

3.4 Kiefernwälder der submontanen und montanen Stufe

3.4.1 Verbreitungsgebiet und Habitate südasiatischer Kiefern

Zu den außertropischen Gattungen von Baumarten mit der weitesten Verbreitung auf der nördlichen Hemisphäre zählen die Kiefern (*Pinus* spp.). Die phylogenetische Entwicklung der etwa 105 Arten erfolgte im Wesentlichen in zwei Zentren, im südöstlichen Eurasien und im südlichen Nordamerika und Zentralamerika; von dort breiteten sich die Kiefern in die Tropen aus (Critchfield und Little 1966; Mirov 1967). Das Ausbreitungsgebiet der Kiefern im tropischen Südasien wurde von Critchfield und Little (1966), Kowal (1966), Cooling (1968) und Stein (1978) beschrieben. Die Verbreitung der Kiefern in Südostasien ist auf einer Reihe von Vegetationskarten des Himalajas, von China, Kampuchea, Vietnam, Indonesien und Thailand dargestellt und von Schweinfurth (1988) zusammenfassend beschrieben.

Im tropischen Südostasien ist die biogeographische Verbreitung von *Pinus* spp. auf die Zone des submontanen Regenwaldes und die Standorte mit gering bis stark ausgeprägtem saisonalen Klima beschränkt. Im perhumiden Regenwaldbiom des südostasiatischen Tieflandes kommen *Pinus* spp. unter den gegenwärtigen Klimabedingungen von Natur aus nicht vor; jüngere Kieferaufforstungen sind allerdings auch in diesem Areal zu finden. Palynologische Untersuchungen geben allerdings Hinweis auf das Vorkommen von *Pinus* spp. während des Pliozän im nördlichen Borneo (Muller 1972). Luytjes (1924) vermutete bereits, daß *Pinus merkusii* sich während der prähistorischen Verbindung Sumatras mit dem Festland von dort auf die heutige Insel ausgedehnt hat. Daraus ist für diese erdgeschichtliche Periode ein Hinweis für andersartige und wahrscheinlich stark saisonal geprägte Klimabedingungen abzuleiten.

In einem kurzen Überblick über das Vorkommen von *Pinus* in den tropischen Waldgesellschaften Asiens stellt Whitmore (1984) fest, dass das Verbreitungsgebiet der Kiefern sich dort im Wege natürlicher und anthropogener Störungen vergrößert hat. Tatsächlich ist es bekannt, daß Kiefern sich wie Pionierarten (serale Arten) verhalten, die frisch exponierte Böden bzw. Standorte besiedeln, beispielsweise auf Hangrutschungen oder aufgelassenen Brandrodungsfeldern. Die meisten Kiefernarten sind darüber hinaus feuertolerant oder im Konkurrenzkampf zur übrigen Waldvegetation auf das Feuer angewiesen. Viele natürlichen oder halbnatürlichen Kiefernwaldgesellschaften sind daher auch als Feuerklimax zu bezeichnen.

Natürliche Feuer, hervorgerufen durch Blitzschlag oder Steinschlag, wurden in den Kiefernwäldern der Hochlagen wohl gelegentlich beobachtet (Anonymus 1885; Henniker-Gotley 1936), und dem Blitzschlag kommt wohl auch eine nicht zu unterschätzende Rolle in der Schaffung von Bestandeslücken und damit zur Verjüngungsdynamik der Kiefernwälder zu (Osmaston 1920). Heute sind die Kiefernwaldlandschaften des tropischen und subtropischen Asien aber überwiegend durch anthropogene Feuer beeinflusst, die durch zunehmenden Siedlungs- und Landnutzungsdruck bedingt sind (Brandrodung, Holznutzung, Waldweide) und zu einer erheblichen Erhöhung der Häufigkeit und betroffenen Waldflächen führen. An vielen Stellen lässt sich eine zunehmende Degradation ehemals feuerinduzierter Kiefernwälder feststellen, die sich durch die veränderten Feuerregime mit ihren Sekundärauswirkungen erklären lässt.

Nirgendwo anders ist die ambivalente Rolle des Feuers deutlicher sichtbar, als in den tropischen Kiefernwaldgesellschaften, die einerseits ihre Entstehung dem Feuer verdanken, andererseits durch das Feuer einer zunehmenden Degradation unterliegen. Diese duale Funktion des Feuers ist Gegenstand dieses Abschnittes, der sich im Wesentlichen auf die submontanen Kiefernwaldgesellschaften Südasiens beschränkt (Goldammer und Peñafiel 1990).

3.4.2 Anpassungen der Kiefern an das Feuer

Die wichtigsten Kiefernarten, die im tropischen und subtropischen Südasien und dem unmittelbaren Einzugsgebiet der Südabdachung des Himalajas bestandesbildend vorkommen, sind *Pinus kesiya* Royle

ex Gordon, *Pinus merkusii* Jungh.& de Vriese und *Pinus roxburghii* Sarg.. Die adaptiven Merkmale, die diese Arten als feuertolerant ausweisen, werden im Folgenden beschrieben.

Borke

Von allen Schutzmechanismen gegen unmittelbare Einwirkung des Feuers sind die Eigenschaften der Borke am wichtigsten. Dabei kommt es auf die temperaturisolierenden Eigenschaften der Borke an, die das meristematische Gewebe vor letalen Temperaturen schützen. Die konduktiven Eigenschaften werden vor allem durch die Struktur, Dichte, Feuchtegehalt und Stärke der Borke bestimmt (siehe u.a. Martin 1963; Brown und Davis 1973; Goldammer 1983). Die Stärke der Borke ist altersabhängig. Ältere Bäume der südasiatischen Kiefern haben allgemein eine Borkenstärke entwickelt, die gegenüber Bodenfeuern geringer bis mittlerer Intensität ausreichenden Schutz gewährt. Bei *P.kesiya* auf den Philippinen wurde bereits ab einem BHD von ca.6 cm (etwa im Alter von 11 Jahren) eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen Bodenfeuer festgestellt (Kowal 1966). Glover (1913) kam nach Ausmessung einiger tausend Exemplare von *P.roxburghii* in feuergeschädigten Beständen im Punjab (Indien) zur Folgerung, dass diese Kiefernart bei Erreichung eines BHD von 15 cm nur noch wenig brandgefährdet ist; bei dieser Beobachtung liegt eine Beschreibung des Feuers nicht vor.

Ein Höhengradient von Borkenstärke und Feueranpassung bei *P.roxburghii* (und auch *Shorea robusta*) im zentralen Himalaya wurde von Singh und Singh (1984, 1987) beschrieben. Die Untersuchungen zeigten, dass die relative Häufigkeit dickborkiger Bäume in den Höhenlagen bis zu 1800 m ü.NN, wo Feuer sehr regelmäßig auftreten, am größten ist. Oberhalb 1800 m, wo der Einfluß des Brennens vernachlässigbar gering ist, geht der Anteil dickborkiger Individuen stark zurück. Oberhalb von 2500 m ist die Waldgesellschaft von feuerempfindlichen Laubholzarten gekennzeichnet, die mit *Pinus griffithii* vergesellschaftet sind (s.Abschn.3.6.1).



Abb.22. Die Fähigkeit von *Pinus kesiya*, Brandwunden auszuheilen und zu konservieren, ermöglicht die Rekonstruktion der Geschichte der Feuerbeeinflussung des Feuerklimax-Kiefernwaldes in der zentralen Kordillere von Luzón, Philippinen (aus Goldammer und Peñafiel 1990).

