ISSN 1661-5832

Informationsblatt Wald

2009 **25**

Eidg. Forschungsanstalt WSL CH-8903 Birmensdorf | Institut fédéral de recherches WSL | Istituto federale di ricerca WSL | Swiss Federal Research Institute WSL

25 Jahre Sanasilva: Vom Waldsterben zur Waldökosystemforschung

Seit 25 Jahren wird in der Schweiz die Sanasilva-Inventur durchgeführt. Ihr Beginn hing eng mit dem «Waldsterben» zusammen. Entsprechend wurden die jährlichen Ergebnisse der Sanasilva-Inventur von den Medien und der breiten Öffentlichkeit mit grossem Interesse verfolgt. In den 1990er Jahren zeigte sich, dass diese Inventur allein weder zur Beschreibung des Gesundheitszustandes des Waldes noch zur Ursachenforschung ausreichte. Aus diesem Grund wurden seit 1994 landesweit Waldflächen für die langfristige Erforschung von Waldökosystemen (LWF) eingerichtet. Nach 15 Jahren liegen aus dem Grossprojekt LWF zahlreiche Ergebnisse zu wichtigen Fragen des Stoffumsatzes im Waldökosystem und des Einflusses von Immissionen auf den Wald vor.

Matthias Dobbertin, Christian Hug, Elisabeth Graf Pannatier, Norbert Kräuchi, Marcus Schaub, Maria Schmitt, Andreas Schwyzer, Anne Thimonier, Peter Waldner

Ende der 70er Jahre starben im süddeutschen Raum und den angrenzenden Regionen verbreitet Tannen ab. Meldungen von zusammenbrechenden Wäldern, zumeist Fichten, aus dem schwer durch Luftverschmutzung belasteten Erz- und Riesengebirge, erreichten vermehrt die westliche Öffentlichkeit. Gleichzeitig wurden versauernde Seen in Skandinavien beobachtet und das Phänomen «Saurer Regen» beschrieben, das vor allem durch im Regenwasser gelöstes Schwefeldioxyd (SO_2) und durch Stickstoffoxyde (NO_x) verursacht wurde. Mit der Veröffentlichung der Ergebnisse einer langfristigen Untersuchung im Solling in Norddeutschland wurden von der Forschergruppe um Prof. Ulrich *et al*. (1980) das erste Mal versauernde Einträge in den Waldboden als weitere Ursache von Waldschäden in Erwägung gezogen. In der Schweiz beobachteten Forstleute an verschiedenen Orten Schäden an Waldbäumen und es stellte sich ebenfalls die Frage, ob diese Schäden durch Luftschadstoffe verursacht wurden.

Abb. 1: Mit Fernglas und dem Buch «Sanasilva Kronenbilder» ausgerüstet: Der Blick in die Krone. Foto: WSL

Erfassung des Waldzustandes: Die Kronenverlichtung

Um die langfristige Entwicklung des Waldzustands erfassen und objektiv beurteilen zu können, wurde die Sanasilva-Inventur mit jährlichen Erhebungen gestartet. Ein einfach zu erfassender Indikator musste dazu entwickelt werden. Da ein Baum, bevor er abstirbt, seine Nadeln oder Blätter verliert, entschied man sich für die Erfassung des «Nadel-/Blattverlustes»

Editorial

Jubiläen hier, Jubiläen dort: Sie erscheinen allgegenwärtig in unserer schnelllebigen Zeit. Oft scheint es mir, als sei das Jubiläum das eigentliche Ziel und nicht ein sich nebenbei ergebender Moment der Reflektion, der Rückschau, beim nachhaltigen Umgang mit Ressourcen. Wann ist denn Anlass genug, zurückzublicken und sich an vergangene Erfolge und Misserfolge zu erinnern, geschätzte Leserinnen und Leser?

Die 25. Ausgabe des Informationsblattes Wald, die Sie heute in den Händen halten, nehmen wir zum Anlass, einen Moment innezuhalten und auf die vergangenen 10 Jahre und 25 Infoblätter zurückzublicken. Die Zahl 25 begleitet Sie – einem roten Faden gleich – durch diese Ausgabe.

