
Die Waldkiefer – bereit für den Klimawandel?

HELGE WALENTOWSKI, CHRISTIAN KÖLLING und JÖRG EWALD

Schlüsselwörter

Arealbildung, Autökologie, Vergesellschaftung, Klimahülle, Zukunftsperspektiven

Zusammenfassung

Als prägende Baumart frühnacheiszeitlicher Steppen-Kiefernwälder ist die Waldkiefer unter heutigen Bedingungen als waldbildende Baumart vor allem in nördlichen und subkontinentalen Regionen zu finden. Bemerkenswerte Reliktvorkommen stocken auf ungeschützten Sonderstandorten (im Winter weitgehend schneefrei, sich im Frühjahr rasch erwärmend) in rand/voralpinen Föhntälern und inneralpinen Trockentälern.

Die Kiefer ist eine Baumart kalt-trockener Klimate und hat besondere Anpassungs-Mechanismen gegenüber von Frösten, Trockenheit, Waldbrand hervorgerufenen Schädigungen entwickelt.

Auf der Basis von Regionalisierungsmodellen globaler Klimasimulationen, die von zukünftig wintermilderen Klimabedingungen im südlichen Teil Mitteleuropas ausgehen, wird die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Laubbäumen noch weiter ab- und ihre Anfälligkeit für

Krankheitserreger zunehmen. Ein langfristiges Überleben der Reliktvorkommen (z. B. im Schweizer Kanton Wallis) erscheint fraglich.

Vegetationsgeschichte und Arealbildung

Die Wiederausbreitung der Wälder ging von den Stepentundren des frühen Spätglazials aus. Sie wird in zahlreiche Abschnitte gegliedert. Die am frühesten herrschenden Baumarten Kiefer (immergrün, xeromorphe Nadeln) – im Alpenraum Bergkiefer (*Pinus mugo* agg.) und Zirbe (*Pinus cembra*) – sowie Birke (sommergrün, kleinblättrig) waren an kalt-trockenes Klima, Bodenfrost und natürliche Brände angepasst. In der nach-eiszeitlichen Vegetationsgeschichte wurde ein eigener Abschnitt nach der Kiefer benannt (Birken-Kiefernzeit ca. 10.000 Jahre vor heute). Die meisten Kiefern wurden in der Nacheiszeit von später eingewanderten, an humidere Klimabedingungen angepassten Baumarten verdrängt. Die Früheinwanderer konnten sich in der Natur vor allem auf Sonderstandorten als „Reliktkiefern“ (mit oft abweichender genetischer Ausstattung, zum

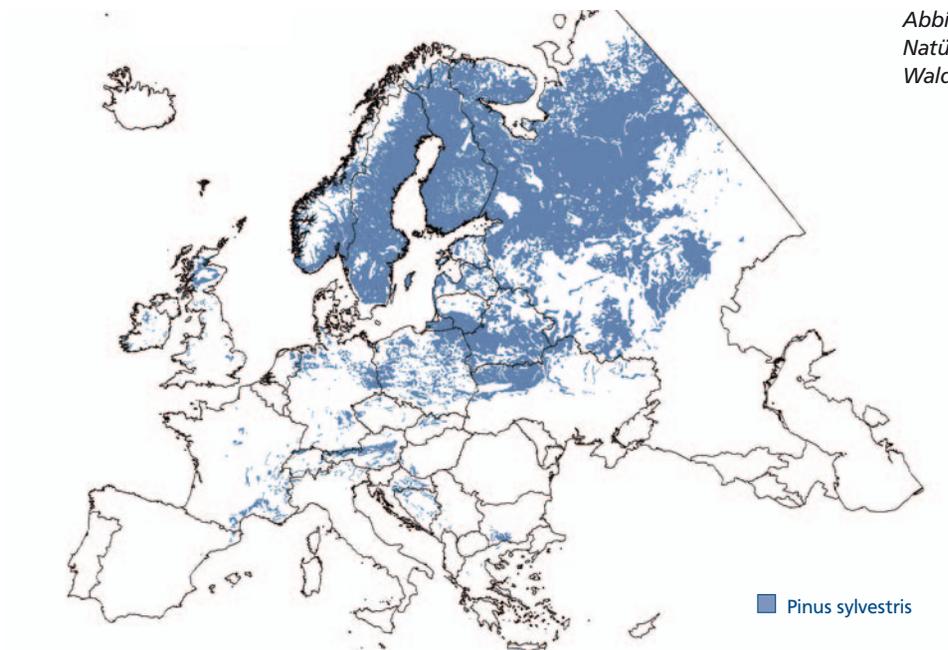


Abbildung 1:
Natürliches Verbreitungsgebiet der
Waldkiefer nach Bohn et al. 2003

Teil sogar eigene Unterarten) erhalten oder wurden nach Norden und Osten abgedrängt.

Heutiges Areal der Waldkiefer

Die Kiefer ist nordisch-eurasiatisch-kontinental verbreitet (Abbildung 1), natürliche Massenvorkommen liegen in sommerwarm-winterkalter Klimalage in Skandinavien, im nördlichen Mittelrussland, im östlichen Mitteleuropa und in den Randgebieten der Alpen. Disjunkte Reliktorkommen existieren in den Pyrenäen, in der Sierra Nevada, im französischen Zentralmassiv (Auvergne), in südosteuropäischen und kleinasiatischen Gebirgen (MAYER 1992). Die Reliktorkommen bilden zum Teil eigene Unterarten, z.B. die Subspezies oder Varietäten *catalaunica*, *cretacea*, *engadinensis*, *iberica*, *nana*, *nevadensis*, *pyrenaica*, *rhodopaea* und *romanica*. Diese Unterarten und Varietäten wurden in Abbildung 1 nicht berücksichtigt, sie enthält nur die Hauptart *Pinus sylvestris* ssp. *sylvestris*.