Die Fähigkeit der Kiefern, Brandwunden durch traumatisches Gewebe zu überwallen, ist auch bei den südasiatischen Arten zu finden. Bodenfeuer, die als Lauffeuer vom Wind getrieben werden oder hangaufwärts laufen, erreichen aufgrund der Strömungsverhältnisse und der längeren Verweilzeit (an Hanglagen auch aufgrund des hangseitig angesammelten Brennmaterials) auf der Leeseite der Stämme höhere Temperaturen, die zu einem partiellen Absterben des kambialen Gewebes führen können. Diese Brandwunden werden durch das Kallusgewebe der nicht abgestorbenen Zone nach und nach überwallt. Die dadurch eingeschlossene Brandnarbe kann zur Rekonstruktion und Datierung des Feuerereignisses (Feuergeschichte) herangezogen werden. Die Anwendung feuerhistorischer Untersuchungen hat sich mittlerweile zu einer Standardmethode in der nordamerikanischen Waldökosystem-forschung und Feuerökologie entwickelt (Stokes und Dieterich 1980). In Südasien wurde das Phänomen der Brandwundenüberwallung und -konservierung erstmals von Champion (1919) für *Pinus roxburghii* beschrieben. Goldammer (1985a) wies erstmals auf die Nutzungsmöglichkeiten der feuerhistorischen Analyse bei der Bewertung der Auswirkungen des Feuers in den Kiefernwäldern von *Pinus kesiya* auf Luzón, Philippinen, hin (Abb.22). Holzanatomische Untersuchungen von Ortloff (1992) zeigen, dass bei der Auswertung historischer Feuer anhand der Lokalisierung der Brandwunde innerhalb eines einzelnen Jahrringes sogar die Jahreszeit des Feuerereignisses im Nachhinein bestimmt werden kann (Abb.23). Die Entwicklung einer rechnergestützten Auswertung von feuergeschädigten Stammscheiben ermöglicht nicht nur die Datierung der Feuerereignisse, sondern auch die Berechnung anderer Merkmale des Stammes, beispielsweise der feuerbedingten Deformation oder Grundfläche von Stamm bzw. Jahrringen (Zorn 1991).

Wurzeln

Wurzeln haben generell eine dünne Borken- und Bast-schicht und sind damit besonders empfindlich gegen Feuer, wenn sie flach im Oberboden streichen. Die Kiefern haben allgemein eine ausgeprägte Senkwurzel, die sie unempfindlich gegen den Temperatureinfluss von Bodenfeuern machen, es sei denn, daß die Wurzeln durch Erosion freigelegt wurden. Das Sämlingsstadium (oder "Grasstadium") ist bei den Kiefern, die in einer regelmäßig vom Feuer betroffenen Umwelt aufwachsen, besonders kritisch. Sowohl *P.roxburghii* als auch *P.merkusii* haben dabei eine besonders stark ausgeprägte Borke im Basalbereich der Sämlinge und können darüber hinaus aus dem Wurzelanlauf wieder ausschlagen (s.u.). Abbildung 24a zeigt einen Sämling von *P.roxburghii*, der wiederholt überbrannt wurde und auch dem Viehtritt und dem Verbiss ausgesetzt war. Der obere Teil des Wurzelanlaufes, der an der Bodenoberfläche sichtbar wird, zeigt eine stärkere Borkenbildung, als der unterirdische Teil; die Wurzeln nehmen durch das häufige Zurückbrennen eine karottenförmige Form an, ein Phänomen, das bei dieser Kiefernart bereits von Jerram (1922) erwähnt wurde. Insgesamt können die Sämlinge dieser Kiefernart damit die jährlichen Bodenfeuer, wie sie in den Lagen des Kieferngürtels im Himalaja eher die Regel, als die Ausnahme sind, langfristig überleben und benötigen nur eine feuerfreie Periode von wenigen Jahren, um durch die kritische Zone des Bodenfeuereinflusses durchzuwachsen.

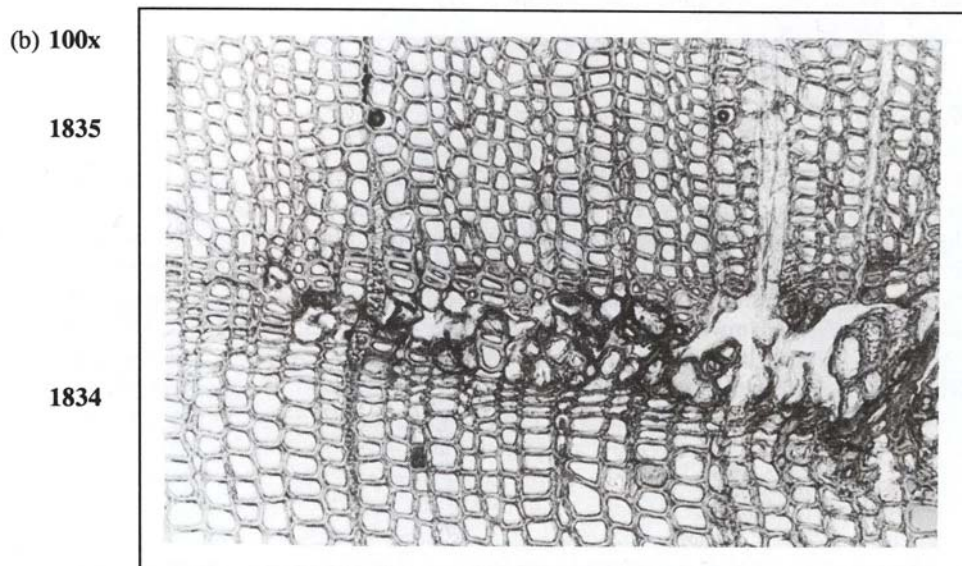
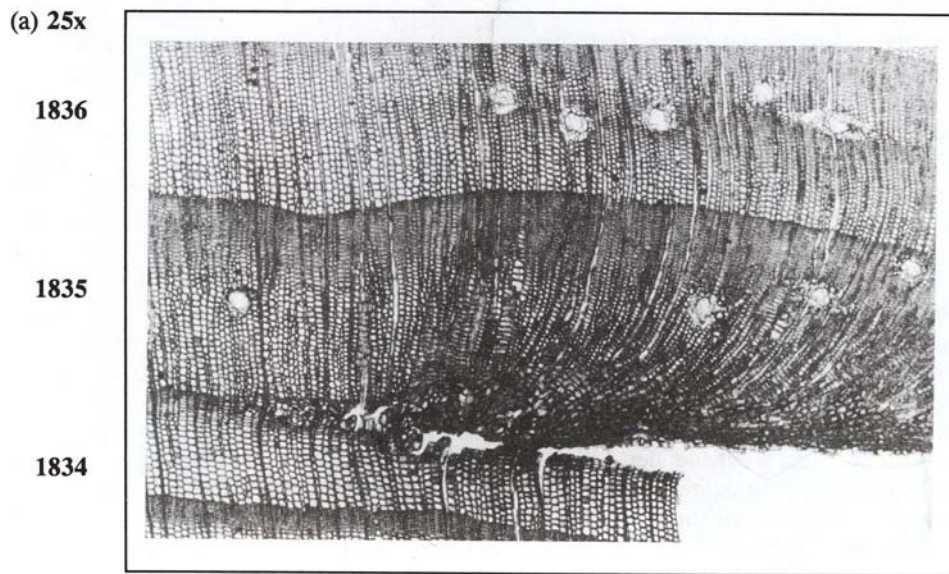


