

3.6 Feuer in montanen Waldökosystemen der angrenzenden außertropischen Regionen

Die Überlegungen zur Anfügung eines Kapitels über die Feuerökologie von außertropischen oder - subtropischen Waldgesellschaften im vorliegenden Kontext wurden bereits in Abschnitt 2 angedeutet. Die sozio-ökologischen Randbedingungen der Waldentwicklung im tropischen Asien setzen sich in den montanen Hochlagen der Himalayas ebenso fort, wie im nördlichen China, dem einzigen ostasiatischen Land, das sämtliche Waldbiome zwischen dem tropischen Tieflandregenwald und den borealen Nadelwäldern auf Permafrostböden umfaßt. Die Praktiken der Landnutzung, in denen die Anwendung des Feuers eine wesentliche Rolle spielt oder in denen Feuer als Rand- bzw. Folgeerscheinung auftritt, sind trotz verschiedenartiger vegetationsgeographischer Verhältnisse ähnlich wie die in den Tropen.

Zweierlei Gründe sind hierfür maßgebend. Zum Einen unterliegt in den "Entwicklungs-ländern" die Erschließung bislang weitestgehend unbesiedelter und "unbelasteter" Naturwaldgebiete für land- und forstwirtschaftliche Zwecke den gleichen Methoden und Mechanismen. Diese sind unabhängig davon, ob es sich um neu aufgebrochenen Tiefland-Regenwald, die bislang unzugänglichen Hochgebirgslagen oder um die bis in jüngere Zeit siedlungsfeindlichen kontinental-borealen/subpolaren Waldlandschaften handelt. Die Walderschließung ist stets mit Brandrodung und dadurch mit Feuerselektion verbunden.

Der andere Grund liegt heute insbesondere in der Herkunft der Menschen, die die bislang wenig zugänglichen Hochgebirgs- und borealen Waldgebiete besiedeln. In den Himalayas, vor allem im nördlichen Indien, Nepal, Bhutan und Burma, aber auch in China, ist die Besiedelung der Hochgebirgslagen eine Folgeerscheinung der Überbevölkerung der tropisch-subtropischen Tiefländer. Die Siedler rekrutieren sich aus dieser Umwelt, in der die Anwendung von Feuer in der Landbewirtschaftung zum "Alltag" gehört und in den neuen Lebensraum mitgebracht wird.

Die verfügbaren Informationen über Feuerregime und die Feuerökologie dieser abgelegenen Waldlandschaften sind nicht sehr umfassend. In den folgenden Abschnitten soll dennoch versucht werden, ein Bild der Feuerökologie der Hochlagenwälder der Himalayas und der montan-borealen Nadelwälder Nordost-Chinas zu zeichnen. Während im außertropischen Afrika keine vergleichbaren Waldstandorte zu finden sind, sind die andino-patagonischen Waldgesellschaften Südargentiniens das Äquivalent im außertropischen Südamerika, deren Feuerökologie abschließend besprochen wird.

3.6.1 Die Hochlagenwälder der Himalayas

Das Himalayagebirge bietet aufgrund seiner starken eigenen Reliefwirkung ein sehr komplexes klimatisches und pflanzengeographisches Bild, das von Schweinfurth (1957) ausführlich beschrieben ist. Die klimatisch wirksame Randschwelle im zentralen, breiten Teil des Gebirges trennt den vom tropischen Monsunklima beeinflussten "äußeren Himalaya" vom kontinentalen, mäßig feuchten "inneren Himalaya". Weiter nördlich schließt sich der trockene und waldfreie tibetische Teil des Himalaya an.

Die südliche Abdachung des äußeren Himalayakomplexes stellt einen interessanten sozio-ökologischen Gradienten dar, entlang dessen der Einfluss des tropisch/subtropischen Monsunklimas, des Menschen und des Feuers in die Hochlagen einwandert. Der Einfluß anthropogener Feuer ist dabei in den Tieflagen erheblich stärker ausgeprägt und nimmt mit zunehmender Höhe ab.

In den Tieflagen wird das Bild wesentlich durch die laubabwerfenden (winterkahlen) Sal-Wälder bestimmt, in denen die dominierende Baumart *Shorea robusta* durch die jährlich auftretenden Feuer gegenüber anderen Arten besonders begünstigt wird. Diese Waldgesellschaften reichen in der "Vorbergzone" Indiens, Nepals und Bhutans bis auf 1000 m ü. NN, die trockeneren Varianten des Sal-Waldes bis auf ca. 1500 m ü. NN.

Abgelöst werden die Sal-Wälder durch den Gürtel der immergrünen, submontanen Eichen-Kiefernwälder, in denen sich die Kiefern (*Pinus roxburghii*) aufgrund des regelmäßigen Feuereinflusses gegenüber den Laubholzarten (*Quercus* spp., *Castanopsis* spp.) zunehmend durchsetzen (Abschn.3.4). In Abschnitt

3.4.2 wurde bereits dargestellt, daß die Kiefern bis zu einer Höhe von ca.1800 m ü. NN eine besonders feuerharte Borke aufweisen, deren Stärke ab dieser Höhe graduell abnimmt.

Oberhalb der Kiefern-Feuerklimax werden die waldbildenden Arten zunehmend feuerempfindlicher. Zwischen 2000 und 3000 m ü.NN ist *Quercus semecarpifolia* eine charakteristische Art, die auf trockenen, degradierten oder auch feuerbeeinflussten Standorten von *Pinus griffithii* McClelland (synonym u.a. *P.excelsa* Wall. und *P.wallichiana* A.B.Jacks [Critchfield und Little 1966]) abgelöst wird. Diese Kiefernart ist offensichtlich feuerempfindlicher als *P.roxburghii* (s.a. Hearle 1887). Dennoch kommt ihr wohl eine vergleichbare Rolle als Sekundärbaumart und Spezialist für gestörte Standorte zu (Deogan 1931; Sargent 1985). Offensichtlich erheblich widerstandsfähiger gegen Feuer ist *Cedrus deodora*, die ebenfalls in dieser Höhenlage vorkommt (1800-3000 m). Das Holz dieser Zeder ist sehr dauerhaft und spielt für die Forstwirtschaft in den Gebirgswäldern eine besonders große Rolle. Die Naturverjüngung von *C.deodora*, die waldbaulich durch Entfernung konkurrierender Tannen und Kiefern freigestellt wird, ist sehr feuerempfindlich (Brandis 1879; 1881, in Hesmer 1975). Im höheren Alter weist sie aber neben der Bildung einer besonders starken Borke auch eine kompaktere Streuschicht und einen weniger brennbaren Unterstand auf und wurde deswegen gelegentlich als brandhemmende Baumart für die Anlage von Brandschutzstreifen empfohlen (Pring und Bakshsh 1940) und bei der Wiederaufforstung verbrannter Bergwaldflächen benutzt (Chandra 1931). Innerhalb dieses gemäßigt-trockenen Koniferengürtels sind Feuer häufig, die dann auch auf die sich darüber anschließenden Tannenwälder übergreifen. Im indischen Himalaja wurden 1921 als Folgen von Unruhen im Punjab besonders ausgedehnte Brände verzeichnet. Alleine im Bashahr verbrannten 1921-22 etwa 28.000 ha dieser Koniferenwälder (Pring und Bakshsh 1940).

Oberhalb von ca. 3000 m ü.NN setzt sich der Feuereinfluß in den Koniferenwälder der Hochlagen fort, in denen beispielsweise in Nepal *Abies spectabilis*, *Abies pindrow*, *Tsuga dumosa* und *Juniperus wallichiana* charakteristische bestandesbildende Elemente sind und ein Feuer-Mosaik bilden können (Goldammer 1986e). Schmidt-Vogt (1990) führt als einen der wichtigen Gründe für die unkontrollierten Waldbrände in den Hochgebirgswäldern von Nepal die Brandbewirtschaftung von Bambus (*Arundinaria* spp.) an. Die dort vorkommende und wirtschaftlich wichtigste Art ist *Arundinaria maling*, ein Bambus, der unterständig und auf ehemaligen Brandflächen auftritt und als Futter und Flechtmaterial Verwendung findet. Das Brennen von Bambus dient der Stimulation seiner Verjüngung und der Eliminierung nicht verwertbarer, alter Sprosse. Diese Feuer werden vor allem in der späten Monsun-Trockenzeit (Februar-April) gelegt.