Klimatisch handelt es sich um ein sehr heterogenes Verbreitungsgebiet von der Meeresküste bis hinauf in subalpine Lagen. Dies belegt eine große klimatische Anpassungsfähigkeit (–4 bis +13 °C Jahresdurchschnittstemperatur, 400 bis über 2.000 mm jährliche Niederschlagssumme, Abbildung 2). Der Schwerpunkt liegt jedoch im kühl-trockenen Klimatyp, wie er vor allem im borealen Nadelwaldgürtel verwirklicht ist.

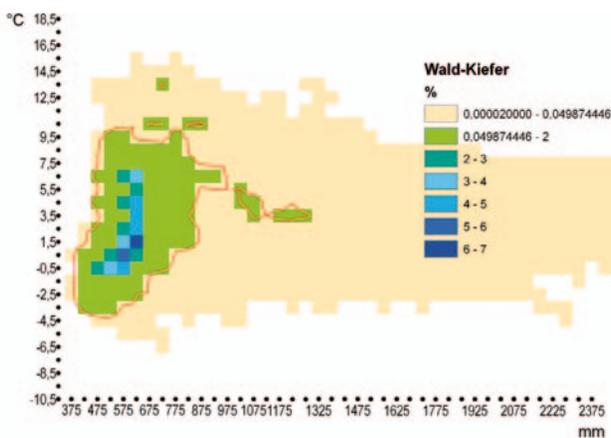


Abbildung 2: Klimahülle der Kiefer (Kölling et al. 2007); der rot umrandete Bereich umfasst 95 Prozent der im Verbreitungsgebiet der Kiefer vorkommenden Kombinationen von Jahresdurchschnittstemperatur und Jahresniederschlagssumme.

Biologie, Autökologie

Die Kiefer ist ein „Stresstoleranz-Strategie“. Die nadel-förmigen Blattspreiten sind durch Stützgewebe, Wachsauflagerung und eingesenkte Spaltöffnungen an Sommer-trockenheit und extreme Winterkälte angepasst. Die reservestoffarmen Kiefern-samen keimen fast ausschließlich auf unbewachsenen Rohböden (Pionier) und zeigen bei voller Belichtung ein rasches Jugend-wachstum, das jedoch im Alter hinter das vieler Kon-kurrenten zurückfällt (Lichtbaumart). Unter dem lichten Schirm von Kiefern-kronen findet man nicht selten eine biomassereiche Bodenvegetation und den Nach-wuchs schattenertragender Baumarten. Sehr geringe Ansprüche an die Versorgung mit Stickstoff, Phosphor und Kalium ermöglichen die Besiedlung unreifer und degradiertes Böden, deren Nährstoff- und Wasser-vorräte eine tiefe Pfahlwurzel erschließt. Auf (wechsel-)feuchten und nassen Böden gehört die Kiefer zu den standfestesten Baumarten. Die Ektomykorrhiza ermöglicht die Aneignung von Nährstoffen auf extrem mineralarmen Sand- und Moorböden. Eine dicke Schuppenborke schützt die Stämme alter Kiefern gegen Feuerschäden. Das hohe Lebensalter ermöglicht es Kiefern, lange Perioden in der Bestandesoberschicht zu überdauern und seltene Großstörungen (Wald-brände, Windwürfe, Insektenkalamitäten) für eine erfolgreiche Etablierung zu nutzen (Störungsstrategie). Kiefernreinbestände sind anfällig gegen Insekten-Massenvermehrungen. Wie andere Baumarten zeigt die Kiefer auf gut durchlüfteten und ausreichend nährstoff-versorgten Böden optimales Wachstum (physiologi-sches Optimum), wird jedoch in der Natur auf Grund ihrer geringen Konkurrenz-kraft auf Extremstandorte verdrängt.

Konkurrenz mit anderen waldbildenden Baumarten

Unter den heutigen Klimabedingungen Bayerns tritt die Kiefer natürlicherweise nur auf extremen Standorten, an den Rändern ihres physiologischen Toleranzbereiches bestandesbildend auf: Die ökologische Existenz, d.h. jener Bereich, in dem sie in der Natur vorkommt, ist von den Standorten mittlerer Qualität hin zum „Trockenen“ und zum „Nassen“ verschoben. Auf den Trocken- und Nassstandorten wird sie wiederum auf nährstoffarmes Milieu (sauer-oligotroph und kalk-oligotroph) verdrängt. Daraus erklärt sich die scheinbare Paradoxie, dass sie dort, wo sie natürlicherweise waldbildend auftritt, extrem schlechtwüchsig ist und

nicht selten Mangelsymptome aufweist. Von konkurrenzkräftigeren Baumarten aus dem standörtlichen Mittelbereich in verschiedene ökologische Richtungen abgedrängt, hat sich die Kiefer mit einer großen Formenvielfalt angepasst. Mit ihrer klimatisch und edaphisch bedingten Formenvielfalt (150 Varietäten) ist sie ein Musterbeispiel für die „adaptive Radiation“ und begründet die Differenzierung in Klimarassen, die sich u.a. hinsichtlich Morphologie, Krankheitsresistenz und Wuchsleistung deutlich unterscheiden (breit ausladende Tiefland-Rassen; schlankwüchsige, spitzkronige Bergland-Rassen).

Gegenüber den ebenfalls sehr genügsamen Eichenarten wird die Kiefer vor allem unter folgenden Bedingungen konkurrenzüberlegen:

- Kühlere und kürzere Vegetationszeit (z. B. östliche Mittelgebirge und Alpenrand);
- Überschotterung, Übersandung (geomorphologische Aktivitätszonen wie Sanddünen, Auen, Bergstürze);
- dauernasse Torfböden.

