

zum Preiszerfall auf dem Holzmarkt bei. Gemäss BUWAL wurde nach Lothar die Aufrüstung von 6,8 Mio. m³ Sturmholz angeordnet und von 5,9 Mio. m³ subventioniert.

Ökonomie und Ökologie – kein Widerspruch?

Unsere Analysen zeigen, dass ein starker Sturm im Wald nicht unbedingt eine Katastrophe bedeuten muss. Heisst dies nun, dass ein Paradigmenwechsel nötig ist, um die Grundbedingungen für einen ökonomischen und ökologischen Umgang mit Stürmen

im Wald zu verbessern? Solange die Sturmfolgen in erster Linie als Schäden wahrgenommen werden, steht die Schadenbehebung im Vordergrund: Das Sturmholz ist möglichst schnell zu räumen, um es zu verwerten und Folgeschäden zu verhindern, oft unabhängig davon was es kostet. Würde der Sturm hingegen primär als Naturereignis verstanden, so wäre der Weg offen für eine kostengünstigere Bewältigung der Sturmfolgen. Es könnten vermehrt auch ökonomische Überlegungen zum Zug kommen, insbesondere der Verzicht auf nicht kostendeckendes Räumen und auf Zwangs-

nutzungen, wo diese aus Sicherheitsgründen nicht unbedingt nötig sind. Davon könnte auch die Natur profitieren.

Literatur

- NRC (National Research Council). 1999. The Impacts of Natural Disasters. Washington, D.C.: National Academy Press. 80pp. (<http://www.nap.edu/books/0309063949>)
- Perman, R.; Ma, Y.; McGilvary, J.; Common, M. 1999. Natural Resource and Environmental Economics, Second Edition. Harlow: Longman.

Tot oder lebendig? Die Biochemie gibt Auskunft

Wie lange gilt ein Gewebe oder ein Organismus noch als lebendig, ab wann als tot? Diese Frage stellte sich kürzlich bei der Untersuchung von Bergföhren im Schweizerischen Nationalpark. Obwohl diese noch grüne Nadeln trugen, leisteten sie seit mehr als 30 Jahren keinen Zuwachs mehr. Sie wurden darum bisher als «tot» eingestuft. Heute liesse sich die oben gestellte Frage möglicherweise klarer beantworten: dank eines biochemischen Tests, welcher über den Zustand eines pflanzlichen Gewebes oder Organismus eine differenzierte Aussage erlaubt.

Ivano Brunner und Markus Ruf

Beim Menschen wird der Tod durch Herzstillstand oder fehlende Hirnaktivität festgestellt. Bei Pflanzen ist dies nicht möglich, weil diese weder Herz noch Hirn besitzen. Die Lebendigkeit einer Pflanze lässt sich, wie beim Menschen, auch anders überprüfen, nämlich an der Atmung. Totes Pflanzengewebe atmet nicht mehr, lebendiges nimmt aus der Umgebungsluft Sauerstoff auf und gibt Kohlendioxid wieder ab. Im Gegensatz zum Menschen kann das Ein- und Ausatmen bei Pflanzen nicht über Atemgeräusche oder Atembewegungen kontrolliert werden. Deshalb bedient man sich bei Pflanzen einer Methode, welche die Aktivität der Atmungskette misst.

Die Atmungskette besteht aus einer Kaskade von Enzymen, welche sich in der inneren Membran von Mitochondrien befinden und für die Übertragung von Elektronen verantwortlich sind (Abb. 1). Bei der Atmung werden Elektronen und Protonen an Sauerstoff gebunden. Dabei entsteht Wasser.

Mit der Hilfe des Salzes Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC) lässt sich feststellen, wie gross die Aktivität der

Elektronenübertragung in der Atmungskette ist. TTC kann, ähnlich wie Sauerstoff, Elektronen von der Atmungskette empfangen. Es ändert dabei seine chemische Struktur und damit auch seine Farbe. Das ursprünglich farblose TTC verwandelt sich in den roten Farbstoff Triphenylformazan (TF). Nur in lebendigem Gewebe mit intakter Atmungskette können Elektronen übertragen und

somit roter Farbstoff produziert werden. Totes Gewebe hingegen produziert keinen roten Farbstoff. Die Menge des produzierten TF gilt als Mass für die Fitness des Gewebes: Je mehr Farbstoff, desto fitter oder vitaler ist das Gewebe. Somit lässt sich einerseits die Frage von Leben und Tod (Viabilität) und andererseits die Frage der Lebenskraft (Vitalität) biochemisch messen.