Eine interessante Rolle in der feuerinduzierten Waldentwicklung spielen *Rhododendron* spp., die in den Himalajas feuerangepasste Arten aufweisen (Champion 1919). Beispielsweise bildet *Rhododendron arboreum* W.W.Smith in den gemäßigten Waldgesellschaften Nord-Burmas zusammen mit *Pinus kesiya* eine Feuerklimax (FAO 1983a; Goldammer 1986b). In den Hochlagenwäldern Nepals vermutet Schmidt-Vogt (1990) die Rolle des Feuers eher im "Aufbrechen" von Rhododendron-Reinbeständen, die sich nach der Entfernung oberständiger *Abies spectabilis* (durch natürlichen Abgang oder Fällung) aus dem Unterstand heraus entwickeln. Die Ursache für die Bildung dieser Reinbestände wird in der Blattstreu von Rhododendron gesehen, die eine dichte Bodenauflage bildet und die Keimung und Verjüngung von *A.spectabilis* verhindert. Erst ein Bodenfeuer kann die Überführung in einen Mischwald wieder einleiten.

In der subalpinen Zone, zwischen den gemäßigten Nadelmischwäldern und der Baumgrenze, unterliegen die bestandesbildenden Baumarten wie *Abies densa*, *Picea spinulosa*, *Juniperus* spp. und *Betula utilis* einem vielfachen physiologischen Stress aufgrund von Kälte und Trocknis (Sargent 1985). Diese Wälder sind daher besonders anfällig gegenüber außer Kontrolle geratener Rodungs- und Weidefeuer, die in zunehmendem Maße in diese Hochlagen eingebracht werden.

Genauere Informationen über das Ausmaß unkontrollierter oder natürlicher Waldbrände in den Hochlagen des Himalayagebirges sind nicht vorhanden. Großflächige Feuer können durchaus auftreten. Anfang der 70er Jahre wurde von einem derartigen Waldbrand berichtet, der in Tibet ausbrach und auf nepalesisches Hoheitsgebiet bei Maming übersprang und dort erhebliche Schäden anrichtete (Goldammer 1986e). Aus Bhutan liegen Waldbrandstatistiken für den Zeitraum 1981-85 vor, in dem insgesamt 29.516 ha Hochlagenwald verbrannten (Chhetri 1986).

Eine weitere mögliche Gefährdung der Hochlagenwälder durch Feuer bringt die ungeordnete Waldnutzung mit sich. Missachtung der "sauberen Waldwirtschaft" hat beispielsweise in Bhutan zu einer erheblichen Massenvermehrung von Borkenkäfern nicht nur im *Pinus roxburghii*-Gürtel geführt (*Ips longifolia* Stebb.), sondern auch in den Höhenlagen West-Bhutans bis zu 3500 m ü.NN. Dort wurde in den letzten Jahren eine Massenvermehrung von *Ips schmutzenhoferi* Holzschuh an *Picea spinulosa*, *Pinus wallichiana* und *Larix griffithiana* beobachtet (Schmutzenhofer 1988). Es ist damit zu rechnen, daß der hohe Schadholzanfall zu einer erhöhten Gefährdung der Bestände durch Wildfeuer führt.

Die Feuerökologie des äußeren und inneren Himalajagebirges ist Gegenstand von derzeit geplanten Forschungsvorhaben, die im Wesentlichen in Bhutan und Tibet durchgeführt werden sollen. Hiervon wird eine bessere Kenntnis über diesen für die Erhaltung der Hochlagenwälder bedeutsamen ökologischen Faktor erwartet.

3.6.2 Montan-borealer Nadelwald in Nordost-China

Die Verbreitung der montan-borealen Nadelwaldformationen in China erstreckt sich zwischen der nordöstlichen Provinz Heilongjiang, nördlich begrenzt durch die Lärchenwälder entlang der sino-sibirischen Grenze am Heilong-Fluß (Amur), den Fichten-Tannenwäldern von Sinkiang und Szechuan, den Lärchenwäldern Ost-Tibets und den tropischen Hochgebirgswäldern in Kwangsi und Taiwan (Wang 1961; FAO 1982c). Nähere Kenntnisse über natürliche oder anthropogene Feuerregime sind bislang nur aus Nordost-China bekannt (Goldammer und Di 1990), auf die sich die folgenden Ausführungen beziehen.

In der nordostchinesischen Provinz Heilongjiang ist der montan-boreale Nadelwald des Daxinganling-Gebirges (etwa zwischen 52-53°N und 122-124°O) auf podsolierten Böden und in Höhenlagen bis ca. 500 m ü. NN anzutreffen. Bei einem Jahresniederschlag von 350-500 mm, der zu etwa 70% zwischen Mai und August fällt, sind insbesondere die Monate März-Mai und September-Oktober sehr trocken und versetzen die Waldvegetation in einen besonders leicht brennbaren Zustand.

Die Zusammensetzung der nordöstlichen Nadelwälder in Daxinganling wird im Wesentlichen durch Lärche (*Larix gmelinii* Rupr., in den Sumpfwäldern *L.gmelinii* var. *olgensis*), Kiefer (*Pinus silvestris* var. *mongolica*) und die Pionierbaumarten *Betula platyphylla* Suk. und *Populus davidiana* bestimmt. Weniger stark vertreten sind Fichtenarten (*Picea jezoensis* [Sieb et Zucc.] Carr., *Picea abies* var. *obovata* [Ledeb.] Fellm. und *Picea koraiensis* Nakai). Die Begleitflora dieser Waldgesellschaften besteht vorwiegend aus paläoarktischen und circumpolaren Arten (detailliert in Chen 1987).

3.6.2.1 Waldbrände und Waldbrandursachen in jüngerer Zeit

Während der trockenen Monate Mai-Juni 1987 breitete sich im nordöstlichen Daxinganling-Gebirge ein Großfeuer auf einer mehr oder weniger zusammenhängenden Fläche von $1,2 \times 10^6$ ha aus, von der ca. $1,14 \times 10^6$ ha Waldbestände betroffen und davon $0,87 \times 10^6$ ha stark geschädigt waren. Dieses Feuer hatte teilweise eine extrem hohe Intensität und Ausbreitungsgeschwindigkeit (100 km in 5 Stunden bzw. eine Brandfläche von 400.000 ha innerhalb von 32 Stunden am 7./8.5.1987) und führte u.a. zum Verlust von über 200 Menschenleben, Obdach von 56.000 Menschen, 850.000 m³ aufgearbeiteten, gelagerten Holzes und erheblichen Umfanges infrastruktureller Einrichtungen (Brücken, Eisenbahntrassen, Strom- und Telefonverbindungen etc.; s.a. Zheng *et al.* [1988], Di und Ju [1990]).

Diese eindrucksvoll wirkende Größenordnung der Feuerschäden war Anlass für die Presse und die Öffentlichkeit, das Feuer, das in diesem Fall durch menschliche Nachlässigkeit entstanden war, als eine "Katastrophe nie da gewesenen Ausmaßes" einzuschätzen (siehe vor allem Salisbury 1989). Die Auswertung von Waldbranddaten der Waldbrandstation Jiagedaqui seit Beginn der Waldexploitation um

1964 zeigte aber, dass Feuer in diesen Waldbiomen kein ungewöhnliches Ereignis sind. Im Bezugsgebiet des Daxinganling-Gebirges der Provinz Heilongjiang, das zu 62% bewaldet ist ($5,26 \times 10^6$ ha Waldfläche), wurden zwischen 1966 und 1987 etwa $5,6 \times 10^6$ ha Landfläche überbrannt, davon $3,1 \times 10^6$ ha Wald und der Rest Busch- und Grasland; diese Größengabe beinhaltet die wiederholt überbrannten Flächen. Im Bezugsgebiet wurden 1966 etwa 10,4% der Waldfläche von Feuer betroffen, 1987 insgesamt 17,4%.

Seit der verstärkten Exploitation des Daxinganling-Gebirges durch Forstwirtschaft, aber auch durch Exploration von Gold- und anderen Mineralien, spielt der Mensch bei den Ursachen für die Waldbrände eine zunehmende Rolle. Dennoch ist in diesem klimatisch kontinental geprägten Gebirge der Anteil von Blitzschlagfeuern auch heute noch ungewöhnlich hoch. In der Periode 1966-86 waren mehr als ein Drittel aller geklärten Waldbrandursachen auf Blitzschlag zurückzuführen, 1987 waren es 63%.

Ein Blick über die Grenze nach Sibirien zeigt, daß 1987 nördlich des Amur und östlich des Baikal-Sees schätzungsweise auch etwa $1,5 \times 10^6$ ha Wald verbrannten. Popov (1982) berichtet über häufige Blitzschlagfeuer in der südlichen Taiga Zentral-Sibiriens. Es ist anzunehmen, dass Blitzschlag als Brandursache bei den größten Flächenfeuern dieses Jahrhunderts, die im extrem trockenen sibirischen Sommer von 1915 innerhalb einer Landfläche von etwa 181×10^6 ha insgesamt etwa 14×10^6 ha Wald verbrannten, ebenfalls eine Rolle spielte (Shostakovich 1925)¹.