Abb.23a-b. Hochauflösende Feuerdatierung anhand von Jahrringanalysen einer *Pinus ponderosa* (Santa Rita Mountains; Arizona). Der obere mikroskopische Ausschnitt (a) zeigt ein Feuerereignis aus dem Zeitraum August bis Anfang September 1834: Die Überwallungszone ist durch einen hohen Anteil von Kalluszellen vor allem im Jahr nach dem Brandereignis (1835) deutlich erkennbar. Auffällig ist auch die hohe Anzahl von Harzkanälen nach dem Brand. In der unteren Aufnahme (b) ist die Jahrringgrenze zwischen 1834 und 1835 abgebildet. Das Feuer ereignete sich, nachdem schon die ersten Spätholzzellen von 1834 ausgebildet waren, aber noch vor Abschluss der Jahrringbildung. Der linke Bereich, in dem das Kambium durch das Feuer nicht geschädigt wurde, geht nach rechts über in den feuergeschädigten Bereich (aus Ortloff 1992).

Wiederausschlagvermögen

Das Wiederausschlagvermögen junger Kiefern nach starken Feuerschäden, insbesondere nach Verbrennung bzw. Versengung der gesamten Nadelmasse oder Beschädigung des Stammes, wird von einer Reihe nord- und mittelamerikanischer Arten beschrieben. Dazu zählen *P.echinata*, *P.taeda*, *P.rigida*, *P.leiophylla* und *P.oocarpa* (Stone und Stone 1954; Little und Somes 1960; Phares und Crosby 1962; Venator 1977). Bei den asiatischen Kiefern ist das Wiederausschlagvermögen oberirdisch beschädigter *P.merkusii* die Voraussetzung für ein jahrelanges Verharren im regelmäßig überbrannten Grasstadium (s.Stott *et al.* 1990). Die Fähigkeit der Wurzelsproßbildung von *P.roxburghii* nach Beweidung oder Feuer wurde bereits im vergangenen Jahrhundert beobachtet und erwähnt (Hearle 1887; s.a. Troup 1916; Greswell 1926). Eigene Untersuchungen zeigen die Lage der schlafenden Knospen in der verdickten Borke der Stammbasis von Sämlingen (Goldammer und Peñafiel 1990; Abb.24b). Damit ist *P.roxburghii* in zweifacher Hinsicht in idealer Weise an eine Feuer-Umwelt angepaßt.

Hinsichtlich der Systematik der Gattung *Pinus* spp.ist die Beschreibung der Regenerationsfähigkeit von *P.roxburghii* und von *P.canariensis* von Bedeutung. Beide Arten sind dadurch charakterisiert, dass sie selbst nach stärksten Feuerschäden wieder ausschlagen; *P.canariensis* hat sogar die Eigenschaft, über epikormische Zellen am Stamm auszuschlagen. Auch wenn dieses Merkmal nicht hilfsweise für eine taxonomische Verwandtschaft herbeigeführt wurde, spricht es für die Zusammenfassung beider Arten in der Subsektion *Canarienses* Loud. (Sektion *Ternatae* Loud.) (Critchfield und Little 1966). Die große Entfernung der Areale beider Arten und vor allem die isolierte Verbreitung von *P.canariensis* auf den Kanarischen Inseln gibt hier allerdings noch einige Rätsel auf.

Standort und Streu

Nadelfall und Akkumulation der Streu von *P.roxburghii* wurde von Mehra *et al.*(1985) und Chaturvedi (1983) untersucht. Für einige subtropische und tropische Kiefernaufforstungen liegen Beschreibungen von Goldammer (1983) und de Ronde *et al.*(1990) vor. Die Akkumulation von Nadelstreu unter *P.roxburghii* wird durch das hohe C:N-Verhältnis in Streu und Boden erklärt (Singh und Singh 1984; Singh *et al.*1984). Die Immobilität pflanzenverfügbaren Stickstoffes auf diesen Standorten und der feuerfördernde Charakter der angehäuften Streuschichten führen dazu, daß die Kiefern in der Lage sind, gestörte und von ihnen besetzte Standorte gegen die Rückeroberung stickstoffbedürftiger Laubholzarten zu verteidigen. Das in den Himalajas übliche Schneiteln (**lopping**) der Eichen in den Eichen-Kiefern-Mischwäldern trägt zu einer Reduzierung des Stickstoffrecycling bei und verschafft den Kiefern als wenig N-bedürftige Arten einen weiteren Wettbewerbsvorteil.

Das Abbrennen der Nadelstreu, der Gras- und Krautschicht und anderer unterständiger Vegetation im Fall eines Wildfeuers oder auch eines kontrollierten Feuers führt weiterhin zu einer Förderung und Vorsprung der Naturverjüngung der Kiefern gegenüber konkurrierender Vegetation. Die Beobachtung, daß die Kiefern als Mineralbodenkeimer und vor allem im Aschebett eine erhebliche Auswuchsbeschleunigung erfahren (s.a. Goldammer 1978), wurde bei *P.roxburghii* vielfach beobachtet und als Argument für das kontrollierte Brennen verwendet (Jerram 1922).

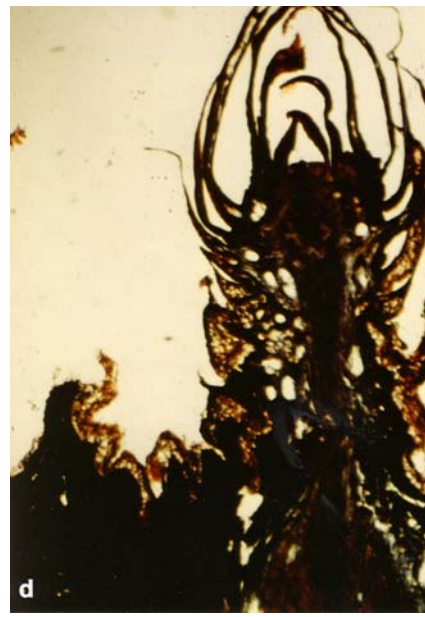
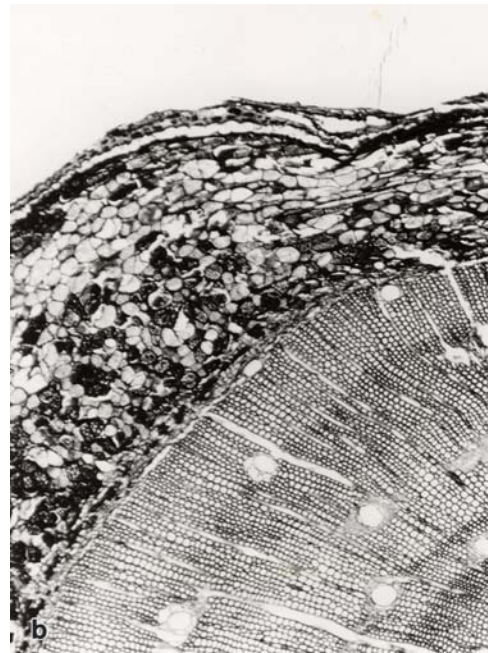


Abb.24a-d. Wiederholt zurückgebrannter und -verbissener Kiefersämling (*P.roxburghii*), der eine karottenförmige Wurzel ausgebildet hat (a). Die Schnitte zeigen stimulierte Kortextbildung der Wurzel im Bereich der feuerbeeinflussten Bodenoberfläche (c). Der im gleichen Maßstab wiedergegebene Schnitt (b) zeigt eine schwächere Kortextbildung 5 cm unterhalb der Mineralbodenoberfläche. Schlafende Knospen, die das Wiederaustreiben nach Feuer- und Verbisschaden ermöglichen, zeigt ein Schnitt im Bereich des Wurzelanlaufes (d)(Schnitte: S. Fink; aus Goldammer und Peñafiel 1990; mit Genehmigung des Springer-Verlages).

