ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Professur Forstschutz und Dendrologie
Professur Forsteinrichtung und Waldwachtum
Professur Natur- und Landschaftsschutz

6. und 8. Semester

Kurs Waldbrand

11.-13. April 2002

Kursdokumentation

Zürich, Mai 2002

Inhaltsverzeichnis

Kursprogramm

Überlebensstrategien von Pflanzen auf Feuereinwirkung 1
(T. Braun, L. Roth)

Auswirkungen von Feuer auf den Boden 5
(C. Bonoli)

Feuer als sukzessionssteuernder Faktor in den Bergföhrenwäldern 10
des Schweizerischen Nationalparks
(A. Heimgartner)

Incendi boschivi nella fascia mediterranea 16
(P. Roth, M. Bertogliati)

Die Rolle von Feuer in mediterranen Ökosystemen am Bsp. von 20
Pinus halepensis – Wäldern
(F. Drollinger, H. Bärtschi)

Feuer, Klimaänderung und Kohlestoffzyklus in borealen Wäldern 25
(E. Osterwalder, P. von Däniken)

Brandwirtschaft im Laufe der Zeit 32
(M. Bonotto)

Die Reutbergwirtschaft als Naturschutz - Event? 37
(N. Hemmi, A. Koenig)

Berücksichtigung von Waldbränden bei der forstlichen Planung 41
im Kanton Tessin
(S. Baggi, D. Barra)

Exkursionsunterlagen 44

Programm Kurs Waldbrand 2002

Donnerstag, 11. April 2002, ETH Zürich

Vormittag: Beiträge der Studierenden, **ML E 13**

9.15-10.15	Liliane Roth / Tamara Braun Überlebensstrategien von Pflanzen auf Feuereinwirkung
	Cosma Bonoli Auswirkungen von Feuer auf den Boden
10.15-10.30	Pause
10.30-11.00	Anouk Heimgartner Feuer als sukzessionssteuernder Faktor in den Bergföhrenwälder des Schweizerischen Nationalparks
11.05-12.05	Mark Bertogliati / Patrick Roth Waldbrände im Mittelmeerraum: Sozio-kulturelle Hintergründe, Vorbeugung, Bekämpfung, wirtschaftliche Auswirkungen
	Hans Bärtschi / Fabian Dollinger Die Rolle von Feuer in mediterranen Ökosystemen am Bsp. von *Pinus halepensis*-Wäldern

Nachmittag: Feuer in borealen Wäldern / Feuerexperimente, **HG G60 (Aula)**

13.15-14.15	Videofilm „The Fire Experiment"
14.15-14.30	Pause
14.30-15.00	Erwin Osterwalder / Patrick von Däniken Feuer, Klimaänderung und Kohlenstoff-Zyklus in borealen Wäldern
15.00-15.15	Pause
15.15-16.15	Beiträge von Mitarbeitern des Global Fire Monitoring Center, Max-Planck-Institut für Chemie, Freiburg i. Br.: Daniel Kraus: Einführung in Feuer-Verhalten (fire behavior) Daniel Nagy: Waldbrandexperiment in der Lausitz (Brandenburg) 2001 (mit Video)

Fahrt ins Tessin

17.07	Abfahrt Zürich HB nach Bellinzona
19.33	Ankunft in Bellinzona

Übernachtung in Bellinzona

Studierende:
Centro Spazio Aperto / Rifugio protezione civile, Via Gerrerra 9a, 6500 Bellinzona, Tel. 091 826 47 76 (Fr. 22.-/Übernachtung + Frühstück) → **Schlafsack mitnehmen!**

Leitung:
Croce federale, Viale Stazione 12, 6500 Bellinzona, Tel. 091 825 16 67

Freitag, 12. April 2002, Sottostazione Sud delle Alpi, Bellinzona

Beiträge von Studierenden und Mitarbeitern der Sottostazione Sud delle Alpi

9.15-10.15	Moreno Bonotto Brandwirtschaft in der Geschichte (aus J. Radkau: Weltgeschichte der Umwelt)
	Nina Hemmi / Andreas Koenig Reutfeldwirtschaft als Naturschutz-Event? – jahrhundertealte Tradition des Brandfeldbaus in den deutschen Mittelgebirgen unter grosser Medienpräsenz reaktiviert
10.15-10.30	Pause
10.30-11.00	Stefano Baggi / Daniele Barra Berücksichtigung von Waldbränden bei der forstlichen Planung im Kanton Tessin
11.00-12.00	Davide Bettelini, Ufficio della pianificazione forestale, Sezione forestale, Dipartimento del territorio TI Berücksichtigung von Waldbränden bei der forstlichen Planung im Kanton Tessin: Die Sicht der Praxis
13.45-16.15 mit Pausen	Marco Conedera, WSL Sottostazione Sud delle Alpi Waldbrandgeschehen im Tessin: Geschichte und aktuelle Forschung
	Marco Moretti, WSL Sottostazione Sud delle Alpi Auswirkungen von Feuer auf Wirbellose
	Simone Prospero, WSL Sottostazione Sud delle Alpi Kastanienrindenkrebs nach Feuer
	Schlussdiskussion
	Übernachtung in Bellinzona

Samstag, 13. April 2002, Exkursion ins Val Colla

Lunch, gute Schuhe und Regenschutz mitnehmen!

8.45	Abfahrt ab Spazio Aperto (ev. zusätzl. Bahnhofplatz), Bellinzona	
10.00-11.30	Bidogno-Corticiasca: Gruppenarbeit	
11.30-12.15	Fahrt nach Villa Luganese	
12.15-13.00	Mittagessen aus dem Rucksack	
13.30-15.00	Villa Luganese: Gruppenarbeit	
15.00-16.15	Rückkehr nach Bellinzona	
16.26 / 17.26	Abfahrt Bellinzona nach Zürich	(späterer Zug mit Umsteigen in
18.53 / 19.53	Ankunft in Zürich	Arth-Goldau)

9. April 2002/U. Scholian

Tamara Braun, Liliane Roth

Überlebensstrategien von Pflanzen auf Feuereinwirkung

1. Feuerregime

Verschiedene Formen von Feuer beeinflussen Ökosysteme auf ganz unterschiedliche Weise. Es gibt verschiedene Aspekte, die ein Feuerregime charakterisieren, darunter sind die *Feuerintensität*, das *Intervall*, die *Ausdehnung* und die *Jahreszeit* die bestimmenden Faktoren.

" Fire are variable, and a species of plant or animal that experiences high mortality in one fire may survive well in another, not because of any difference in the organisms, but because the fires are almost certain to differ."

(R.J.Whelan,1995)

Ein Feuer in den Kronen von grossen Bäumen kann eine hohe Mortalität einer Art zur Folge haben, ein niederes Feuer wird die Lebensqualität derselben Art vielleicht kaum beeinträchtigen. Es kann aber auch sein, dass ein sich langsam fortbewegendes, kaltes Feuer, das den Boden bis zum Muttergestein verbrennt, einen stärkeren Einfluss auf die Bäume hat als ein intensives Feuer in den Kronen. Die dicke Rinde eines Baumes, die uns als guter Feuerschutz erscheinen mag, erfüllt ihre Funktion in einem intensiven, schnellen Feuer, wirkt aber kontraproduktiv in einem weniger intensiven, aber langsamen Feuer. Die Rinde hat Zeit sich zu entzünden und das Erreichen des Normalzustands wird verzögert, sobald sich das Kambium erhitzt hat.
Wie schon erwähnt wurde, spielt nicht nur die Intensität eine Rolle, sondern auch das *Intervall* des wiederkehrenden Feuers. Die Auswirkung des Feuers wird eng mit dem Zeitpunkt des Lebenszyklus eines Individuums in Verbindung gesetzt. Es spielt also eine grosse Rolle, in welcher Entwicklungsphase sich eine Pflanze beim Auftreten eines Feuers befindet. Wird ein Feuer in regelmässigem Abstand wiederkehren, so wird durch natürliche Selektion nur die Art überleben, die das Intervall als gegeben anerkennt, sich angepasst hat. Wird in einem Gebiet ein Feuer alle zwei Jahre erwartet, doch eine Pflanzenart bildet nur alle drei Jahre Früchte und besitzt nicht die Möglichkeit sich vegetativ zu regenerieren, so wird diese Art bald nicht mehr existieren.
Die *Jahreszeit*, in der ein Feuer auftritt, beeinflusst die Mortalität von Pflanzen in einem gewissen Ökosystem genauso wie dies die Intensität und das Intervall des Feuers tun. Einige Pflanzenarten reagieren empfindlicher auf ein Frühlingsfeuer als auf ein Herbstfeuer, andere haben eine höhere Mortalität nach einem Sommerfeuer als nach einem Winterfeuer. Verschiedene Feuerintensitäten im Zusammenspiel mit dem physiologischen Stadium der Pflanze in Abhängigkeit der Jahreszeit können diese gegensätzlichen Aussagen plausibel erscheinen lassen.
Es gibt verschiedene Feuerregimes, die durch verschiedene Faktoren charakterisiert werden können und die die Anpassungsmechanismen der Pflanzen beeinflussen.

2. Vegetatives Überleben

Das Überleben nach einem Brand ist in erster Linie von der Weise, mit welcher die Knospen geschützt sind, abhängig. Das Kambium ist durch die Rinde von der Feuerhitze isoliert. Die Dicke der Rinde verleiht mehr Resistenz als ihr Typ: geringe Differenzen ergeben grosse Unterschiede in der Resistenz gegen Feuer. Die maximale Temperatur ist zum Quadrat der Rindendicke proportional, bis zur Erreichung der Hitze, die notwendig ist, um das Kambium zu zerstören. Das Feuer hat also die Tendenz, selektiv junge oder schmale Individuen und Arten mit einer dünnen Rinde zu zerstören.
Die Entlaubung ist der zweite wichtige Faktor, der das Überleben beeinflusst. Bei den Koniferen ist das Mass der Entlaubung der am meisten gebrauchte Hinweis, das Absterben des Baumes vorauszusagen. Die Wirkung ist von der Länge der Flammen und von der Kronenarchitektur abhängig. Arten mit einem langen und astfreien Stamm und hoch gelegener Krone können diesem Phänomen entgehen. Wie im Fall der Entlaubung und der Dicke der Rinde variiert mit dem Alter, der Grösse des Baumes und der Feuerstärke auch die Fähigkeit der Arten wieder auszutreiben. Einige haben die Fähigkeit, wieder auszutreiben nur, wenn sie jung sind, andere hingegen zeigen eine lineare Zunahme dieser Fähigkeit mit ihrem Wachstum.
Feuer kann also als stark selektiver "Räuber" im Sinne von Grösse und Art seiner "Beute" definiert werden.

2.1. Die Kompartimentalisierung und der Holzabbau

Wenn das Feuer Schaden an der Borke verursacht, liegen Stellen des Kambiums und des Holzkörpers frei. Das kambiale Teilungsgewebe wird je nach Intensität und Dauer der Hitzewirkung unterschiedlich geschädigt. Diese lebenden Zellen sterben ab, wenn eine Temperatur von 60 °C erreicht wird. Dadurch können Pilze, Bakterien und

Insekten, die sich vom Holz ernähren, in den Baum eindringen. Dem folgenden Abbauprozess versuchen die Pflanzen zu begegnen, indem sie in den lebende Parenchymzellen chemische Substanzen synthetisieren. Dazu werden mechanische Barrieren bei der Verletzung aufgebaut. Mit diesen Mechanismen wird die Ausbreitung der Eindringlinge begrenzt, obwohl es nicht immer perfekt funktioniert: mit der Investition zu grosser Energie zur Überwallung mit gesundem Gewebe läuft der Baum Gefahr zu verhungern oder es folgen statische Probleme, wie das Risiko von Windwurf oder Bruch durch Schneedruck.

2.2. Über- und unterirdisches Austreiben

Die Antwort der Pflanzen auf die Entlaubung durch Feuer unterscheidet sich stark zwischen den Arten. Viele Bäume sind sehr empfindlich und werden gerade getötet, wenn der Verlust über einer gewissen Grenze liegt. Andere verholzte Pflanzen können totale Entlaubungen ertragen, und wenn das Kambium nicht beschädigt ist, treiben sie neue Triebe aus Proventivknospen aus, um die Krone so schnell wie möglich zu regenerieren. Trotzdem können auch widerstandsfähige Arten bei wiederholter Entlaubung durch Feuer in kurzen Intervallen beseitigt werden. Hasel und Kastanien sind zum Beispiel während der Vegetationsperiode in der Lage, unmittelbar nach einem Brand durch Stockausschläge wieder auszutreiben, sofern der Wurzelstock durch die Hitze nicht letal geschädigt wurde. Ob sie dann auswachsen und wieder Früchte und Samen hervorbringen können, hängt von den Energiereserven, vom Grad der Verletzung und vom Brandzeitpunkt ab. Die Nadelhölzer besitzen auch schlafende Knospen an der Stammbasis, die aber nicht zum Austrieb gelangen. Hingegen reagieren sie bei schwerer Schädigung des Haupttriebes zuweilen mit der Bildung stammbürtiger Klebäste, die jedoch steril bleiben. Die Feuerschäden bei Nadelbäumen sind in der beginnenden Vegetationsperiode am gravierendsten, weil sie keine Stockausschläge bilden.

Der Boden ist ein effektiver Isolator, solang der Wärmeeintrag eine kleine Fraktion der totalen Wärme ist, die vom Feuer ausgelöst wird. Deswegen sind unterirdische Knospen gut vor letalen Feuertemperaturen geschützt. Das Wiederaustreiben geschieht normalerweise am Stammfuss, aber auch an Wurzeln und horizontalen Rhizomen, die zu extensiven vegetativen Ausbreitungen mit breiten klonalen Populationen führen können. Ein Beispiel sind Birken und Aspen in borealen Wäldern.

Gräser befinden sich zwischen den meisten feuerresistenten Individuen und liefern einen leicht entzündbaren Brennstoff. Sie überleben durch dauerndes Blätterwachstum aus Zwischenmeristemen und aus neuen Sprossen, die aus geschützten Knospen wachsen. Die Blätter können auch aus Knospen auf unterirdischen Rhizomen wieder austreiben, aber es erfolgt langsamer, als wenn sie sich bei oder über der Oberfläche befinden, wo sie von dauerhaften Blättern in einem Basalbüschel geschützt sind. Gräser sind durch Feuerschädigungen verletzbarer, wenn sie während der aktiven Wachstumszeit verbrannt werden. Das Austreiben beginnt dann in den Achselknospen und ist viel langsamer als in den Zwischenmeristemen.

2.3. Überleben durch Gruppenbildung

Die Gruppenbildung ist in Regionen der oberen Waldgrenze ein bewährter Mechanismus, gegen schädliche Einflüsse als Art zu überleben. Man kann nicht von einer Überlebensstrategie sprechen, weil sie auf die Hilfe von Tieren angewiesen ist. Zum Beispiel können Nadelhölzer an der oberen Waldgrenze aufwachsen, wenn ein Tannenhäher im Winter die Zapfen mit den Samen, die er als Vorrat bewahrt hat, nicht mehr findet. Die in der Mitte der Gruppe wachsenden Individuen sind durch die äusseren gegen Feuer und andere Einflüsse wie Steinschlag und Wildverbiss besser geschützt.

3. Die Umwelt nach einem Brand als Stimulus für die Reproduktion

Eine Ironie der Feuerökologie ist, dass Pflanzen mit einer dünnen Rinde, einer vom Feuer konsumierten Krone und der Unfähigkeit, wieder auszutreiben, häufig eine feuergefährdete Vegetation dominieren. Die nicht mehr austreibenden Arten, die vom Feuer zerstört worden sind und die nur durch die Samen überleben, kommen aus divergierender Stammesgeschichte und unterschiedlicher geographischer Herkunft. Es ist typisch, dass sie sich nur nach einem Feuer regenerieren und dass die Keimung der Samen von den Konditionen nach einem Brand angeregt wird.

Die nach einem Feuer folgenden Bedingungen haben viele Vorteile für Sämlinge. Der Raum ist durch den Brand von den angesiedelten Bäumen frei, Ressourcen (Licht, Wasser und Nährstoffe) nehmen zu, und der Raub von Samen und Sämlingen nimmt ab. Diese Umwelt ist charakterisiert durch viel Licht, hohe Temperaturen, hohe Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit. Der Mineralboden ist dann völlig exponiert, wenn das Feuer genug heiss war, um den Streuhorizont zu verbrennen. Viel Licht und hohe Temperaturen sind somit Folge der Entlaubung

durch Feuer. Russ, Asche und Kohle angebrannter Holzteile bewirken eine Schwarzfärbung der Oberfläche, welche die Bodenerwärmung zusätzlich verstärkt. Hohe Wasserverfügbarkeit ist das Resultat der Reduktion der totalen Transpirationsfläche der Blätter. Die aus Boden und Luft entnommenen, in den Pflanzenkörpern eingebauten Mineralstoffe werden nach einem Brand der Erde wieder zugeführt und sind somit für die nachfolgende Pflanzengenerationen zugänglich. Man muss aber auch beachten, dass im Gebirge das Klima rauer und die Sommer kürzer und kühler und deswegen auch die Abbauprozesse verlangsamt sind. Holzabbauende Mikroorganismen vermehren sich nur oberhalb bestimmter Temperaturen und Feuchtigkeitsgehalten. Solche Bedingungen sind im Gebirgsklima nur während weniger Wochen pro Jahr gegeben, während sie in tieferen Lagen einige Monate lang andauern. Das erklärt die lange Abbauphase und die erschwerten Keimungsbedingungen mangels pflanzenverfügbarer Nährstoffe in Gebirgsregionen.

4. Reproduktion und Feuer

Für viele Arten ist die Kombination von offener Fläche, erhöhter Nährstoffverfügbarkeit und momentaner Reduktion von Samenräubern für das Etablieren von Sämlingen in einer Umwelt, die von einem Brand zerstört worden ist, sehr vorteilhaft. Sie nutzen diese Bedingungen in verschiedener Weise. Einige werden vom Feuer stimuliert und blühen stark nach einem Brand. Andere blühen regelmässig zwischen den Feuern, häufen aber ihre Samen in Reservoiren wie Zapfen an. Einige Pflanzen verspäten die Ausbreitung der Samen, bis sie alle zusammen befreit werden, wenn die Krone brennt. Viele benutzen dazu spezialisierte Signale, um die Keimung mit dieser Umwelt zu synchronisieren.

4.1. Feuer stimuliert das Blühen

Das durch Feuer angeregte Blühen ist sehr üblich bei den Monocotyledonen wie *Orchidaceae*, *Iridaceae*, *Liliaceae*, *Amaryllidaceae*, *Poaceae* und *Cyperaceae*. Die exakte Natur des Stimulus ist unterschiedlich und ist auf Ethylene im Rauch oder auf den Wechsel von Temperatur, Licht und Nährstoffe zurückgeführt worden. Die Reduktion von Konkurrenz und das erhöhte Angebot an Licht, Wasser und Nährstoffe nach einem Feuer ist wahrscheinlich ein genügender Stimulus für viele Arten. Die Samen von diesen Pflanzen keimen typischerweise sehr rasch, aber sie werden nur nach einem Brand verfügbar, damit das Wachstum der Population gerade in dieser Zeit beschränkt ist.

4.2. Feuer stimuliert die Befreiung der Samen

Einige Arten sammeln ihre Samen in Zapfen, verholzten Kapseln oder dauerhaften verholzten Blütenständern in der Krone und diese sind damit vom Feuer isoliert. Diese Strukturen öffnen sich und befreien die Samen in Massen nur nach einem Brand. Individuen mit diesem Mechanismus sind normalerweise langlebige verholzte Pflanzen wie *Pinus*, *Cupressus*, *Picea*, *Sequoiadendron* in der nordischen Hemisphäre oder wie viele Familien der Angiospermen in der Gebüschflora von Süd-Afrika und Australien. Diese Eigenschaft ist nicht nur in Feuergebieten üblich, sondern man findet sie auch in Pflanzen von ariden Landschaften, wo starke Regenfälle und nicht Feuer der Auslöser für die Befreiung der Samen sind.