Diese Information über das Auftreten natürlicher Feuer impliziert Überlegungen, inwieweit es sich bei den montan-borealen Nadelwäldern um natürliche Feuerökosysteme handelt, deren Ursprung lange vor die erste Besiedelung dieses Raumes durch den Menschen, dessen eingebrachte Feuer, aber auch dessen Bemühen um eine Bekämpfung der Waldbrände zurückreicht.

3.6.2.2 Natürliche Feuer-Regime in Daxinganling

Bei den Untersuchungen von Goldammer und Di (1990) stellte sich heraus, daß das in hohem Maß diversifizierte Waldmosaik im montan-borealen Nadelwald nicht nur abhängig von den im borealen Waldklima sehr begrenzenden kleinstandörtlichen Faktoren ist (z.B. Exposition, Gründigkeit des Bodens, Höhe, Mesoklima), sondern auch von verschiedenen Feuer-Regimen. Diese wiederum stehen in engem Bezug zu den kleinstandörtlichen Faktoren und ergänzen bzw. verstärken einander.

Von den sehr unterschiedlichen Feuerregimen und Funktionen des Feuers in der Waldtypen- und Waldmosaikentwicklung (Tab.16 und Abb.32) werden nachfolgend die wichtigsten Mechanismen zusammengefasst.

Lärchen-Kiefern-Wälder im Flachland

In den breiten Flußauen und anderen Talniederungen, die nicht durch Staunässe und Sumpfbildung gekennzeichnet sind (s.u.), sind Mischwälder mit Lärche (*L.gmelinii*) und Kiefern (*P.silvestris*) anzutreffen, in denen aus Stockausschlag aufwachsende Birke unterständig vorkommt.

Der Beginn der Entwicklung dieser Bestände erfolgt nach einem bestandesumwandelnden Feuer durch Aufwachsen von Lärche und Kiefer unter dem Schirm der Pioniere wie *Betula platyphylla* und *Populus davidiana*). Nach einer Periode des Feuerausschlusses von mehreren Jahren etablieren sich die Koniferen und wachsen in den Oberstand ein, in dem sich die Pionierarten zunächst halten. Die ersten Bodenfeuer, die in kurzen und mittleren Intervallen auftreten, brennen die oberirdisch feuerempfindlichen

¹ Neuere statistische Informationen über den Umfang von Waldbränden in den borealen Waldökosystemen (**Taiga**) des östlichen Eurasien sind in den ECE/FAO International Forest Fire News Nr.6 und 7 (Januar/Juli 1992) zusammengefaßt.

Birken zurück. Die gegenüber Bodenfeuern unempfindlichen Koniferen bleiben vom Feuer weitgehend unberührt.

In den verbliebenen offenen, lichtreichen Beständen schlagen die Birken wieder aus. Die Stockausschläge, in einigen Fällen wurden bis zu 170 Ausschläge pro Stock gezählt, wachsen so lange in den Oberstand hinein, bis sie vom nächsten Bodenfeuer wieder zurückgebrannt werden. Die Bodenfeuer finden ihre Nahrung insbesondere in der Grasschicht (z.B. *Calamagrostis* spp.). Die Fähigkeit des Stockausschlages der Birken bleibt lange erhalten, so daß sich der Unterstand in Abhängigkeit von der Feuerfrequenz pulsierend weiter- und zurückentwickelt. Der Oberstand aus Lärche und Kiefer bleibt bis zum nächsten Vollfeuer hoher Intensität erhalten, das nach längerem Feuerausschluss, extremer Trockenheit und auch Überalterung und Befall von Schädlingen auftreten kann.

Lärchen-Kiefern-Wälder an Nordhängen

Der Mechanismus des periodischen Zurückdrängens der Birken nach Feuer ist auf den Nordhanglagen ähnlich. Hier finden sich feucht-kalte mikroklimatische Bedingungen, die die Intensität hangaufwärts laufender Feuer begrenzen und das Überleben der Koniferen sichern. Die Feuerintervalle für Bodenfeuer liegen hier bei etwa 30-50 Jahren, nach Feuerausschluss über längere Zeiträume bedingt die Akkumulation von Brennmaterial ein bestandesumwandelndes Feuer hoher Intensität.

Kiefernreinbestände auf Südhängen

Der Übergang von Nord- auf Südhänge bringt eine abrupte Baumartenänderung mit sich, die nicht nur durch das trockenere und die Kiefern favorisierende Mikroklima erklärt werden kann. Die Jahrringanalyse von Kiefernreinbeständen (*P. silvestris*) ergab kurze Feuerintervalle, die zwischen 6 und 54 Jahren liegen können (Abb.33). Diese kurzen Rückkehrintervalle lassen sich durch die größere Sonneneinstrahlung und schnellere Austrocknung der Südhanglagen erklären, die die Ausbreitung der Bodenfeuer erheblich erleichtern. Die häufige Entblößung des Mineralbodens durch Feuer bedingt wiederum das raschere Austrocknen des Standortes. Die Lärchen sind bei diesem multiplen Umweltstress nicht mehr überlebens- und konkurrenzfähig.

Tab.16. Feuerregime und ökologischer Impact der Feuer in verschiedenen feuerinduzierten Bestandestypen (Feuer-Mosaik) des montan-borealen Nadelwaldes von Daxinganling, Heilongjiang, Volksrepublik China (nach Goldammer und Di [1990], verändert)

Waldtyp	Feuerregime	Brennbarkeit, Brennmaterial	Feuer-Impakt
Offene Lärchen-Kiefern-Bestände mit Birke in flachen, gut drainierten Niederungen	Feuerintervall 1-50 Jahre. Feuerintensität gering bis mittel; hohe Intensität bei bestandesumwandelnden Feuern	Schnell austrocknende Gras- und Krautschicht. Geringe/mittlere Akkumulation von Brennmaterial je nach Feuerintervall	Förderung von Lärche und Kiefer, periodisches (pulsierendes) Zurückbrennen von Birke
Lärchen-Kiefern-Bestände auf Nordhängen	Feuerintervall 30-50 Jahre. Mittlere Feuerintensität, auch bestandesumwandelnde Feuer hoher Intensität	Mittlere Akkumulation von Gras- und Krautschicht und Unterstand. Feuchteres Mikroklima als auf Südhängen	Förderung von Lärche (und Kiefer), periodische (pulsierende) Zurücksetzung von Birke
Kiefernreinbestände auf Südhängen	Feuerintervall 5-50 Jahre. Feuerintensität mittel bis hoch (hangaufwärts laufende Feuer hoher Intensität: bestandesumwandelnd)	Schnell austrocknende Gras- und Streuschicht. Geringe Akkumulation von Brennmaterial	Bildung von feuerangepassten offenen Kiefern-Reinbeständen. Verdrängung von Lärche und Birke
Birkenreinbestände (mit Pappeln) auf Hanglagen und in Niederungen	Feuerintervall 5-50 Jahre. Mittlere Feuerintensität	Schnell austrocknende Gras- und Krautschicht mit unterständiger Lärche und Kiefer	Periodische Eliminierung von Birken und unterständigen/mitherrschenden Koniferen. Vitaler Aufwuchs von Birke aus Stockausschlag, langfristige Festlegung von Birken-/Pappeln-Reinbeständen
Lärchen-Sumpfwälder mit Fichtenrefugium in schlecht drainierten Niederungen	Feuerintervalle 100-500+ Jahre. Bestandesumwandelnde Feuer hoher Intensität; auch oberflächliche Gras-/Streufeuer geringer Intensität	Rohhumus-Auflagen (Sphagnum), die bei länger anhaltender, extremer Trockenheit zunehmend tief austrocknen. Bei völliger Austrocknung lang brennende Rohhumusfeuer	Umwandlung des gesamten Bestandes, nachfolgend Regeneration von Lärche. Fichte wird weitgehend zurückgedrängt. Bei leichtem Bodenfeuer keine Änderungen im Bestandesgefüge
Waldfreie Habitate an Hanglagen	Feuerintervall 5-500 Jahre. Geringe Feuerintensität	Kurzrasen mit sehr geringer Akkumulation von Brennmaterial. Von außen heranlaufende Feuer tendieren dazu, an der Bestandesgrenze zu erlöschen	Bildung von Refugien für artenreiche Krautflora und einzelne Fichten

Birkenreinbestände

Reine Birkenbestände oder Birken-Erlen-Bestände werden in den verschiedensten Größen inmitten von Lärchen-(Kiefern-)Beständen gefunden, ohne daß standörtliche Unterschiede feststellbar sind. Diese Reinbestände von Pionierholzarten sind das Ergebnis langfristigen Feuereinflusses. Ausgehend von einem bestandesumwandelnden Feuer wird die Pionierphase durch Samenverjüngung eingeleitet. Tritt nach einem solchen Feuer hoher Intensität bereits nach wenigen Jahren ein weiteres Feuer auf, dann haben sich die Wurzelstöcke der Birken weitgehend etabliert und schlagen nach dem Feuer wieder aus. Die Koniferenverjüngung, wenn überhaupt bereits vorhanden, wird zurückgebrannt. Ein nächstes, kurz darauf folgendes Feuer wiederholt und verstärkt diesen Effekt, so dass die oberständigen Birken die Etablierung der Koniferen von Feuer zu Feuer schwieriger gestalten.