Seit der Einführung der Methode durch Steponkus und Lanphear (1967) wurde in Kauf genommen, dass auch mit totem Gewebe eine bestimmte Menge des roten Farbstoffes entstand, obwohl dies nicht so sein durfte: Die Ursache dafür war nicht bekannt. Für die Forschung ist dieser Umstand jedoch äusserst unbefriedigend, da klare und eindeutige Resultate benötigt werden. In vielen Ökosystem-Modellen sind sowohl Sterbe- als auch Umsatzraten von Wurzeln wichtige Eingangsgrössen; daher ist es entscheidend, dass lebendige von toten Feinwurzeln klar voneinander unterschieden werden können.

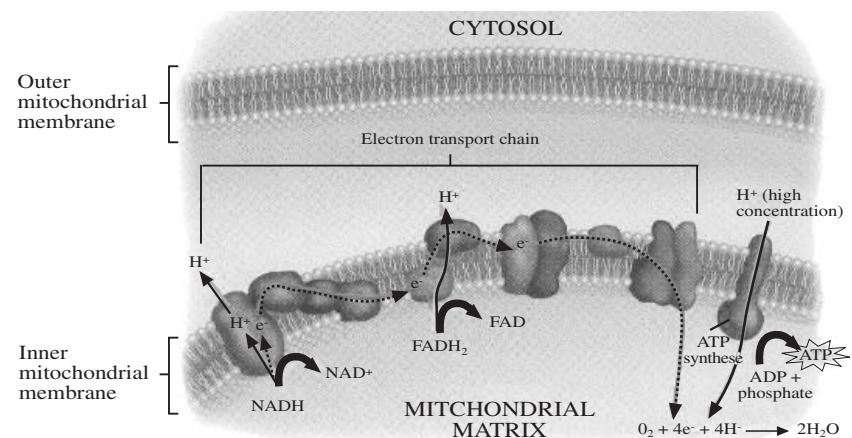


Abb. 1. Die Atmungskette in der inneren Membran von Mitochondrien

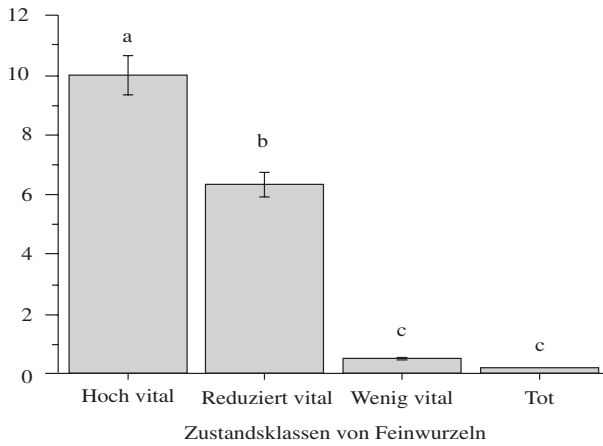


Abb. 2. Aktivität der Atmungskette von unterschiedlichen Zustandsklassen von Feinwurzeln der Fichte. Unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Zustandsklassen. Als «tot» bezeichnete Wurzeln wurden vorgängig mittels Kochen abgetötet.

Aus diesem Grund suchten wir nach der Ursache, die zur Entstehung des roten Farbstoffes bei toten Wurzeln führt. Gemäss der herkömmlichen Anleitung der Methode wird heisser Alkohol verwendet, um einerseits Zellwände und Membranen zu zerstören und andererseits den Farbstoff zu lösen. Es zeigte sich bei unseren Untersuchungen, dass die alleinige Verwendung von heissem Alkohol schon eine Strukturänderung des TTC verursacht, so dass roter Farbstoff auch ohne ein pflanzliches Gewebe entsteht. Wenn nun die Pflanzenzellen anstatt mit heissem Alkohol mit einer Mühle mechanisch aufgebrochen werden, so lässt sich die Entstehung des roten Farbstoffes vermeiden (Ruf und Brunner 2003). Wurde mit der herkömmlichen Methode mit toten Wurzeln eine Farbstoffmenge von ca. 2 mM TF/g_{TFG} (millimol TF pro Gramm Trockengewicht Feinwurzeln) gemessen, so kann mit dieser leicht modifi-

zierten Methode praktisch kein Farbstoff mehr nachgewiesen werden (<0,2 mM TF/g_{TFG}) (Abb. 2).