4.3. Feuer stimuliert die Keimung der Samen

Samen werden durch unterschiedliche und mit Feuer verbundenen Signale angeregt, aber der gewöhnlichste scheint der Schock durch Hitze oder die Befreiung von Chemikalien im Rauch oder das abgebrannte Holz zu sein. Der am meisten studierte Fall von einer durch Hitze induzierten Keimung ist, wenn eine wasserdichte Samenschicht für die Schlafphase der Samen verantwortlich ist. Im Fall der Hülsenfrüchte wird diese dann unterbrochen, wenn die Hülsen sich öffnen, sodass Wasser eindringen kann und damit die Keimung beginnt. Bei der *Acacia* wird die Öffnung durch Hitze induziert.
Feuer verändert die Chemie des Standortes und die chemische Änderung kann die durch Feuer angeregte Keimung induzieren. Es sind gewöhnliche Unkräuter beobachtet worden, die nur in Anwesenheit von abgebrannten Holz keimen. Auch einige Arten von zu Feuer neigenden Gebüschlandschaften in Süd-Afrika und Australien haben diese Eigenschaft gezeigt. Die Wirkung der Beeinflussung von abgebranntem Holz ist aber noch unklar und man weiss, dass Holzasche keinen Effekt hat. Andere Forschungen haben ergeben, dass die Keimung auch vom Rauch stimuliert werden kann. Auch der grundlegende physiologische Mechanismus ist noch nicht bekannt und kann von Art zu Art unterschiedlich sein. Es ist auch unklar, ob die betreffenden Chemikalien generell einen Stimulus für die Keimung bilden oder ob sie nur auf Arten in feuergefährdeten Regionen wirken.

5. Abgrenzung der Feuereinwirkung von anderen Störungen

"The word ‚fire adaptation' is misleading because fire is only one of the disturbances survived or resisted by species with ‚survival traits'. Neither is ‚pyrophyte' a particularly useful term, because the word covers too many ill-defined types of plants which thrive on areas other than burned sites."

(*L.Trabaud*, 1987)

Es ist reichlich Literatur vorhanden, in der die verschiedenen Arten Überlebensstrategien bei Feuer beschrieben werden. Viele Pflanzen haben Methoden entwickelt um nach einem Feuer zu regenerieren. Es ist aber oft schwer zu sagen, ob diese Methoden wirklich eine Anpassung an Feuer sind oder ob es nun allgemeine Anpassungen an Stress und Störungen sind.
Das Aktivieren von schlafenden Knospen ist eine der wichtigen vegetativen Regeneration nach Feuer. Die Fähigkeit schlafende Knospen zu bilden ist aber auch in Ökosystemen bekannt, die vom Feuer nicht betroffen sind. Es ist eine Methode um allgemeinen mechanischen Schäden entgegenzuwirken. In Abwesenheit von Feuer mögen gewisse Pflanzen schlafende Knospen und Wurzeltriebe bilden, doch das Austreiben dieser Knospen wird durch die Apikaldominanz gehemmt. Solange die Blätter leben werden, die Knospen vom Austreiben abgehalten, erst beim Verlieren der Blätter wird die Hemmung gelöst und die schlafenden Knospen beginnen auszutreiben. Dieses Entfernen der Blätter muss nicht zwangsläufig durch Feuer sein. Gewisse Pflanzen besitzen Mechanismen, bei denen das Keimen nach Feuer stimuliert wird. Oft ist jedoch nicht das Feuer/die Hitze direkt für das Keimen verantwortlich, sondern eine Kombination von Verschwinden der Baumschicht, keine Konkurrenz und direkte Sonneneinstrahlung auf den Boden. So kann gesagt werden, dass das vermehrte Keimen nach Feuer ein indirekter Einfluss des Feuers ist, aber auch durch andere Umweltfaktoren bestimmt wird.
Überlebensmechanismen sind nicht zwangsläufig eine Antwort auf eine Selektion durch Feuer. Das Feuerregime und der Lebenszyklus können mit den Merkmalen einer Pflanze so aufeinandertreffen, dass entweder Überleben oder Sterben einer Population in einem Gebiet hervorgerufen werden. Das Fortdauern einer Art als Ganzes ist viel mehr von den Umweltbedingungen abhängig als von einem einzelnen Feuer. Überlebensmechanismen werden am ehesten als Anpassung an Stress und Störung angesehen, wobei eine dieser Störungen Feuer ist.

Literatur:

Berli, S. (1996): Brandspuren in den Wäldern der Alpensüdseite, S. 21-46.
Bond, W.J., Wilgen, B.W. (1996): Fire and Plants, S. 34-51.
Malanson, G.P. (1987): Diversity, stability, and resilience: Effects of fire regime. In: Trabaud, L (1987): The role of fire in ecological systems, S. 49-63.
Trabaud, L, (1987): Fire and survival traits of plants. In: Trabaud, L (1987): The role of fire in ecological systems, S. 65-89.
Whelan, R.W. (1995): The Ecology of Fire, S. 57-104, 116-130.

Auswirkungen von Feuer auf den Boden

Temperaturregime

Allgemein kann man sagen, dass nur intensive Brände sichtbare Auswirkungen haben, da der Boden ein sehr guter Wärmeisolator ist. Die Temperatur ist von der Tiefe im Boden abhängig, und für jede Tiefe sind der maximal erreichte Temperaturwert und die Dauer der hohen Temperaturen wichtig. Während eines intensiven Brandes können die Temperaturen mehr als 700°C gerade über der Bodenoberfläche erreichen, aber schon auf der Oberfläche misst man geringere Werte. Die Dauer von hohen Temperaturen ist abhängig von der Dauer der Verbrennung: Wo die Brennstoffmenge klein ist wie bei Grasbränden, erfolgt praktisch keine Bodenerwärmung. Hingegen kann in Wäldern mit einem mächtigen organischen Horizont eine glimmende Verbrennung stundenlang dauern.

Die Temperatur in tieferen Lagen ist in der Regel viel geringer als an der Oberfläche. Bei Bränden mit geringer Intensität steigt die Temperatur der Mineralerde auf der Oberfläche nicht über 100°C und bis 50°C in einer Tiefe von 5 cm. Wenn hingegen eine mächtige organische Auflage vorhanden ist, kann eine hohe Intensität erreicht werden, und die Temperaturen steigen bis 700°C auf der Oberfläche, über 250°C bei 10 cm Tiefe und über 100°C bei 22 cm Tiefe.

Die Bodenfeuchtigkeit hat einen grossen Einfluss auf die Temperatur. Wo Boden und Brennstoff feucht sind, ist die Feuerwirkung geringer, weil sofern Wasser enthalten ist, die Temperatur nicht über 100°C steigen kann. Die Feuchtigkeit hat aber auch einen negativen Effekt. Da Wasser ein guter Wärmeleiter ist, kann die Hitze in die Tiefe gehen. Obwohl die Temperatur nicht über den Siedepunkt steigt, genügt dies, um Lebewesen zu töten (s.Tab. 1). Man kann auch feststellen, dass in trockenen Böden der Hitzewiderstand einige Lebewesen grösser ist.

Lebewesen	Letaltemperatur (°C), feuchte Böden	Letaltemperatur (°C), trockene Böden
Wurzeln	48	48
Kleine Säugetiere	49	49
Pilzen	60	80
Samen	70	90
Nitrosomonas	80	90

Tab.1: Temperaturen, bei denen verschiedene Lebewesen sterben

Das Temperaturregime ist auch in den folgenden Jahren verändert, obwohl bei wenig intensiven Bränden die Auswirkungen undeutlich sind. Diese Veränderungen sind auf den Verlust der Vegetationsdecke und der Streuauflage und auf die Verdunkelung des Oberbodens zurückzuführen. Die fehlende Decke ermöglicht eine höhere Sonneneinstrahlung (man hat Temperaturen über 70°C auf der Bodenoberfläche gemessen) und auch eine höhere nächtliche Ausstrahlung, während die dunkle Farbe die Strahlungsabsorption erhöht.

Physikalische Eigenschaften des Bodens

Die Auswirkungen auf physikalische Eigenschaften sind geringer als auf chemische Eigenschaften, aber die Erholung kann länger dauern. Die Textur wird selten verändert, aber es kann sein, dass Tonpartikel schmelzen und grössere stabile Partikel (Grösse eines Sandkornes) bilden. Dieser Effekt ist selten beobachtbar, weil die notwendigen hohen Temperaturen selten erreicht werden. Die Bodendichte erhöht sich in der Regel nach wiederholten oder intensiven Bränden, weil sie indirekt proportional zur Porosität ist, die sich verringert. Eine Ursache der verminderten Porosität ist die Zerstörung von Insekten und Regenwürmern, die den Boden belüften. Wo einzelne oder wenig intensive Brände stattgefunden haben, hat man undeutliche Auswirkungen auf Dichte und Porosität beobachtet.

Auch die Struktur wird von Feuer verändert. Die Aggregatbildung ist im Boden an die Anwesenheit von organischer Substanz (vor allem im A-Horizont) oder Tonmineralien (in tieferen Horizonten) gebunden. Die Tonmineralien werden nicht grossräumig verändert wegen ihrer kleinen Menge in den oberen Horizonten. Hohe Temperaturen, die benötigt werden, um den Verlust von OH-Guppen (>460°C) oder irreversible Veränderungen durch Hydratation (>980°C) zu verursachen, werden nicht in den tieferen Lagen erreicht. Hingegen wird die organische Substanz schwerwiegend beeinträchtigt, da sie teilweise oder vollständig verbrennt. Die Bodenstruktur wird somit zerstört, und die für die Wasserinfiltration verantwortliche Makroporen (>0.6mm Durchmesser) werden reduziert, was einen erhöhten Oberflächenabfluss verursacht. Damit verringert sich die Bodenfeuchtigkeit und die Erosion von nährstoffreicher Asche und organischer Auflage steigt. Ausser der Strukturzerstörung gibt es andere Faktoren, die das Wasserregime modifizieren. Das Feuer kann eine wasserabstossende Schicht schaffen, indem Bodenpartikel mit hydrophoben organischen Verbindungen überzogen werden. Bei Temperaturen über 175°C verdampfen diese organischen Verbindungen, diffundieren im Boden und kondensieren in den unteren Schichten. Wenn aber die Temperatur über 288°C steigt, werden diese Verbindungen zerstört. Die Bedingungen, die eine solche Undurchlässigkeit fördern, sind: harzige Streu, grobkörnige Struktur und Lagen mit Bedingungen für intensive Brände. In ebenen Lagen trägt die Wasserabstossung nur zur Bodenaustrocknung bei (Wiederbesiedlung von Mikroorganismen und Pflanzen gehemmt), aber in steilen Lagen kann sie eine bedeutende Beschleunigung der Erosion verursachen (mit Verlust von Bodenmaterial und Nährstoffen).

Chemische Eigenschaften des Bodens und Nährstoffe

Die Auswirkungen des Feuers auf chemische Eigenschaften sind noch nicht vollständig geklärt. Langfristige Wirkungen hängen von der Menge der durch Feuer mobilisierten Nährstoffe ab, von der Fähigkeit anderer Ökosysteme, diese Nährstoffe aufzunehmen, bevor sie verloren gehen, und von der Fähigkeit des Systems, Nährstoffreserven zu regenerieren durch Mechanismen wie Stickstofffixierung.

Das Feuer hinterlässt eine grosse Menge Asche (2 bis 15 t/ha), die eine hohe Konzentration an Nährstoffen enthält: 20-100 kg Stickstoff, 3-50 kg Phosphor, 40-600 kg Kalzium. Einige Kationen sind wasserlöslich und bilden deshalb einen sofort nutzbaren Vorrat für die Regeneration der Vegetationsdecke. Andere Kationen wie Phosphorverbindungen sind wasserunlöslich , und sie werden nur langsam nutzbar. Das hat aber das Vorteil, die Auswaschung dieses Nährstoffes zu minimieren. Während und nach einem Brand werden Nährstoffe grundsätzlich durch 5 Prozesse entfernt:

1. Oxidation von Verbindungen, die in Gas verwandelt werden
2. Verdampfung
3. Konvektion von Asche
4. Auswaschung von Ionen
5. Erosion von festen Partikeln

Stickstoffverluste kommen primär durch Oxidation vor, wie beim Beispiel der Aminosäure Cysteine:

$$4\ CHCH_2NH_2COOHSH + 15\ O_2 \rightarrow 8\ CO_2 + 14\ H_2O + 2\ N_2 + 4\ SO_2 + \text{ENERGIE}.$$

Verdampfung bedeutet keine chemische Veränderung der Verbindung. Nitrat wird mit Temperaturen von ca. 80°C verdampft und Aminosäuren verdampfen mit Temperaturen unter 200°C (deutlich unter ihrer

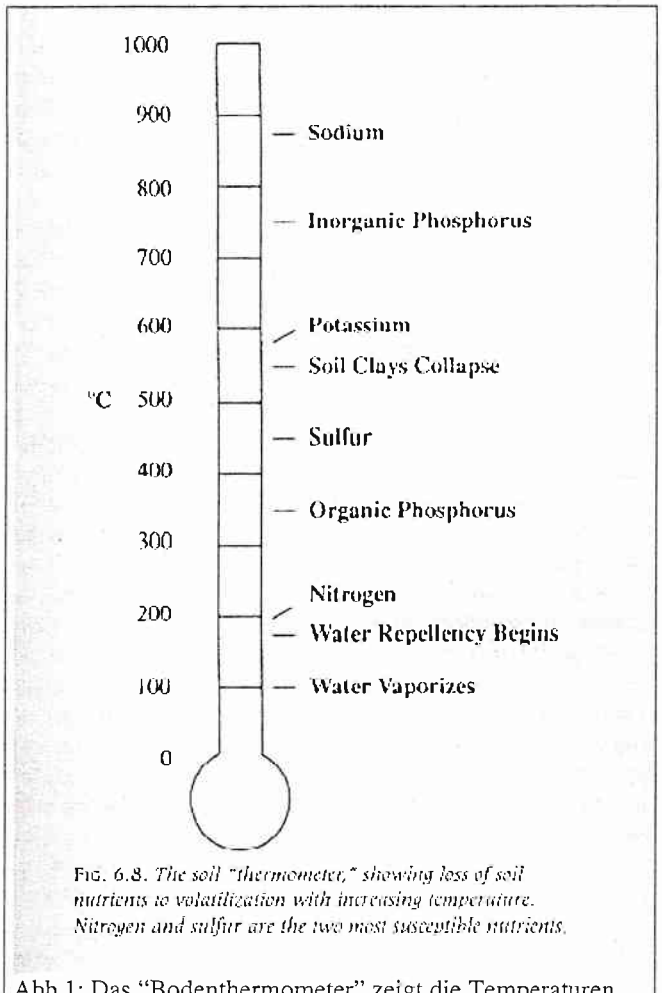


Abb.1: Das "Bodenthermometer" zeigt die Temperaturen an welchen die verschiedene Nährstoffe durch Verdämpfung verloren gehen

Verbrennungstemperatur). Der Verlust durch Verdampfung hängt von der Menge an verbrauchter Biomasse und von den erreichten Temperaturen während des Brandes ab (s. Abb.1). Der Verlust von Kohlenstoff beginnt ab 100°C, und ab 175°C beginnt die Veränderung von Kohlenwasserstoffe Wasserabstossung zu schaffen. Stickstoff wird einfach vergast, mit Verlusten ab 175°-200°C. C und N sind also die Nährstoffe, die mehr beeinträchtigt werden. Die wichtigsten Schwefelverluste beginnen ab 375°C und diejenigen von Kalium ab 550°C. Inorganischer Phosphor geht bei einer Temperatur von 770°C verloren. Da die P-Vorräte hauptsächlich im Boden (94-98%) und nicht in der Streu sind, ist der Brandeffekt geringer als für Stickstoff. Die Brandtemperaturen übersteigen selten 750°C, Calcium, Magnesium und Natrium bleiben deshalb gewöhnlich in und auf dem Boden und bilden den Hauptbestandteil von Asche. Wenn die organische Substanz vollständig verbrannt wird, wird Stickstoff flüchtig, und je nach Temperatur gehen Schwefel und Kalium teilweise oder vollständig in die Atmosphäre verloren. Wenn aber die OS nur teilweise verbrannt wird und als dunkler Rückstand erscheint, sind Stickstoff und Schwefel noch teilweise vorhanden und alle anderen Nährstoffe sind in einer veränderten, mobileren Form vorhanden.Die Nutzbarkeit dieser Nährstoffe hängt teilweise vom Boden-pH ab, der auch verändert wird. Direkt nach dem Brand beobachtet man eine pH-Erhöhung wegen der Zersetzung von organischen Säuren und wegen der Reaktion von H^+ mit verschiedenen in der Asche vorhandenen Oxiden:

- Verbrennung von Essigsäure

$$CH_3COOH + 2\ O_2 \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ H_2O$$

- Verbrennung von Acetat

$$CH_3COOK + 2\ O_2 + H^+ \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ H_2O + K^+$$

Diese Veränderung hängt aber vom ursprünglichem Boden-pH und von der Pufferungsfähigkeit des Bodens ab. Böden mit einem ursprünglichen pH von ca. 6.5 enthalten viele Karbonate, die eine grosse Pufferwirkung haben und die Feuerwirkung vermindern. Böden mit extrem tiefen pH-Werten (<4.5) sind auch stark gepuffert wegen des hohen Gehaltes an Al^{3+} oder an organischen Säuren. Die grössten Veränderungen geschehen deshalb in Böden mit einem pH zwischen 4.5 und 6.5. Diese Bedingungen von vermindertem Säuregehalt hemmen den Austausch von sauren Kationen wie Fe^{3+}, aber der Vorrat an austauschbaren basischen Kationen (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+) steigt. Die hohe Mobilität dieser Kationen ermöglicht aber auch eine grössere Auswaschung. Die Untersuchungen über Feuerwirkungen auf nutzbaren Bodenstickstoff sind diskordant. Einige Forscher haben eine Verminderung des Vorrates, andere eine Erhöhung und noch andere keine Wirkung festgestellt. Es gibt einen klaren Verlust von totalem Stickstoff gerade nach dem Brand,

aber in Rückständen kann man Ammonium, das direkt nutzbar für Pflanzen ist, in grössere Mengen als vor dem Brand finden. Eine vermehrte Komplexität des Stickstoffzyklus ergibt sich auch, weil die Menge einiger Pflanzenarten wie Erle oder Lotus, die Stickstoff fixierende Bakterien tragen, steigen kann.

Lebewesen

Die ökologische Bedingungen sind nach einem Brand stark verändert. Der Boden wird dunkler und absorbiert deshalb die Sonnenstrahlung besser, wodurch die Temperatur erhöht wird. Die saugende Wirkung der Pflanzen wird reduziert und es ergibt sich eine höhere Feuchtigkeit. Dank diesen Bedingungen könnte man eine grössere Zersetzungsrate erwarten, aber die Untersuchungen sind hier diskordant.

Die Bodenmikroflora (Bakterien, Pilze, Algen und Moose), die eine wichtige Rolle in Zersetzungsprozessen spielt, kann in vegetativer Form leben oder als Spore überleben, die sehr widerstandsfähig gegen Brand sind. Ein Brand in feuchten Böden kann stärkere Auswirkungen auf die Mikroflora als einer an trockenen Standorten haben wegen der höheren Wärmeleitfähigkeit. Obwohl Bakterien widerstandsfähiger gegen Hitze als Pilzen sind, zeigen beide eine schwere Abnahme bei tieferen Temperaturen in einem feuchten Boden.

Brände mit geringer Intensität, die schnell verlaufen wegen der kleinen Menge an Brennstoff (Weiden, Rasen), haben fast keine Auswirkungen auf Mikroorganismen. Hingegen verursachen Brände mit grosser Intensität, die lange dauern, die grössten Schäden. Diese Auswirkungen sind am grössten in organischen Horizonten und in den ersten paar Zentimetern des Mineralbodens, wo der grösste Teil der Mikroorganismen lebt. Je nach Lebewesen kann eine Bodenerwärmung letal mit Temperaturen zwischen 50° und 210°C sein. Es können auch Temperaturen über 210°C benötigt werden, um spezifische Bakteriengruppen in trockenen Böden zu töten, aber in feuchten Böden ist die letale Temperatur bis auf 110°C reduziert.

Sofort nach dem Brand zeigen sowohl Bakterien wie auch Pilze eine Abnahme, die Situation wird aber dank den Sporen und den vegetativen Rückständen schnell normalisiert. Mit einem erhöhten pH haben Bakterien einen Vorteil gegenüber Pilzen. Feuer kann auch positive Wirkungen auf bestimmte Bakterien haben. *Nitrosomonas* spp. und *Nitrobacter* spp., die an der Nitrifikation von Ammonium involviert sind, sind gewöhnlich in kleinen Mengen anwesend. Es gibt dafür zwei Ursachen: hoher Wettbewerb für NH_4^+ von Pflanzen und allelopathische Wirkungen von Terpenen und Phenolen, die von Pflanzen ausgeschieden werden. Nach einem Brand ist die Vegetation entfernt und die hemmenden Verbindungen werden verdampft. Das heisst, dass alles nutzbare NH_4^+ von den Bakterien oxidiert werden kann, was eine Zunahme der Population erlaubt.