Alle diese Eigenschaften erklären die Zunahme der Feuerfrequenz und der graduellen Ausbreitung der artenarmen Feuerklimax-Kiefernwaldgesellschaften auf Standorten, die ohne den anthropogenen Einfluss von reinen Laubholz- oder gemischten Laubholz-Kiefernwäldern eingenommen würden.

3.4.3 Feuerbedingte Entstehung von Kiefernwaldgesellschaften: Fallbeispiel Luzón, Philippinen

Der Ursachenkomplex für die Feuer in den Waldgesellschaften der Tropen und Randtropen sind in Abschnitt 2 ausführlich dargestellt. In den submontanen bis montanen Kiefernwäldern, die zum großen Teil auf steileren Hanglagen stocken, die eine landwirtschaftliche Nutzung erschweren und daher noch nicht so stark dem Umwandlungsdruck ausgesetzt sind, sind die Feuerursachen vielfältiger Natur. Heute sind es zum Einen die erwähnten Weidefeuer, die vorsätzlich in jedem Jahr mit der Absicht der Verbesserung der Waldweide gelegt werden. Zum Anderen entspringt ein Großteil der Feuer der spielerischen Natur der lokalen Bevölkerung, die während der Trockenzeit entlang der Wege und Straßen Feuer legen, die hangaufwärts und außerhalb jeglicher Kontrolle laufen.

Der Ursprung der Feueranwendung in den Höhenlagen der innertropischen Gebirge liegt in den frühen Formen der Brandrodung. In der zentralen Kordillere von Luzón (Philippinen) trafen die indigene Bergbevölkerung und die vom südasiatischen Festland eingewanderten Bevölkerungsgruppen sino-malayischer Herkunft auf einen artenreichen Laubwald. Unter ungestörten Verhältnissen sind in den Tieflagen Dipterocarpaceen-Feuchtwälder anzutreffen, die mit zunehmender Höhe in einen submontanen/montanen Dipterocarpaceenwald und weiterhin in eine Eichenmischwaldgesellschaft (*mossy forest*) übergehen.

Die in den Bergregionen praktizierte Brandrodung (*kaingin*), die eine Form des Wanderfeldbaues darstellte, brachte die ersten Störungseingriffe mit sich, die sich mit steigendem Bevölkerungsdruck von den ursprünglich kleinflächigen, lokal begrenzten Eingriffen zunehmend auf die gesamte Fläche der submontanen Höhenlagen auswirkte. Die ersten Eingriffe dürften etwa um die Zeit 13./14. Jahrhundert n.Chr. liegen, wie sie für den Raum Banaue nachgewiesen sind (Seitz 1990, mdl.Mitt.). Zwischen dem Ende des letzten Glazials, vor ca.10.000 Jahren, und der ersten Brandrodung lassen radiometrische Feuerdatierungen Rückschlüsse auf periodisch trockeneres Klima und das Auftreten von Blitzschlagfeuern zu. Die radiometrische Feuerdatierung von 6860±120 Jahren vor Heute (HAM 2817) aus dem Mount Pulog-Massiv kann als ein Beispiel solcher Feuereingriffe gewertet werden, die den Kiefern ihren Platz und ihr Überleben in einem Klima und einer Umwelt gesichert haben, die insgesamt nicht günstig für diese Gattung waren (Goldammer, unveröffentl.Daten).

Heute kommt *Pinus kesiya* in Höhenlagen zwischen 750 und 2450 m ü.NN natürlich vor. Auf Standorten mit günstiger Wasserversorgung ist *P.kesiya* einzeln in den Dipterocarpaceen-Mischwald eingestreut. Von Natur aus bestandesbildend sind die Kiefern auf Standorten schlechter Wasserversorgung, vor allem auf exponierten Kuppen. Die Zunahme von Störungseingriffen durch Brandrodung, Waldweide, Feuer und dadurch herbeigeführte Erosion und Rutschungen führte sukzessive zur Förderung der trocken- und feuertoleranten Kiefern auf Kosten des Laubholzanteiles. Das zunehmend regelmäßige Durchbrennen der Wälder hat eine klare und einfache Gliederung der Bestände zur Folge: Unter einem Oberstand von reiner Kiefer bildet sich eine Grasschicht, die aus pyrophilen Arten zusammengesetzt ist, darunter *Themeda triandra*, *Imperata cylindrica*, *Eulalia trispicata*, *E.quadrinervis* und *Miscanthus sinensis*. Hinzu kommt der als Feuerfolger bekannte Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*).

Die leicht brennbare Bodenvegetation und Kiefernstreu schaffen die Voraussetzungen für die großflächige Verbreitung von Bodenfeuern unter Schirm, so daß in dieser Zusammensetzung der Vegetation die Voraussetzungen einer Feuerklimax vorliegen. Bei Zunahme der Feuerfrequenz wird die Verjüngung der Kiefern immer wieder zurückgebrannt, so dass die Bestände offen und parkartig wirken. Das "Altersklassenverhältnis" gerät mit der Zunahme der Feuer in ein Ungleichgewicht. Die Auflösung der Baumschicht durch natürliche Mortalität und durch Entnahme führt dann zur Bildung der reinen Grasländer, auf denen die jährlichen Feuer ein Aufkommen jeglicher Waldvegetation verhindern.



Abb.25. Das häufige Vorkommen von Feuern in den Kiefernwäldern der zentralen Kordillere von Luzón (Philippinen) über viele Jahrhunderte hatte die Bildung offener, parkähnlicher Bestände zur Folge, die durch Bäume mit solitärem Habitus gekennzeichnet waren. Die Kiefer (*Pinus kesiya*) im Vordergrund vor einem jungen, feuergeschützten Stangenholz zeigt einen solchen Solitär (Benguet, Luzón, 1986. Photo: Goldammer; aus Goldammer und Peñafiel [1990]; mit Genehmigung des Springer-Verlages).

Beim Ausbleiben des Feuers (aufgrund von Migrationsbewegungen oder Maßnahmen des Waldschutzes) ist eine Rückentwicklung in Richtung Laubwald zu beobachten. Kowal (1966) schied aufgrund seiner Beobachtungen zwei grundlegende Prozesse der Waldentwicklung aus, die in modifizierter Form in Abbildung 27 dargestellt sind. Danach dringt der reine Kiefernwald mit jedem Feuer in die Grenzzone zum Laubwald-Habitat ein und drängt diesen nach und nach zurück. Bei Abnahme des Feuerdruckes erobert der Laubwald sich das Feuerklimax-Kiefern-Grasland zurück.