Im Gemengelage mit erwachsenen Lärchen-(Kiefern-)Beständen bilden sich Birkenreinbestände vergleichbarer Oberhöhe. Die Abgrenzung der Koniferenreinbestände (mit periodisch zurückgebranntem Birken-Unterstand) ist sehr scharf und vor allem dauerhaft, d.h. dass diese Grenzen durch eine Vielzahl von Kurzintervall-Feuern und auch stärkere Wildfeuer nicht verwischt werden. Erst eine lange Periode des Feuerausschlusses und des Zusammenbruchs der Birkenreinbestände durch Überalterung ermöglicht die erfolgreiche Etablierung von Koniferensukzession.

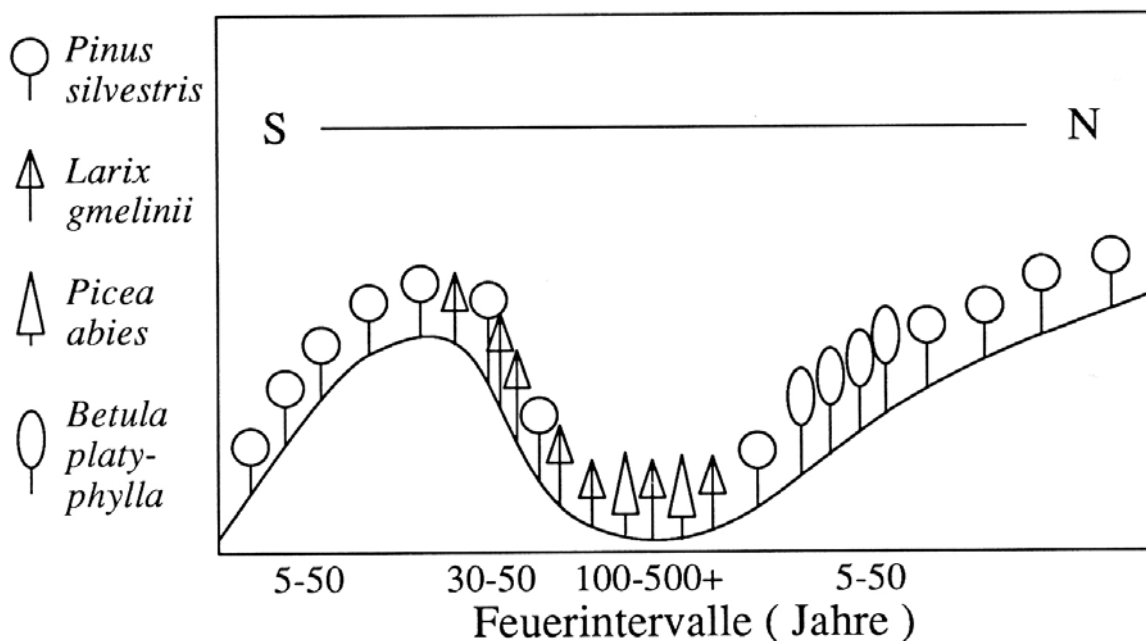


Abb.32. Generalisiertes Schema der feuerbedingten Waldtypen und der natürlichen Feuerintervalle im montan-borealen Nadelwald des nördlichen Daxinganling-Gebirges, Provinz Heilongjiang (Volksrepublik China). Nähere Erläuterungen im Text (aus Goldammer und Di 1990).



Abb.33a-b. Ansicht einer Südhanglage mit feuerinduziertem Kiefernreinbestand im montan-borealen Nadelwald Nordchinas (a). Die Feuerintervalle in den leicht austrocknenden Südhängen betragen wenige Jahre: Die am gleichen Standort im Freiland ausgewertete Stammscheibe (b) zeigte Feuer in Abständen von 6 bis 54 Jahren (durchschnittlich alle 25 Jahre) (Fotos: Goldammer).

Lärchen-Sumpfwälder mit Fichtenrefugien

In den schlecht drainierten Tälern bilden sich starke Lärchenbestände auf Rohhumusauflagen (Sümpfe), die selbst in extrem trockenen Jahren schwer bzw. nur oberflächlich austrocknen. Die Beobachtungen der Feuerauswirkungen von 1987 zeigen, dass die Wildfeuer selbst unter derartig extremen Bedingungen nur bis zum Rand dieser feuchten Sumpfwälder vordringen und dort von selbst erlöschen. Es bilden sich dabei gelegentlich auch Gradienten der feuerabhängigen Entwicklung der Bodenvegetation zwischen den nur um wenige Meter höher gelegenen, regelmäßig durchbrannten Wäldern bis hin zu den extrem feuchten Sumpfniederungen. Die Rohhumusauflagen in diesen Sumpfniederungen trocknen nur nach extrem langer Sommertrocknis aus und können dann durch Blitzschlag entzündet werden. Derartige Rohhumusfeuer treten in Abständen von mehreren Jahrhunderten auf. Die radiometrische Analyse von Brandspuren im Daxinganling-Gebirge bestätigt dies. Die Abfolge der letzten Brände in einem Rohhumusprofil in einem Lärchenbestand bei Pangu ergaben ^{14}C -Alter von 830 ± 70 und 1200 ± 250 Jahre vor Heute (HAM 2821-22), und in einem vergleichbaren Lärchenbestand in Zhao Man Forest Farm die Altersabfolge von 430 ± 60 und 900 ± 80 Jahre vor Heute (HAM 2824-25).

Oberflächliches Überbrennen der Grasschicht ohne eine wesentliche Beeinträchtigung der Rohhumusauflage oder Beschädigung der Lärchen kann in diesen Sumpfwäldern allerdings vorkommen.

Diese Feuchthabitate besitzen ein weiteres ökologisches Merkmal, das ausschließlich aufgrund der starken Rohhumusauflagen, die Folge fehlenden oder nur oberflächlichen Feuereinflusses, bedingt ist: Die organischen Auflagen wirken selbst während der schneefreien und warmen Jahreszeit als Temperaturisolator und verhindern das Auftauen des Bodenfrostes ab etwa 0,5 m Tiefe. Die direkten Ursachen derartiger Permafrostbildung, die ebenfalls in vergleichbaren Habitaten Skandinaviens beobachtet wurde (Goldammer, unveröff.), sind demnach biotisch bedingt. Indirekt sind sie das Ergebnis fehlenden oder nur in langen Intervallen auftretenden Feuers und damit ein charakteristisches Merkmal dieses Feuerregimes. Das Alter der Permafrostbildung kann ebenfalls mit ^{14}C -Analyse rekonstruiert werden. So wurde bei den Freilandarbeiten bei Xilinji (Daxinganling) ein Lärchenstamm geborgen (Durchmesser 20 cm), der auf dem Permafrostboden und unterhalb einer Rohhumusauflage von 60 cm lag; die radiometrische Analyse ergab ein ^{14}C -Alter von 940 ± 50 Jahren (HAM 2827), ein Alter, das einen groben Hinweis auf die Rückdatierung der letzten Störung des Standortes durch Feuer geben kann.

Die langen Rückkehrintervalle der Feuer erlauben eine Einnischung der feuerempfindlichen Fichten, die aus den übrigen, regelmäßig überbrannten montan-borealen Waldbiomen verdrängt wurden. Fichten der drei genannten Arten finden sich in Daxinganling daher fast nur in diesen feuchten Sumpfwäldern - mit Ausnahme der im Folgenden genannten Habitate.