Nach intensiven Bränden werden die Mykorrhiza-Pilze vermindert, sowohl die Menge als auch die Arten, weil diese Pilze in den oberen Schichten des Bodens (Humus, der verbrannt wird) leben. Man hat nachgewiesen, dass Mykorrhiza-Pilze schon bei Temperaturen von 50°C geschädigt werden und es einen totalen Verlust ab 94°C gibt. Die Abnahme der Mykorrhiza-Arten ist aber eher auf den Verlust von Gastbaumarten zurückzuführen. Die Wiederbesiedlung kann mehr als 10 Jahren dauern, um den ursprünglichen Stand zu erreichen.

Krankheitserreger können auch einen Vorteil haben: *Rhizina undulata* neigt zu einer Zunahme nach intensiven Bränden. Sie befällt Koniferenwurzeln in sauren Böden und tötet die Pflanze. Hingegen wird die Keimung von *Heterobasidion annosum*-Sporen durch Rauch gehemmt.

Die Feuerauswirkungen auf wirbellose Tiere (Käfer, Termiten, Ameisen) sind schwer zu beurteilen, da sie stark von der Feuerintensität, von den ursprünglich vorhandenen Arten, von der selektiven Veränderung im Artengleichgewicht und von der Reaktion an veränderte Streu- und organische Auflagen abhängen. Indirekte Auswirkungen wie Streuabnahme können eine Abnahme von Arten und Dichte der Wirbellose verursachen. Besonders anfällig sind die Arten, die weniger mobil sind und primär in der Streu und in den oberen Schichten des Bodens leben.

Die direkten Auswirkungen von Feuer auf Wirbeltiere sind minimal, sofern sie genügend mobil sind, um bis in eine genügende Tiefe zu graben oder auf die Oberfläche fliehen zu können. Die indirekten Effekte wie der Verlust von Habitaten oder die Zunahme der Prädation sind eher wirksam, indem sie Artendiversität und Dichte verringern.

Schlussfolgerungen

Es besteht eine umgekehrt proportionale Beziehung zwischen Brandhäufigkeit und -intensität: kurze Abstände zwischen Bränden führen zu einer wenig intensiven Verbrennung, hingegen führen längere Abstände zu sehr starken Bränden, die grosse Mengen an Biomasse verbrauchen. Das Feuer entfernt Nährstoffe durch verschiedene Mechanismen wie Oxidation und Vergasung von Verbindungen, Verdampfung oder Konvektion von Asche. Stickstoffverluste sind üblicherweise proportional zur Menge an verbrauchtem Brennstoff, mit einem durchschnittlichen Verlust von 5 kg N_2 je Tonne verbrannter Biomasse. Die unmittelbaren Auswirkungen auf Böden können Feuchtigkeitsveränderungen sein, entweder wegen einer reduzierten Infiltrationsrate oder wegen einer reduzierten Evapotranspiration von Pflanzen. Man kann auch eine kurzfristige Zunahme von Nährstoffnutzbarkeit beobahcten. Über die langfristigen Auswirkungen von Bränden ist hingegen noch vieles unbekannt.

Bibliographie

- Agee, J.K., 1993: Fire ecology of pacific northwest forests, S. 151-166
- Fischer, R.F., Binkley, D., 2000: Ecology and management of forests soils, S. 241-261
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., Ffolliott, P.F., 1999: Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis, S. 51-71.

Bericht zum Kurzreferat im Rahmen des Waldbrandkurses in Bellinzona
Anouk Heimgartner
6. Semester

Feuer als sukzessionssteuernder Faktor in den Bergföhrenwäldern des schweizerischen Nationalparks

Inhaltsverzeichnis

A. Einleitung
B Bergföhrengesellschaften im Schweizerischen Nationalpark 11
1. Erico-Pinetum mugo 11
1.1 Exposition, Höhenstufe, Geologie, Böden, Eigenschaften 11
1.2 Kennzeichnende Arten 11
1.3 Verbreitung im Schweizerischen Nationalpark 11
2. Rhododendro hirsuti-Pinetum mugo 11
2.1 Exposition, Höhenstufe, Geologie, Böden, Eigenschaften 11
2.2 Kennzeichnende Arten 12
2.3 Verbreitung im Schweizerischen Nationalpark 12
3. Rhododendro ferruginei-Pinetum mugo 12
3.1 Exposition, Höhenstufe, Geologie, Böden, Eigenschaften 12
3.2 Kennzeichnende Arten 12
3.3 Verbreitung im Schweizerischen Nationalpark 12
C Brandursachen und Brandrisiko 12
D Brennstoff in SNP 13
E Sollen Brände im SNP gelöscht werden oder nicht? 14
F Schlussfolgerungen 14
G Literaturverzeichnis 15
H Anhang .....

A. Einleitung:
Denkt man an einen Waldbrand, so denkt man an Zerstörung und Naturgewalt. Doch gehören diese Brände zur Waldentwicklung wie andere weniger zerstörende Faktoren. So entstehen nach einem Brand geeignete Licht- und Nährstoffverhältnisse für eine Neubesiedlung.
Waldbrände formen einen Wald mit mosaikartiger Struktur, indem immer neue Teilbestände entstehen und aufkommen.
In dieser Arbeit betrachte ich die Bergföhrenwälder des Schweizerischen Nationalparks (nachfolgend mit SNP abgekürzt) in Bezug auf die brandgefährdeten und brandverursachenden Faktoren.

B. Bergföhrengesellschaften im Schweizerischen Nationalpark:
Allgemein:
- der Boden unter Bergföhrenwälder ist gehemmt
- eher ruhigeres weniger Lawinen- und Steinschlag gefährdetes Gelände, als bei den Legföhrenwäldern
- 1300 m.ü.M. - 2250 m.ü.M. (Waldgrenze)
- der SNP befindet sich in den kontinentalen Hochalpen mit wenig Niederschlag (< 1000mm)

Es gibt drei Einheiten von Bergföhrenwäldern im SNP:
(Jene Faktoren, die das Risiko eines Brandes erhöhen sind grün gekennzeichnet)

1. Erico – Pinetum mugo; Bergföhrenwald mit Erika (Nr. 67 nach EK)

1.1 Exposition, Höhenstufe, Geologie, Böden, Eigenschaften:
- ebene Flächen bis mässig steile Hänge
- hochmontan / subalpin
- auf Carbonatgestein (Dolomit)
- flachgründige extrem austrocknende und sonnenexponierte Kalkrohböden (Rendzina) gelegentlich mit einer dünnen Trockenmoderauflage (Moosreiche Ausbildung)
- während der Vegetationszeit stark austrocknend

1.2 Kennzeichnende Arten:
Baumschicht: aufrechte Bergföhre (8-15m)
Strauchschicht: Felsenmispel, Erslbeere, Wachholder (in tieferen Lagen)
Krautschicht: Erica, Erdsegge, Hufeisenklee, Hornklee, Steinröschen, Alpenpippau, gabliges Habichtskraut, Wiesenwachtelweizen
Moosschicht: (falls vorhanden) Rotstengelmoos, Isländischmoos und Rentierflechten (Brandgefährdung, wenn die Moosschicht ausgetrocknet ist)

1.3 Verbreitung im SNP:
Mehr als 70% der Bergföhrenwälder im Nationalpark werden durch diese Pflanzengesellschaft gebildet.

2. Rhododendro hirsuti – Pinetum mugo; Bergföhrenwald mit bewimperter Alpenrose (Nr. 69 nach EK)

2.1 Exposition, Höhenstufe, Geologie, Böden, Eigenschaften:
- schwach bis mässig geneigte Hänge, auch in Mulden
- subalpin
- auf Carbonat / Silicatgestein
- Rohböden mit Rohhumusauflage
- In ausgesprochener Schattenlage und an Stellen, die lange mit Schnee bedeckt sind (kurze Aperzeit)
- Erscheinungsbild: Nebeneinader von basenzeigenden Arten mit Kontakt zum kalkreichen Mineralboden und nur in der Rohhumusauflage wurzelnde Säurezeiger

2.2 Kennzeichnende Arten:
Baumschicht: aufrechte Bergföhre (10-15m)
Strauchschicht: Steinrose (bewimperte Alpenrose); Zwergmispel, Alpenbärentraube, Heidel- Preisel- Moorbeere, Erika
Krautschicht: Blaugras, Silberwurz
Moosschicht:(sehr ausgeprägt), Isländisch Moos, Kalkholdes Kräuselmoos, Rentierflechte

2.3 Verbreitung im SNP:
Diese Pflanzengesellschaft ist mit weniger als 30% der Bergföhrenwälder vertreten.

3. Rhododendro ferruginei – Pinetum mugo; Bergföhrenwald mit rostblättriger Alpenrose (Nr. 70 nach EK)

3.1 Exposition, Höhenstufe, Geologie, Böden, Eigenschaften:
- Mässig steile, sonnenabgewandte Stellen
- Montan bis subalpin
- Silicatgestein
- Frischer bis feuchter, stark ausgewaschener Podsol mit Rohhumusauflage (sauer, nährstoffarm)

3.2 Kennzeichnende Arten:
Baumschicht :aufrechte Bergföhre (bis 25m)
Strauchschicht: vereinzelt Fichte und Vogelbeere; dominierende Alpenrose; Heidel- Preisel- und Moorbeere
Krautschicht/Gräser: sind weitgehend verdrängt, ansonsten Drahtschmiele, Alpenlattich und Wiesenwachtelweizen
Moosschicht: sehr dicht mit Fichtenwaldarten besiedelt, hinzu kommen spitzblättriges Torfmoos, Weissmoos, Rentierflechte

3.3 Verbreitung im SNP:
Diese Waldgesellschaft ist nur am Rand des SNP und dort im Kontakt zum Lärchen - Arvenwald schwach verbreitet.

Weiter sind noch drei Mischeinheiten im SNP verbreitet:
- Bergföhren - Lärchenwald
- Bergföhren - Fichtenwald
- Bergföhren – Arvenwald

Die wichtigen Arten sind meist dieselben, wie beim Erico – Pinetum mugo und werden deshalb nicht weiter erwähnt.

C. Brandursachen und Brandrisiko

Im SNP können mehrere Faktoren zu einem Waldbrand führen. Diese sind natürlicher, wie z. B. Blitzschlag, oder aber, was häufiger vorkommt unnatürlicher Art. Solche Brände werden meist durch Unachtsamkeit, einrichten einer Feuerstelle, oder durch das Wegwerfen von Raucherwaren entfacht.
Zunächst möchte ich mich auf die natürlichen Ursachen beschränken, will aber vorher die verschiedenen Brandarten aufzeigen, wobei die beiden erstgenannten für mein Thema massgebend sind und näher beschrieben werden:

a) Boden- oder Lauffeuer
b) Gipfel- oder Kronenfeuer
c) Erdfeuer oder Bodenbrände
d) Stamm und Stockfeuer
e) Waldfeuer gemischten Charakters

Zu a): Das Bodenfeuer wird meist durch leichtentzündbare Streu, trockener Bodenvegetation und dürres Geäst entwickelt. Über das Dürrholz gelangt es in die Krone, wo es sich als Kronenfeuer durch starke Winde mit enormer Geschwindigkeit weiterverbreiten kann.

Zu b): Das Kronenfeuer kann aber auch direkt durch einen Blitzeinschlag entfacht werden, und sich weiterverbreiten, ohne dass der Boden und die Bodenvegetation vollständig verbrannt werden.

Weiter unterscheidet man zwischen kaltem (bis 200° C) und heissem (bis 800°C) Feuer. Trockene Streu und Geäst erhöhen die Temperatur des Feuers. Dadurch werden wichtige Nährelemente zerstört, so dass eine Wiederbesiedlung erschwert wird.
Hingegen wird durch eine feuchte oder nasse Streuauflage die Temperatur gesenkt und der Boden und mit seiner Auflage wird nicht total zerstört.
Die Ausbreitung des Feuers in Berggebieten geschieht meist hangaufwärts und je nach Verhältnissen mit 1-2 km/Stunde.

Der SNP befindet sich in einer gewitter- und niederschlagsarmen Region. Durch die tiefe Gewittertendenz ist das Risiko eines Waldbrandes gering, jedoch trocknen die Bäche und Böden im Sommer wie im Winter rasch aus.

Winterverhältnisse:
Im Winter gibt es zudem durchschnittlich 1-2 Trockenperioden von 10 Tagen Dauer pro Monat, was die Gefahr von Bränden hoch hält. Da im Winter jedoch Schnee liegt, würde sich wahrscheinlich ein Kronenbrand ergeben, der wiederum durch einen Blitzschlag entfacht würde. Die Gewittertendenz im Winter ist jedoch so tief, dass man zusammenfassend das Brandrisiko im Winter als gering einstufen kann.

Sommerverhältnisse:
Betrachtet man die Sommermonate, so können sich sehr wohl auch in diesen Gebieten stärkere Gewitter ereignen, die einen Brand auslösen können. Vergleicht man die Daten der Luftfeuchtigkeit über das ganze Jahr verteilt, so sieht man, dass sie an manchen Sommertagen unter 20% sinken und somit den Boden und die Vegetation rasch austrocknen kann.
Zusammenfassend kann man wegen der Austrocknung im Frühsommer und der geringen Luftfeuchtigkeit tagsüber im Spätsommer das Sommerhalbjahr als feuergefährdete Zeit betrachten.

Brände, die durch den Menschen verursacht werden:
Durch den öffentlichen Zugang der Wanderwege im SNP, besteht hier vor allem an schönen Sommertagen eine grosse Waldbrandgefahr, da sehr viele Personen den Park besuchen. Im Winter besteht diese Gefahr kaum.
Nicht nur die Wanderwege, sondern auch die Ofenpassstrasse birgt ein Risiko in sich. Hier können Brände vor allem durch weggeworfene Raucherwaren entfacht werden.

D. Brennstoffe im SNP

Die Bergföhre an sich ist durch die schnellentzündlichen ätherischen Öle und Nadelstreu sehr brandanfällig. Jedoch ist sie ein Tiefwurzler und hat eine feuertolerante Borke, was für ein Überleben eines Brandes eine gute Voraussetzung ist. Feuer fördert auch den Keimvorgang verschiedener Föhrenarten. Auch stimulieren Hitze und Asche den Keimprozess von Heidekraut.
Vor allem Zwergsträucher, trockenes Moos und andere trockenen Pflanzen sorgen neben dem Totholz für Brennstoff.
Betrachtet man die oben erwähnten Faktoren, die einen Waldbrand begünstigen und vergleicht sie mit den drei beschriebenen Bergföhrengesellschaften, so sieht man, dass der Erika-Bergföhrenwald stark feuergefährdet ist.

Namentlich sorgen die Bergföhre selbst, die stark vorhandene Erikavegetation und die Moosschicht für Brennstoff. Auch die Exposition führt zu rascher Austrocknung, was das Ausbreiten eines Feuers begünstigt.
Wegen der ausgesprochenen Schattenlage und den feuchteren Bodenverhältnissen sind der Bergföhrenwald mit bewimperter Alpenrose und der Bergföhrenwald mit rostblättriger Alpenrose weniger gefährdet.

E. Sollen Brände im SNP gelöscht werden oder nicht?

An einer Tagung vom 2/3. Juli 1991 beschloss die wissenschaftliche Nationalparkkommission, dass alle Brände gelöscht werden müssen. Jedoch sind Lockerungen gegenüber Bränden in anderen Wäldern möglich, da menschliches Leben nur bedingt (Ofenpassstrasse) gefährdet ist. So beschränkt man sich auf das Halten des Feuers, das heisst man will in erster Linie das Ausbreiten des Feuers verhindern.
Weiter hat die Kommission beschlossen, dass nur schonende Bekämpfungsmethoden angewendet werden dürfen und so kommt nur Wasser ohne chemischen Zusätze zum Einsatz.
Auch wurden folgende Massnahmen zur Verringerung des Brandrisikos diskutiert:

1. kleinflächiges Abbrennen des liegenden Kleinholzes durch kontrollierte Bodenfeuer
   → abgelehnt: zu hohes Risiko
2. Räumen des Kleinholzes entlang der Ofenpassstrasse, um Risiko einer Entfachung zu verringern
   → abgelehnt: zu aufwändig
3. Rauchverbot auf besonders belasteten Wegabschnitten
   → grundsätzlich möglich, aber schwierig zu kontrollieren

F. Schlussfolgerungen

Waldbrände gehören zur Sukession und bilden neue Waldstrukturen. Sie vermindern den Totholzanteil, der wenn er sich auftürmen würde, Nahrung für einen viel intensiveren Waldbrand ergäbe.
Im SNP sind vor allem die Erika-Bergföhrenwälder durch das Zusammentreffen von waldbrandbegünstigenden Faktoren feuergefährdet. Das Risiko der Waldbrandentfachung in den Bergföhrenwälder des SNP ist grundsätzlich als gering einzustufen. Die vorhandene mittlere Belastung kann aber zu grossflächigen Bränden führen.

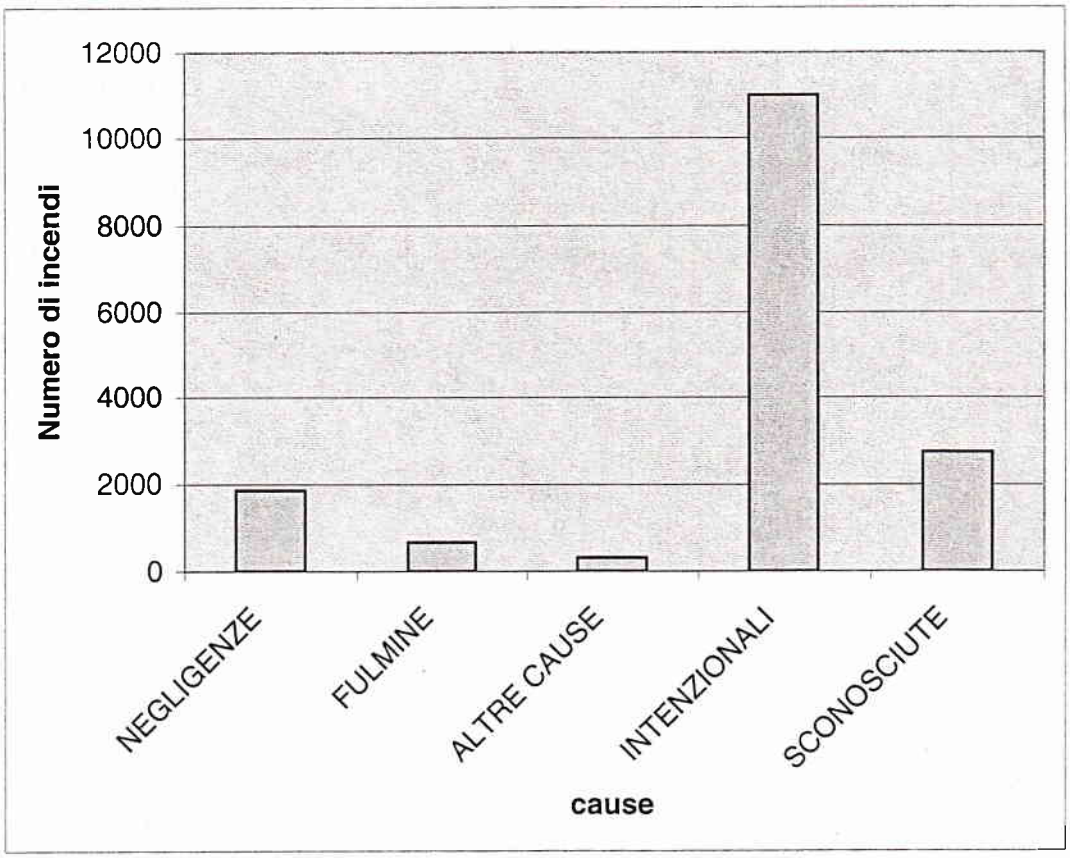
G. Literaturverzeichnis

- Nievergelt, B.; Robin, K.; Scheurer, Th.: Waldbrand im Schweiz. Nationalpark; Ergebnisse der Klausurtagung, 1991
- Ott, E.; Frehner, M.; Frey, H.U.; Lüscher, P.: Gebirgsnadelwälder, 1997
- Schöning, R.: Modellierung des potentiellen Waldbrandverhaltens mit einem geographischen Informationssystem; Diplomarbeit beim Geographischen Institut der Universität Zürich, 1996
- Steiger,P.: Wälder der Schweiz, 1994, 3. Auflage
- Zoller, H.: Vegetationskarte des Schweizerischen Nationalparks; Erläuterungen; Nationalparkforschung in der Schweiz, Nr. 85; 1985