Vor 25 Jahren wurde in der Schweiz erstmals eine Sanasilva-Inventur durchgeführt. Was damals unter dem Damoklesschwert des «Waldsterbens» begann, ist heute zu einer integralen Waldökosystemforschung herangewachsen. Und was uns im Alltag durchaus als lange erscheinen mag, ist aus Sicht der Waldwachstumsforschung nur wenig mehr als ein Moment, schliesslich wurden die ersten ertragskundlichen Versuchsflächen der WSL (damals noch EAFV) bereits im 19. Jahrhundert angelegt.

Am Beispiel der Forschung am Stillberg erfahren wir, wie eine ursprünglich auf Fragen der Aufforstungen im alpinen Bereich ausgerichtete Untersuchung sich im Laufe der letzten 25 Jahre zu einem wahren Freilandlabor für Klimafolgenforschung an der Waldgrenze entwickelt hat.

All diesen Aktivitäten ist eines gemein: der Wille und das Bekenntnis von Forschenden, sich auch in ökonomisch und politisch schwierigen Zeiten nicht opportunistisch neuen Themen zuzuwenden, sondern der Langzeitforschung die Stange zu halten. Denn diese trägt wesentlich dazu bei, den nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen wissenschaftlich zu untermauern.

«Langzeitforschung für nachhaltige Waldnutzung» ist auch das Thema des nächsten «Forum für Wissen» der WSL, das dieses Jahr am 7. September stattfindet. Notieren Sie sich diesen Termin und kommen Sie mit auf die Zeitreise...

Norbert Kräuchi

(später Kronenverlichtung genannt), angegeben in Prozent einer «voll belaubten» Baumkrone. Zur Standardisierung wurden für jede Baumart Bilder von Baumkronen mit verschiedener Kronenverlichtung angelegt und als Referenz verwendet. Gleichzeitig wurde mit Hilfe von standardisierten Photoreihen und Trainingskursen versucht, die Schätzung der Equipen Jahr für Jahr auf dem gleichem Niveau zu halten. Dabei wird sowohl neben der gesamten Kronenverlichtung auch der Anteil der Verlichtung erfasst, der nicht durch bekannte Ursachen wie zum Beispiel Insektenfrass oder Frostschaden erklärt werden kann. Ergebnisse wurden als Anteil der Bäume mit mehr als 25 % Kronenverlichtung dargestellt, da angenommen wurde, dass solche Bäume geschädigt sind. Obwohl heute diese Bäume nicht mehr automatisch als geschädigt gelten, wurde diese Statistik zum Vergleich der langfristigen Reihen beibehalten (Abb. 2).

Mit der Kronenverlichtung wird auch die jährliche Sterbe- und Nutzungsrate der Bäume erhoben. Fehlen Bäume in der Folgeinventur, so wird der Grund dafür angegeben, zum Beispiel die forstliche Nutzung. Die Sterberate ist der Prozentanteil Bäume, die in einem Jahr noch lebend waren und im Folgejahr stehend abstarben.

Nach ersten lokalen Erhebungen im Jahr 1983 begann 1984 die erste landesweit mit denselben Feldequipen durchgeführte Sanasilva-Inventur. Im ersten Jahr fand sie nur auf Trakten im öffentlichen Wald statt. Seit 1985 wird die Inventur für den gesamten Wald auf einem Teilnetz des Landesforstinventars durchgeführt. In den ersten Jahren wurde die Inventur auf einem 4 x 4 km-Netz (1985–1992), dann auf dem 8 x 8 km-Netz (1993, 1994 und 1997) und 1995, 1996 und seit 1998 nur noch auf dem 16 x 16 km-Netz aufgenommen. Die Daten der Kronenverlichtung werden im UN Programm, dem «ICP Forests», von fast allen Ländern Europas erhoben und zu Vergleichszwecken zentral in einer Datenbank gespeichert (Level I Flächen).

