



KONRAD