INCENDI BOSCHIVI NELLA FASCIA MEDITERRANEA

1. Caratteristiche generali degli incendi boschivi nella fascia Mediterranea

- Fattori predisponenti: stagione secca piuttosto lunga (estate prolungata da giugno a ottobre, con poche precipitazioni e temperature diurne superiori ai 30°C). Oltre al calore e alla scarsità di umidità, il vento è pure un fattore decisivo (contribuisce a far scendere l'umidità atmosferica e a propagare l'incendio a grande distanza).
- Il fuoco rappresenta la minaccia naturale più importante delle aree boschive del bacino mediterraneo.
- Al giorno d'oggi, in tutto il bacino mediterraneo il numero di incendi forestali ogni anno è in media di circa 50'000, circa il doppio di quelli che si avevano negli anni '70.
- L'area bruciata cumulata negli stati del Mediterraneo ogni anno è di circa 600'000 ha, quasi il doppio di quella negli anni '70.
- Cause: prevalenza di fuochi di origine umana. Fra le cause conosciute, l'involontarietà (negligenza o incidente) è quella più frequente. (ALEXANDRIAN, ESNAULT 1998)



Cause degli incendi (estrapolate dall'Annuario di Statistica Forestale spagnola, 1999)

2. Rapporti fra l'evoluzione della popolazione e gli incendi boschivi

La causa fondamentale dei fuochi forestali è legata allo standard di vita ed all'aumento di popolazione.
L'incremento della popolazione presuppone una maggiore pressione sulla foresta (maggiore domanda di terreni).
Inoltre il progressivo disinteressamento delle risorse forestali a favore di altre fonti di energia, ha una perdita di responsabilità e di rispetto nei confronti della foresta. Questo ha portato ad un aumento degli incendi. (VELEZ 1998)

3. Principi di risoluzione del problema a livello politico

Gli incendi forestali costituiscono un fenomeno derivante dalle condizioni socio-economiche del momento.
Il numero di incendi originatisi per cause naturali o accidentali negli ecosistemi mediterranei si è molto ridotto. L'alto rischio deriva dalle pratiche della società che li utilizza e che condiziona la maggiore o minore accumulazione di combustibili.
Per far sì che gli incendi si riducano alle loro dimensioni naturali, è essenziale l'adozione di una politica agraria che contribuisca a diversificare il paesaggio, a evitare la continuità delle formazioni vegetali senza incentivare in modo indesiderato l'impiego incontrollato del fuoco è una condizione assolutamente essenziale
Per fare ciò manca:

- un programma di selvicoltura preventiva
- un ridimensionamento degli incentivi verso l'agricoltura e l'allevamento, per evitare incendi indesiderati.
- un programma di sensibilizzazione diretto prevalentemente alla popolazione rurale e un programma di educazione orientato alla popolazione urbana con attenzione speciale agli studenti, con l'aggiunta di un sistema di mobilitazione di volontari per la prevenzione.

Soprattutto negli ultimi anni ci si è resi conto che una politica di prevenzione integrale è necessaria per la lotta contro gli incendi.

Tra il 1992 e il 1994 è stato elaborato per conto del Senato spagnolo uno studio delle motivazioni degli incendi forestali, revisionato poi nel 1995.
Nel 1997, il Comitato spagnolo di Lotta contro gli Incendi Forestali (CLIF), nel quale si coordinano le amministrazioni responsabili in Spagna, ha elaborato un Libro Rosso della Prevenzione e una Libro Rosso della Coordinazione, nei quali si analizzano le politiche di difesa contro gli incendi forestali e si stabiliscono liste di problemi e di raccomandazioni relative a questo.
Le conclusioni alle quali si è giunto in Spagna dovrebbero essere la base di partenza per un'azione generale di prevenzione, che con piccole modifiche, può essere adattata a tutti i Paesi mediterranei europei per le simili condizioni ecologiche e socioeconomiche.
(VELEZ ET AL., 2000)

4. Politica di prevenzione integrale

Per quanto concerne la politica di prevenzione integrale, bisogna riunire e coordinare 3 categorie di politica: prevenzione, soppressione e riparazione dei danni.
Per far ciò bisogna mettere in pratica una serie di misure (tecniche, politiche e selvicolturali).

Prevenzione/soppressione
- Studio degli incendi con analisi scientifiche, per conoscere meglio le cause di questo fenomeno e quindi sviluppare delle soluzioni.
- Sensibilizzazione della popolazione con diverse misure, già accennate in precedenza.
- Migliorare le previsioni meteorologiche.
- Migliorare la comunicazione fra i vari gruppi d'intervento (in zone impervie, dove la ricezione è cattiva), riservare speciali frequenze radio per i soli gruppi d'intervento.
- Costruzione di solchi, linee tagliafuoco e bacini d'acqua.
- Regolare la pulizia del sottobosco.

Riparazione dei danni
- Valutazione delle chances di sopravvivenza delle piante.
- Lotta contro il rischio di erosione
- Rimboschimento, per questioni di stabilità del suolo e per prevenire l'avanzata del deserto.

(VELEZ ET AL., 2000)

5. Aspetti della lotta contro gli incendi che sono oggetto della pianificazione forestale

La gestione forestale deve tenere conto delle condizioni ecologiche e socio-economiche che producono rischio d'incendi.
Il perfezionamento delle tecniche di estinzione e dei sistemi di coordinazione, non daranno risultati permanenti se la protezione non si orienterà sull'azione forestale, precisamente nei campi della pianificazione forestale:

- la selvicoltura e l'ordinamento forestale
- la vigilanza dei boschi
- la sensibilizzazione sul servizio che il bosco fornisce alla società

(VELEZ ET AL., 2000)

6. Possibilità di interventi di selvicoltura preventiva

Il concetto di selvicoltura preventiva è maturato decisamente negli ultimi anni.
Si tratta di diversi interventi di taglio e potatura fatti in modo da evitare rischi in caso d'incendio o la propagazione di piaghe forestali (soprattutto scolitidi):

- Interventi di taglio, a filo del suolo, della parte aerea delle sterpaglie e del sottobosco, senza agire sul sistema radicale (in forma selettiva o non selettiva mediante trattori, motoseghe, decespugliatori)
- Interventi di potatura, vale a dire eliminazione mediante il taglio dei rami bassi degli alberi, in modo da equilibrare la parte aerea con il sistema radicale. Così facendo si tenta di evitare, in caso di incendio, che il fuoco si propaghi a tutta la pianta.
- Vari interventi di diradamento (per evitare la continuità delle specie vegetali).
- Eliminazione dei residui vegetali formatisi dalle precedenti operazioni (mediante combustione oppure truciolamento)

- Pascolo del bestiame (per tenere la vegetazione bassa senza intervenire con trattori o tagli).
- Creazione di linee tagliafuoco.

(VELEZ ET AL., 2000)

7. Pro e contro degli incendi boschivi

Per concludere vogliamo esporre le ragioni favorevoli e contrarie allo spegnimento degli incendi:

Il fuoco è un fattore positivo quale:
- fattore ecologico (per es. per la riproduzione, la selezione, la successione e la ripartizione delle specie vegetali);
- strumento controllato dall'uomo.

Il fuoco ha però i seguenti negativi effetti su:
- terreno (riduzione della disponibilità dell'acqua, aumento del dilavamento superficiale, pericolo di erosione);
- vegetazione (indebolimento delle piante , produzione di danni irreparabili);
- microclima (alterazione delle caratteristiche della vegetazione);
- ambiente (inquinamento, emissioni nocive);
- economia (perdita di guadagno, necessità di rimboschimenti, costi per l'estinzione).

(VELEZ ET AL., 2000)

8. Bibliografia

ALEXANDRIAN, D.; ESNAULT, F., 1998: Public policies affecting forest fires in the mediterranean basin. In: FAO Forestry Paper 138. Proceedings. Rome, 28-30 October 1998. S. 39-46.

VELEZ, R., 1998: Comments on the situation in the mediterranean basin. In: FAO Forestry Paper 138. Proceedings. Rome, 28-30 October 1998. S.59-60.

VELEZ, R. ET AL., 2000: La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. Editor: Antonio Garcìa Brage. McGraw-Hill / Interamericana de España. Aravaca (Madrid). Kap. 1, 2, 3.3.2 – 3.52, 10, 14.1.2-4, 14.6-14.72, 15.

Annuario di Statistica Forestale spagnola, 1999:
http://www.mapya.es/info/pags/anuar_99/cap27estructur/indice_cap_27.htm

Die Rolle von Feuer in mediterranen Ökosystemen am Bsp. von *Pinus halepensis*-Wäldern

Einleitung

Jedes Jahr brennen grosse Waldflächen im Mittelmehrraum und manchmal bedrohen die Feuer auch Gebäude und andere Einrichtungen. Daher werden Waldbrände auch intensiv bekämpft. Dabei stellt sich allerdings die Frage, inwieweit gewisse Ökosysteme auf das regelmässige Vorkommen von Feuer angewiesen sind, um weiter fortzubestehen. Am Beispiel von *Pinus halepensis*-Waldgesellschaften, welche überdurchschnittlich oft von Waldbränden betroffen sind, sollen nun die verschiedenen Auswirkungen des Feuers auf ein an Feuer angepasstes Ökosystem untersucht werden.

Geographische Verbreitung von *Pinus halepensis*

Das Verbreitungsgebiet umfasst 3 Mio. ha im Mittelmeerraum und erstreckt sich über Marokko und Algerien im Südwesten, Portugal und Spanien im Nordwesten, Italien und Griechenland im Nordosten sowie Syrien, Israel und Jordanien im Südosten. (Vergl. Abb.1)
Diese 4 Gebiete reflektieren unterschiedliche klimatische Bedingungen (durchschnittliche jährliche Niederschläge und Temperaturen, Länge der Trockenperiode sowie die Menge der Sommerniederschläge.) Grob gesagt wachsen die östlichen *Pinus halepensis*-Wälder unter trockeneren Bedingungen als die westlichen. (Arianoutsou *et al.* 2000)

Abb. 1: Verbreitungsgebiet von *Pinus halepensis* (Trabaud 2000)

Überlebensstrategien von Pflanzenarten

Weil in *Pinus halepensis*-Wäldern die Feuer häufig so intensiv sind, dass alles Oberirdische zum Absterben kommt (Agee 1988), bleiben den Pflanzen nur zwei Strategien. (Arianoutsou *et al.* 2000)

1. Stockausschläge: (resprouters): Nach dem Absterben der oberirdischen Teile bildet die Pflanze aus Knospen im Wurzelraum neue Triebe.

2. Samen: (seeders): Mit dem Absterben der oberirdischen Teile stirbt die ganze Pflanze. Samenbanken werden vorgängig angelegt in der Krone (Bsp. *Pinus halepensis*) oder im Boden (Bsp. *Cistus*). Durch die Hitze eines Feuers wird die Dormanz der Samen aufgehoben.

Einige Arten verwenden beide Strategien (z.B. *Rhus coriaria*). Die meisten immergrünen Gehölze reagieren nach Feuer ausschliesslich mit Stockausschlägen. Unter den Bäumen bildet nur *Pinus halepensis* eine Ausnahme und pflanzt sich ausschliesslich mit Samen fort. (Arianoutsou *et al.* 2000)

Methoden der zur Untersuchung von Veränderungen

Diachrone Studien

Permanente Untersuchungsflächen werden eingerichtet und wiederholte Messungen auf denselben Flächen durchgeführt. Diese Methode eignet sich für die Untersuchung von kurzfristigeren Veränderungen nach einem Feuerereignis (1-10 Jahre). (Arianoutsou *et al.* 2000)

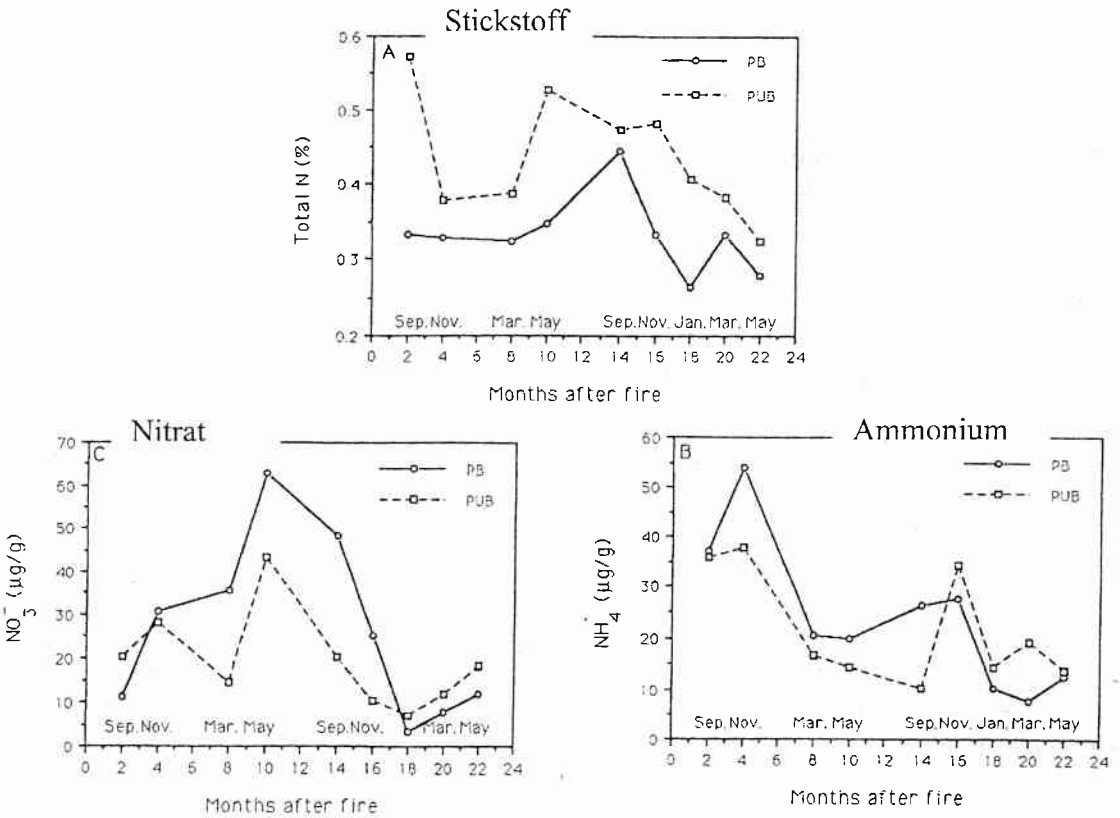
Synchrone Studien

Längerfristige Veränderungen werden hauptsächlich simultan in verschiedenen Flächen untersucht, in welchen das letzte Feuerereignis entsprechend unterschiedliche lange zurückliegt. (Arianoutsou *et al.* 2000)

Einfluss von Feuer auf Nährstoffe im Boden

Durch das Feuer werden Nährstoffe, welche im Holz und in schwer abbaubarer Streu gespeichert sind, mobilisiert und in der obersten Bodenschicht abgelagert (Naveh 1994). Wir beobachten eine Zunahme von wasserlöslichen Nährstoffen im ersten Winter und Frühling nach einem Feuer. Zum Beispiel ist bei Stickstoff der Gesamtvorrat zwar kleiner durch den Verlust im Rauch (Arianoutsou *et al.* 2000), aber die Konzentration der wasserlöslichen, für die Pflanzen wichtigen Stickstoff-Ionen nimmt zumindest im Oberboden zu. (Vergl. Abb. 2)

Abb. 2: Veränderungen in Stickstoffkonzentrationen im Oberboden (0-3 cm) nach einem Waldbrand in einem *Pinus halepensis*-Wald. (PB, verbrannte Fläche; PUB, unverbrannte Fläche). (Kutiel et al. 1990 in Naveh 1994).



Die allgemeine Rolle von Feuer in mediterranen Ökosystem

Das Feuer ist wichtig, weil es nachher wieder viel Licht am Boden gibt. Aber seine Rolle ist nicht nur auf den Faktor Licht begrenzt, sonst könnten wir mit waldbaulichen Eingriffen das Problem um die Erhaltung dieses Ökosystems auch lösen. Das Feuer hat zudem einen Einfluss auf die Keimung und die Verjüngung, wobei es eine unabdingbare Rolle spielt. Im weiteren werden durch die Hitze eines Feuers auch verschiedene pathogene Organismen abgetötet. Die Frequenz von Feuerereignissen muss gut beachtet werden. Wenn das Intervall zwischen zwei Feuern länger ist als die maximale Fortpflanzungsfähigkeit von verbrannten Pflanzen, können diese Pflanzen verschwinden (Ausrottung). Für *Pinus halepensis* kann dies bis zu 100 Jahren sein. Für andere Pflanzen kann es nur einige Jahren sein. Andererseits, wenn die Intervalle zu kurz sind, damit bestimmte Pflanzen ihre Fortpflanzungs- und Verjüngungsfähigkeit erlangen können, verschwinden diese ebenfalls. (Trabaud 2000)

Änderung im Pinus halepensis-Ökosystem nach einem Feuer.

Allgemein.

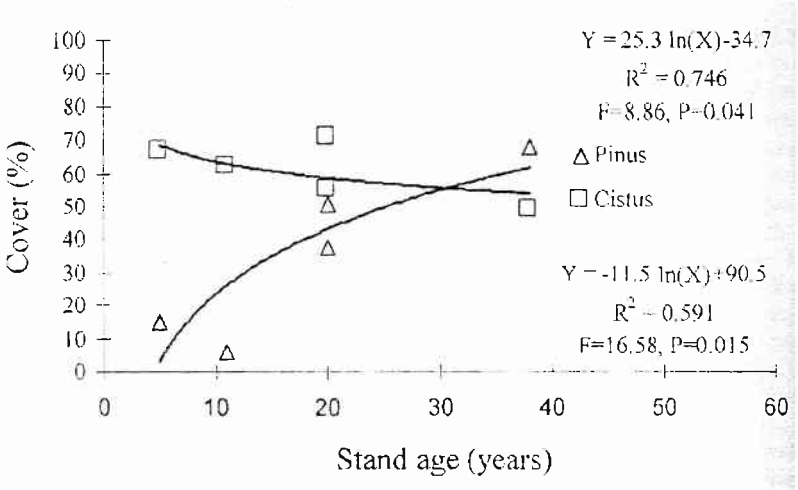
Die Artenvielfalt in *Pinus halepensis*-Wäldern ist schon das erste Jahr nach einem Feuer höher als in Wäldern ohne Feuer. Im zweiten und dritten Jahr nach einem Feuer nimmt die Artenvielfalt noch weiter zu. Nachher nimmt sie bis zu einem gewissen Gleichgewichtspunkt in reifen *Pinus halepensis*-Wäldern ab.

Die meisten im ersten Jahr nach einem Feuer neu hinzukommenden Arten sind einjährig und keimen aus Samen (von Samenbanken im Boden). Dies sind vor allem die Leguminosen. 2-4 Jahre nach einem Feuer nimmt die Artenvielfalt zu dank einjährigen Pflanzen, welche von ausserhalb des Feuersperimeters (Opportunisten) hereinkommen. Diese Pflanzen kommen vor allem mit dem Wind und den Tieren und gehören meistens zu den Familien von *Gramineae* und *Compositeae*. Sie können sich gut verbreiten dank den guten Lichtverhältnissen. 5-7 Jahren nach einem Feuer beginnt die Herrschaft von. *Cistus*, welche die Opportunisten konkurrenzieren, nicht aber die Leguminosen. Während den nächsten Jahren spielt der Faktor Licht eine sehr wichtige Rolle bei der Bestimmung der Artenvielfalt.

In dieser Gesellschaft beobachtet man nicht eine klassische Sukzession (Ersatz von Arten), weil *Pinus halepensis* und die anderen Pflanzen von reifen Wäldern schon das erste Jahr nach einem Feuer vorhanden sind. Die wichtigsten Änderungen in der Flora wegen einem Feuer sind in 2 Gruppen geteilt: Dem Feuer folgende Pflanzen (Leguminosen und *Cistus*) und die Opportunisten. Sie profitieren von für sie günstigen Bedingungen, bevor das Klimax zurückkommt.