Ergebnisse der Sanasilva-Inventur

Der Anteil stark verlichteter Bäume stieg bis Mitte der 1990er Jahre stetig an (Abb. 2), zeigte aber danach bei grösseren jährlichen Schwankungen keinen langfristigen Trend. Ähnliches wurde auch in Nachbarländern beobachtet. Einige auffällige jährliche Zunahmen der Kronenverlichtung fallen mit speziellen klimatischen Ereignissen zusammen. So liess sich 1987 ein Grossteil der Zunahme durch Frostschäden im vorangegangenen Winter erklären. Die Anstiege 1990 und 2000 erfolgten nach den schweren Stürmen Vivian und Lothar. Der stärkste Anstieg der Kronenverlichtung erfolgte jedoch im Jahr nach dem Hitzesommer 2003. Bis Ende Juli warfen in der gesamten Schweiz relativ wenige Bäume ihre Blätter frühzeitig ab. Ab August jedoch – der grösste Teil der Sanasilva-Inventur war bereits durchgeführt – verfärbten sich die Blätter eines Teils der Bäume. Der grosse Trockenstress gegen Ende des Sommers 2003 führte dazu, dass die Bäume für das nächste Jahr in den Knospen weniger Blattanlagen bildeten und sich dadurch die Verlichtung 2004 erhöhte.

Auf den Sanasilva-Flächen sterben im langjährigen Durchschnitt zwischen 0,3 bis 0,4 % der Bäume pro Jahr stehend ab. Ähnliche Raten sind auch aus anderen bewirtschafteten Wäldern bekannt. Anders als bei der Kronenverlichtung, stiegen in den ersten 10 Jahren die Sterberaten nicht an. Nur nach dem Trockenjahr 2003 starben überdurchschnittlich viele Bäume ab (fast 1%). Auch in Frankreich und einigen deutschen Bundesländern wurde nach 2003 ein auffälliger Anstieg der Sterberaten beobachtet.

Die Kronenverlichtung konnte in vielen Fällen auf bekannte Ursachen zurückgeführt werden, vor allem auf Lichtmangel durch Beschattung von Nachbarbäumen und Blattfrass durch Insekten (Brang 1998). Der Einfluss der Luftverschmutzung auf die Kronenverlichtung lässt sich mit dieser Methode allerdings nicht nachweisen, da es viele Ursachen gibt, die mögliche Effekte von Luftverschmutzung oder Schadstoffeinträgen überlagern können.

Langfristige Waldökosystem-Forschung

Die Kronenverlichtung kann weder den Waldzustand pauschal erklären noch Aussagen zu dessen Ursachen machen. Deshalb wurden im Rahmen des ICP-Forests seit Mitte der 1990er Jahre in ganz Europa etwa 800 intensive Forschungsflächen (Level II) eingerichtet. Zu Beginn sollte vor allem die Belastung der Wälder durch die

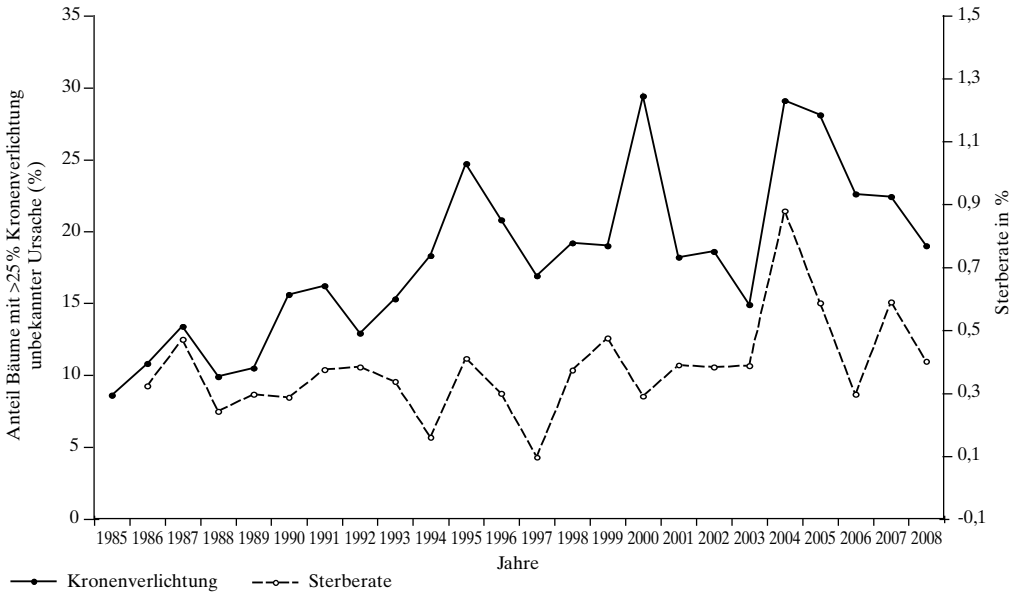

Abb. 2: Anteil Bäume mit Kronenverlichtung unbekannter Ursache > 25% und Sterberaten seit 1985.