Im Gebiet der mitteleuropäischen Buchenwaldgesellschaften spielte die Kiefer, wie Pollenanalysen zeigen, über Jahrtausende hinweg nur eine marginale Rolle. In vollentwickelten Buchen-Klimaxwäldern ist kaum Raum für eine extreme Lichtbaumart, zudem noch als Rohbodenkeimer. Vermutlich überlebte die Kiefer die späten Phasen der nacheiszeitlichen Waldentwicklung in Mitteleuropa nur auf Sonderstandorten. Erst das vom Menschen verursachte Störungsregime ließ die Wälder lichter werden und schuf die für eine flächige Ausbreitung der Kiefer nötigen Rohböden. Die ausgedehnten

Kiefernforsten im Buchenwaldgebiet werden immer wieder von verheerenden Insektenkalamitäten, von Schneebruch und Waldbrand heimgesucht. Dies wiederum erzeugt gute Startbedingungen für junge Kiefernbestände. Das Störungsregime einer naturfernen Kahlschlag- und Reinbestandeswirtschaft fördert die Kiefer, obwohl sie schlecht an die typischen Umweltbedingungen im mitteleuropäischen Buchenwaldgebiet angepasst ist.

Die Kiefer toleriert ein breiteres Spektrum an Bodeneigenschaften als alle anderen Baumarten. Weder bodenchemisch noch bodenphysikalisch noch vom Wasserhaushalt her bestehen wesentliche Restriktionen. Lediglich Gleyböden, sehr nasse Moore und überschwemmte Standorte meidet sie (Abbildung 3). Auf Carbonatstandorten zeigen nicht angepasste Kiefernrasen häufig Kalkchlorosen, aber im Schneeheide-Kiefernwald werden auch stark carbonathaltige Böden erfolgreich besiedelt.

Von der Kiefer dominierte Waldgesellschaften

Kiefernwaldgesellschaften kommen nur kleinflächig vor, dennoch existiert eine große Variabilität. Sie besitzen für die biologische Vielfalt eine ganz besondere Bedeutung:

- Besiedlung extremer Sonderstandorte an der Trockenheits- oder Nässegrenze des Waldes, zum Teil in Nachbarschaft von oder Durchdringung mit waldfreier Vegetation (Dünen, Felsen, Moore);

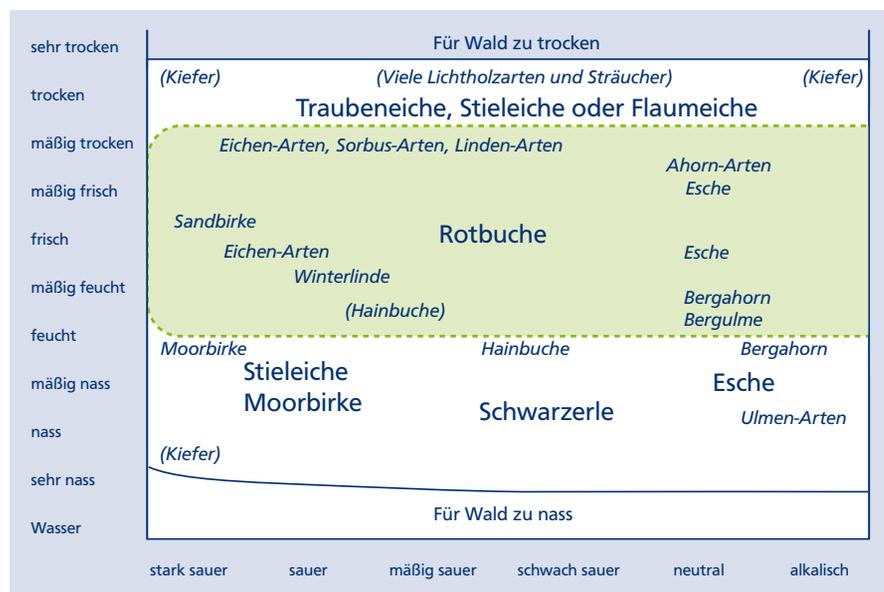


Abbildung 3: Ökogramm nach Ellenberg (1996, verändert); die Kiefer herrscht nur auf den trockenen und nassen, zugleich stark sauren oder alkalischen Standorten vor. Alle mittleren Standorte muss sie sich mit anderen ihr stets an Konkurrenz-kraft überlegenen Baumarten teilen, allen voran der Rotbuche.