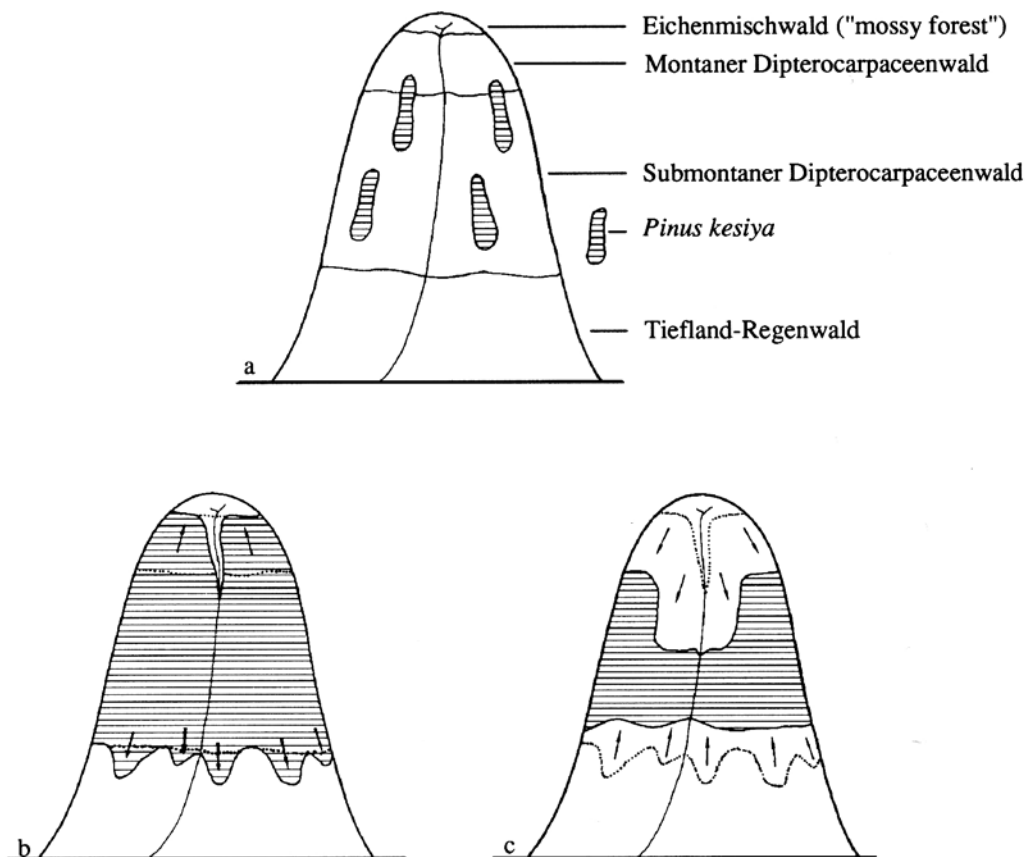


Abb.27. Schematische Darstellung der Waldentwicklung in submontanen und montanen Lagen der zentralen Kordillere von Luzón (Philippinen). Vor dem Beginn der sino-malayischen Besiedelung und Feuerbeeinflussung beschränkte sich das Vorkommen der Kiefern (*P.kesiya*) auf trockene, flachgründige und besonders wärmeexponierte Kleinstandorte innerhalb eines geschlossenen Dipterocarpaceen- und Eichenmischwaldes (a). Die derzeitige Ausbreitung der Feuerklimaxwälder, die von den feuertoleranten Kiefern dominiert werden (b), kann sich bei Feuerausschluss wieder zurückentwickeln (c) (aus Goldammer und Peñafiel 1990, nach den Vorstellungen von Kowal 1966).

Heute ist der Feuerklimax-Kiefernwald in der zentralen Kordillere von Luzón, den Carabello- und Zambales-Bergen zu finden (Armitage und Burley 1980). Insgesamt nimmt der Kiefernwald eine Fläche von 238.000 ha ein (geschlossener und offener Wald)(DENR 1988). Die jährlich vom Feuer betroffene Fläche ist nicht bekannt, da die Berichte der Forstverwaltung sehr unvollständig sind (Goldammer 1985a; Goldammer und Peñafiel 1990).

Die Feuerintensität ist je nach Rückkehrintervall unterschiedlich. Jährlich vom Feuer durchlaufene Bestände weisen als Brennmaterial die Grasschicht und die jährlich abgeworfene Nadelstreu und anderes anfallendes Totholz auf, insgesamt nicht mehr als ca. 3 bis 10 t ha⁻¹. Nach längerem Feuerauschluss führen die Menge und die Anordnung des angehäuften Brennmaterials zu höherer Feuerintensität und gelegentlich auch zu Kronenfeuern. Der jährliche Niederschlag von ca. 2500 mm in der zentralen Kordillere ist auf die Regenzeit zwischen Mai und Oktober konzentriert, so daß die Feuer in der zweiten Hälfte der Trockenzeit zwischen Februar und April auftreten.

In den Tieflandlagen der Vorbergzone hat sich durch den weitaus stärkeren Landnutzungs- und Feuerdrucks und aufgrund des Fehlens einer vitalen, feuerangepassten Baumart, wie *P. kesiya*, eine Grassavanne gebildet. Auch hier treten *Imperata cylindrica* und *Themeda triandra* auf. Zusätzlich sind diese Feuersavannen durch *Chrysopogon acciculatus* und *Cappilipodium parviflorum* charakterisiert. Assoziierte Baumarten sind *Piliostigma malabricum*, *Antidesma frutescens*, *Syzygium cumini* und *Albizzia procera*, die zusammen mit Buschwerk vereinzelt in die Grassavanne eingestreut sind. Dicke Borke, harte Samenschalen und Wiederausschlagvermögen charakterisieren diese Baumarten als xerophytische und pyrophytische Überbleibsel aus dem ehemaligen geschlossenen Tiefland-Dipterocarpaceenwald, die dadurch in der Lage sind, in der Umwelt der Feuersavannen zu überleben.

Der verbleibende Gürtel des Dipterocarpaceenwaldes zwischen den Feuersavannen und den Feuerklimax-Kiefernwäldern wird durch den Druck des Feuers von oben und von unten zusehends schmaler. Hinzu kommt der kürzer werdende Brachezyklus des Wanderfeldbaus innerhalb des Dipterocarpaceenwaldes, so dass sich hier das Ende dieses Waldes in naher Zukunft abzeichnet.

3.4.4 Ökologische Problemstellungen in der Kiefernwald-Feuerklimax

3.4.4.1 Instabilität durch Bodenabtrag

Die Stabilität einer Kiefernwald-Feuerklimax hängt von einer Reihe von Faktoren ab, wobei die Standorteigenschaften und insbesondere das Erosionspotential eine zentrale Rolle spielen. Auf nicht erosionsgefährdeten Standorten kann sich eine Kiefernwald-Feuerklimax bilden, die - sobald sie der Einflusszone des Feuers entwachsen ist - durch die regelmäßigen Bodenfeuer von Konkurrenz freigehalten und gegenüber Schadfeuern (Kronenfeuern) gesichert wird (Feuerregime Typ IV). Die oben bereits angedeutete Frage der Altersklassenverteilung weist allerdings schon darauf hin, daß das Feuer ohne räumliche und zeitliche "Steuerung" die Verjüngung und damit eine nachhaltige Sicherung der Feuerklimax gefährden kann.