Abb. 3: LWF-Fläche Lausanne: Buchenmischwald *(Milium-Fagetum)* mit 150–160 Jahre alten Buchen, Weisstannen und Fichten. Foto: WSL

Luftschadstoffe, vor allem durch Schwefel und Stickstoff, geklärt werden. Später kam die Erfassung der Ozonschäden dazu. Neuerdings werden die auf diesen Flächen erhobenen Daten auch zur Erforschung der Auswirkung des Klimawandels verwendet.

Die WSL begann 1994 im Rahmen der langfristigen Waldökosystem-Forschung (LWF), die wichtigsten Waldökosysteme der Schweiz genauer unter die Lupe zu nehmen. Auf heute 18 über die Schweiz verteilten Forschungsflächen sollen während mindestens 30 Jahren detaillierte Daten zum Waldzustand erfasst und die verschiedenen Einflussfaktoren, sowie die Wirkungszusammenhänge im Ökosystem Wald erforscht werden.

Um diese Ziele zu erreichen, werden auf den LWF-Flächen neben der besprochenen Kronenverlichtung und den Sterberaten weitere Parameter erhoben: u.a. der jährliche Stammzuwachs der Bäume, klimatische Messgrössen, die atmosphärische Deposition anhand der chemischen Zusammensetzung der Niederschläge, die Menge und chemische Zusammensetzung der herab fallenden Blätter und Nadeln, die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Bodenmatrix und der Bodenlösung, die Wasserverfügbarkeit im Boden, die Nährstoffgehalte der Blätter und Nadeln sowie die Ozonkonzentration und Ozon-Symptome auf den Pflanzen.

Auf der Basis von Versuchen und Feldforschung wurden kritische Grenzen festgelegt, um die Risiken der Luftschadstoffe beurteilen zu können. Als kritische Grenzen gelten jene Konzentrations- oder Depositionswerte, unterhalb derer nach heutiger wissenschaftlicher Erkenntnis keine schädlichen Auswirkungen auf ein Ökosystem auftreten. Bei der Versauerung wird zum Beispiel das Verhältnis basischer Kationen (BC) zu toxischem Aluminium (Al) im Boden verwendet. Zum einen zeigt ein niedriges BC/Al Verhältnis (Wert unter 1), dass die Verfügbarkeit wichtiger Nährstoffe (Kationen) abnimmt, zum anderen dass toxisches Aluminium die Wurzeln schädigen könnten. Beim Stickstoff werden kritische Grenzen so festgelegt, dass der Austrag des Nitrates im Sickerwasser ein akzeptiertes Mass nicht übersteigt. Hohe Stickstoffeinträge könnten langfristig zu einem Nährstoffungleichgewicht zwischen Stickstoff und anderen Nährstoffen führen. Beim Ozon wird in Europa die Summe aller stündlich berechneten Überschreitungen von 40 ppb (AOT40 Standard) verwendet, oberhalb davon sind langfristig Schäden an Pflanzen zu erwarten.

Emissionen verändern Waldökosysteme

Dank dem Rückgang der SO_2- und NO_x-Emissionen in der Schweiz und in Europa, verminderten sich auch die Säureeinträge. In der Schweiz wird die kritische Belastungsgrenze für Säureeinträge kaum mehr überschritten. Nur das südliche Tessin ist mit den dort relativ tiefen kritischen Grenzen eine Ausnahme.