Kiefern-Moorwälder (LRT 91D2*)		Kiefernwälder außerhalb der Moore (z.T. LRT 91T0 und LRT 91U0)		
Boreale Nadelwälder (Kl. <i>Vaccinio-Piceetea</i>)		Osteuropäische Kiefern-Steppenwälder (Kl. <i>Pulsatillo-Pinetea</i>)	Präalpine Schneeheide-Kiefernwälder (Kl. <i>Erico-Pinetea</i>)	
Kiefern-Moorwälder (<i>Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris</i> , <i>Vaccinio uliginosi-Pinetum rotundatae</i>)	Weißmoos-Kiefernwald (<i>Leucobryo-Pinetum</i>)	Wintergrün-Kiefernwald (<i>Pyrolo-Pinetum</i>)	Schneeheide-Kiefernwälder (Alpenrand: <i>Calamagrostio variae-Pinetum</i> , Südliche Frankenalb: <i>Cytiso nigricantis-Pinetum</i> , Nördliche Frankenalb: <i>Bupthalamo salicifolii-Pinetum</i>)	Waldvögelein-Bergkiefernwald (<i>Cephalanthera longifolia-Pinus mugo</i> -Gesellschaft)
Wichtige Kenn- und Trennarten der einzelnen Gesellschaften:				
Rauschbeere (<i>Vaccinium uliginosum</i>), Scheidiges Wollgras (<i>Eriophorum vaginatum</i>), Moorbeere (<i>Oxycoccus palustris</i>), Moose: <i>Sphagnum magellanicum</i> , <i>Polytrichum strictum</i>	Moose: <i>Campylopus flexuosus</i> , <i>Dicranum spurium</i> , <i>Hypnum jutlandicum</i> , <i>Ptilidium ciliare</i> , <i>Orthodicranum flagellare</i> , Flechten: <i>Cladonia arbuscula</i>	Doldiges Winterlieb (<i>Chimaphila umbellata</i>), Heide-Segge (<i>Carex ericetorum</i>), Sand-Veilchen (<i>Viola rupestris</i>), Fichtenspargel (<i>Monotropa hypopitys</i>)	Grauer Löwenzahn (<i>Leontodon incanus</i>), Felsen-Kreuzdorn (<i>Rhamnus saxatilis</i>), Hügel-Veilchen (<i>Viola collina</i>), Heideröschen (<i>Daphne cneorum</i>)	Felsen-Baldrian (<i>Valeriana saxatilis</i>), Grauerle (<i>Alnus incana</i>), Schluchtweide (<i>Salix appendiculata</i>), Langblättriges Waldvögelein (<i>Cephalanthera longifolia</i>)
Kenn- und Trennartenblöcke:				
Preiselbeere (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>), Heidelbeere (<i>Vaccinium myrtillus</i>), Heidekraut (<i>Calluna vulgaris</i>), Moose: <i>Dicranum polysetum</i>		Berg-Haarstrang (<i>Peucedanum oreoselinum</i>), Kriechendes Netzblatt (<i>Goodyera repens</i>), Nickendes Wintergrün (<i>Pyrola secunda</i>), Mittleres Wintergrün (<i>Pyrola chlorantha</i>), Salomonssiegel (<i>Polygonatum odoratum</i>), Fieder-Zwenke (<i>Brachypodium pinnatum</i> agg.), Rundblättrige Glockenblume (<i>Campanula rotundifolia</i>), Zypressen-Wolfsmilch (<i>Euphorbia cyparissias</i>), Berberitze (<i>Berberis vulgaris</i>), Rotes Waldvögelein (<i>Cephalanthera rubra</i>)		
		Rotbraune Stendelwurz (<i>Epipactis atrorubens</i>), Zwergbuchs (<i>Polygala chamaebuxus</i>), Mehlbeere (<i>Sorbus aria</i>), Maiglöckchen (<i>Convallaria majalis</i>)		
		Schneeheide (<i>Erica herbacea</i>) ¹⁾ , Blaugras (<i>Sesleria varia</i>), Weidenblättriges Ochsenauge (<i>Bupthalmum salicifolium</i>), Felsenbirne (<i>Amelanchier ovalis</i>), Buntes Reitgras (<i>Calamagrostis varia</i>), Alpen-Distel (<i>Carduus defloratus</i>), Steinbeere (<i>Rubus saxatilis</i>), Weiß-Segge (<i>Carex alba</i>) Moose: <i>Tortella tortuosa</i>		
Standort und Wasserhaushalt:				
äußerst saure, sehr nährstoffarme Torfe	äußerst saure, sehr nährstoffarme Quarzsande und Quarzitefelsen	stark saure, nährstoffarme, aber glimmer- oder kalkführende Sande	nährstoffarme Humus-Karbonat-Böden	Mergel-Rutschhang
nass	trocken oder (wechsel-)feucht	trocken oder (wechsel-)feucht	trocken bzw. sehr flachgründig	wechsellustig

Tabelle 1: Kenn- und Trennarten der wichtigsten Kiefernwaldgesellschaften

¹⁾ im Oberpfälzer Wald und im Bayerischen Vogtland auch im *Leucobryo-Pinetum*

- Zufluchtsstätte für Relikte der spätglazialen Kältestep-Perioden und der postglazialen Wärmezeit, d.h. Zusammentreffen borealer, submediterraner, subkontinentaler und alpidischer Florenelemente;
- Duldsamkeit der Kiefer gegen lichtliebende Offenlandpflanzen, d.h. Arten aus zeitlich vorhergegangenen oder benachbarten Rasen oder Heideflächen können sich unter lichtem Kieferschirm gut behaupten.

Kiefern-Moorwälder

Kiefern-Moorwälder (Lebensraumtyp 91D2* gemäß Anhang I der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie; außerdem geschützt nach Art. 13d Bayerisches Naturschutzgesetz¹⁾ sind typisch für sommerwarm-/winterkalte, gemäßigt-kontinentale (= subkontinentale) Gebiete, in denen:

- die Humidität für Hochmoorwachstum noch nicht ausreicht und die Moorbildung daher nicht über ein Übergangsmoorstadium hinauskommt, typische Kiefernmoorwälder auf sauer-nährstoffarmem Nieder- bis Zwischenmoor findet man z. B. im Mittelfränkischen Becken, im Oberpfälzer Becken- und Hügelland und im Oberpfälzer Wald;
- sehr hohe Sommerniederschläge das Hochmoorwachstum bereits ermöglichen, jedoch auf Grund hoher potentieller Verdunstung immer wieder sommerliche Austrocknungsphasen auftreten, die Oberflächenabtrocknung behindert das Torfmoos- und fördert das Baumwachstum (Luftzutritt !); solche Wald-Hochmoore („Kiefern-Filze“) sind typisch für die sommerwärmsten Beckenlagen des Jungmoränengebietes z. B. Schönramer Filz im tief ausgeschürften Stammbecken des Salzachgletschers, Abbildung 4).