Eine Änderungen für die Vegetationsdecke ist längerfristig zwischen Zwergbüschen und Bäumen zu beobachten. Die Zwergbüsche (*Cistus*) nehmen ab, während *Pinus halepensis* zunimmt. (Arianoutsou *et al.* 2000, vergl. Abb. 3).

Abb. 3: Veränderungen im Deckungsgrad von *Pinus halepensis* und *Cistus* nach einem Feuer. (Schiller *et al.* 1997 in Arianoutsou *et al.* 2000)



Einzelne Artengruppen.

Bei den Pflanzen, die Stockausschläge machen, gibt es praktisch keine Änderungen. Bei Pflanzen, die als Strategie Samenbanken verwenden, gibt es vor allem 3 Gruppen, die wichtig sind: (Arianoutsou *et al.* 2000)

1. Leguminosen

Leguminosen bilden eine wichtige Gruppe. In den ersten Jahren nach einem Feuerereignis bilden sie einen grossen Bestandteil der Vegetationsdecke und der Biomasse. Dadurch schützen sie erstens den Boden vor Erosion. Zweitens spielen sie eine wichtige Rolle durch die Wiedereinbringung von Stickstoff ins Ökosystem.

In einer älteren *Pinus halepensis* Gesellschaft gibt es nur wenige Individuen von Leguminosen. Nach einem Feuer keimen die Samen, die im Boden waren. Die gekeimten Pflanzen erreichen schon im ersten Jahr ihre Fortpflanzungsfähigkeit, womit viele Samen gebildet werden und im Boden landen. Ein Teil davon keimt in der nächsten Feuchtesaison. Mit dem anderen Teil wird erneut eine Samenbanken aufgebaut. Durch das Feuer wird aber nicht die Artenvielfalt, sondern ihre Abundanz drastisch verändert.

2. *Cistus.*

Die Wiederbesiedlung der *Cistus* durch Samen (sehr grosse Samenbanken im Boden) geschieht vor allem während dem ersten Jahr nach einem Feuer, teilweise auch im zweiten Jahr. Nach 1-2 Jahren beginnt die Fortpflanzung und nach 5 Jahren ist ihre Kapazität am Höchsten. Nach 15 Jahren geht die Population stark zurück, weil die Pflanzen zu sterben beginnen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine dichte *Cistus*-Population abhängig vom Feuer ist. Wenn die Bedingungen ungünstig für *Pinus halepensis* sind und es nicht schattig ist, kann die *Cistus*-Population über Jahrzehnte bestehen bleiben. In solchen Fällen erfolgt die Verjüngung durch einen kleinen Anteil von nicht schlafenden Samen. Wenn der wiederaufkommende Wald komplett geschlossen ist, verschwindet *Cistus*, aber die Samenbanken ermöglichen das Aufkommen einer neuen Generation nach einem Feuer.

3. Pinus halepensis

Das Feuer hat eine Ausschüttung von Samen aus den Zapfen, welche sich durch die hohen Temperaturen öffnen, zur Folge. Diese Samen keimen in grosser Anzahl im ersten Jahr nach einem Feuer. Im Boden findet man fast keine Samen, sie kommen beinahe ausschliesslich von den Zapfen. Deshalb keimen praktisch keine neuen Samen während dem zweiten Jahr.

Die Population von *Pinus halepensis* stirbt wegen verschiedenen Faktoren während den ersten Jahren ab. Erstens wegen der intraspezifischen Konkurrenz zwischen den *Pinus*-Samen. Zweitens wegen einer interspezifischen Konkurrenz mit *Cistus*-Pflanzen. Das Wasser ist ein wichtiger Faktor bei der Konkurrenz, wobei diese im Osten härter ist als im Westen. Im Osten gibt es noch die Gefahr von einem Schädling (*Mastucoccus josephi*) in den *Pinus*-Pflanzungen (Krankheit). Herbivoren können auch eine Gefahr für die junge Pflanzen sein (auch vor allem im Osten). Aufgrund von Konkurrenz, Krankheiten und Herbivoren nimmt die Dichte von *Pinus halepensis* konstant ab.

Pinus halepensis wächst nicht besonders schnell. Die durchschnittliche Höhe von 4 reifen *Pinus*-Beständen, war 9,3 m (ohne die Individuen kleiner als 1 m), mit einem 38 Jahre alten Baum mit der Höhe von 10,4 m. Es braucht ungefähr 30-40 Jahre, damit *Pinus halepensis*-Bestände nach einem Feuer wie Bestände ohne Feuer werden können. *Pinus halepensis* ist spätestens nach 6-7 Jahren fortpflanzungsfähig, was wichtig ist wegen der Frequenz des Feuers.

Zusammenfassung

Pflanzen reagieren entweder mit Stockausschlägen oder dem Anlegen von Samenbanken auf die Zerstörung durch das Feuer. Auf die ersteren hat ein Feuer nicht einen so grossen Einfluss, bei den letzteren wird jedoch die Anzahl der vorhanden Individuen stark verändert.

In den ersten Jahren nach einem Feuer nimmt die Artenvielfalt stark zu, bevor sie allmählich wieder abnimmt. Dies ist vor allem auf die verbesserten Lichtverhältnisse zurückzuführen, aber auch auf Arten, deren Samen erst nach hohen Temperaturen keimfähig werden.

Ohne Feuer könnten einige Arten in diesem Ökosystem vollständig verschwinden und auch *Pinus halepensis* selber würde vermutlich auf grösseren Flächen von anderen Baumarten verdrängt werden, die weniger gut mit Feuer zurecht kommen.

Literaturverzeichnis

Agee, J.K. (1988): Fire and pine ecosystems, in Richardson, D. (1988): Ecology and Biogeography of *Pinus*, S. 193-218.

Arianoutsou, M., Ne'eman, G. (2000): Post-Fire Regeneration of Natural *Pinus halepensis* Forests in the East Mediterranean Basin, in Ne'eman, G., Trabaud, L. (2000): Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, S.269-289.

Naveh, Z. (1994): The Role of Fire and Its Management in the Conservation of Mediterranean Ecosystems and Landscapes, in Moreno, J.M., Oechel, W.C. (1994): The Role of Fire in Mediterranean Type Ecosystems, S. 163-185.

Trabaud, L. (2000): Post-Fire Regeneration of *Pinus halepensis* Forests in the West Mediterranean, in Ne'eman, G., Trabaud, L. (2000): Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, S.257-268.

FEUER, KLIMAÄNDERUNG UND KOHLENSTOFFZYKLUS IN BOREALEN WÄLDERN

KREDITARBEIT IM RAHMEN DES WALDBRANDKURSES

Erwin Osterwalder
Patrick von Däniken
Studenten D-FOWI
29. April 2002

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 26
2 Kohlenstoffkreislauf und -bilanz 27
2.1 Starker Einfluss des Klimas auf Landökosysteme 27
2.2 Kohlenstoffspeicherung in Landökosystemen 27
2.3 Aufbau forstlicher Biomasse zur Kohlenstoffbindung (CO_2-Senke) 27
3 Feuerregime und Feuerlandschaften 28
4 Auswirkungen von Vegetationsbränden auf das globale Klima 29
4.1 Studie 30
5 Schlussfolgerung 31
6 Literaturverzeichnis 31

1 Einleitung

In den vergangenen zehn Jahren sind die borealen Wälder zunehmend in das Visier der Wissenschaft geraten, da sie im Gesamtkontext "Schutz der natürlichen Ressourcen" in Verbindung mit Fragestellungen von globalen Klimaveränderungen eine bedeutende Rolle spielen. Aufgrund von Szenarien auf Basis anerkannter globaler Zirkulationsmodelle befinden sich die borealen Wälder in einer Region, die auf den zunehmenden Ausstoss von klimawirksamen Spurengasen und der daraus resultierenden globalen Erwärmung besonders folgenreich reagieren wird. Die durchschnittliche Temperaturerhöhung und die erwartete Verlängerung der Vegetationsperiode, gekoppelt mit einer Zunahme von extremen Dürreperioden, werden als Folge der Klimaänderung in der borealen Zone zu einer dramatischen Veränderung der Waldökosysteme führen. Da die borealen Wälder einen gewichtigen Anteil an den wirtschaftlich nutzbaren Holzvorräten der Erde haben, wird eine negative Veränderung der Wachstumsbedingungen dieser Wälder die Volkswirtschaften einiger Länder besonders negativ und nachhaltig beeinflussen, insbesondere die von Kanada und Russland. Feuer ist ein besonders wichtiger Faktor, der die Zusammensetzung und Dynamik der borealen Wälder beeinflusst und dessen Auftreten wiederum von den besonderen Eigenheiten des regionalen Klimas abhängig ist. Eine Klimaänderung in Richtung der modellierten Szenarien hat Änderungen der charakteristischen natürlichen Feuerregime zur Folge, mit erheblichen Konsequenzen auf die größte terrestrische Kohlenstoffsenke, die diese Region darstellt. Eine Veränderung der Feuerregime durch Klimaänderung, die zu einer Reduktion der borealen Waldflächen, der Zerstörung organischer Bodenauflagen (auch Sumpflandschaften) und der Störung der Permafrost-Regime führen wird, wird eine Verlagerung grosser Mengen von derzeit noch terrestrisch gebundenen Kohlenstoffs in die Atmosphäre zur Folge haben, mit erheblichen Rückkoppelungseffekten auf das Klima und den damit verbundenen Implikationen auf Umweltentwicklung, Gesellschaften und Politik. Vor dem Hintergrund derartiger perspektivischer Szenarien ist es daher unbedingt erforderlich, die Rolle des borealen Waldes als eine zwingend zu schützende Rohstoffquelle zu verstehen und zu quantifizieren.

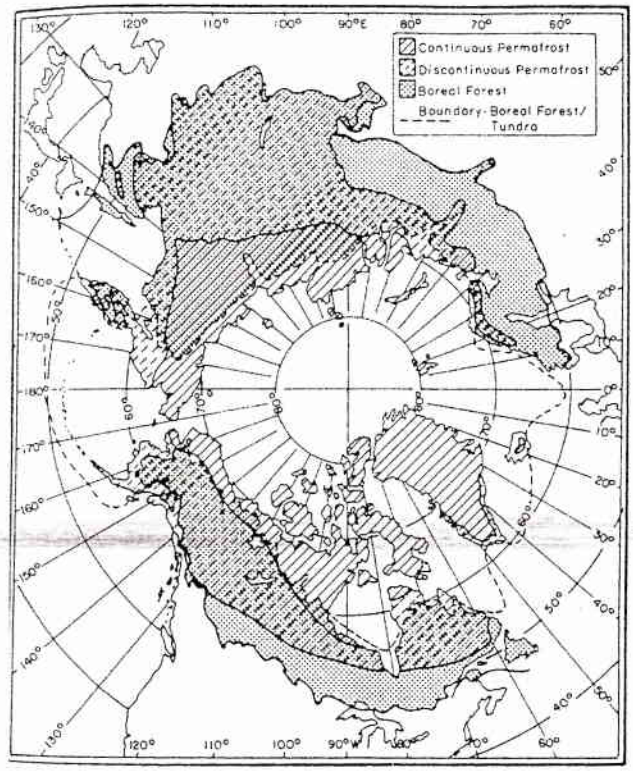


Figure 2.1. Location of the world's boreal forest region in relation to areas with continuous and discontinuous permafrost. (From Van Cleve et al. 1986.)

Boreale Wälder stellen mit ca. 14.3 Mio. km^2 eines der grösseren Biome der Erde dar. Studien gehen davon aus, dass insgesamt 714 Pg[1] Kohlenstoff in den borealen Waldregionen gespeichert sind. Dieser Anteil entspricht mehr als 37% des total gespeicherten Kohlenstoffs in der terrestrischen Biosphäre. Der grösste Teil dieses grossen Kohlenstoff-Pools (419Pg oder 59%) ist in den Böden von meist baumlosen Sumpflandschaften innerhalb der borealen Wälder gespeichert, welche mindestens 2.6 Mio. km^2 bedecken. In den bewaldeten Gebieten dieses Bioms sind etwa 58 Pg Kohlenstoff in der lebenden Biomasse und etwa 231 Pg in der Bodenschicht oder in totem organischem Material in der Vegetationsschicht enthalten, die zusammen etwa 15% des gesamten Kohlenstoffgehalts der Erde ausmachen.

[1] (Es gibt verschiedene Einheiten, um den Totalgehalt an in der globalen Biosphäre gespeichertem Kohlenstoff anzugeben. In dieser Arbeit verwenden wir ein Petagramm (Pg) oder eine Gigatonne (Gt) Kohlenstoff als die Basiseinheit, was 10^9 Tonnen entspricht (also 1Gt=1Pg!!!))

2 Kohlenstoffkreislauf und -bilanz

2.1 Starker Einfluss des Klimas auf Landökosysteme

Landökosysteme sind bedeutende Senken für Kohlenstoff. Das Verhalten dieser Systeme, vor allem in den Tropen, ist jedoch grossen zeitlichen Schwankungen unterworfen. Offenbar spielen dabei klimatische Faktoren eine massgebliche Rolle.

Ungefähr die Hälfte der heutigen menschlichen CO_2-Emissionen wird von den Ozeanen und den Landökosystemen aufgenommen. Für die zukünftige Entwicklung des globalen Klimas ist das Verhalten dieser Systeme daher von grosser Bedeutung. Obwohl die verschiedenen Abschätzungen des globalen Kohlenstoffkreislaufs nach wie vor mit grossen Unsicherheiten behaftet sind, zeichnet sich unterdessen doch ein recht konsistentes Bild ab, wie viel Kohlenstoff zwischen der Atmosphäre und den Landökosystemen ausgetauscht wird.

In den neunziger Jahren betrugen die anthropogenen Emissionen aus dem Verbrennen von fossilen Energieträgern und der Erzeugung von Zement durchschnittlich 6.3 Gt C/Jahr (Gigatonnen Kohlenstoff pro Jahr). Rund 3.2 Gt C/Jahr verblieben in der Atmosphäre; 1.8 Gt C/Jahr wurden von den Ozeanen aufgenommen. Den restlichen Kohlenstoff (ca. 1.3 Gt C/Jahr) absorbierten die Landökosysteme. Wenn man bedenkt, dass in dieser Zeit ungefähr 1 bis 2 Gt C/Jahr durch Abholzung von Wäldern zusätzlich freigesetzt wurden, dann müssen die Landökosysteme bis zu 4 Gt C/Jahr aufgenommen haben. Diese Zahlen sind sehr vage.

4 Prozesse kontrollieren die Speicherung und die Freisetzung von Kohlenstoff in borealen Wäldern:

(1) Die Wuchsgeschwindigkeit von Pflanzen inklusive Moosen und Flechten.
(2) Die Geschwindigkeit der Zersetzung von totem organischem Material.
(3) Die Geschwindigkeit der Bildung von gefrorenen Böden (Permafrost).
(4) Die Häufigkeit und die Schwere von Feuern.

Diese Prozesse sind durch ein voneinander abhängiges Set von biophysikalischen Merkmalen (Klima, Landschaft, Böden) und biologischen Merkmalen (Flora und Fauna) von Ökosystemen in nördlichen Breitengraden reguliert.

2.2 Kohlenstoffspeicherung in Landökosystemen

Interessant ist nun die Frage, in welchen Gebieten der Kohlenstoff vor allem aufgenommen wird. Relativ unbedeutend sind Landökosysteme südlich von 30° S. Diese Systeme weisen eine ausgeglichene Kohlenstoffbilanz auf und setzen verhältnismässig wenig Kohlenstoff um.
Ebenfalls ausgeglichen scheint die Bilanz in den tropischen Gebieten zu sein. Dies ist überraschend, weil dort durch die Abholzung der Regenwälder viel Kohlenstoff freigesetzt wird. Möglicherweise nehmen jedoch die bestehenden Wälder zusätzlich Kohlenstoff auf, weil ihre Produktivität durch den erhöhten atmosphärischen CO_2-Gehalt angeregt wird. Die Unsicherheiten bezüglich der tropischen Gebiete sind wegen klimatischer Faktoren (z.B. El Niño) jedoch beträchtlich.
Eine besondere Rolle kommt den Landökosystemen nördlich von 30° N zu, die wichtige Kohlenstoffsenken sind.

2.3 Aufbau forstlicher Biomasse zur Kohlenstoffbindung (CO_2-Senke)

Die Zerstörung des Waldes liefert zurzeit rund 20% der anthropogenen CO_2-Emissionen.
Die Erhöhung des CO_2-Gehaltes in der Atmosphäre sollte man aufgrund der oben bereits genannten Treibhauswirkung stark einschränken.

Die Gegenmassnahmen können folgendermassen aussehen:

- Massive Reduktion des Energieverbrauchs, zumindest der auf fossilen Trägern besteht
- Unterbindung der Zerstörung oder Umwandlung kohlenstoffreicher Vegetationsformen
- Wiederaufbau biomassenreicher Vegetationsformen

Die Kohlenstoffspeicherung in der lebenden terrestrischen Vegetation vor Eingriffen durch den Menschen betrug 900 Mrd. t. Die Kohlenstoffspeicherung heute, also nach vielen Jahrhunderten massiver anthropogener Einflussnahme beträgt 560 Mrd. t. Die Differenz zwischen diesen beiden Schätzgrössen gibt die Grössenordnung an, um die die Aufnahmefähigkeit der terrestrischen Vegetationsdecke maximal erhöht werden kann, also etwa 300 Mrd. t Kohlenstoff. Das entspricht dem sechzigfachen der Kohlenstoffmenge, die jährlich aus fossilen Brennstoffen freigesetzt wird.

Um forstliche Biomasse in vorhandenen Wäldern zur Kohlenstoffbindung aufzubauen, müsste die Umtriebszeit verlängert werden. Diese Massnahme hält aber nur so lange an, bis sich in einigen Jahrzehnten

eine neue Gleichgewichtssituation zwischen Einschlag und Zuwachs einstellt.
Die Verlängerung der Umtriebszeit ist aber mit einem Nutzungsverzicht für die betroffenen Waldbesitzer verbunden.

Ein riesiges Potential an Kohlenstoffsenken steckt in Neuaufforstungen, vor allem in der USA und den tropischen Ländern. Eine heikle Frage ist die Finanzierung dieser Aufforstungen in tropischen Ländern, die von den Industriestaaten bereitgestellt werden muss, da diese die grössten CO_2-Emissionen verursachen. Wichtiger wäre es aber, die noch vorhandenen Wälder konsequent zu schützen (ein Viertel der CO_2-Emissionen) und alternative Energien zu verwenden.

3 Feuerregime und Feuerlandschaften

In extensiv genutzten Landschaften der Erde lassen sich Räume abgrenzen, welche bestimmte Feuerregimes besitzen. Die Charakteristika eines Feuerregimes sind:

- Vegetationstyp (Anordnung und Menge des Brennmaterials, Bodenfeuer, Kronenfeuer)
- Jahreszeit (verschiedene Stadien der Vegetationsentwicklung, Feuchtigkeitsgehalt der Biomasse)
- Feuerfrequenz (=Feuerintervall) (Anzahl Jahre zwischen aufeinander folgenden Feuern)

Um die globalen Umweltauswirkungen der Vegetationsbrände beziehungsweise der Verbrennung pflanzlicher Biomasse insgesamt verstehen zu können, werden die wichtigsten Feuerlandschaften der Erde kurz vorgestellt:

Table 2.2. Comparison of Carbon Storage in Boreal, Temperate, and Tropical Forests

Biome	Area ($\times 10^6$ ha)	Soil carbon (Pg)	Plant biomass carbon (Pg)	Total carbon (Pg)
Boreal forest[a]	1,509	625	78	703
Tropical forest[b]	1,756	216	159	375
Temperate forest[c]	1,040	100	21	121

[a]Area data from Apps et al. (1993); carbon data from Table 2.1.
[b]Area data from Brown (1996a); carbon data from Brown et al. (1993).
[c]Area and carbon data from Heath et al. (1993).