Waldfreie Habitate

Waldfreie Habitate sind ein auffallendes Phänomen in den Hanglagen des Daxinganling-Mittelgebirges. Sie bilden ein auffälliges Landschaftsmosaik, das die feuerinduzierten, klein- und großflächigen Reinbestände ergänzt. Es handelt sich dabei um flachgründige Matten (Kurzrasen), die den periodisch auftretenden Feuern keine Nahrung geben oder nur Bodenfeuer extrem niedriger Ausbreitungsrate und -intensität ermöglichen. Diese Habitate sind keine Standorte für Wald, sondern höchstens Refugien für Einzelbäume, die sich dort weitgehend ungestört vom Feuereinfluss einnischen können. Neben den Sumpfwäldern sind dies die einzigen Rückzugshabitate der in Daxinganling vorkommenden Fichten, die vereinzelt "reliktisch" auf diesen Standorten vorkommen. Insbesondere wurde dieses Phänomen bei *Picea* spp. bei Pangu, Heilongjiang, beobachtet.

3.6.2.3 Weitere ökologische Implikationen

Das vorliegende Modell der Feuerökologie der montan-borealen Waldgesellschaften in Nordost-China ist vorläufiger Natur und wird derzeit präzisiert (Goldammer und Di, in Vorb.). Es lassen sich bislang aber

auch bereits weitergehende Überlegungen zur Entwicklung und Biogeographie der am feuerbeeinflussten Waldökosystem beteiligten Baumarten ableiten. Es ist auffällig, daß *Picea* spp. im Daxinganling, das einen Mittelgebirgscharakter hat, nur in den weitgehend feuererschonten Refugien zu finden sind (Abb.34). Daß die Fichten in der Region überhaupt vorkommen, deutet auf ein potentiell geeignetes Ausbreitungsgebiet hin. Wenn die Ausbreitung dieser feuerempfindlichen Gattung also das Ergebnis der identifizierten Feuerregime ist, dann lassen sich die bisherigen Überlegungen zu ihrer Verbreitung, die das nördliche Daxinganling-Gebirge südlich des Amur weitgehend ausschließen (siehe Schmidt-Vogt 1977; Man'ko 1987), auch erklären. Dies ist, im vorgelegten Kontext, ein weiteres Beispiel der biogeographisch bedeutsamen Rolle des Feuers.



Abb.34. Neben den von Natur aus baumfreien Kleinstandorten und den Sumpfwäldern mit extrem langen natürlichen Feuerintervallen (mehrere Hundert Jahre) stellen Flussinseln die einzigen Rückzushabitate der feuerempfindlichen Fichten (*Picea* spp.) dar. Die Ansicht zeigt eine derartige Insel bei Tuquiang (Heilongjiang; Juli 1990), die von den heute häufiger vorkommenden Feuern und besonders auch vom letzten Großfeuer von 1987 verschont blieb (Foto: Goldammer).

3.6.2.4 Herausforderungen an die Forstwirtschaft

Die in Nordost-China noch junge Forstwirtschaft, deren Beginn erst etwa 25 Jahre zurückliegt, verfolgt die Erschließung und Nutzung eines bislang weitgehend naturbelassenen Waldgebietes mit den konventionellen forstwirtschaftlichen Methoden. Die Waldbrände von 1987 haben die Grenzen aufgezeigt. Die Feuer, die immerhin mehr als eine Million Hektar Wald verbrannten, entstanden durch Operationen der Forstwirtschaft und nicht durch eine natürliche Konstellation von Blitzschlag und Trockenis. Die Feuer breiteten sich großflächig in den kahlgeschlagenen und mit Lärchen aufgeforsteten Flächen aus. Dabei wurden die Aufforstungen mit den jungen, noch nicht "feuerharten" Lärchen weitgehend vernichtet, viele von ihnen zum wiederholten Mal; die oben aufgeführten Brandstatistiken zeigen das Phänomen der häufig wiederholt überbrannten Flächen auf.

Die katastrophalen Feuer waren darüber hinaus auch die Folge einer Feuerschutzkonzeption, die seit dem Beginn der forstwirtschaftlichen Nutzung der Region auch vorsah, jeden Waldbrand mit allen zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zu löschen, unabhängig von der potentiell bedeutsamen ökologischen Rolle des einzelnen Brandes. Der Störungseingriff in natürliche Feuerregime führte zu einer Veränderung des großräumig ausgeglichenen Gefüges von Waldbeständen und ihrer Gefährdung durch Schadfeuer.

Die Großkahlschläge und nachfolgend aufgebauten gleichaltrigen Bestände laufen Gefahr, unter zunehmendem Feuerdruck als produktives Waldland verloren zu gehen. Es fehlen ihnen nämlich die Inseln oder Einzelbäume der feuerharten, alten Altersklassen, die quasi eine "Feuerversicherung" (**fire insurance trees**) darstellen (s.a. Westveld 1949; Vité 1957). In Daxinganling sind bereits heute große Flächen vergraster und jährlich überbrannter Talniederungen vorhanden, die noch vor wenigen Jahren produktive Waldstandorte waren und als solche jetzt verloren sind. Auch hier ist der Effekt der Invasion und Dominanz pyrophiler Gras-Lebensformen zu beobachten, der für die Savannisierung tropischer Waldformationen so typisch ist (Mueller-Dombois und Goldammer 1990).

Das natürliche, feuerinduzierte Waldmosaik in Daxinganling ist feiner und kleinflächiger strukturiert. Es ist daher insgesamt überlebensfähiger gegenüber Störungen. In Analogie zur erkannten Bedeutung hoher inter- und intraspezifischer Diversität für die Stabilität von Biozönosen im Sinne des Thienemann'schen "Biozönotischen Grundgesetzes" (s.a. Connell und Orias 1964; Van Miegroet 1979) bedeutet ein diverses Waldmosaik auch die Erhöhung der Stabilität einer Waldlandschaft. Ein diverses Waldmosaik erfordert eine Vielzahl kleinräumiger Störungen anstelle weniger großräumiger Störungen (siehe Abschn. 3.1.4).

Es drängt sich hierbei der Gedanke auf, den Prinzipien des Integrierten Feuer-Managements zu folgen. Danach sollte Feuer, gleichgültig ob natürlich entstanden (Brennenlassen von Blitzschlagfeuern) oder durch kontrolliertes Brennen eingebracht, in die Bewirtschaftung des Waldes integriert werden. Die Management-Feuer dienen dann zur gezielten Selektion von Arten, der Beeinflussung von Bestandesstruktur, Reduzierung des Vollfeuerpotentials oder der Herbeiführung von Naturverjüngung. Derartige Konzepte müssen erarbeitet und, was durchaus problematischer ist, auch umgesetzt werden.

3.6.3 Die andino-patagonischen *Nothofagus*-Wälder Südargentiniens

Die hier behandelten andino-patagonischen Wälder Südargentiniens erstrecken sich etwa von 37°S bis 55°S, auf Höhenlagen bis zu 1800 m ü.NN. Im Ost-West-Verlauf zeigt sich ein ausgeprägter Niederschlagsgradient: Während in den Strauchsteppen am östlichen Fuß der Anden-Kordillere der jährliche Niederschlag nur bis ca. 200-500 mm beträgt, so steigt er in den Baum-Gras-Steppen der Präkordillere auf 500-1200 mm an, um in der Hochkordillere bis über 4000 mm zu erreichen. Die Trockenzeit, und damit auch das Auftreten von Feuern, liegt zwischen Mitte November und Ende März.

Die andino-patagonischen Wälder sind im Wesentlichen durch Laubholzarten geprägt (*Nothofagus* spp.), der wichtigste Nadelholzvertreter im südargentinienschen Untersuchungsgebiet ist *Austrocedrus chilensis*. Die folgenden Ausführungen zur Feuerökologie dieses Raumes sollen sich vor allem auf diese Arten

beziehen.²

3.6.3.1 Ursachen und Umfang der Waldbrände

Die andino-patagonische Waldlandschaft Argentiniens ist nachweislich seit einigen Jahrtausenden stark von Feuern beeinflusst; gleiches gilt für die Westabdachung der Anden, im heutigen Chile. Die Andenregion ist eine der wenigen Landschaften der Welt, in denen Vulkanismus als wichtige natürliche Feuerursachen angesehen werden können. Zwischen 37°S und 45°S liegen beispielsweise 24 Vulkane; die Eruptionen von neun Vulkanen zwischen 37°-40°S seit dem 16. Jahrhundert sind in Tabelle 17 zusammengefasst (Simkin 1981). Neben der vulkanischen Lava als Ursache für Vegetationsbrände (s. Abschn. 2.1.2) ist auch die mit den Vulkanaktivitäten verbundene tektonische Unruhe ein bestimmender Faktor in der Vegetationsentwicklung dieses Raumes. Erdbeben sind beispielsweise Auslöser von Hangrutschungen und Überflutungen und haben in der Vegetationsgeschichte dieses Raumes erheblichen Einfluß auf die Verjüngungsdynamik der *Nothofagus*-Wälder gehabt (Untersuchungen zur Störungsökologie der Vegetation dieses Raumes vgl. Veblen und Ashton [1978] und Heusser *et al.* [1988]). Die Auswirkungen von Vulkanausbrüchen manifestieren sich auch im Auswurf von Asche. Starke Auflagen von Glasasche im feuerländisch-patagonischen Raum weisen auf drei Höhepunkte postglazialer vulkanischer Tätigkeit hin, die von Auer (1933) auf die Zeit um ca. 7000, 2300 und 1000 v. Chr. datiert wurden. Mit Hilfe der Datierung der Ascheschichten gelingt es auch, Spuren menschlicher Kultur, und damit auch des von Menschen verbreiteten Feuers, um etwa 10.000 Jahre vor Heute zu sichern (Menghin 1955; zur Diskussion um die Besiedlung des südlichen Südamerika s.a. Vitale 1990).