In den subkontinentalen Waldmooren ist die langlebige Kiefer (*Pinus sylvestris*) neben der Moorbirke die unangefochtene Hauptbaumart. Dagegen dominiert im westlichen Alpenvorland auf entsprechenden Standorten die Spirke (*Pinus rotundata*). Hier herrscht der auf stark saure, sehr nährstoffarme Verhältnisse deutende Moorbeeren-Kiefern-Moorwald (*Vaccinio uliginosi-Pinetum*) mit beerstrauchreicher Bodenvegetation aus Moor-, Heidel- und Preiselbeere vor. Vereinzelt kommt auf basenreicheren Nasstorfen ein stärker minerotrophenter Typ vor (WAGNER 2000).

¹⁾ Im Folgenden verwendete Abkürzungen: Lebensraumtyp = LRT, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie = FFH-RL, Bayerisches Naturschutzgesetz = BayNatSchG

Kiefernwälder außerhalb der Moore

Kiefernwälder außerhalb der Moore sind in Bayern in warmen Hügelländern, in Mittelgebirgen und in den Alpen zu finden (Jahresmitteltemperaturen zwischen + 5,5 und + 9,0 °C). Ähnlich wie Eichenwälder stocken sie auf sehr nährstoffarmen und (wechsel-) trockenen oder (wechsel-)feuchten Extremstandorten. Diese sind hinsichtlich ihrer Bodenreaktion entweder als äußerst sauer („Sauerhumus-Föhrenwälder“) oder als alkalisch („Carbonat-Föhrenwälder“) einzustufen. Wuchshöhen und Zuwachsleistungen sind gering. Vor allem Stickstoff (N) und Phosphor (P) begrenzen das Wachstum. Auf Grund des angespannten Wasserhaushaltes und Nährstoffmangels können in Kiefernwald-Ökosystemen nur „konkurrenzflüchtende“ Ernährungsspezialisten leben. Da die Mineralisationsrate der organischen Substanz sehr niedrig sowie der N- und P-Vorrat des Bodens gering ist, erschließt die Symbiose mit Pilzen (Mykorrhiza) zusätzlich benötigte Nährstoffquellen. Vielfach handelt es sich bei Kiefernwäldern außerhalb der Moore



Abbildung 4: Kiefern-Moorwald im Schönramer Filz (Foto: J. Ewald)



Abbildung 5: Weißmoos-Kiefernwald im Naturwaldreservat Dürrnberg (Foto: M. Feulner)

um Waldsukzessions- oder Walddegradationsstadien, die nach Aufbau von Humusvorräten relativ rasch zu anderen Waldgesellschaften umgebaut werden können.

Flechtenreiche Sauerhumus-Kiefernwälder

Artenarme Sauerhumus-Kiefernwälder des Binnenlandes (*Leucobryo-Pinetum*, Abbildung 5) siedeln autochthon auf stark sauren, sehr nährstoffarmen Quarzsanden und -kiesen sowie auf quarzitischen Blockköpfen und Felskuppen mit extremem Wasserhaushalt. Lichte, flechtenreiche Ausbildungen auf Trockenstandorten (*Leucobryo-Pinetum cladonietosum*) fallen unter den LRT 91T0 gemäß Anhang I FFH-RL und den Art. 13d BayNatSchG. Als seltene Reliktart können sie z. B. *Cladonia stellaris* beherbergen. Ihnen ähneln die auf Dünen der Ostseeküste beheimateten Krähenbeer-Kiefernwälder (*Empetro-Pinetum*), zum Teil ebenfalls in flechtenreicher Ausbildung.

Steppen-Kiefernwälder

Eine eigenständige Artenverbindung mit aus Osteuropa und Zentralasien einstrahlenden Pflanzenarten besitzen die grasreichen Kiefern-Steppenwälder (*Pyrolo-Pinetum*) auf stark sauren, nährstoffarmen, aber glimmer- oder kalkführenden Sanden sowie auf ultra-



Abbildung 6: Schneeheide-Kiefernwald an einem Rutschhang im Oberen Isartal bei Straßlach (Foto: J. Ewald)

basischem Serpentin. Zusammen mit den Dolomit-Kiefernwäldern der Nördlichen Frankenalb (*Buphthalmo-Pinetum*) werden die bayerischen Vorkommen gemäß Anhang I der FFH-RL dem LRT 91U0 „Kiefernwälder der sarmatischen Steppe“ zugeordnet und sind zugleich nach Art. 13d BayNatSchG geschützt.

Schneeheide-Kiefernwälder

Diese Carbonat-Kiefernwälder (*Calamagrostio-Pinetum*, HÖLZEL 1996; Abbildung 6) kommen überwiegend auf (wechsel-)trockenen Böden in montanen Lagen (Schotter der Voralpenflüsse, föhnbeeinflusste Felshänge, Mergelrutschhänge), die für trockenheitsangepasste Laubbäume zu kühl (zu kurze Vegetationszeit, zu kalte Winter), für Baumarten des kühlen Berglandklimas zu trocken oder zu unreif sind. Sie weisen eine an spezialisierten Alpenpflanzen reiche Bodenvegetation auf. Einzelne Vorposten findet man auf Kalkfelsen im südlichen Jura. Schneeheide-Kiefernwälder fallen nicht unter den Anhang I der FFH-RL, wohl aber unter den Art. 13d BayNatSchG.

Sonstige Waldgesellschaften mit Kiefer

Über die dargestellten Waldgesellschaften hinaus kommt die Kiefer als Neben- und Pionierbaumart auch in einigen anderen Waldgesellschaften vor, vor allem in solchen, die in engem räumlichen oder zeitlichen Kontakt mit natürlichen Kiefernwäldern stehen:

- Auf mineralischen Nassstandorten und in Missen im Preiselbeer-Tannenwald (*Vaccinio vitis-idaeae-Abietetum*);
- auf sauer-nährstoffarmen Sandstandorten im Preiselbeer- bzw. Waldreitgras-Eichenwald (*Vaccinio vitis-idaeae- bzw. Calamagrostio arundinaceae-Quercetum*);
- auf steilen, flachgründigen Carbonathängen im Alpenraum im Blaugras-Buchenwald (*Seslerio-Fagetum*), auf Schottern der Alpenvorlandflüsse im Grauerlen-Auwald (*Alnetum incanae*);
- auf Dolomitmücken in der Fränkischen Alb im Seggen-Buchenwald (*Carici-Fagetum*).