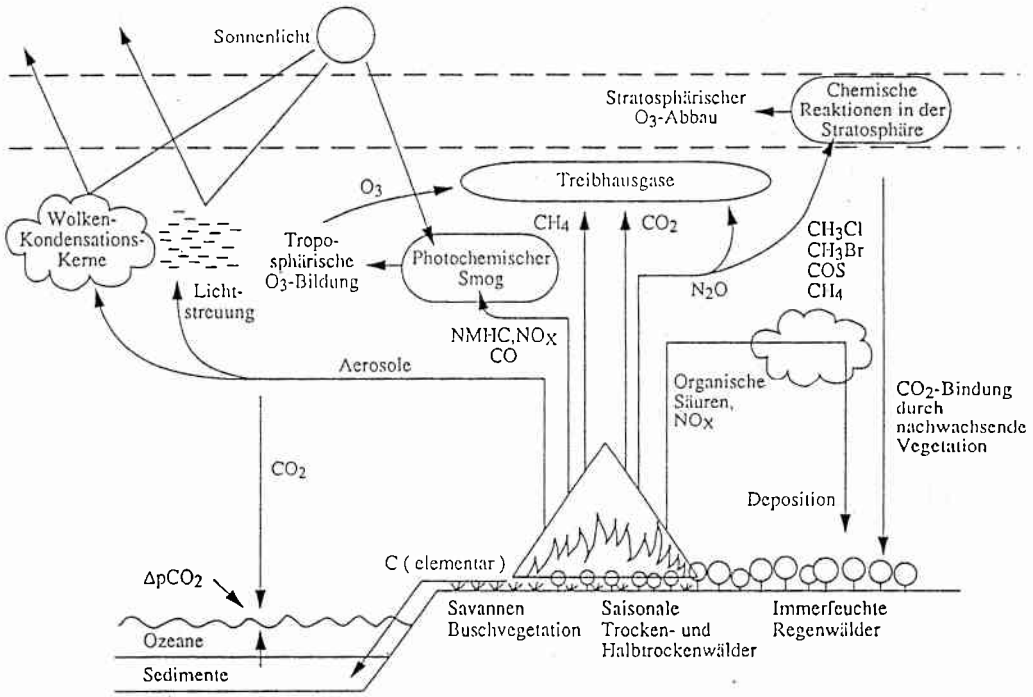
- **Tropische und subtropische Savannen:**
  Die Savannen sind mit etwa 2.6 Milliarden Hektaren (=600*CH) die grössten regelmässig gebrannten Vegetationsflächen der Erde. Sie werden in Intervallen von ein bis drei Jahren überbrannt, fast ausschliesslich aus Gründen der Wild- und Haustierbewirtschaftung. Dennoch ist die Kohlenstoffbilanz in den Savannen ausgeglichen, da der beim Brennen freigesetzte Kohlenstoff in der folgenden Vegetationsperiode wieder gebunden wird.
- **Immergrüne tropische Regenwälder:**
  Primärwälder werden nach der Exploitation vermarktungsfähiger Hölzer, welche den geringsten Teil der oberirdischen pflanzlichen Biomasse ausmachen, kahl geschlagen. Die restliche Biomasse wird dann verbrannt oder verrottet. Nach neuesten Einschätzungen liegt die definitive Entwaldungsrate bei etwa 20 Mio. ha/Jahr (=ca. 5*CH).
  Die permanente Waldrodung stellt einen beträchtlichen Nettofluss von Kohlenstoff in die Atmosphäre dar.
- **Saisonale Waldgesellschaften der Tropen und Subtropen:**
  Sie kommen auf etwa 700-800 Mio. ha vor. In den Tiefländern trocknet das Ende der Regenzeit abgeworfenes Laub schnell aus und bildet somit eine leicht brennbare Streu. Die Wälder sind oft Feuerklimaxwälder, die gegen die häufigen Bodenfeuer resistent sind. Hinsichtlich der Kohlenstoffbilanz sind die Feuerklimaxwälder dieses Gebietes den ausgeglichenen Savannen gleichzusetzen.
- **Mediterrane Feuerlandschaften:**
  Die Flächen von mediterranen Buschbrände und der Biomassenanteil pro Hektar sind im Vergleich zu den Brandflächen in den Tropen deutlich geringer.
  Im Mittelmeerraum ist insgesamt eine durch Feuer bedingte Degradation der Vegetationsbedeckung zu beobachten. Somit ist ein gewisser Nettokohlenstoffffluss an die Atmosphäre zu verzeichnen.
- **Wälder der gemässigten Zone:**
  Unkontrollierte Vegetationsbrände spielen in den dicht besiedelten Kulturlandschaften der Industrieländer der gemässigten Zone Mitteleuropas eine geringe Rolle.
- **Boreale Wälder:**
  Die Fläche umfasst etwa 1.2 Mia. ha, wovon sich über 70% in Eurasien befinden. Der Rest entfällt auf Kanada und Alaska. Dort beziffert man die Brände auf eine Fläche von 3-5 Mio. ha/Jahr. Im westlichen Eurasien gibt es kaum mehr Brennpraktiken in Land- und Forstwirtschaft, während in Sibirien jährlich bis 10 Mio. ha Wald brennt.

Die ökologischen Auswirkungen der Feuer, die heute nur noch zu etwa 15% durch Blitzschlag entstehen, sind vor allem deswegen sehr problematisch, weil sie vielfach mit nicht sehr nachhaltig praktizierter Forstwirtschaft einhergehen. Grosskahlschläge, Maschineneinsatz auf empfindlichen Permafrostböden und Feuer führen zu einem Ausbleiben der Waldverjüngung und zur Versumpfung.
Feuer beeinflusst die Speicherung von Kohlenstoff in borealen Wäldern hauptsächlich auf folgende drei Arten:

- Die Verbrennung von Biomasse während eines Feuers:
  Kohlenstoff wird durch Verbrennung von Biomasse direkt in die Atmosphäre abgegeben. Ein grosser Unterschied zu anderen terrestrischen Biomen ist aber, dass ein erheblicher Anteil der verbrannten Biomasse aus der Bodenschicht der Wälder kommt.
- Der Effekt von Feuer auf das Wärmeregime der Waldböden:
  Die Folgen von Feuer verändern das Wärmeregime der organischen und mineralischen Bodenschicht, was in Folge die Zersetzungsrate innerhalb dieser Schichten verändert.
- Die Beziehung zwischen Häufigkeit von Feuern und Speicherung von Kohlenstoff:
  Die Häufigkeit von Feuern in einer gegebenen Region beeinflusst die Altersverteilung von Wäldern und somit den totalen Gehalt an Kohlenstoff, der in diesen Wäldern gespeichert ist.

4 Auswirkungen von Vegetationsbränden auf das globale Klima

Abb.42. Schematische Darstellung von Emissionen, Umformung und Verbleib einiger Spurengase aus Bränden in tropischer Vegetation.



Kohlendioxid (CO_2) ist das wichtigste Treibhausgas der Erde, es ist etwa für 60% der globalen Erwärmung zuständig. Aber auch Methan und Ozon sind wichtige Treibhausgase.

Bei der Verbrennung pflanzlicher Biomasse wird vor allem Kohlenstoff freigesetzt, der einen Anteil von durchschnittlich 45% ihres Trockengewichts hat. Weltweit werden jährlich ca. 4,1 Mia. t Kohlenstoff durch Vegetationsbrände freigesetzt. Die Freisetzung erfolgt zum größten Teil in Form von CO_2 und von Kohlenmonoxid (CO). Das Verhältnis von CO_2:CO hängt von der Vollständigkeit der Verbrennung ab. Bei gut sauerstoffversorgten, "heißen" Feuern wird wenig CO emittiert. Bei Schwelbränden (Pyrolyse und nicht vollständige Oxidierung des Brennmaterials) werden zunehmend Methan und andere Kohlenwasserstoffe freigesetzt, dazu Wasserstoff (H_2) und vor allem organische Säuren. Durch photochemische Prozesse ("Smog") wird aus CO, Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden (NO_x) u. a. Ozon (O_3) gebildet. Neben den gasförmigen Verbindungen werden zusätzlich Aerosole freigesetzt. Die Charakteristika dieser Emissionen sind vergleichbar mit denen aus Verbrennung fossiler Energieträger. Durch das vermehrte Vorhandensein von Treibhausgasen wird ein globaler Temperaturanstieg gefördert.

Zur Anreicherung von CO_2 in der Atmosphäre ("Treibhauseffekt") tragen Vegetationsbrände nur dann bei, wenn Kohlenstoff rechnerisch in der Atmosphäre verbleibt. Ein Beispiel hierzu ist die Verbrennung von

Tropenwald, der bis zu mehrere hundert Tonnen Kohlenstoff pro ha gespeichert hat. Nach Verbrennung und Umwandlung in Weideland hat sich der Vorrat an Kohlenstoff auf etwa 3-8 t/ha reduziert.

Rauchpartikel bilden Wolkenkondensationskerne. Bei grossem Angebot steigt die Wolkenbildung und somit werden mehr Lichtstrahlen reflektiert, was eine Abkühlung der Erdoberfläche zur Folge hat. Untersuchungen zeigten, dass bei einem sofortigen Feuerstopp an der Erdoberfläche die Temperatur um etwa 2°C zunehmen würde.

Die Sichtbarkeit des Rauches aus Biomasseverbrennung ist auf den Anteil der in die Atmosphäre emittierten Rauchpartikel zurückzuführen. Dieser Rauch besteht zu etwa 66% aus Kohlenstoff. Ein Teil davon ist elementarer Kohlenstoff (=Russ). Diesem kommt in der Klimaforschung ein steigendes Interesse zu, da der Russ weder pflanzenverfügbar, noch biologisch abbaubar ist. Er wird im Ozean oder im Boden abgelagert und kann so als eine Kohlenstoffsenke betrachtet werden!!! Der Anteil von Russ and der Kohlenstoffemission verursacht durch Vegetationsbrände beträgt 1-4%.

Quantifizierung von Emissionen
Der globale Einsatz von Satellitenbildern wäre mit Sicherheit ein ziemlich zuverlässiges Mittel um die Brandflächen zu bestimmen, dies wurde aber bis jetzt aus Kostengründen nur regional verwirklicht. Das Fehlen beziehungsweise die zu erwartende grosse Unzuverlässigkeit von amtlichen Statistiken und Anfragen machte es bei den bisherigen Versuchen, die regelmässig verbrannte Biomasse zu berechnen, unabdingbar, über modellhafte Abschätzungen eine Hochrechnung der betroffenen Brandflächen vorzunehmen.

4.1 Studie

In einer Studie von Kasischke (1995) wird aufgezeigt, was Feuer für eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf von borealen Wäldern spielt. Kasischke's Modell sagt voraus, dass ein Nettoverlust von Kohlenstoff in diesem Biom resultieren wird, abhängig von der Verteilung von Kohlenstoff in der Bodenschicht zwischen organischen und mineralischen Böden und der Feuerfrequenz.
Das Modell sagt allein für die Effekte des Klimawechsels einen Nettoanstieg von Kohlenstoff in der lebenden Biomasse der borealen Wälder voraus. Die Abnahme in der Ökosystementflammbarkeit durch einen Wechsel zu mehr Laubholzanteil in der lebenden Biomasse der borealen Wälder wird zu einem weiteren Anstieg an gespeichertem Kohlenstoff führen. Dieser Anstieg wird aber ausgeglichen, weil als Folge der globalen Erwärmung die jährlich verbrannten Flächen zunehmen.

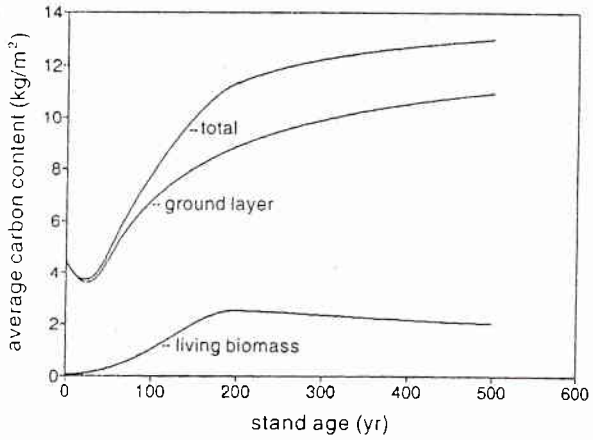


FIG. 1. Estimated patterns of carbon storage as a function of stand age in the living biomass and ground layers of an Alaskan black spruce forest.

Das Modell sagt allein aufgrund des Einflusses von Feuer und Klimawechsel einen Netto-Kohlenstoffverlust voraus. Die Geschwindigkeit des Kohlenstoffverlusts in der Bodenschicht wird kurzfristig (in den nächsten 50-100 Jahren) als höher angenommen als der Kohlenstoffgewinn in lebender Biomasse. Zudem sagt das Modell für die nächsten 50-100 Jahre einen Verlust an in borealen Wäldern gespeichertem Kohlenstoff von 0.3-0.8 Pg/a voraus, abhängig von der Verteilung von Bodenschicht-Kohlenstoff zwischen organischen und mineralischen Böden (was bis heute noch schlecht untersucht worden ist) und der Zunahme der jährlich verbrannten Fläche infolge der globalen Erwärmung.
Während die Nettozunahmen an Kohlenstoffspeicherung in der lebenden Biomasse aufgrund von Klimawechseln in verschiedenen Studien vorausgesagt wurden, wurden die Effekte von Wechseln im Wiederkehrintervall von Feuern nicht berücksichtigt. Die Resultate von Kasischke's Studie zeigen, dass die Auswirkungen von Feuer zu einer gesamthaften Abnahme der Kohlenstoffvorräte in der lebenden Biomasse von borealen Wäldern führen können.
Die Auswirkungen von Feuer auf die Kohlenstoffspeicherung treten hauptsächlich in der Bodenschicht auf, weil sie in borealen Wäldern den grössten Prozentsatz an gespeichertem Kohlenstoff aufweisen. In bisherigen Studien wurde die Änderung des terrestrischen Kohlenstoffvorrates nicht als Resultat der globalen Erwärmung gewertet.
Die drei Biome boreale Wälder, Sumpflandschaften und Tundra enthalten mehr als 40% des gesamten Kohlenstoffvorkommens, das in terrestrischen Ökosystemen gespeichert ist. Mit den vorausgesagten Klimaänderungen werden die direkten und indirekten Folgen von Feuer in diesen Regionen eine wichtige Rolle bei der Geschwindigkeit der gesamten Kohlenstoffverluste einnehmen.

Das Resultat dieser Studie soll also zeigen, was Feuer für eine zentrale Rolle im Kohlenstoffgleichgewicht der borealen Wälder spielt. Weil Feuer einen sehr starken Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherung in der Bodenschicht von borealen Wäldern ausübt, wird jede Änderung in den zukünftigen Feuerregimes in diesen Regionen einen sehr grossen Einfluss haben.

5 Schlussfolgerung

Bemerkenswert ist der zeitliche Verlauf der Kohlenstoffbilanz der Landökosysteme. Global gesehen ist der Austausch zwischen Atmosphäre und Landökosystemen starken periodischen Schwankungen unterworfen. Etwa alle drei bis vier Jahre gibt es jeweils eine Phase, in der die Landökosysteme mehr Kohlenstoff abgeben, als aufnehmen. Angesichts der grossen Schwankungen - die Bilanz variiert insgesamt um 3 bis 4 Gt C/Jahr - stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, Mittelwerte über fünf bis zehn Jahre miteinander zu vergleichen und daraus einen Trend abzuleiten. Denn auf Grund von solchen Mittelwerten ermittelte man, dass die Kohlenstoffaufnahme in der ersten Hälfte der neunziger Jahre grösser war als in den achtziger Jahren. Gerade die erste Hälfte der neunziger Jahre zeichnet sich jedoch dadurch aus, dass es - sehr wahrscheinlich aus klimatischen Gründen - keine Phase gab, in der die Landökosysteme netto Kohlenstoff an die Atmosphäre abgaben; in dieser Periode nahmen sie daher überdurchschnittlich viel Kohlenstoff auf. Der Vergleich mit den achtziger Jahren widerspiegelt daher vermutlich nicht einen längerfristigen Trend, sondern illustriert, wie bedeutend klimatische Faktoren sind.

Die Wissenschafter halten es daher für ein wagemutiges Unterfangen, sich darauf zu verlassen, dass die Landökosysteme auch zukünftig so viel Kohlenstoff aufnehmen werden wie in den letzten Jahren. Zum Einen ist die globale Kohlenstoffbilanz schon jetzt starken Schwankungen ausgesetzt; zum Anderen muss damit gerechnet werden, dass Faktoren, welche die Kohlenstoffaufnahme heute günstig beeinflussen, in Zukunft weniger stark ins Gewicht fallen werden. Die Düngewirkung des erhöhten atmosphärischen CO_2-Gehalts und des Stickstoffeintrages dürfte mit zunehmender Sättigung abnehmen. Auch die Aufforstung von Wäldern entfaltet nur eine zeitlich beschränkte Wirkung.

Folgende Studien müssten angegangen werden, wenn man die Auswirkungen von Feuer in den borealen Wäldern auf das globale Kohlenstoffbudget besser quantifizieren wollte:

- Globale Überwachung der Gebiete und Flächenausdehnungen von Feuern
- Ermittlung der räumlichen Muster von Feuerstärken und Biomassenverbrauch
- Überwachung und Modellierung der Muster von Pflanzen- und Waldsukkzessionen nach Feuern
- Messung und Modellierung von Zersetzungsgeschwindigkeiten in der Bodenschicht von borealen Wäldern, Tundra und baumlosen Torfgegenden nach Feuern.

6 Literaturverzeichnis

Goldammer, J.G., Foryaev, V.V. (1996): Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia.

Innes, J.L. (2000): Biomass Burning and its Inter-Relationships with the Climate System.

Kasischke, E.S. et al. (1995): Fire, Global Warming, and the Carbon Balance of Boreal Forests, in: Ecological Applications, 5(20), 437-451.

Kasischke, E.S., Stocks, B.J. (2000): Fire, Climate Change, and the Carbon Cycling in the Boreal Forest.

NZZ Ausgabe Nr. 265, few (14.11.2001): Begrenzte Aufnahme von Kohlenstoff.

Bericht zum Kurzreferat im Rahmen des Waldbrandkurses 2002 der Professur Forstschutz und Dendrologie

Thema: Brandwirtschaft im Laufe der Zeit

Verfasser: Moreno Bonotto, D-FOWI

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 33
2 Ziele und Zweck des Verbrennens von Weide- und Waldflächen 33
2.1 Schaffung von Acker- und Weideland 33
2.2 Gezieltes verbrennen von Waldteilen zum Zweck der Jagd 33
2.3 Vorbeugung grösserer Brände 33
2.4 Erhaltung von Kulturlandschaften und ökologischen Systemen 33
3 Die Geschichte der Brandwirtschaft 33
4 Fallbeispiel Madagaskar 35
4.1 Zweck des Beispiels 35
4.2 Informationen zu Madagaskar 35
4.3 Ursachen von Wald- und Weidebränden 35
4.4 Folgen der Wald- und Weidebrände 36
5 Schlussfolgerung 36
6 Literatur- und Quellenverzeichnis 36

1. Einleitung

Im Rahmen eines Waldbrandkurses sollte auch über das Thema der Brandwirtschaft gesprochen werden.
Seit sich der Mensch Feuer aktiv zu Nutze machen konnte, setzte er es ein um die Landschaft zu gestalten und Ressourcen verfügbar zu machen.
Das Feuer und somit die Brandwirtschaft begleitet den Menschen durch alle auf jedem Kontinent bis in unsere Zeit.
Leider ging in Mitteleuropa durch eine Feuerausschliessende Haltung der Gesellschaft viel Wissen rund um die Brandwirtschaft verloren. Denn gewissenhaft betrieben ist sie keineswegs ein gefährliches Zerstörungswerkzeug.
In den letzten Jahrzehnten wurde der ökologische und landschaftsbildende Wert der Brandwirtschaft erkannt und wird nun vermehrt mit Forschungsprojekten erforscht.
Im folgenden sollen verschiedene Aspekte der Brandwirtschaft genauer beleuchtet werden.

2. Ziele und Zweck des Verbrennens von Weide- und Waldflächen (Mitteleuropa)

Das Verbrennen von Wald- und Weideflächen kann verschiedene Zwecke erfüllen:

2.1 Schaffung von Acker- und Weideland

Einer der wichtigsten Punkte der Brandwirtschaft ist sicherlich die Entfernung von Waldflächen zu Gunsten von Acker- und Weideland. Durch das Verbrennen der Biomasse in einem mehr oder weniger begrenzten Rahmen, entsteht für kürzere Zeiträume (2-3 Vegetationsperioden) fruchtbares Ackerland.
Zusätzlich wirkt das Feuer als Herbizid, denn das Unkraut wurde verbrannt und bildet so keine Konkurrenz zum aufkommenden Getreide. Dies führt zu einer Verbesserung der Getreidequalität.