Es ist davon auszugehen, daß die weiter unten besprochenen Feuerdatierungen im Zeitraum der letzten Jahrtausende einen nicht mehr trennbaren Komplex natürlicher und anthropogener Feuerursachen darstellen. Hinzu treten die durch Blitzschlag hervorgerufenen Vegetationsbrände. Insbesondere in der Ostabdachung der Anden ist ein Ansteigen der Gewitterhäufigkeit zu beobachten (Knoch 1930). Während der trockenen Jahreszeit können sie leicht zu Feuern führen. Veblen und Lorenz (1987) sehen beispielsweise durch großflächiges Absterben einer Bambusart (*Chusquea culeou*), das unregelmäßig im Abstand mehrerer Jahrzehnte auftritt, die Voraussetzungen für Blitzschlagfeuer gegeben; gleiches gilt regelmäßig für die hohe jährliche Streuproduktion in *Nothofagus*-Wäldern, die von Burschel *et al.* (1976) in den valdivianischen Anden beispielsweise auf 5,4 t ha⁻¹ bestimmt wurde. Veblen und Lorenz (1987) zitieren unveröffentlichte Statistiken der argentinischen Nationalparkverwaltung, dass in der Region zwischen 39°S und 41°30'S im Zeitraum 1938-1982 14 Blitzschlagfeuer auf einer Waldfläche von 4085 ha brannten.

² Dieser Abschnitt gründet sich auf eine ausführliche Bereisung der Provinzen Chubut und Rio Negro (Goldammer 1991a). Die Radiocarbonatierungen von Holzkohle, die bei dieser Bereisung und bei Felduntersuchungen von Herrn N. Hahn, Universität Freiburg sichergestellt wurde, erfolgten durch Herrn Dr. P. Becker-Heidmann, Isotopendatierungslabor, Universität Hamburg. Literaturarbeiten erfolgten durch Herrn S. Günter, Universität Freiburg, und eine Arbeit zur Brandflächensukzession durch Herrn G. Meier, Universität Freiburg (Meier 1992).

Tab.17. Eruptionen von Vulkanen in den Anden zwischen 37°S und 40°S (Auszug aus Simkin [1981])

Vulkan	Geographische Lage	Eruptionen
Tromen (Argentinien)	37°12'S - 70°10'W	1822
Antuco (Chile)	37°40'S - 71°37'W	1750, 1752, 1820, 1828, 1839, 1845, 1852-53, 1861, 1863, 1869, 1929, 1972
Callaqui (Chile)	37°92'S - 71°42'W	1850
Copahues (Chile)	37°85'S - 71°17'W	1750
Lonquimay (Chile)	38°37'S - 71°58'W	1853, 1887, 1889
Llaima (Chile)	38°70'S - 71°70'W	1640, 1751, 1852, 1862-66, 1869, 1872, 1876, 1877, 1883, 1887, 1889, 1892, 1893, 1895-96, 1903, 1907-08, 1912, 1914, 1917, 1927, 1929, 1930, 1941, 1945, 1949, 1955, 1956-57, 1964, 1972, 1979
Villarrica (Chile)	39°42'S - 71°95'W	1558, 1777, 1806, 1822, 1852, 1860, 1869, 1874, 1875-76, 1883, 1893, 1897-98, 1906-08, 1908, 1915-18, 1920, 1929, 1933, 1935, 1938, 1948-49, 1959-61, 1964, 1971, 1980
Quetrupillan (Chile)	39°48'S - 71°70'W	Holozän
Rinihue (Chile)	39°93'S - 72°03'W	1864

Genauere Brennpraktiken der präkolumbianischen Bevölkerung aus diesem Raum sind nicht bekannt. Wohl zeigen die prähistorischen Höhlenfunde oder die Magellan'schen Feuerbeschreibungen an der Südspitze des Kontinents, die für die Namensgebung "Feuerland" ("**Tierra de los Fuegos**") Pate standen (u.a. Gusinde 1946), daß das Koch- und Wärmefeu von der Urbevölkerung schon lange beherrscht wurde. Nomadisierende Stämme der Urbevölkerung mögen Feuerjagd auf Guanaco, Puma oder Strauß gemacht haben, wie dies frühe Reisebeschreibungen nahelegen (Musters 1871, in Eriksen 1972).

Welche Rolle der bis zu Beginn dieses Jahrhunderts beobachtete Rückgang der Niederschläge in Südpatagonien auf das Vorkommen und die Auswirkungen natürlicher Feuer hatte, ist noch unklar. Die Erklärung der über viele Jahrzehnte beobachteten "Austrocknung" Patagoniens in den letzten Jahrhunderten bis zu Anfang dieses Jahrhunderts, die sich beispielsweise in der Dekadenz ("Waldsterben") und dabei vor allem im Ausbleiben der Verjüngung der Wälder und der Verschiebung ihrer Arealgrenzen nach Westen manifestierte, wurden in einer Klimaänderung gesucht (u.a. Auer 1933, 1939, 1958; Kalela 1941; Eriksen 1972). Die direkten Einflüsse der Klimaänderung können sich in der Zunahme der Bedeutung von Blitzschlagfeuern ausgedrückt haben. Zuverlässige Hinweise für derartige Veränderungen fehlen insbesondere wegen der postkolumbianischen Waldrodungspraktiken, die jegliche Rekonstruktion natürlicher Feuerregime seit dem ausgehenden 16. Jahrhundert zunehmend verschleiern.

Neuzeitliche Beschreibungen von Waldbränden gehen auf den Zeitpunkt des ausgehenden 19. Jahrhunderts zurück, von dem an eine starke Zunahme der Waldrodung durch europäische Siedler zum Zweck der Weidewirtschaft stattfindet (u.a. Lauer 1961). Im Gebiet des heutigen Nationalparks Nahuel Huapi kartierte Rothkugel (1916) ausgedehnte Waldbrandflächen. Ein dort aufgefundener 150-jähriger, gleichaltriger Bestand von *Nothofagus dombeyi* wird von Rothkugel auf Rodungsfeuer durch die indianische Bevölkerung oder durch die ersten Missionen zurückgeführt. Die Einschätzung von Seibert (1979), daß in den 70er Jahren nur noch etwa 10% aller Waldbrände durch Blitzschlag entstehen, mag auch heute noch als ungefähre Richtschnur für das Verhältnis von natürlichen zu anthropogenen Feuern gelten. Die Größenordnung der Waldbrände in den andino-patagonischen Wäldern Argentiniens, die im Wesentlichen anthropogenen Ursprungs sind, bewegte sich während der 80er Jahre (unter durchschnittlichen Bedingungen) in einer Größenordnung von 1000-3500 ha pro Jahr; einen ungewöhnlichen Höhepunkt verzeichnet das Jahr 1988, in dem eine gesamte Waldfläche von 218.000 ha von Wildfeuern betroffen war (Statistiken der IFONA, in Goldammer 1991a).

Altersbestimmungen von Feuern im Rahmen pollenanalytischer Untersuchungen liegen vor allem durch die Arbeit von Heusser *et al.* (1988) vor. In der Provinz Neuquén (ca. 39°S) wurde dabei für die letzten ca. 3000 Jahre ein wechselhaft starkes Auftreten von Holzkohlepartikeln registriert, die nicht klar in Bezug auf Waldbrände und die davon induzierte Entwicklungsdynamik gesetzt werden konnte.