Auf erosionsgefährdeten Standorten führt die regelmäßige Freilegung des Mineralbodens durch die Bodenfeuer zu einem erhöhten Oberflächenabfluss und zu schweren Erosionsprozessen. Die Auswirkungen des regelmäßigen Durchbrennens der vergrasten Kiefernwälder auf den Oberflächenabfluss zeigt eine Untersuchung aus dem Bergland von Luzón (Costales 1980). Danach ist der Oberflächenabfluss in durchgebrannten Beständen zu Beginn der Regenzeit (in der Regel kurz nach dem Brennen zum Höhepunkt der Trockenzeit) erheblich höher, als in ungebrannten Beständen; gegen Ende der Regenzeit ist der Unterschied zwar auch noch vorhanden, allerdings nicht hochsignifikant (Costales 1980). Eine jüngere Arbeit über den Bodenabtrag zeigt, daß der jährliche Sedimentertrag unterhalb jährlich gebrannten Graslandes mit $3,1 \text{ t ha}^{-1}$ erheblich höher lag, als unterhalb von aufgeforstetem Grasland ($0,8 \text{ t ha}^{-1}$) und Dipterocarpaceenwald ($1,2 \text{ t ha}^{-1}$) (Dumlao 1987).

Im ungebrannten Grasland ist allerdings zu beobachten, dass biologisch schwer abbaubares Gras wie *Imperata cylindrica* zu einer Verarmung der Grasschicht, insbesondere kurzalmiger Gräser oder auch von Leguminosen führt (Peñafiel 1980). Die Biomasseproduktion wird durch regelmäßigen Feuereinfluss erhöht. In *Themeda triandra*-Grasland war die Nettoprimärproduktion auf ungebrannten Flächen innerhalb einer Beobachtungsperiode von 90 Tagen ca. 135 g m^{-2} gegenüber ca. 30 g m^{-2} auf ungebrannten Flächen (Peñafiel 1980). Auf die Problematik der *Imperata*-Grasländer wurde in Abschnitt 3.3.5 eingegangen.

Neben dem flächenhaften Abtrag des Oberbodens ist in allen submontanen Feuerklimax-Kiefernwäldern Südasiens, die ja vornehmlich auf Hanglagen stocken, eine Zunahme der Tiefenerosion (Rinnenerosion) bis hin zu Hangrutschungen zu beobachten. Die damit eingeleitete Instabilität von Standort und Waldbedeckung (Übergang zu Feuerregime Typ V) ist nicht durch das Feuer allein bedingt, sondern hängt wesentlich mit der Waldweide (Trampeleffekt) zusammen (Abb.28)(s.a. Goldammer 1988b; Goldammer und Peñafiel 1990). Hinzu kommt die zunehmende Brennholz- und Bauholznutzung, die zur Beschädigung und Auflichtung des feuertoleranten Oberstandes und, aufgrund des Ausbleibens der Verjüngung, zur Entwaldung der Hanglagen führt.

3.4.4.2 Instabilität durch Sekundärschäden

Feuerinduzierte Sekundärschäden können sich zu einem weiteren Problem entwickeln. Potentiell zählen hierzu die Borkenkäfer (Coleoptera: Scolytidae), die in den Kiefernwaldbiomen der nördlichen Hemisphäre verbreitet sind. In den kleinflächigen Kiefernbeständen oder in den einzeln in Laubwaldgesellschaften eingemischten Kiefern spielen die heimischen Borkenkäfer eine untergeordnete Rolle, da es nicht zu Massenvermehrungen kommen kann. Die Vergrößerung zusammenhängender Kiefernwaldareale aufgrund der Störungseingriffe schaffen allerdings heute die Voraussetzungen für den Aufbau von Borkenkäferpopulationen.

Im Verbreitungsgebiet von *Pinus kesiya* in Asien und insbesondere auf den Philippinen stellten heimische Borkenkäfer, wie *Cyrtogenius* spp. oder *Stenocelis* spp. (Yamaguchi *et al.* 1979, Lapis 1982) bis in die jüngere Zeit kein Problem des Waldschutzes dar. Die Einführung von *Ips interstitialis* Eichhoff (möglicherweise auch synonym *Ips calligraphus* Germar), wahrscheinlich zwischen 1935 und 1945 aus Nord- oder Mittelamerika (Marchant und Borden 1976), führte zunächst zu keiner Änderung dieser Situation. Noch in den frühen 60er Jahren wurden im zentralen Bergland von Luzón nur vereinzelte, lokal sehr beschränkte Vorkommen des Käfers festgestellt (Caleda und Veración 1963). In den frühen 80er Jahren breitete sich der Käfer im gesamten Bergland von Luzón aus. Neben der Befallsdisposition durch Trockenstress, vor allem in den ENSO-Jahren 1982-83 (s. Abschnitt 3.1.2), wurden die häufigen Waldbrände für die Ausbreitung und die zunehmenden starken Schäden verantwortlich gemacht (Grijpma 1982; Lapis 1985).

Die Klärung der Frage, aufgrund welcher Mechanismen Feuer die Voraussetzungen für eine Destabilisierung durch Borkenkäferbefall schafft, stellte sich hier zwingend (s.a. Abschnitt 5.6; Goldammer 1983). Es ist bekannt, dass durch Waldbrand stark geschädigte Bäume von rindenbrütenden Insekten befallen werden. Hierzu liegen aus den Feuerklimax-Kiefernwäldern der Himalajas (*P. roxburghii*) auch verschiedene Berichte vor (z.B. Champiom 1919; Osmaston 1920). Hinsichtlich der Bestimmbarkeit des Verbrennungs- und/oder Versengungsgrades der Krone bzw. des Stammes, der zu einem erfolgreichen

Befall durch Borkenkäfer führt, und der Wirkungsmechanismen (Anlockung und Einbohren der Käfer) liegen nur wenige empirische Beobachtungen und Hypothesen vor (Miller und Patterson 1927; Wickman 1964; Furniss 1965; Evans 1966; Furniss und Carolin 1977; Martin und Mitchell 1980; Schowalter *et al.* 1981).

Da die Feuer in den Kiefernwäldern vorwiegend von geringer bis mittlerer Intensität sind und die Kiefern weitgehend an das Feuer angepasst sind, kommt das Feuer als allein befallsinduzierender Stressor des Baumes offensichtlich nicht infrage (Goldammer 1985a). Untersuchungen unter vergleichbaren Bedingungen von Kiefernauaufforstungen in Südbrasilien zeigen, dass Bodenfeuer geringer Intensität, die nicht oder nur teilweise in den Kronenraum eingreifen, keine Auswirkung auf messbare physiologische Parameter (Wasserstress, Harzdruck) haben und daher für die Befallsdisposition nicht von primärer Bedeutung sein können (Goldammer 1983; Abschn.3.5.3.2).

Die Anlockung Buprestiden auf aktive Waldbrände wurde von Evans (1966, 1972) durch Infrarotsensoren erklärt, die Wärmestrahlung wahrnehmen können und eine Orientierung auf das Brandgebiet ermöglichen; derartige Sensoren sind bei Borkenkäfern nicht ausgebildet. Weiterhin können auch Interaktionen zwischen Insekten, Pflanzen und Verbrennungsprozessen über CO₂-Emissionen möglich sein, auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden soll (zusammenfassend bei Nicolas und Sillans 1989).