2.2 Gezieltes verbrennen von Waldteilen zum Zweck der Jagd

Eine sehr ursprüngliche Nutzung des Feuers ist die, mit dem Zweck die Jagd zu erleichtern und zu optimieren.
Das Treiben des Wildes mittels Feuer war allerdings nur ein kurzfristiges Ziel. Vielmehr interessierten die durch die Brandrodung entstandenen Weideflächen, die das Wild anzogen und dem Jäger das Erlegen des Wildes erleichterten.

2.3 Vorbeugung grösserer Brände

Durch das gezielte Verbrennen von abgestorbenem Pflanzenmaterial, hauptsächlich von Sträuchern und Gräsern (gesammelt und zu Haufen getürmt) in den Wäldern, konnten verheerende Brände vermieden werden. Die Nahrung für einen starken Brand wurde auf diese Weise entzogen.

2.4 Erhaltung von Kulturlandschaften und ökologischen Systemen

In heutiger Zeit besteht in Mitteleuropa eine steigende Tendenz, das Feuer auf eng begrenzten Gebieten wieder einzusetzen.
Es geht zum Beispiel um die Erhaltung von Heideflächen und der dazugehörigen Flora und Fauna, die durch nichts anderes als durch periodische Feuerlegung entstanden sind. Allerdings sind erst Versuche und Untersuchungen im Gange, für eine Anwendung der Brandrodungen, müssten die gesetzlichen Grundlagen geändert werden (dies gilt für Deutschland).

3. Die Geschichte der Brandwirtschaft (Mitteleuropa)

Im folgenden werde ich einen sehr groben Ablauf der Entwicklung der Brandwirtschaft in Mitteleuropa schildern. Der Beschreibung der Geschichte der Brandwirtschaft vollumfänglich gerecht zu werden, würde diesen Rahmen sprengen.

Spätestens in der Jungsteinzeit (5500 v. Chr.) setzte der Mensch das Feuer gezielt für Rodungszwecke ein. Durch einen relativ geringen Aufwand konnte er ein Ergebnis erzielen, das mittels Mannkraft unmöglich realisierbar war. Mit der Brandrodungsmethode schaffte sich der Jungsteinzeitmensch Flächen für den Ackerbau in ganz Mitteleuropa. Ursprünglich diente das Brennen vermutlich dem Treiben des Wildes zum Zweck der Jagd.
Es ist noch nicht geklärt, ob die Ahnen des Jungsteinzeitmenschen dem Feuer folgten oder es bereits selber aktiv entzündeten, um Lebensraum zu schaffen.

Aus dem einfachen Ackerbau der Jungsteinzeit entwickelten sich im Laufe der Jahrtausende Wanderfeldbausysteme, die einen Kreislauf von Brandrodung zu Nutzung, zu Regeneration und wiederum Brandrodung bildeten.
Diese Systeme entwickelten sich vor allem in Gebieten, die aus klimatischen oder geologischen Gründen keinen permanenten Ackerbau erlaubten.
In Mittelgebirgslagen war diese Form des Landbaus oft die einzige Möglichkeit einerseits Feldernte und Nutz-/Brennholz einzutragen, andererseits Weideland zu schaffen.
Schriftliche Beschreibungen der Wanderfeldbausysteme sind erstmals im Mittelalter vorzufinden.
Es wurden viele verschiedene Systeme entwickelt, die aber alle einer Grundform folgten:

1. Aus einem bestimmten, abgegrenzten Bestand wurde das Nutzholz (meist Brennholz) entnommen und deponiert.
2. Darauf wurde die Fläche entzündet und verbrannt. Für den Vorgang des Brennens war ein beträchtliches Wissen notwendig: Windgeschwindigkeit, Topographie, Windrichtung, Wetterveränderungen etc. mussten bekannt und eingeschätzt werden. Hatte die leitende Person genügend Erfahrung, reichte die Verwandtschaft aus, um den Brand unter Kontrolle zu halten.
3. In die entstandene Asche wurde Getreide (Roggen und Buchweizen) und später Kartoffeln angebaut. Nach 2-3 Vegetationsperioden war die Düngewirkung der Asche verzehrt und der Ackerbau musste somit eingestellt werden.
4. In der Folge wurde für einige Jahre das Vieh auf die Fläche gelassen.
5. Nach und nach eroberte sich der Wald die Weidefläche zurück und schliesst die Lücke. Während 10-20 Jahren liess man den Wald wachsen, und nutzte eine andere gebrannte Fläche. Darauf begann man den Kreislauf von neuem.

Noch zum Ende des 19. Jh. War die Nutzungsform in Mitteleuropa weit verbreitet. Das Landschaftsbild bestand somit aus einem Mosaik von jungen und alten Beständen, Viehweiden und Äckern.
Auch in der Entwicklung der Heiden und Moore war das aktiv entfachte Feuer ein bestimmender Faktor.
Heiden entstanden zum grössten Teil durch menschliche Eingriffe: Das Brennen, regelmässiges Mähen und die Beweidung durch Vieh verhinderten das Aufkommen von Gehölzen dauerhaft. Dies begünstigte die Entwicklung und die Erhaltung von Heiden ungemein.
Heutzutage möchte man aus Gründen der Landschaftspflege und des Naturschutzes die noch vorhandenen Heiden erhalten. Nicht zuletzt aus Kostengründen greift man dabei vermehrt auf die traditionellen Methoden zurück (das kontrollierte Verbrennen einer Fläche gegen die Verbuschung kann Kosten sparen).
Das sogenannte Moorbrennen wurde vor allem in Finnland, Russland, Belgien, Holland und später in Deutschland praktiziert:
Das oberflächlich trockene Moor wurde entzündet, die dadurch entstandene Asche diente wiederum als Düngegrundlage, um auf dem Moor Ackerbau zu betreiben.
Das Alp- oder Almbrennen wurde vor allem in Perioden der Nahrungsknappheit angewandt, da diese Gebiete doch recht mühsam zu erreichen waren.

Durch neue technische Möglichkeiten (insbesondere Düngung und Maschinen) und durch eine Veränderung der gesellschaftlichen und politischen Haltung wurde die Brandwirtschaft im 19./20. Jh. immer weniger praktikabel oder im Zuge der Naturschutz- und Abfallentsorgungsgesetze (in Deutschland ca. 1980) gar verboten. Zudem betrachten viele Forstleute die Brandwirtschaft als Frevel an der Natur.

Heute findet man Orte, die regelmässig von Bränden heimgesucht werden. Namentlich sind dies Truppenübungsplätze des Militärs.

In den letzten Jahrzehnten wurden durch die Wissenschaft die Bedeutung des periodischen Brandes, als nicht unwichtiger ökologischer Faktor, vor allem in Anbetracht seltener Tier- und Pflanzenarten und somit der Artenvielfalt.
Vermehrt sind nun Forschungen zu diesem Themenbereich, auch im Austausch mit anderen Kontinenten im Gange.

4. Fallbeispiel Madagaskar

4.1 Zweck des Beispiels

Im folgenden soll anhand der Studie „ Naturzerstörung durch Wald- und Weidebrände in Entwicklungsländern „ Negativfolgen unkontrollierter Brandwirtschaft beschrieben werden.
Dies erfolgt am Beispiel Madagaskar, das eine sinkende Nahrungsmittelproduktion im Verhältnis zum Bevölkerungswachstum aufweist.

4.2 Informationen zu Madagaskar

Madagaskar ist die viertgrösste Insel der Erde. Ihre Fläche misst 595000 km^2 . Die Einwohnerzahl beträgt etwa 9.4 Mio. (1983) somit 16 Personen je km^2, es ist also sehr dünn besiedelt. Ausser der für Naturforscher interessanten Flora und Fauna birgt die Insel kaum natürliche Rohstoffe (Bodenschätze).
Von 1896 bis 1960 war Madagaskar eine französische Kolonie; während dieser Zeit wurden die Exporte von Kaffee, Vanille, Gewürzen, Zuckerrohr und Tabak gefördert. Zu diesem Zweck wurden vom Landesinneren Strassen und Schienenstränge an die Häfen gebaut.

Die Madegassen tragen Teile von indonesischen und afrikanischen Einwandern in sich. Dies ist wichtig im Zusammenhang mit den Weide- und Waldbränden: Der Madegasse übernahm von seinen afrikanischen Vorfahren das Weidebrennen vor der Regenzeit und von seinen indonesischen Vorfahren die Praxis des Waldabbrennens zu Rodungszwecken.

4.3 Ursachen von Wald- und Weidebränden

4.3.1 Natürliche Ursachen

- Blitzschlag

4.3.2 Nicht beabsichtigte Brandauslösung

- Holzkohleherstellung und Müllverbrennung
- Lagefeuer von Hirten und Ochsenwagenführern
- Ausflügler und Raucher

4.3.3 Beabsichtigte Brandauslösung

- Rinderzüchter, die grünes Gras nachwachsen lassen
- Besenhersteller
- Mangel an geeigneten technischen Geräten zum Ackerbau
- Einkaufstaktik der Holzverarbeitungsbetriebe
  - ⇨ materielle Gründe

- Herstellung des Tavy-Reises (fällen der Bäume, trocknen der Bäume, verbrennen der Bäume, Reisansaat)
  - ⇨ kulinarischer Grund
- Traditionelle Anbaumethoden
- Tabus, Verbote und Gebote (Tradition)
- Aberglaube
  - ⇨ soziokulturelle Gründe

- Buschfeuer / Waldbrände durch Wahlverlierer / Wahlsieger
  ⇨ politische Gründe
- Waldabbrennen als Austragung zwischenmenschlicher Konflikte
- Weidebrände der Rinderdiebe
- Waldbrände der Räuberbanden

4.4 Folgen der Wald- und Weidebrände

Es gibt drei Auswirkungen auf die Natur, die direkt durch Brände verursacht werden:

1. Die Humusschicht wird abgetötet.
2. Laterit, der in tropischen Böden vorhanden ist, steigt bei Bränden in flüssiger Form an die Oberfläche und breitet sich aus. Der Boden verhärtet sich und wird unfruchtbar.
3. Der Boden und somit auch Nährstoffe werden abgetragen (Bodenerosion), dies geschieht durch Wind und Wasser.

Durch die Bodenerosion werden einerseits die Flüsse verschlammt, die Flussbette erhöht und andererseits die feine Anbauerde ins Meer gespült. Durch die Erhöhung der Flussbette werden bei Regenfällen Hochwasser ausgelöst, die wiederum Ernten und Siedlungen zerstören.
Weiter wird durch den Regen Sand abtransportiert, der die noch fruchtbaren Reisfelder bedeckt und die Ernte erheblich reduziert.
Das Fehlen der Vegetation verursacht Trockenheit und Dürre, was wiederum die Nahrungsversorgung der Menschen erschwert.

Die Kombination dieser drei Schädigungsfaktoren hat eine Fülle von Konsequenzen.
Die Armut und Nahrungsmittelknappheit kann nur in Zusammenhang mit den unkontrollierten Wald- und Weidebränden bekämpft werden, was sehr schwierig ist und kaum nur durch Gesetze/Verbote erreicht werden kann.
Viel Aufklärung und Kommunikation ist nötig.

5. Schlussfolgerung

Man erkennt, dass die Brandwirtschaft sowohl positive, als auch negative Folgen mit sich bringen kann. In Mitteleuropa verdanken wir ihr weite Teile unserer Kulturlandschaft; in den Entwicklungsländern zerstört sie wichtige Nahrungsgrundlagen.
Die Brandwirtschaft kann grosses schöpferisches Potential schaffen, es ist jedoch wichtig, dass sie kontrolliert und kleinflächig eingesetzt wird. Sie muss fein dosiert werden.
Sobald moderne wirtschaftliche Interessen diesen Vorgang bestimmen, wird es gefährlich, anstatt zu schaffen zu zerstören.
Im Sinne der Landschaftserhaltung, der Erhaltung ökologischer Systeme und des Ackerbaus in schwierigen Lagen, sehe ich die Brandwirtschaft in eng begrenztem Ausmass als gutes Mittel, das in den „Pflege- und Bewirtschaftungskatalog“ wieder aufgenommen werden sollte.

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

- Radkau, J.; Natur und Macht, München 2000
- Schneiter, F.; Agrargeschichte der Brandwirtschaft, Graz 1970
- Razafimahefa, R.; Naturzerstörung durch Wald- und Weidebrände in Entwicklungsländern, München 1986

Internet: www.uni-freiburg.de

Die Reutbergwirtschaft als Naturschutz-Event?

1. Die Reutbergwirtschaft

1.1 Das Reuten

Die Reutbergwirtschaft geht folgendermassen vor sich: in den Monaten Mai und Juni wurden zuerst der Strauchaufwuchs mit gebogenen Haumessern abgeschnitten. Der Aufwuchs bestand vor allem aus Besenginster. Auch die grösseren Bäume wurden gefällt. Das stärkere Holz wurde als Brennholz genutzt, Reisig und Äste blieben am Boden liegen. Danach wurde die oberste, durchwurzelte Schicht aufgehackt. Die Rasensoden legte man so hin, dass das Grass nach unten zu liegen kam. Damit konnte das Gras nicht weiterwachsen und die Soden trockneten aus. Die Soden wurden wenn möglich so auf die Äste gelegt, dass der Wind bei der Trocknung seinen Teil dazu beitragen konnte. Diese mühselige Arbeit musste noch vor der Heuernte fertig sein und war deshalb von Anfang Mai bis Mitte Juni aktuell. Damit nicht das ganze Feld aufs mal abbrennen konnte, wurde das Feld in Streifen von 4 bis 5 m breite unterteilt, indem in die Zwischenräume von brennbarem Material freigehalten wurden. Diese Streifen erstreckten sich bis zu 100 m hangabwärts.

Im Juli oder August, nachdem die Soden und das Reisig trocken konnten, fand das „Rüttibrennen" statt. Dabei wurde am oberen Ende der Streifen das trockene Material angezündet. Mit einem langen Stab, der am Ende mit einem grossen Haken versehen war, wurde das brennende Material in einer Art Walze den Hang hinuntergezogen. Die trockenen Äste und Rasensoden entwickelten beim Verbrennen eine grosse Hitze. Bei dieser Arbeit war grösste Sorgfalt geboten, da sonst die benachbarten Streifen oder ein Stück Wald in Brand gesetzt werden konnte. Da das Feuer durch das Hinunterziehen nur wenige Minuten am selben Ort blieb, konnte die Hitze fast nur in die aufgelockerte Bodenschicht. Bereits in wenigen Zentimeter Tiefe hatten die hohen Temperaturen keine Wirkung mehr.

Abb. 1: Das Hinunterziehen der Feuerwalze war eine mühselige Arbeit (aus [3]).

1.2 Der Feldbau

Die auf dem Feld verbliebene Asche war auch das Ziel der ganzen Arbeit. Die Asche diente als Dünger für den Roggen, der im September eingesät wurde.

Die Ernte des Roggens fand im folgenden Jahr mit der Sense oder der Sichel statt, je nachdem wie schnell die Wurzelstöcke austrieben. Bis der Boden erschöpft war und die Unkräuter überhand nahmen, wurde das Feld noch mit Roggen, Kartoffeln oder Hafer bepflanzt. Der Feldbau konnte aus diesen Gründen nur maximal 4 Jahre betrieben werden.

1.3 Die Weide

In den folgenden 10 bis 20 Jahren wurde das Feld als Weide genutzt. Da bei der kurzen Feuereinwirkung nicht alle Samen verbrennen konnten, wuchsen auch bald wieder Gehölze

auf. Darunter vor allem der Besenginster (*Sarothamnus scoparius*), dessen Samenkeimung durch die Feuereinwirkung gefördert wird. Nach und nach entstand eine gebüschdurchsetzte, niederwaldähnliche Weide, die von Zeit zu Zeit wieder von den wuchernden Besenginsterbüschen – eine Zeigepflanze für die starke Bodenverhagerung (Emter 1976, zitiert in [3])– und Brombeeren befreit wurde.

Die Weide innerhalb der Reutberge war den Bauern sehr willkommen, da es vielerorts an Weideflächen mangelte. Nach Vogelmann (1871, zitiert in [2]) brauchte ein Stück Vieh mindestens 2 ha Weidefläche, um es den Tag über schwach zu ernähren, wobei es dazu morgens und abends noch im Stall gefüttert werden musste.

Die Beweidung hatte jedoch den Nachteil, dass der Dung der Kühe für den Ackerbau verloren ging. Zudem wirkte sich der Viehtritt negativ auf den Boden aus: Bodenverdichtungen und Erosion waren die Folge.

Sobald die Büsche zu dominant wurden und dadurch die Beweidung erschwerten, begann der Zyklus mit dem Reuten von neuem.

2. Besenginsterweiden

Die Besenginsterweiden stellen aus ökologischer Sicht wegen ihrem Strukturreichtum, der speziellen Fauna und dem markanten Erscheinungsbild ein erhaltenswerter Vegetationstyp dar. Insbesondere die Vielfalt an Strukturen, die sowohl zeitlich als auch räumlich sehr schnell ändern können, machen den hohen ökologischen Wert der Besenginsterweiden aus.

Auch als kulturhistorischer Sicht sind die Besenginsterweiden ein wertvolles Landschaftselement.

Die Verbreitung des Besenginsters ist eng mit der Reutbergwirtschaft verbunden, da durch das Umgraben und Abbrennen der Felder ideale Bedingungen für diese Pflanze geschaffen werden. Zudem können die Besenginsterkeimlinge von den Nährstoffen aus der Asche, die beim Reuten anfällt, profitieren. Da heute nur noch selten gereutet wird, und somit ein entscheidender Standortsfaktor verschwunden ist, ist dieser Vegetationstyp langsam am Verschwinden.

Die Krautschicht der Reutberge besteht je nach Standort aus unterschiedlichen Rasengesellschaften wie der Rotschwingel-Weide (*Festuco-Cynosuretum*) oder aus Kreuzblumen-Borstgrasrasen (*Polygalo-Nardetum*). Die Pflanzen, welche auf diesen Weiden wachsen müssen sowohl die Beweidung, den Ackerbau und die Einwirkung des Feuers überleben.

3. Geschichtliche Aspekte

In Europa wurde das Feuer seit Jahrtausenden von Menschen genutzt. Das Bild der historischen Kulturlandschaft wurde bis in die Mitte dieses Jahrhunderts hinein durch das Feuer entscheidend mitgeprägt.

Der Brandfeldbau lässt sich bis ins 13. Jahrhundert zurückverfolgen und ist in vielen Ländern Europas üblich gewesen. Die Entstehung der Reutberge des Schwarzwaldes lässt sich mit Belegen um das Jahr 1344 datieren.

Die Ursache in der Entwicklung von verschiedenen Methoden des Brandfeldbaus ist immer eine Lebensmittelverknappung gewesen, die infolge des Bevölkerungswachstums gegeben

war. Aus der Dringlichkeit der Notlage heraus wurden die Brandsysteme auch in den letzten Jahrhunderten von den damaligen Forstleuten meist akzeptiert.

Der Niedergang der Reutbergwirtschaft geht auf das 19. Jahrhundert zurück und geht Hand in Hand mit der industriellen Revolution. Die Gründe für einen Rückgang der Reutberge waren vor allem von volkswirtschaftlicher Art:

- Abwanderung der Arbeitskräfte vom Land in die Stadt
- verbesserte Ackererträge teilweise durch Übergang zur Dreifelderwirtschaft
- preiswertere Produktion auch auf Daueräckern (verbesserte Bodenbearbeitung, Düngung, Saatzucht, ...)
- Konkurrenzförderung durch Erschliessung der entlegenen Täler
- geringere Erträge wegen immer weiter verschlechternder Bodenverhältnisse durch die Reutbergwirtschaft
- Subventionierung von Aufforstungen der Reutberge ab 1870

In Krisensituationen (z.B. Weltkriege) flammte die Brandwirtschaft noch einmal auf.

Die ehemaligen Reutberge sind jetzt grösstenteils bewaldet. Heute ist der Gebrauch von Feuer in Landwirtschaft und Naturschutz in den meisten Ländern Europas verboten.

4. Landschaftsschutz

„Manche Naturschutzgebiete, die frühzeitig eingerichtet wurden, sind „totgeschützt" worden, weil nicht bekannt war, dass die scheinbar natürlich aussehende Gesellschaft in Wirklichkeit das Ergebnis langer und gleichmässiger wirtschaftlicher Beeinflussung früherer Zeiten war. ...."
Tüxen, (1970, zitiert in [3])

Natur in „Reinform" gibt es bei uns nicht mehr, sie ist vom Menschen geformt und geschaffen. Natur in dem Sinne ist also Landschaft.