Kiefernforste

Die großen Kiefernauflorstungen des 19. und 20. Jahrhunderts resultieren aus den vorausgegangenen großflächigen und langanhaltenden Devastierungen. Die Kiefer leitet auf kolloidarmen Fels- oder Sandböden von Natur aus die Wiederbewaldung ein und vermag mit den im Oberboden verfügbaren Nährstoffvorräten hinreichende Wuchsleistungen zu erbringen. Wald-

zerstörung, Verheidung oder Vergrasung mit der Folge beschleunigter Auswaschung sowie zusätzlichem Nährstoffexport durch Streurechen, Plaggenhauen etc. führt zu extremer Standortdegradation (ELLENBERG 1996).

Vor allem in den Sandgebieten Bayerns wurde die Kiefer in Monokulturen angebaut. Die auf diese Weise heraufbeschworenen Katastrophen – Schädlingsbefall, Waldbrand und Schneebruch – (NÜBLEIN 1987) sowie die anschließende Aufforstung mit wenig geeigneten Provenienzen schufen einen schwer zu durchbrechenden Teufelskreis. Auf Grund dieser Vorgeschichte ist die Kiefer die derzeit (noch) am stärksten überrepräsentierte Baumart Bayerns; ihr aktueller Bestockungsanteil ist um ein vielfaches höher als ihr natürlicher.

In Wuchsräumen mit sehr nachhaltiger Bodendegradation auf schlecht gepufferten Sandböden und fehlenden Laubholz-Samenbäumen (z. B. Oberpfälzer Becken- und Hügelland) ist eine Rückwandlung in ursprünglich natürliche Laubmischwälder nur sehr langsam und schrittweise über mehrere Waldgenerationen möglich.

Kiefernwälder – anfällig gegenüber Klimawandel ?

Kiefern-Moorwälder

In den bayerischen Mooren ist auf Grund der austrocknenden Effekte des Klimawandels mit tiefgreifenden Veränderungen zu rechnen, bei denen Kiefern-Moorwälder Gewinner und Verlierer zugleich sein könnten. Die typischerweise kreisförmig angeordnete Zonation aus Moorrandwäldern, Gebüschern und offenem Moor dürfte sich nach innen verschieben. Im offenen Moorinneren könnten immer mehr Kiefern aufwachsen, Spirkenbestände von Waldkiefern, Waldkiefern von Fichten sowie Moorrand-Fichtenwälder von Tanne und Buche unterwandert werden.

Kiefernwälder außerhalb der Moore

Können die stresstolerante Kiefer und ihre Waldgesellschaften von der im Zuge des Klimawandels zunehmenden Sommertrockenheit profitieren? Für das warme Hügelland Bayerns ist dies keineswegs zu erwarten. Man darf nicht vergessen, dass die Waldkiefer im Gegensatz zu ihren im Mittelmeergebiet verbreiteten Verwandten eine überwiegend nordisch-kontinental verbreitete Baumart ist.

Vielmehr ist damit zu rechnen, dass Kiefernwälder im westlichen und zentralen Mitteleuropa unter dem

Einfluss der Eutrophierung mit Stickstoff als zweitem großen Einflussfaktor neben der Erwärmung weiter zurückgehen werden. Viele heutige Kiefernwaldvorkommen entstammen der „historischen Kulturlandschaft“ und resultieren aus jahrhunderterlanger Übernutzung, in der ihnen die Rolle einer Nährstoffquelle für die vormoderne Landwirtschaft zukam. Seit dem Wegfall von Streunutzung, Waldweide und Kahlschlag veränderten sich Kiefernwälder wegen der steigenden Stickstoffeinträge aus der Luft rascher als andere Waldtypen. Kiefernwaldtypische Arten wie Flachbärlappe (*Diphysium spp.*) und Wintergrün-Gewächse (*Pyrola*, *Chimaphila*, *Monotropa*) gehören zu den am stärksten gefährdeten Waldpflanzen Mitteleuropas.

An Trockenstandorte in warmen Lagen mit langer Vegetationszeit und milden Wintern sind laubabwerfende Eichen- und Eichenmischwälder (vor allem *Quercetum pubescentis-petraeae*) viel besser angepasst. Das kann man sehr gut in südeuropäischen bis kleinasiatischen Gebirgszügen beobachten. Dort dominieren Laubbäume sommerwarme (submediterrane bis subeuklidische) Lagen, sofern nicht regelmäßige Feuer submediterrane Kiefernarten wie Schwarzkiefer oder Strandkiefer fördern. Dagegen kommt die Waldkiefer im Mittelmeerraum ausschließlich in höheren (alpinen bzw. oromediterranen) Gebirgslagen vor, deren winterkalte Klimate kein geeignetes Modell für den Klimawandel in Bayern darstellen.

In der südlichen Oberrheinebene kann man beobachten, wie die Kiefer bei Jahresmitteltemperaturen über 9,8 °C kümmerlich ist. „Dass die Kiefernplantagen hier standortsfremd sind, macht schon ihre Schädlingsanfälligkeit deutlich; sie springt auch dem Laien ins Auge, wenn man ihn auf die krummen Äste, die durch den Fraß des Posthornwicklers entstanden sind, aufmerksam macht“ (WILMANN 1998). Gelegentliche Heißluftfälle von der Burgundischen Pforte her kennzeichnen die wärmste Region Deutschlands. Die natürlichen Waldgesellschaften dort sind bezeichnenderweise keine Kiefern-, sondern Laubwälder: in der Trockenaue des südlichen Oberrheins Weißseggen-Winterlindenwälder (*Carici albae-Tilietum*) anstatt der Schneeheide-Kiefernwälder, auf lokalklimatisch noch wärmeren sonnexponierten Trockenstandorten am Kaiserstuhl submediterrane Flaumeichen-Wälder (*Quercetum pubescentis*).