Bei eigenen Felduntersuchungen wurde auf verschiedenen Waldstandorten Holzkohle aus dem Boden geborgen, um eine Vorstellung über das Aufkommen historischer Waldbrände zu gewinnen. Die Standorte liegen alle etwa um 71°W und 43°S und damit etwas nördlich der in Tabelle 17 aufgeführten Vulkane und der historischen Aktivitäten. Die ¹⁴C-Datierungen dieser Holzkohleproben (Tab.18) zeigen zunächst kein kohärentes Bild, zumal der Umfang der Proben gering ist. Die Kohlehorizonte unter heutigen *Nothofagus*-Wäldern weisen aber auf Feueraktivitäten in einem Zeitraum zwischen etwa 1000 und 4700 Jahren vor Heute hin. Sämtliche dieser Holzkohlereste sind im Mineralboden (Vulkanische Andosole) in einer Tiefe zwischen 15-85 cm eingebettet. Sie können damit durchaus in Zusammenhang mit den besonders aktiven vulkanischen Perioden um ca. 3000-4300 vor Heute stehen, die einerseits Waldbrände ausgelöst haben können, andererseits die darauf folgende Abdeckung der Brandreste durch Vulkanasche erklären. Hier sind sicherlich noch weitere, ausführliche Arbeiten notwendig, um die Rolle natürlicher (vulkanismusbedingter) Feuerquellen für die historischen und prähistorischen Feuerregime zu klären.³

³ Zur Zeit der Drucklegung werden eine Reihe von sedimentierten Holzkohleschichten in Südargentinien geborgen, mit deren radiometrischer Altersbestimmung versucht wird, eine umfassendere und vollständigere Datierung historischer und prähistorischer Feuerintervalle zu ermöglichen.

Es muss aber an dieser Stelle nochmals betont werden, dass es sehr schwer und in vielen Fällen sogar unmöglich sein wird, anthropogene von natürlichen Feuern zu unterscheiden.

Tab.18. Fundort und ^{14}C -Alter von Holzkohle aus Bodenprofilen an verschiedenen Standorten andino-patagonischer *Nothofagus*-Wälder in Südargentinien (s.a. Fußnote zu Abschn. 3.6.3)

Probe-Nr. - Datum der Probenahme	^{14}C -Alter (Jahre vor Heute)	Fundort	Waldtyp: Vorherrschende Baumart	Bodentyp, Entnahmetiefe
HAM 2855 - 3/1991	1360±70	Nationalpark Los Alerces, Chubut	<i>Nothofagus dombeyi</i>	Andosol 30 cm
HAM 2856 - 3/1991	4740±100	Waldgebiet südlich El Bolson, Rio Negro	<i>Nothofagus dombeyi</i>	Andosol 30 cm
HAM 2857 - 3/1991	1060±70	Waldgebiet bei Lago Rosario, Chubut	<i>Nothofagus pumilio</i>	Andosol 30-50 cm
HAM 3151 - 12/1991	2760±280	Waldgebiet Huemules Sur, Chubut	<i>Nothofagus antarctica</i>	Andosol 70-85 cm
HAM 3152 - 12/1991	810±180	Waldgebiet Huemules Sur, Chubut	<i>Nothofagus pumilio</i>	Andosol 15-30 cm

3.6.3.2 Auswirkungen der Feuer in den *Nothofagus*-Gesellschaften

Die eindeutige Zuordnung der Ursachen für die heutige Zusammensetzung der andino-patagonischen Waldgesellschaften ist nach diesen vielfältigen natürlichen und anthropogenen Störfaktoren, zu denen sich seit der Besiedlung des Raumes durch die Europäer auch noch der Beweidungs- und Verbißdruck eingeführter Haus- und Wildtiere (beispielsweise der Hase *Lepus europaeus*) gesellte, nicht mehr möglich.

Die wichtigsten Baumarten, die in Mischwaldgesellschaften oder auch in Form von Reinbeständen auftreten, sind *Nothofagus pumilio*, *Nothofagus dombeyi*, *Nothofagus antarctica* und *Austrocedrus chilensis*.⁴

Nothofagus pumilio hat das größte Verbreitungsgebiet aller patagonischen Baumarten. Sie kommt in Feuerland bis zu Höhen um 500-600 m ü.NN vor und steigt in ihrer nördlichsten Verbreitungsgrenze in der Provinz Neuquén bis auf 1700 m. Die von Hueck (1966) und Seibert (1979) beschriebene höhenzonale Gliederung der *Nothofagus*-Arten ist nicht überall anzutreffen. Dies beruht mit Sicherheit auf Störungen durch Feuer, die praktisch das gesamte Verbreitungsgebiet immer wieder betroffen haben. *N.pumilio* ist äußerst feuerempfindlich. Ähnlich wie *Fagus silvatica* in der Nordhemisphäre wird sie leicht durch ein Bodenfeuer abgetötet. Insbesondere die große Menge abgestorbener Bäume, deren Ursache auf die zunehmende Aridität des patagonischen Raumes zurückgeführt wird, bedingt aufgrund der großen Menge verfügbaren Brennmaterials (schätzungsweise 30-50 t ha⁻¹, je nach Exploitationsgrad und verbliebener, nicht genutzter Biomasse) eine hohe Feuerintensität und damit auch das Vorkommen von Vollfeuern. Die Regeneration der Bäume erfolgt über Samenausbreitung. Da *N.pumilio* eine Schattenbaumart ist, geht die Wiederbesiedelung der Brandflächen nur langsam voran (Schmaltz, mdl. Mitt.; s.a. Hahn 1992). Insgesamt ist diese Art als die feuerempfindlichste anzusehen.

Nothofagus dombeyi hat für ihre Verbreitung die höchsten Ansprüche an Feuchtigkeit und Tiefgründigkeit des Bodens und kommt in einer Reihe von Vergesellschaftungen mit anderen Baumarten vor. Ähnlich wie *N.pumilio* ist *N.dombeyi* ebenfalls sehr feuerempfindlich. Die Regeneration durch Samen ist hingegen reichlicher und die Transportentfernungen der Samen von unverbrannten Inseln bzw. Rändern ist weiter.

Nothofagus antarctica hat die größte ökologische Amplitude der hier besprochenen Baumarten und wird häufig als Lichtbaum- bzw. Pionierart bezeichnet. Entscheidend für das Verbreitungs- und Sukzessionsverhalten in der durch Feuerstörungen geprägten Waldlandschaft ist m.E. die Fähigkeit dieser Art, sich nach Beschädigung durch Feuer über Stockausschlag wieder zu regenerieren. Damit ist *N.antarctica* die am besten feuerangepasste Art. Bei kurzen Feuerintervallen ist sie gegenüber den Arten, die unter ungestörten Verhältnissen eine Konkurrenz darstellen, im Vorteil.

Austrocedrus chilensis ist eine trockenresistente Konifere, wenngleich sie auch nicht an trockene Standorte gebunden ist. Untersuchungen von Meier (1992) zeigen beispielsweise eine deutliche Präferenz der Brandflächenbesiedlung auf feuchteren Südhängen mit höherem verbliebenen Baum- und Strauchanteil im Vergleich zu den trockeneren und vom Feuer stärker freigeräumten Nordhängen. Ihr oftmals beschriebener Pioniercharakter ist auch der weiten Verbreitungsfähigkeit der Samen zuzuschreiben; die starken patagonischen Winde tragen erheblich zu den großen Transportentfernungen bei. Die Bäume selbst sind sehr empfindlich gegen Kronenfeuer, die sich in den Beständen leicht entwickeln. Die Fähigkeit, durch Feuer gestörte Flächen großräumig zu besiedeln, hat sicherlich zur Bildung großer Bestände von *A.chilensis* geführt.

Die oben genannte Vielzahl von natürlichen und anthropogenen Einflussfaktoren auf die Waldentwicklung lassen heute die alleinige Rolle des Feuers nur schwer von den übrigen Störungen trennen. Kalela (1941)

⁴ Zur Waldvegetation der Provinzen Chubut und Rio Negro siehe Seibert (1979) und weiterführende Literatur darin.

sah beispielsweise ein Vordringen trockenisangepasster Arten (*A.chilensis*, *N.antarctica*) westwärts in die ursprünglich feuchteliebenden Waldgesellschaften (*N.dombeyi*) als ein Zeichen der zunehmenden Aridisierung Südpatagoniens. Veblen und Lorenz (1987) widerlegten dies durch ausführliche demographische Untersuchungen in Waldbeständen mit den beteiligten Arten. Sie stellten fest, daß sowohl *N.dombeyi* als auch *N.antarctica* feurgestörte Flächen besiedeln, daß eine weitere Verjüngung der Flächen aber ab Kronenschluß aufhört und daher nur *A.chilensis* im Unterstand zu finden ist. Im Konkurrenzkampf zwischen *N.dombeyi* und *A.chilensis* wirkt sich die relativ höhere Standfestigkeit von *A.chilensis* gegenüber Windeinfluß aus.