Oftmals wird heute dem Naturschutz eine Verhinderungsmentalität zugeschrieben durch die Schlagzeilen in den Medien (z.B. „Naturschutz verhindert...").

Um diesem Eindruck entgegen zu wirken wurde folgendes Projekt initiiert:

5. 1. Yacher Symposium: „Der Wandel in der Landschaft" – ein Naturschutz-Event?

Yach ist ein 1000-Seelendorf im Schwarzwald, im Elztal. Dieser Ort hat die meisten noch erhaltenen Besenginster-Weidfelder im Schwarzwald, die aus der ehemaligen Reutbergwirtschaft hervorgegangen sind. Und die Reutbergwirtschaft wurde hier zu einem verhältnismässig spätem Zeitpunkt eingestellt, nämlich erst in den 60-er Jahren des 20. Jahrhunderts.

Das Symposium sollte dem Gespräch zwischen Wissenschaft, Praxis und Politik dienen, aber gleichzeitig auch einen festlichen Rahmen mit einem umfangreichen Begleitprogramm anbieten.

Das Interesse des Initianten an der historischen Reutbergwirtschaft wurde 1988 geweckt. Sechs Jahre später, also 1994, bemühte er sich um die Zustimmung für ein Symposium zur Wiederbelebung dieser Wirtschaftsform bei den zuständigen Yacher Behörden.

Ende April 1995 wurden schon die vorbereitenden Arbeiten (Abschlagen des Besenginsters und Abschälen der Rasensode) durch die Yacher Bevölkerung in traditionellen Arbeitskleidern verrichtet.

Verschiedene Aktionen wie Schwarzwald-Expeditionen, Malwettbewerbe, Velotouren, Mitarbeit von Studenten, etc. brachten die Idee des Symposiums an die breite Öffentlichkeit.

Als Höhepunkt im Jahr 1995 fand natürlich das eigentliche Symposium als 4-tägiges Spektakel statt.

Es setzte sich aus folgenden Programmpunkten zusammen:

- Filmpremiere des Dokumentarfilmes
- wissenschaftliche Vorträge
- Tanzveranstaltungen
- badische Spezialitäten
- Kutschfahrten
- Bilder-, Foto- und Informationsausstellungen
- öffentliches Rüttibrennen (mit mehreren tausend Zuschauern)

Einerseits war es eine grossangelegte touristische Attraktion, andrerseits gab es für die Bevölkerung vielfältige Möglichkeiten der Identifikation mit der eigenen Geschichte und Kultur.

Der Dokumentarfilm z. B. ist ein Film nicht über, sondern mit den Menschen, welche die Reutbergwirtschaft in ihrer Jugend noch miterlebt haben.

Das Symposium hat sicher auf wichtige Zusammenhänge in der Landschaft hingewiesen und dies einer breiten Öffentlichkeit in einer festlich geprägten Atmosphäre veranschaulicht. Insgesamt waren ca. 20'000 Personen während dieser vier Tage nach Yach gereist.

Hier bleibt wohl nur die Frage offen, ob es sinnvoll ist Natur- und Landschaftsschutz der Bevölkerung als Massentourismus-Event näher zu bringen...

6. Literatur

[1] KÜSTER, HANSJÖRG (1998): Geschichte des Waldes – von der Urzeit bis zur Gegenwart; München

[2] LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (1999): Der Rohrhardsberg – neue Wege im Naturschutz für den Mittleren Schwarzwald; Ubstadt-Weiher

[3] http://www2.ruf.uni-freiburg.de/fireglobe/programmes/natcon/natcon_3.htm

Berücksichtigung von Waldbränden bei der forstlichen Planung im Kanton Tessin

1. Einführung

Das Feuer wird als wichtiger und dominanter Faktor bei der Regulierung der Biomasse in natürlichen forstlichen Ökosystemen betrachtet (CONEDERA et al. 1996). In bestimmten Fällen tritt es aber in Konflikt mit den menschlichen Interessen.
Ein sehr wichtiger Punkt in der Geschichte der Beziehungen zwischen Waldbränden und Menschen auf der Alpensüdseite ist die Einführung der Edelkastanie (*Castanea sativa*) während der Römerzeit. Damit wird das Feuer als störender Faktor gesehen. Ab dieser Periode beginnt eine aktive und spezifische Kontrolle und Verwaltung (Management) des Landes. Die Folge ist eine deutliche Abnahme der Anzahl Waldbrände. Diese Art Verwaltung ist im Kanton Tessin immer noch vorhanden.
Heute sind die Waldbrände in der Alpensüdseite immer stärker durch die Zunahme der Waldfläche und durch die folgende Zunahme der Biomasse beeinflusst. Ursache dafür ist die starke Abnahme land- und forstwirtschaftlicher Tätigkeiten. Vorbeugende Eingriffe und Verwaltung spielen in diesem Zusammenhang eine sehr wichtige Rolle, weil damit die Nachteile einer Abnahme der land- und forstwirtschaftlicher Tätigkeiten stark beschränkt werden (FÜRST UND CONEDERA 1996).
Zusätzlich muss man noch die Kosten des Löschens berücksichtigen. Tatsächlich wurden durchschnittlich im Tessin zwischen 1984 und 1994 für das Löschen von Waldbränden 615'000.- SFr pro Jahr ausgegeben. Dazu muss man auch die Kosten der Kauf und des Unterhaltes der Ausrüstungen und der Ausbildung des Personals berechnen, die zur Bekämpfung des Brandes nötig sind (CONEDERA et al. 1996).
Nach allen diesen Betrachtungen scheinen Vorbeugungsmassnahmen durch eine bestimmte Planung der Waldflächen sinnvoll und nötig zu sein.

2. Beziehungen zwischen Waldbrände und forstliche Planung

Beim Schutz des Waldes gegen Waldbrände werden folgende Punkte berücksichtigt (CALABRI 1991):

- **Vorbeugung:** Änderung der Waldeigenschaften, die die Verbreitung und Ausdehnung von Waldbrände beeinflussen und Bau von Infrastrukturen zur Feuerbekämpfung.

- **Voraussicht:** Bestimmung der Wahrscheinlichkeit und Eigenschaften der Feuerausdehnung. Planung von Infrastruktur zur Feuerbekämpfung

- **Aktive Bekämpfung:** Identifizierung und Löschen des Brandes

Bei allen der oben genannten Punkten gibt es eine enge Beziehung mit der forstlichen Planung. Bei der Vorbeugung wird durch gezielte waldbauliche Eingriffe auf bestimmte Waldeigenschaften eingegriffen. Die Vorhersage hat als wichtiger Punkt die Planung von Infrastrukturen und in der aktiven Bekämpfung werden solche Strukturen verwendet. Waldbrandbekämpfung ist somit durch eine zielgerichtete forstliche Planung möglich, indem die wichtigsten Faktoren der Brandverbreitung und -ausdehnung unter Kontrolle gestellt und/oder geändert werden.
Schlussendlich kann man noch sagen, dass im Tessin die forstliche Planung bis heute fast ausschliesslich über die Projekte erfolgt.

3. Strategien zur Bekämpfung von Waldbränden

Eine gute Strategie braucht ein Gleichgewicht zwischen Vorbeugung, Löschen und Wiederbewaldung der gefährdeten Zonen. Im Tessin spielen die Aspekte der vorbeugenden Bekämpfung eine besondere Rolle (v.a. Infrastrukturen) : sie vermindern die Risiken von riesigen Katastrophen und haben normalerweise ein gutes Kosten/Wirksamkeit-Verhältnis (FÜRST UND CONEDERA 1996)

3.1 Waldbauliche Vorbeugungsmassnahmen (FÜRST UND CONEDERA 1996)

Die Grundidee ist auf die Waldeigenschaften (Struktur, Form, Textur) die das Feuer beeinflussen einzugreifen. Ziele sind vor allem : Reduktion von Biomasse und Brennmaterial und Beschränkung der Feuerausdehnung. Diese Eingriffe befinden sich in bestimmten sogenannten „Pufferzonen „ (sie sind Linear- oder Gürtelförmig) zwischen Zonen mit hohen Brandrisiko und gefährdete Wälder. Diese Massnahmen haben auch andere Vorteile : Natur- und Landschaftschutz, Tourismus und Landwirtschaft werden auch begünstigt.
Andere Massnahmen sind spezifischer wie z.B. Reinigungsmassnahmen (Unterholz entfernen) und Feuerschutzschneise.

Wichtigste waldbauliche Vorbeugungsmassnahmnen mit Feuerschutzfunktion (mit spez. Bezug auf der Alpensüdseite)

- Verlassene Kastanienwälder wiedererlangen (wiedererobern)
- Viehe im Wald weiden lassen (Kontrolle!)
- Entfernung von Sträuchern
- Förderung feuerhemmender Arten
- Reduktion der Bodenvegetation
- Positive Auslese im Niederwald

3.2 Technische Vorbeugungsmassnahmen (FÜRST UND CONEDERA 1996)

- Wasserversorgungsnetze (Hydrant)
- Erschliessungen (Wald wird erreichbar, Verhinderung der Feuerausdehnung)

Diese Massnahmen sind sehr aufwendig und projektpflichtig .

3.3 Allgemeine Vorbeugungsmassnahmen (FÜRST UND CONEDERA 1996)

- Brandalarm Service
- Gesetze
- Umwelterziehung

3.3.1 Datenbank (CONEDERA et al. 1996)

Der Kern des Informationssystems über die Waldbrände der Alpensüdseite besteht aus einer Datenbank mit über 5300 Waldbrandereignissen von 1879 bis Ende 1994. Basierend auf den

Informationen der Datenbank (ORACLE) wurde die Entwicklung des Phänomens Waldbrand für dieses Jahrhundert dargestellt. Die Struktur der Datenbank ist in drei Hauptsektoren unterteilt : **Gemeinde** (alle Daten der Ereignissen der Gemeinden), **Forstamt** (alle Ereignissen über die der Forstdienst informiert wird) und **Finanzdepartement** (Daten aus der Feuerwehrdatenbank). Die Zusammenhänge zwischen dem Wetter und den Waldbränden wurden auf zwei verschiedenen Stufen untersucht: mit der Analyse der wichtigsten **meteorologischen Parametern** (Niederschlag, Temperatur,...) und mit einem **statistischen Modell**, das den Einfluss mehrerer Variabeln auf das Feuerregime Erklären soll (Sommer, Werk- und Feiertage,...).

4. Ziele der forstlichen Planung bezüglich der Waldbrände

(FÜRST UND CONEDERA 1996)

In diesem Zusammenhang ist das Hauptziel einer forstlichen Planung die Reduktion der negativen Folgen auf die Umwelt, die durch Interaktionen zwischen Menschen und Wald entstehen können. Tatsäschlich haben menschliche Tätigkeiten in den letzen Jahren eine deutliche Expansion erlebt. Damit ergibt sich eine Zunahme der Verbindungen und Wechselwirkungen zwischen Menschen und Waldflächen.
Eine andere Methode ist die Identifizierung und die Klassifikation nach Prioritäten der Gebieten, in denen ein Feuerereignis die grössten Schäden verursachen kann.

Die Ziele vorbeugender oder direkter Massnahmnen der Feuerschutzplanung sind folgende:

- Verringerung der Wahrscheinlichkeit von Waldbrandentwicklung
- Beschränkung der Verbreitungs- und Ausdehnungsgeschwindigkeit des Brandes
- Beschränkung der Schaden und Folgen an der natürlichen Umwelt

5. Schlussfolgerungen

Waldbrände sind stark mit der Waldfläche und deren Eigenschaften verbunden. Somit sollte eine forstliche Feuerschutzplanung zur Beschränkung und zur Abnahme von Waldbränden oder zumindest zu einer Vergünstigung des Löschens führen. Dies sollte mindestens theoretisch möglich sein.
Zur praktischen Bekämpfung sind verschiedene Strategien bekannt.

6. Literatur

FÜRST, M., CONEDERA, M. 1996. Valutazione delle conseguenze degli incendi boschivi in funzione della pianificazione antincendio al Sud delle Alpi della Svizzera. Proposta di un metodo d'analisi per la valutazione delle necessità d'intervento. FNP-Sottostazione Sud delle Alpi, 6501 Bellinzona. Comitato nazionale Svizzero IDNDR.

CONEDERA, M., MARCOZZI, M., JUD, B., MANDALLAZ, D., CHATELAIN, F., FRANK, C., KIENAST, F., AMBROSETTI, P., CORTI, G. 1996. Incendi boschivi al Sud delle Alpi: passato, presente e possibili sviluppi futuri. Rapporto di lavoro PNR 31. Hochschulverlag AG an der ETH Zürich. ISBN 3 7281 2348 X

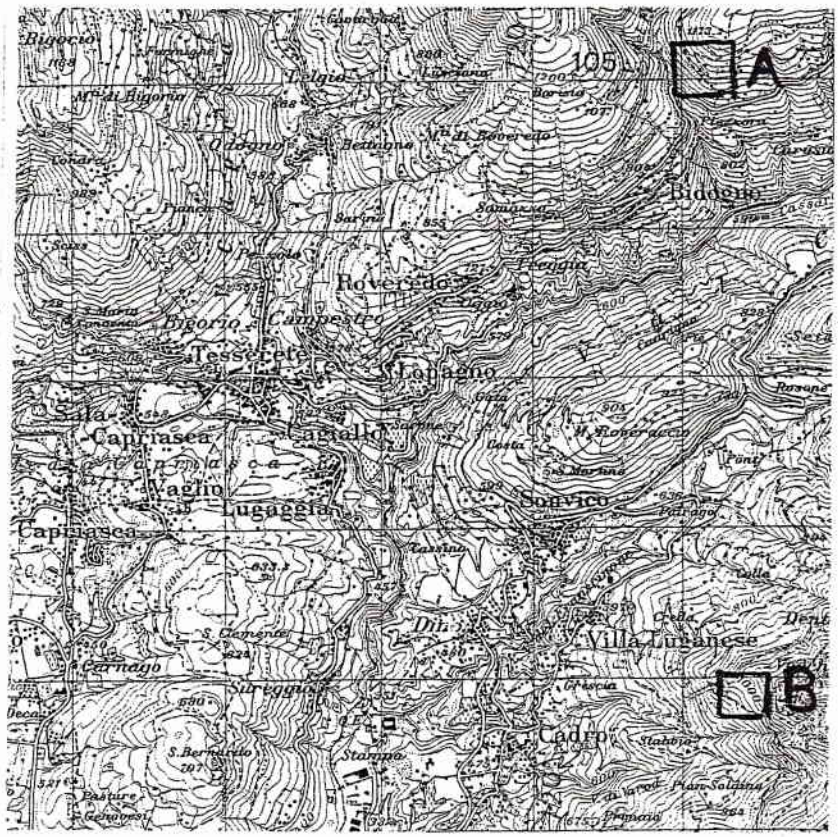
CALABRI, C. 1991. La prevenzione degli incendi boschivi. I problemi e le tecniche della difesa. Seconda edizione, Edagricole-edizioni agricole. ISBN 88-206-3392-2

Istituto federale di ricerca WSL
Sottostazione Sud delle Alpi
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Institut fédéral de recherches WSL
Swiss Federal Research Institute WSL

Un istituto del settore dei politecnici

Waldbrandkurs 2002

Exkursion von Samstag, 13. April 2002 in Val Colla

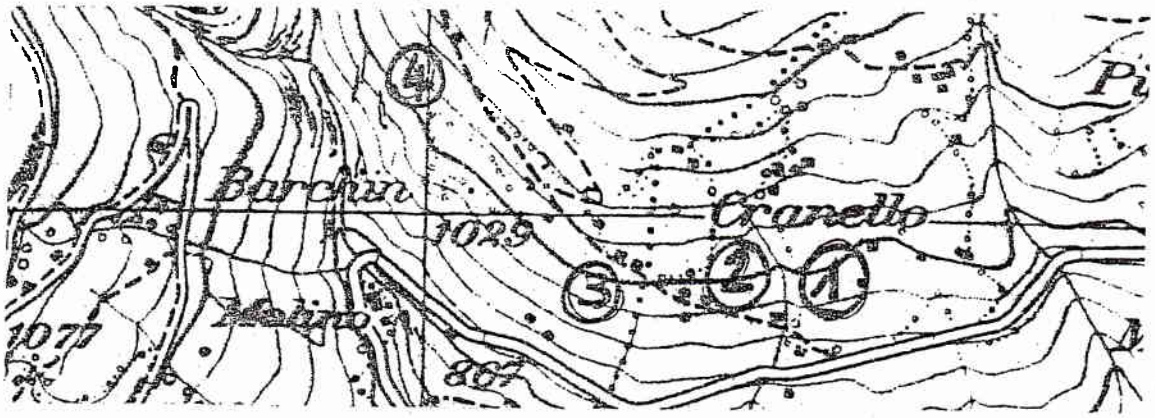


CN 1:50'000, Malcantone

Via Belsoggiorno 22, casella postale 57, CH-6504 Bellinzona-Ravecchia
Telefono +41-91-821 52 30, fax +41-91-821 52 39, www.wsl.ch/sottostazione

Abfahrt: Samstag, 13.4.02, 08:45, Centro Spazio Aperto; Bellinzona

10:00-11:30 – Objekt A: Bidogno-Corticiasca (721'500/101'900)



10:00-10:45 Gruppenarbeit der Studierenden an den Punkten 1-4:

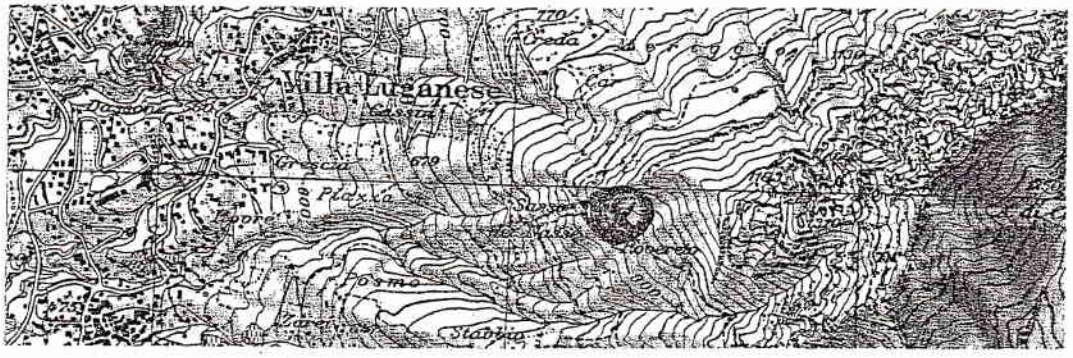
Bestand und Bestandesgeschichte:
Charakterisierung von Bestand und Bestandesgeschichte (Betriebsart, letzte Nutzung, Waldfunktion)
Abschätzen der Anzahl Waldbrände und der Zeit seit dem letzen Waldbrand

Folgen von Waldbränden:
Kann man je nach **Bestandestyp** unterschiedliche Reaktionsmuster auf Brand erkennen?
Kann man je nach **Baum- oder Pflanzenart** unterschiedliche Reaktionsmuster auf Brand erkennen?
Welche schwerwiegenden Folgen haben die Waldbrände auf die Waldfunktionen?
Welche waldbaulichen bzw. vorbeugenden Massnahmen schlagen Sie vor?

10:45-11:30: Diskussion:
Vorstellung der erarbeiteten Antworten und Lösungen
Diskussion

11:30-12:15 – Fahrt nach Villa Luganese
12:15-13:00 – Mittagessen aus dem Rucksack

13:30-15:00 – Objekt B: Villa Luganese (721'400/101'900)



13:30-14:00 Gruppenarbeit der Studierenden:

Bestand und Bestandesgeschichte:
Charakterisierung von Bestand und Bestandesgeschichte (Betriebsart, letzte Nutzung, Waldfunktion)
Abschätzen der Anzahl Waldbrände und der Zeit seit dem letzen Waldbrand

Folgen von Waldbränden:
Wie sind die unterschiedliche Reaktionsmuster gegenüber das Objekt A (Bidogno) zu erklären?
Welche schwerwiegenden Folgen haben die Waldbrände auf die Waldfunktionen (insbesondere Naturschutz)?
Welche waldbaulichen bzw. vorbeugenden Massnahmen schlagen Sie vor?

14:00-14:45
Vorstellung der erarbeiteten Antworten und Lösungen
Diskussion

15:00 –16:15 – Rückfahrt nach Bellinzona