Abbildung 7: Tote Waldkiefer mit Kiefernmistel-Befall bei Brig (Foto: A. Rigling, WSL Birmensdorf)



Abbildung 8: Baumartenwechsel bei Visp: Die Waldkiefern sterben ab, Flaumeichen und andere Laubbäume breiten sich aus. (Foto: A. Rigling, WSL Birmensdorf)

Ein weiteres Beispiel für den Rückzug der Kiefer aus sommerwarm-trockenen Gebieten finden wir im Schweizer Kanton Wallis, den das große Quertal der Rhone prägt. Wie andere große Quertäler der Alpen zählt das zentrale Wallis zu den inneralpinen Trockentälern. Abgeschirmt von den hohen Bergketten im Norden, Süden und Westen und bei verhältnismäßig geringer Höhenlage ist das Wallis niederschlagsarm und vor allem im Sommer sehr warm. Mit großem Erfolg wird dort Weinbau betrieben. An den Talflanken waren bis in die jüngste Vergangenheit Waldkiefernwälder weit verbreitet. Wie in anderen inneralpinen Trockentälern wurden seit einigen Jahrzehnten auch im Wallis erhöhte Absterberaten der Waldkiefer beobachtet. Auf Grund des Klimawandels nahmen auch dort die Sommer- und Wintertemperaturen sowie die Anzahl heißer Tage in der Vergangenheit stark zu. Die Niederschläge blieben ziemlich unverändert. Heiße, trockene Sommer schwächen die Kiefern. Hinzu kommen äußerst durchlässige, steinige Böden mit geringem Wasserspeichervermögen. Die Bäume leiden häufig unter Trockenstress.

An den absterbenden Kiefern werden vermehrt Schädlinge beobachtet. Die Kiefernmistel befällt die Kiefer im

Wallis sehr häufig. Ihre Verbreitungsgrenze hängt vom Klima ab. Mistelbefall führt zu einer Reduktion der Nadelmasse und in Kombination mit Trockenheit zu vermehrtem Absterben (Abbildung 7).

In vielen Kiefernbeständen des Wallis findet zur Zeit ein Baumartenwechsel statt (RIGLING et al. 2006). Die Kiefer weist hohe Absterberaten auf, während sich Laubbäume wie die wärmeliebende und trockenheitstolerante Flaumeiche ausbreiten (Abbildung 8). Der Baumartenwechsel lässt sich mit alten Vegetationsaufnahmen, Luftbildern und Inventurdaten klar belegen. Die eindringenden Laubbäume setzen die lichtbedürftige Kiefer unter Druck. Trockenheit schwächt ihre Konkurrenzkraft zusätzlich. Man erwartet, dass sich mittelfristig viele Kiefern-Flaumeichen-Mischbestände nach Ausfall der Kiefer in Flaumeichenbestände umwandeln.

Das Beispiel der absterbenden Kiefernbestände im Wallis zeigt uns, dass die Waldkiefer mitnichten eine Baumart des warmen und trockenen Südens ist. Vielmehr befindet sie sich in den Trockentälern am Rande ihrer klimatischen Toleranz. Eine aufeinanderfolgende Reihe wärmerer Jahre reichte unter diesen besonderen Ver-

hältnissen aus, das Gleichgewicht von Kiefern und verschiedenen Parasiten zuungunsten des Wirtes zu verschieben. Die Kiefer zieht sich relativ rasch aus den für sie unwirtlich gewordenen Gebieten zurück und überlässt besser angepassten Baumarten das Terrain.

Die einzigen möglichen Arealgewinne könnten „Kiefernwälder außerhalb der Moore“ in den Alpen verzeichnen: Eventuell vermag sich im Standortsbereich von Schneeheide-Kiefernwäldern (Verb. *Erico-Pinion*) die Waldkiefer ebenso wie in den Mooren auf Kosten von Spirke und Latsche auszubreiten.

Zusammengefasst verdeutlicht Abbildung 9 die Problematik der Waldkiefer im Klimawandel. Schon unter den jetzigen klimatischen Bedingungen weist nur ein Teil der Landesfläche Bayerns Übereinstimmung mit der Klimahülle (KÖLLING et al. 2007) der Kiefer auf. Die beste Übereinstimmung zeigen die trocken-kalten Gebiete Bayerns wie z. B. die Beckenlandschaften der Oberpfalz und Oberfrankens. Auffälligerweise meidet die Kiefer warm-feuchte Regionen konsequent. Hier beeinträchtigen Schneebruch und Schaderreger (Pilze, Insekten) das Gedeihen. Nach dem Klimawandel wird sich die Situation der Kiefer in Bayern weiter verschlechtern (rote Linie in Abbildung 9). Viele Landesteile sind dann zu warm, um ausreichend vitale Kiefern zu tragen. Zu einer ähnlichen Einschätzung der Situation der Kiefer unter zukünftigen Klimabedingungen kommen SYKES und PRENTICE (1995) sowie SYKES et al. (1996). Sie modellierten ein Zurückweichen des Kiefernareals nach Nordosten.