In den genannten Untersuchungen wird generell nicht auf das Wiederausschlagvermögen von *N.antarctica* eingegangen. Auf den Standorten, auf denen *N.antarctica* gebüschartige Formationen (Knieholz) bildet, ist der Einfluß des Feuers besonders prägnant. Die niedrigen Gehölze sind für lange Zeit für die Ausbreitung von Bodenfeuern disponiert. In kurzen Intervallen wiederkehrende Feuer greifen die Stöcke von *N.antarctica* nicht an und favorisieren indirekt deren Ausbreitung. In kurzen Intervallen wiederkehrende Feuer vermögen somit ein Verteilungsmuster von *N.antarctica*-Beständen "festzuschreiben". Die in der Region vielfach beschriebene höhenzonale Gliederung der Artenzusammensetzung wird bei genauerem Hinsehen zu häufig durch vertikale Verbreitungsmuster durchbrochen, die an der Ostabdachung der Kordillere in erster Linie durch Feuer, in zweiter Linie aber wohl auch hier durch Hangrutschungen zu erklären sind.

3.6.3.3 Weitere Feuerprobleme im südpatagonischen Raum

Eine Reihe von weiteren Phänomenen, die teilweise noch der Klärung bedürfen, sind in und um die andino-patagonischen *Nothofagus*-Wälder angesiedelt. Besondere Aufmerksamkeit sollte der weiteren Einführung und Behandlung exotischer Nadelhölzer, insbesondere *Pinus* spp., gewidmet werden. Das Problem des hohen Schadfeuerpotentials in Kiefernauforstungen und deren Lösungsmöglichkeiten wurden in Abschnitt 3.5 angesprochen. Die Einbettung der Kiefernauforstungen in die natürlichen Waldlandschaften birgt aber weitere Probleme in sich. Nach Wildfeuern auf Flächen mit natürlicher Bestockung ist eine starke, dominierende Verjüngung von *Pinus* spp. zu beobachten, vor allem bei *P.contorta* und *P.radiata*, aber auch bei *P.ponderosa*, die alle im südargentinischen Raum vermehrt aufgeforstet werden. Die aggressive Verjüngung der



Abb.35a-c. Feuereffekte in den andino-patagonischen *Nothofagus*-Wäldern Südargentiniens: Die obere Aufnahme (a) zeigt einen Bestand von *N.pumilio* bei Esquel (Chubut), der durch ein Feuer (1987) vollständig abgetötet wurde, der Waldweide unterliegt und bis zum Zeitpunkt der Aufnahme (1991) keinerlei Naturverjüngung zeigt. Ansicht (b) zeigt Stockausschlag von *N.antarctica* (gleicher Standort wie Aufnahme [a]). Das untere Bild (c) zeigt ein Feuermosaik in der Nähe des Nationalparks Los Alerces. Die dunkel hervorgehobenen Baumgruppen sind Restbestände von *N.pumilio* und *N.dombeyi* in der Brandfläche, die von *Austrocedrus chilensis* besiedelt wurde (Photos: Goldammer).

Kiefern ist in der Lage, die heimische Vegetation weitgehend zu unterdrücken. In vielen Brandflächen sind bereits heute die exotischen Kiefern auf dem Vormarsch, eine Entwicklung, die mit der Situation in den Fynbos-Gesellschaften Südafrikas vergleichbar ist. Bei zu erwartendem Anhalten des Feuerdrucks auf die südpatagonische Landschaft wird sich das aggressive Ausbreiten der Exoten ohne weitere Gegenmaßnahmen zu einem großen ökologischen Problem entwickeln.

Der Übergang in die patagonischen Steppengesellschaften des Flachlandes östlich der Kordillere bringt eine Fortsetzung des Feuerproblems. Auf den ersten Blick scheint die durch Übernutzung degradierte und sehr weitständige Gras- und Strauchvegetation wenig anfällig für großflächige Feuer. Ein im Jahr 1991 beobachtetes Steppenfeuer bei Cholila (nördlich von Esquel, Chubut), das eine Fläche von ca. 15.000 ha überbrannte, zeigte deutlich, daß die starken Windgeschwindigkeiten im Süden Patagoniens auch zu großflächigen Feuern in extrem weitständiger Vegetation führen kann (Goldammer 1991a). Die niedrigen Niederschläge der südpatagonischen Steppe (150-200 mm) verlangsamen den mikrobiellen Abbau abgestorbener organischer Substanz, und führen zur Anhäufung abgestorbener Biomasse. Dadurch kann das Feuer auch zwischen den lebenden Vegetationshorsten weitergetragen werden. Feuer in starken organischen Auflagen können dabei auch über mehrere Wochen brennen. Die Wiederbesiedlung feurgestörter Steppenvegetation, ist äußerst langsam; dies zeigten im Jahr 1991 beobachtete Brandflächen aus den 60er Jahren (Goldammer 1991a).

Ein weiteres, noch nicht näher untersuchtes Phänomen ist die Feuerökologie von *Araucaria araucana* in den Hochlagen der chilenischen und argentinischen Anden. Die Pollenanalyse der spätholozänen Vegetation der andinen Araukarienregion in der Provinz Neuquén zeigt, dass sich dieser west-südamerikanische Vertreter von *Araucaria* spp. über 3000 Jahre erfolgreich dem vielfältigen Umweltstress stellen konnte (Heusser *et al.* 1988). Ob das Feuer für *A. araucana* eine favorisierende Rolle gespielt hat, wie dies von Soares (1990) für *Araucaria angustifolia* vermutet wird, ist untersuchenswert. Der Wuchshabitus der Araukarien (hoher Kronenansatz älterer Araukarien und damit Unempfindlichkeit gegenüber Bodenfeuern), starke Borke (Wärmeisolation) und das leicht brennbare Streubett von Araukarienbeständen (und damit Favorisierung feuertoleranter Arten) sind hierzu wichtige Hinweise.

3.6.4 Zusammenfassung

Beispiele von montanen Waldökosystemen der an die Tropen angrenzenden Regionen wurden mit in die vorliegende Synopse einbezogen, da der soziokulturelle Einfluss der Tropen hinsichtlich der Landbewirtschaftung und der dabei angewendeten Feuerpraktiken sich hier fortsetzt. Es zeigt sich, daß in den Hochlagen des Himalajagebirges eine Reihe von Phänomenen der Waldzusammensetzung durch den Feuereinfluss erklärt werden kann, beispielsweise die Verbreitung von Kiefern oder Rhododendron.

In den montan-borealen Lagen des Daxinganling-Gebirges in Nordost-China ist die Dynamik und das Verteilungsmuster der Nadelwälder weitgehend durch natürliche Feuer bestimmt. Kleinstandörtliche Unterschiede bestimmen örtlich sehr begrenzte Feuerregime, die zur Bildung von Kiefern- oder Lärchenreinbeständen mit oder ohne Unterstand von Laubholzarten führen können. Kurze Feuerintervalle können ein Waldmosaik, das aus einem Muster von regelmäßig zurückgebrannten Pionierbeständen und älteren "feuerharten" Koniferenbeständen besteht, langfristig festschreiben. Die Gattung *Picea* spp. ist aufgrund ihrer Feuerempfindlichkeit weitgehend in feuerfreie Refugien zurückgedrängt. Es ist anzunehmen, dass der starke natürliche Feuereinfluss in Nordostchina eine für die Fichten schwer zu überwindende Barriere darstellt. Seit ihrem Beginn vor mehr als 25 Jahren hat die Forstwirtschaft in diesem Raum ein Ungleichgewicht in die natürliche Waldentwicklung und die natürlichen Feuerregime gebracht. Das Ergebnis großflächiger Nutzung und Verjüngung der Wälder hat die Ausbreitung von Großfeuern mit erheblichen wirtschaftlichen Schäden begünstigt. Die Erkenntnisse aus dem Einfluss natürlicher Feuer auf Zusammensetzung eines Waldmosaiks können als richtungsweisend für die Entwicklung von Methoden des Integrierten Feuer-Managements angesehen werden.

In den subantarktischen Wäldern Südamerikas, der südlichen Andenregion, zeigt sich ein deutlicher Einfluß von Feuer auf die Artenzusammensetzung und das Landschaftsmosaik der *Nothofagus*-

Waldgesellschaften. In diesem Raum lassen sich die natürlichen und anthropogenen Ursachen der Feuer für die letzten Jahrtausende nicht mehr klar zuordnen.