Dennoch wurde bei verschiedenen kontrollierten Experimentalfeuern und nach Wildfeuern in Luzon eine Lockwirkung der Brandflächen (**area attractiveness**) auf *Ips interstitialis* festgestellt. Peñafiel und Goldammer (1990 und unveröffentlichte Daten) stellten mit Hilfe von Pheromonfallen (Monitorfallen) fest, daß sich die Flugdichte der Borkenkäfer unmittelbar nach dem Durchbrennen der Kiefernbestände bis zu einem Dreifachen erhöhte und nach 24 Stunden auf den Stand vor dem Brennen absank. Der Befallserfolg war im Allgemeinen vernachlässigbar gering, wenn kein Kronenfeuer aufgetreten war. Bäume mit Kronenbeschädigung, die keine kurzfristigen oder langfristigen Veränderungen des Harzdruckhaushaltes aufwiesen, zeigten ausreichende Widerstandskraft durch Abriegelung des Borkenkäferbefalls (s.a. Vité 1961; Goldammer 1983).

Als Erklärung für die Erhöhung der Populationsdichte in durchgebrannten Beständen wurde von Goldammer und Peñafiel (1990) die flächenhafte Lockwirkung der Bestände untersucht. Die Versuche ergaben eine starke flächenhafte Lockwirkung bei Ausbringung von Kiefernharz beziehungsweise von Dispensern mit (-)- α -Pinen, das das wichtigste Monoterpen in *P. kesiya* darstellt (Tab.13). Die Erklärung wird darin gesucht, daß durch den Aufheizungsprozeß beim Brennen (unvollständige Verbrennung bzw. Ansengen von Zweigen und Nadeln) Monoterpene freigesetzt werden, deren Duftbouquet unmittelbar nach dem Brennen die großräumige Anlockung auf das Brandgebiet ermöglicht.

Bei mechanischen Verletzungen von Einzelbäumen wurden ähnliche Reaktionen beobachtet, so etwa bei Bäumen, die durch Blitzschlag getroffen wurden. Aufgrund der mechanischen Verletzung des Baumes (Blitzrinne) werden pflanzenbürtige Inhaltsstoffe ebenfalls leichter freigesetzt und führen zu gezieltem Anflug des Baumes (Blanche *et al.* 1983). Da trotz hoher Populationsdichte unmittelbar nach dem Brennen der Befallserfolg gering ist, zeigt es sich, dass sowohl die unverminderte Vitalität der Kiefern, als auch das fehlende "Landesignal" das Einbohren der Käfer verhindern.

3.4.5 Herausforderungen an den Waldbau und den Forstschutz

In Relation zur Bedeutung der Flächen und der Problematik der Erhaltung der Tiefland-Regenwälder scheinen die Waldbrandprobleme der natürlichen tropischen Kiefernwälder auf den ersten Blick weniger bedeutungsvoll zu sein. So nimmt beispielsweise auf den Philippinen der Kiefernwald mit seinen 238.000 ha lediglich 3,7% der gesamten Waldfläche des Landes ein (DENR 1988), eine Relation, die in Ländern wie Burma, Indien oder Vietnam ähnlich ist. Für die submontanen bis montanen Höhenlagen selbst ist die Schutzfunktion der Kiefernwaldbedeckung allerdings von außerordentlicher Bedeutung. Die Kiefern gehören zu den wenigen Baumarten, die dem heutigen vielfachen Nutzungsdruck und Umweltstress

standhalten können, der auf die Bergländer der Tropen einwirkt. Ihre Erhaltung bzw. nachhaltige Bewirtschaftung geht aber ganz wesentlich über die Überlebensfrage des Ökosystems Bergwald und der darin lebenden Bevölkerung hinaus. Der Standort der montanen/submontanen Kiefernwälder ist trotz seiner relativ geringen Größe ein kritisches Wassereinzugsgebiet für die darunter, stromabwärts liegenden tropischen Tiefländer, da er als "Puffer" zwischen Überschuss und Mangel an Niederschlag wirkt. Die Bergwälder der äußeren Himalajas, deren Niederschlagsregime vom tropischen Monsunklima des indischen Subkontinents bestimmt werden, sind ein krasses Beispiel dafür, dass ihre Degradation erheblich zum Problem der Berggrutsche, Oberflächenabfluss und Bodenabtrag im Hochland und Überflutungen und Sedimenteintrag bis in das entfernte Bangladesch im Tiefland beiträgt (s.a.Koshoo 1986).

Die Veränderung des hydrologischen Regimes der submontanen und montanen Kiefernwälder, vor allem der Rückhaltefähigkeit von Niederschlag, wird zweifellos durch die unkontrollierten Waldbrände stark beeinflusst. Besonders destruktiv wirken sich dabei bestandesumwandelnde Waldbrände hoher Intensität aus, die nach längerer Zeit des Feuerauschlusses entstehen (**stand replacement fires**). In den Steilhanglagen setzt nach einem solchen Feuer starker Bodenabtrag ein, und die Wiederbewaldung der dann vergrasenden Flächen ist unter dem heutigen Weide- und Feuerdruck in der Regel sehr problematisch.

Tab.13. Fangzahlen von *Ips interstitialis* in schwarzen Flugbarrieren ("Schlitzfallen", Fa. Theysohn) auf frischen Kleinkahlschlägen und simulierten Kleinkahlschlägen mit verschiedenen Behandlungen in Reinbeständen von *Pinus kesiya*, Zentrale Kordillere von Luzón, Philippinen. Die Fallen waren mit 5 ml einer Mischung aus racemischen Ipsdienol, (S)-cis-Verbenol und (-)- α -Pinen (1:1:18) beködert, die aus Low Density (50 μ m) Polyäthylenbeuteln (3x6 cm) evaporierten (vgl. Klimetzek 1984, Baader 1989). Aus Goldammer und Peñafiel (1990)

Serie A ^a		Serie B ^a	
Behandlung der Kleinkahlschläge (50 m ²)	X ^b \pm S.E.	Behandlung der simulierten Kleinkahlschläge (50 m ²)	X ^b \pm S.E.
Feuer Bodenfeuer mit Verbrennung der Streuauflage und Aufheizen/ Versengen der Stubben	1,8 a,b \pm 0,60	Feuer Verbrennung von Nadelstreu und Harz in offenem Behälter	4,5 a \pm 1,76
α-Pinen Dispenser mit 5 ml	5,2 b,c \pm 1,60	α-Pinen Dispenser mit 5 ml	20,0 b \pm 3,54
Harz Zusätzliches Ausbringen von frisch gezapftem Harz (<i>P. kesiya</i>) in offenen Petrischalen	8,5 c \pm 2,19	Harz Zusätzliches Ausbringen von frisch gezapftem Harz (<i>P. kesiya</i>) in offenen Petrischalen	4,3 a \pm 1,44
Kontrolle Frisch geschnittene, harzreiche Kiefernstubben	0,3 a \pm 0,25	Kontrolle Papierteller ohne Behandlung	2,0 a \pm 1,0

^a Versuchsreihe A: Bobok, 17.-18.2.87; Versuchsreihe B: Loakan, Forstliche Versuchsanstalt, 21.-22.2.87. Anlage beider Versuchsreihen mit vier Wiederholungen (Positionen der Fallen einschließlich der Lockstoffköder wurden innerhalb jeder Wiederholung zweimal getauscht). Die geringe Käferzahl ist aufgrund des Populationsrückgangs ab 1985 zu erklären.

^b Mittelwerte in den Spalten mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant unterschiedlich: Kruskal-Wallis H-Test (Reihe A: F=0,0199; Reihe B: F=0,0044) und zweiseitiger Mann-Whitney U-Test (P < 0,05).