Die kritischen Grenzen für Stickstoffeinträge werden hingegen am Alpennord- und Südhang teilweise deutlich überschritten und in weiten Teilen des Mittellands erreicht oder knapp überschritten. Nur in den Alpentälern, die wegen ihrer Entfernung von den Emissionsquellen wenig belastet sind, liegen die Stickstoffeinträge klar unterhalb der kritischen Grenzen. Ozonwerte variieren von Jahr zu Jahr mit den jeweiligen klimatischen Bedingungen. Die Grenzwerte werden ebenfalls vielerorts überschritten, ganz besonders südlich der Alpen, aber auch häufig im Mittelland.

Trotz der oben beschriebenen hohen Stickstoff-Einträge konnte auf den LWF-Flächen bisher noch kein ausgesprochenes Nährstoffungleichgewicht festgestellt werden. Eine neue Studie mit allen über Europa verteilten Flächen zeigt, dass die Stickstoff-Einträge auf schlecht mit Stickstoff versorgten Böden ein erhöhtes Wachstum der Bäume bewirken, hingegen keine Auswirkungen auf Bäume auf gut mit Stickstoff versorgten Böden haben (Solberg *et al.,* im Druck). Auf den LWF-Flächen kann beobachtet wer-

Abb. 4: Streusammler auf einer Fläche der Langfristigen Waldökosystem-Forschung der WSL. Wissenschafter analysieren später im Labor die Menge und Zusammensetzung der Nährstoffe in den Blättern und Nadeln. Foto: Reinhard Lässig

den, dass die Menge des in das Grundwasser ausgewaschenen Stickstoffs von der Höhe der Einträge durch die Luft abhängt, wenn die Böden mit Stickstoff gesättigt sind. Bei Nadelbäumen auf schlecht bis genügend mit Stickstoff versorgten Standorten wurde eine Abnahme der Kronenverlichtung mit steigendem Stickstoffgehalt der Nadeln gefunden (Thimonier *et al.*, eingereicht). Einerseits erhöht sich der Stickstoffgehalt in den Nadeln und Blättern, wenn immer mehr Stickstoff in den Wald eingetragen wird, andererseits konnten bisher zwischen Kronenverlichtung und Stickstoffeinträgen keine eindeutigen Zusammenhänge gefunden werden.

Fazit

Ein Waldsterben oder ein Zusammenbruch der Wälder fand in der Schweiz glücklicherweise nicht statt. Es gibt heute keine Anzeichen, dass der Schweizer Wald in seiner Existenz unmittelbar bedroht wäre. Das belegen sowohl die Ergebnisse der Sanasilva-Inventur als auch diejenigen der LWF-Flächen.

Zu Beginn der Debatte über das Waldsterben fehlten Referenzwerte zum Waldzustand und sogar das Wissen, wie dieser zu Erfassen sei. Diese sind heute zum grössten Teil bekannt. Die damals aufgestellten Hypothesen über die Auswirkungen der Luftschadstoffe auf den Wald basierten auf dem damaligen Wissenstand. Daraufhin hat die Politik erfolgreich mit weit reichenden Massnahmen reagiert, die den Ausstoss von Luftschadstoffen reduzierten. Die Grundprinzipien der Hypothesen der 1980er Jahre wurden jedoch nicht widerlegt. Das Handeln nach dem Vorsorgeprinzip, das heisst die technisch machbare und wirtschaftlich tragbare Reduktion der Umweltbelastung, hat sich als richtig erwiesen, auch wenn heute noch nicht alle Wirkungen möglicher Risiken genau bekannt sind.

Du dépérissement des forêts à la recherche sur l'écosystème forestier – l'inventaire Sanasilva fête ses 25 ans

L'inventaire Sanasilva est effectué en Suisse depuis 25 ans. Son lancement remonte à l'époque du «dépérissement des forêts». Chaque année, les médias et le grand public suivent avec intérêt ses résultats. Dans les années 1990, il apparut cependant que cet inventaire ne suffisait pas à lui seul à décrire ni à expliquer l'état de santé de la forêt. C'est la raison pour laquelle des placettes forestières furent installées dès 1994 dans l'ensemble du pays en vue de recherches à long terme sur les écosystèmes forestiers (LWF). Grâce au LWF, on dispose ainsi, 15 ans après, de nombreux résultats sur le fonctionnement de l'écosystème forestier ainsi que sur l'influence des émissions sur la forêt.