Es ist denkbar, dass dieser Test auch bei anderen Pflanzengewebe angewendet werden kann. Bei Kambiumzellen zum Beispiel, die für die Ausbildung der Jahrringe verantwortlich sind, müsste sich nachweisen lassen, ob diese noch aktiv sind. Werden keine neuen Holzzellen mehr gebildet, müsste die Rotfärbung ausbleiben und das Kambium würde als tot angesehen werden.

Somit könnte die Messung der Aktivität des Kambiums eine zusätzliche Information darüber liefern, ob ein Baum noch lebt oder schon tot ist. Nebst der Beurteilung des Kronenzustandes und des Zuwachses könnte das Testen von Teilen von Bäumen mit diesem einfachen biochemischen Test weitere wichtige Hinweise für eine Gesamtbeurteilung liefern, wie z.B. bei den vermeintlich toten Berg-

föhren im Schweizerischen Nationalpark (Cherubini et al. 2002).

Literatur

- Cherubini, P.; Fontana, G.; Rigling, D.; Dobbertin, M.; Brang, P.; Innes, J.L., 2002: Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. *J. Ecol.* 90: 839-850.
- Ruf, M.; Brunner, I., 2003: Vitality of tree fine roots: reevaluation of the tetrazolium test. *Tree Physiol.* 23: 257-263.
- Steponkus, P.L.; Lanphear, F.O., 1967: Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. *Plant Physiol.* 42: 1423-1426.

Résumé

Un test biochimique permet de constater si un tissu végétal est vivant ou mort. Il s'agit en l'occurrence de mesurer l'activité de la chaîne respiratoire. Cette dernière est active sur les tissus vivants tandis qu'elle est inexistante sur les tissus morts. La chaîne respiratoire consiste en une cascade d'enzymes qui assurent le transfert des électrons à l'oxygène. La quantité d'électrons transférés s'observe à l'aide d'un sel qui est capable, au même titre que l'oxygène, de capter les électrons de la chaîne respiratoire. Etant donné que ce sel change de couleur lorsqu'il détient des électrons, l'intensité de la coloration traduit l'activité de la chaîne respiratoire.

Comment sauvegarder les pâturages boisés

Système mixte agricole et forestier, hérité de pratiques ancestrales et assimilé juridiquement depuis 1902 à la forêt, le pâturage boisé¹ vit actuellement un regain d'intérêt, principalement du fait de sa biodiversité et de sa beauté paysagère. Dans un contexte économique agricole et forestier difficile, sans une action concertée entre milieux agricoles, forestiers et de la protection du paysage, le risque est grand de voir disparaître cette merveilleuse mosaïque de boisés et d'herbages intimement mélangés.

Vincent Barbezat

Chef-d'œuvre en péril

Sous l'appellation «pâturage boisé», est regroupé un ensemble disparate de paysages allant du pâturage intensif parsemé de quelques arbres à la forêt fermée, sporadiquement parcourue

par le bétail (Gallandat et al. 1995, p. 1/36).

Le pâturage boisé correspond à un des rares milieux depuis longtemps fortement influencé par l'homme, dont la valeur naturelle a généralement augmenté par rapport à la situa-

tion purement forestière de départ. Un rapport de forces très subtil et une profonde harmonie entre activités humaines et nature ont façonné ce paysage au cours des siècles.

Durant ces dernières décennies cependant, en particulier sous l'influence des travaux de Rieben (1957, EPFZ), axés sur un productivisme agricole et forestier, il a paru préférable à certains gestionnaires de séparer le pâturage du boisé. En outre, le pâturage boisé est soumis à une multiple dynamique juridique, agricole, forestière et paysagère. Une déprise agricole en montagne, la diminution du nombre de têtes de bétail, mais aussi un bétail plus exigeant quant à la qua-