Der ökologische Impact der periodisch auftretenden Bodenfeuer, die für die Bildung der potentiell stabilen Feuerklimax des Kiefernbergwaldes verantwortlich sind, sind in den Auswirkungen völlig anders zu bewerten. Da sie eine fortdauernde Bestockung gewährleisten können, sind Oberflächenabfluss und Erosion im Vergleich zu den bestandesumwandelnden Waldbränden wesentlich geringer (Abschn.3.4.4.1).

Die Frage nach einem totalen Feuerausschluss ist kritisch. Längere Phasen des Feuerausschlusses, die zur Erhaltung von Kiefernreinbeständen oder deren natürlichem Umbau (Sukzession) in einen artenreichen Laub-(Kiefern-)Mischwald führen könnten, sind unter den gegebenen sozio-ökologischen Rahmenbedingungen heute praktisch unmöglich. Waldweide ist beispielsweise untrennbar mit dem regelmäßigen Durchbrennen von Kiefernwäldern verbunden. Eine derzeit laufende Untersuchung über den Zustand der Kiefernwälder in Nicaragua zeigt, dass in den Höhenlagen zwischen 250 und 1750 m ü.NN 86% aller Probeflächen mit erkennbarer Weidenutzung auch Feuerspuren aufweisen (Forstreuter 1991).

Hieraus ergibt sich die Frage nach einer grundsätzlichen Strategie des Ökosystem-Managements: Soll das Feuer grundsätzlich aus den Waldbeständen verdrängt werden, soll es toleriert oder gegebenenfalls eingebracht oder hinsichtlich seiner erwünschten Wirkungen sogar substituiert werden ?

Mit diesem Dilemma sahen sich bereits die in europäischer Tradition erzogenen Forstleute in den Kolonialforstverwaltungen Südasiens konfrontiert. Der Blick in die ältere forstliche Literatur zeigt den Konflikt um das Für und Wider der Einbeziehung des Feuers in die Bewirtschaftung der *Pinus roxburghii*-Wälder Britisch-Indiens und Burmas auf, der insbesondere nach den einschneidenden Forstschutzmaßnahmen des Forstgesetzes von 1865 für Britisch-Indien einsetzte (Abschn.4.1). Wesentliche Überlegungen waren dabei die Bodenverschlechterung durch Feuereinfluss und deren Konsequenzen für Oberflächenabfluss und Erosion (u.a. Broun 1886; Clifford 1886).

In den folgenden Jahrzehnten wurden aber mehr und mehr die Anpassungen von *P.roxburghii* an die Feuerumwelt erkannt (z.B. Glover 1913; Greswell 1926). Auch erste Ansätze differenzierter Betrachtungen über die Feuerwirkungen in verschiedenen Phasen der Entwicklung der Kiefernbestände wurden zu Anfang dieses Jahrhunderts angestellt (Smythies 1911).

Erst in jüngerer Zeit gibt es in Südostasien Ansätze, Systeme des Integrierten Feuer-Managements zu entwickeln.¹ Ein von der FAO initiiertes Projekt zum Waldbrandschutz in den Philippinen (FAO 1983b, 1983c) wurde zu einer Konzeption des Integrierten Feuer-Managements weiterentwickelt, die sich auf begleitende Grundlagen- und Betriebsforschung stützte (Goldammer 1985a, 1987a). Wesentlicher Bestandteil dieser Konzeption war die Einführung des Kontrollierten Brennens (ausführlich in Abschn. 3.5) in den Feuerklimax-Kiefernwald. Damit sollten erwünschte, die Waldbestände stabilisierenden Auswirkungen des Feuers aktiv gesteuert und dadurch die unkontrollierten Waldbrände mit ihren nicht kalkulierbaren Nebenwirkungen verringert werden. Zwar erwies sich das Management-System mit Hilfe des kontrollierten Brennens als grundsätzlich anwendbar. Als kritische Faktoren tauchten dabei aber beispielsweise Fragen der Wechselwirkungen zwischen Feuer-Waldbestand-Borkenkäferbefall, der Erosion und der Verträglichkeit des kontrollierten Brennens mit der Harznutzung auf.

Wenn auch einige dieser Fragestellungen beantwortet werden konnten (siehe oben und die nachfolgenden Abschnitte), so bleibt das Problem der Operationalität in der Praxis dennoch ungelöst: Es ist bislang nicht gelungen und scheint in naher Zukunft auch wenig aussichtsreich, das Integrierte Feuer-Management flächendeckend einzuführen und gleichzeitig alle Imponderabilien der unkontrollierten Feueleinbringung seitens der ländlichen Bevölkerung unter Kontrolle zu bekommen.

¹ Zu den forstlichen Entwicklungsvorhaben, die sich mit dem Feuerproblem befassen, siehe Abschnitt 4.2.2.

3.4.6 Zusammenfassung

In den submontanen bis montanen Lagen der Inner- und Randtropen nehmen die Kiefern (*Pinus* spp.) hinsichtlich ihrer Anpassung an das Feuer eine vergleichbare Stellung ein, wie die feuerangepassten laubabwerfenden Arten (z.B. *Tectona grandis*, *Shorea robusta*) in den saisonalen Feuerklimaxwäldern der Tieflagen. Die Möglichkeit einiger südasiatischer Kiefern, sich an eine extreme Feuerumwelt anzupassen und sich gegen die Konkurrenz anderer Invasoren auf Brandflächen durchzusetzen, ist besonders bei *P. roxburghii* deutlich: Diese Art weist die in der Gattung *Pinus* selten vertretene Eigenschaft des Wurzelausschlages aus zurückgebrannten Sämlingen vor.

Das Vorkommen der Kiefern in den Bergländern der Tropen ist vor dem Beginn des umfangreichen anthropogenen Feuereinflusses auf gestörte Standorte (Pionierart auf Hangrutschungen oder in größeren Lücken) und Lagen mit schlechter Bodenwasserversorgung (Kuppen, flachgründige Hanglagen) beschränkt gewesen. Mit zunehmender Besiedlung der Bergländer und der Ausweitung von Brandrodung und Weidewirtschaft konnten sich in dieser Feuerumwelt die Kiefern zunehmend gegen die Laubholzkonkurrenz durchsetzen. Das Ergebnis sind großflächige und nahezu reine Kiefernwaldareale, die einen hohen Nutzungswert für die Bergbevölkerung darstellen. Allerdings stellt sich heute auch hier das Problem der Überbeanspruchung durch Feuer und Beweidung. Die traditionellen Brennverfahren der kleinen Bergvölker, die mit dem als Eigentum betrachtetes Land sorgfältig umgingen, werden abgelöst durch eine unkontrollierte Ausweitung von Landnutzung und Feuern durch eine stetig wachsende und vom tradierten Naturverständnis abrückende Bevölkerung. Die "modernen" anthropogenen Feuerregime entwickeln diese Kiefernwälder zusehends von einer stabilen in eine labile Feuerklimax. Bei dieser multiplen Belastung der Kiefernwälder können auch noch Sekundärschäden hinzukommen, die, wie das Beispiel der in die Nord-Philippinen eingeschleppten Borkenkäfer zeigt, im Fall des Zusammentreffens einer klimatischen Anomalie (extreme ENSO-Trocknis) und Feuer zu einem großflächigen Ausfall einer Kiefernart führen kann.