Literatur

Brang, P., 1998: Sanasilva-Bericht 1997. Zustand und Gefährdung des Schweizer Waldes - eine Zwischenbilanz nach 15 Jahren Waldschadenforschung. Berichte WSL, 345: 102 S.

Solberg, S.; Dobbertin, M.; Reinds, G. J.; Lange, H.; Andreassen, K.; Fernandez, P. G.; Hildingsson, A.; de Vries, W., (im Druck): Analyses of the impact of changes in atmospheric deposition and climate on forest growth in European monitoring plots: A stand growth approach. Forest Ecology and Management.

Thimonier, A.; Graf Pannatier, E.; Schmitt, M.; Waldner, P.; Walthert, L.; Schleppi, P.; Dobbertin, M.; Kräuchi, N., (eingereicht): Does the exceedance of critical loads for nitrogen alter the nutrient status of trees, nitrate leaching and crown condition at Swiss Long-term Forest Ecosystem Research (LWF) sites?

Ulrich, B.; Mayer, R.; Khanna, P. K., 1980: Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. Soil Science 130, 193-199.

Waldner, P.; Schaub, M.; Graf Pannatier, E. G.; Schmitt, M.; Thimonier, A.; Walthert, L., 2007: Atmospheric deposition and ozone levels in Swiss forests: Are critical values exceeded? Environmental Monitoring and Assessment 128, 5-17.

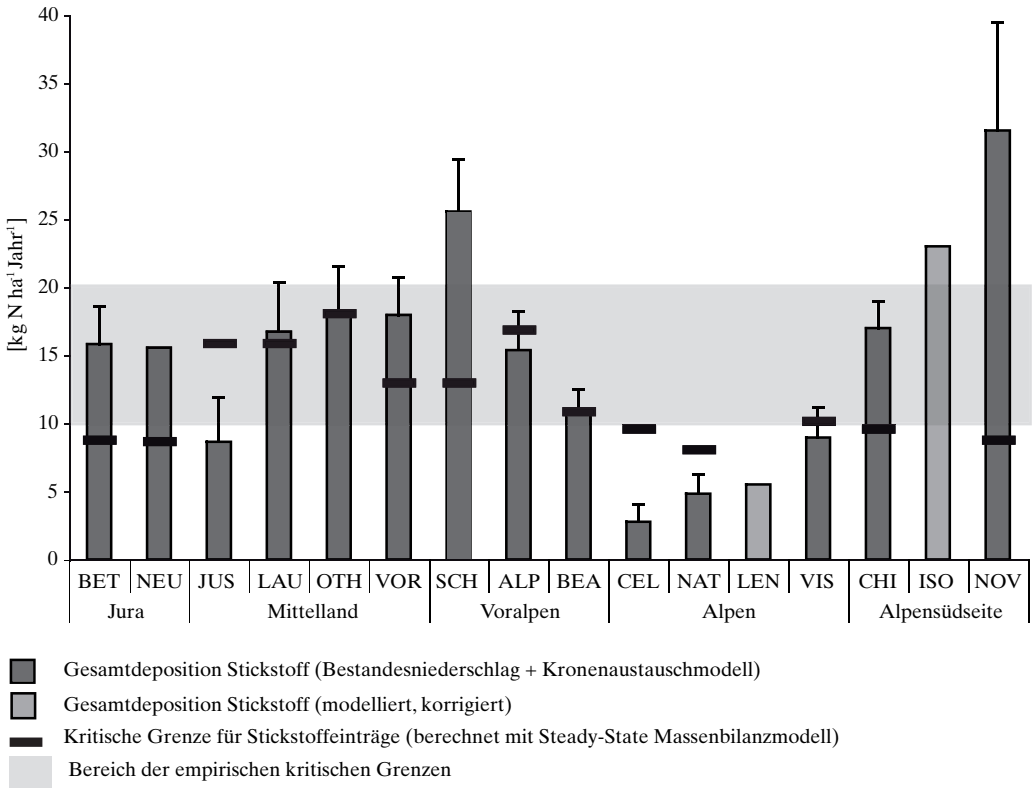

Abb. 5. Auf den LWF-Flächen gemessene Stickstoffeinträge im Vergleich mit den kritischen Grenzen (aus: Waldner *et al.*, 2007)