Die Kiefer ist ein Baum der kalt-trockenen Klimate, außerdem stellt sie nur geringe Ansprüche an die Was-

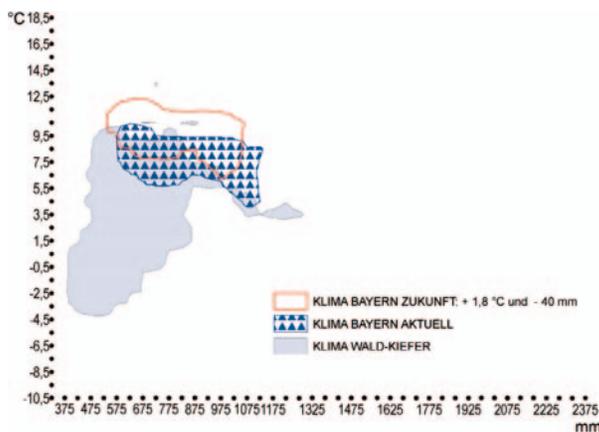


Abbildung 9: Klimahülle der Kiefer (hellblau) und Bereich der in Bayern gegenwärtig (weiß-blau) und zukünftig (rot, Szenario +1,8 °C und -40 mm) vorkommenden Jahrestemperaturen und Jahresniederschlagssummen

serpeicherfähigkeit der Böden. Daraus kann man jedoch auf keinen Fall auf eine geringe Anfälligkeit gegenüber den wärmeren und trockeneren Klimaten, wie sie uns der Klimawandel bescheren wird, schließen. Vielmehr zählt die Waldkiefer gemeinsam mit Europäischer Lärche und Fichte zu den künftig anfälligeren Baumarten Bayerns und Deutschlands (KÖLLING und ZIMMERMANN 2007).

Literatur

BOHN, U.; NEUHÄUSL, R.; unter Mitarbeit von HETTWER, C.; GOL-LUB, G.; WEBER, H. (2000/2003): Karte der natürlichen Vegetation Europas/Map of the Natural Vegetation of Europe, Maßstab/Scale 1 : 2 500 000, Teil 1: Erläuterungstext mit CD-ROM; Teil 2: Legende; Teil 3: Karten. Münster (Landwirtschaftsverlag)

ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. 5. Auflage, 1096 S., Stuttgart

HÖLZEL, N. (1996): Schneeheide-Kiefernwälder in den mittleren Nördlichen Kalkalpen. Laufener Forschungsberichte 3, Laufen, 192 S.

KÖLLING, C.; ZIMMERMANN, L. (2007) Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Gefahrstoffe/Reinhal-tung der Luft 6, S. 259–268

KÖLLING, C.; ZIMMERMANN, L.; WALENTOWSKI, H. (2007) Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? Entscheidungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern. Allgemeine Forstzeitschrift/Der Wald 62, im Druck

MAYER, H. (1992): Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. 4. Auflage, 522 S., Stuttgart

NÜSSLEIN, H. (1987): Die Forstwirtschaft. In: ANL (Hrsg.): Die Region 7 – Industrieregion Mittelfranken. Laufener Seminarbe-träge 5, S. 53–63

RIGLING, A.; DOBBERTIN, M.; BÜRGI, M.; GIMMI, U.; GRAF PANNATIER, E.; GUGERLI, F.; HEINIGER, U.; POLOMSKI, J.; REBETZ, M.; RIGLING, D.; WEBER, P.; WERMELINGER, B.; WOHLGEMUTH, T. (2006): Verdrängen Flaumeichen die Walliser Waldföhren? Merkbl. Prax. WSL Birmensdorf, 16 S.

RIGLING, A.; DOBBERTIN, M.; BÜRGI, M.; FELDMEIHER-CHRISTE, E.; GIMMI, U.; GINZLER, C.; GRAF, U.; MAYER, P.; ZWEIFEL, R.; WOHLGE-MUTH, T. (2006): Baumartenwechsel in den Walliser Wald-föhrenwäldern. Forum für Wissen, WSL Birmensdorf, S. 23–33

SYKES, M.T.; PRENTICE, I.C. (1995) Boreal Forest futures: Model-ing the controls on tree species range limits and transient responses to climate change. Water, Air and Soil Pollution 82, S. 415–428

SYKES, M.T.; PRENTICE, I.C.; CRAMER, W. (1996) A bioclimatic model for the potetial distributions od north European tree species under present and future climates. Journal of Biogeo-graphy 23, S. 203–233

WALENTOWSKI, H.; EWALD, J.; FISCHER, A.; KÖLLING, C.; TÜRK, W. (2006): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. Ein auf geobotanischer Grundlage entwickelter Leitfaden für die Praxis in Forstwirtschaft und Naturschutz. 2., überarbeitete Auflage, 441 S., Freising

WAGNER, A.; WAGNER, I. (2000): *Vaccinio uliginosi-Pinetea sylvestris* Passarge et Hofmann 1968. Schriftenreihe für Vegetationskunde 35, S. 79–81, Bonn

WILMANN, O. (1998): Die Naturräume und ihre Vegetation. In: REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG (Hrsg.): Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Freiburg, S. 49–98, Sigmaringen

Mittag

*Am Waldessaum träumt die Föhre,
am Himmel weiße Wölkchen nur,
es ist so still, daß ich sie höre,
die tiefe Stille der Natur.*

*Rings Sonnenschein auf Wies' und Wegen,
die Wipfel stumm, kein Lüftchen wach,
und doch, es klingt, als ström' ein Regen
leis tönend auf das Blätterdach.*

THEODOR FONTANE

Keywords

Range development, aut-ecology, phytosociology, climate envelopes, futural prospects

Summary

Extensive “pre-boreal” pine forests represent the earliest stage of original resettlement of forests within the postglacial climate- and vegetation history. Sparsely stocked, they continued in harbouring light-demanding geoelements from the preceding late-glacial steppe-tundra.

Under climatic conditions of the presence the range of pine forests encloses wintercold nordic and subcontinental regions. Remarkable relictic occurrences are found on exposed sites (in winter widely snow-free, in spring-time rapidly warming up) in pre-alpine foehn valleys of the Northern Alps and semiarid-subhumid valleys of the Inner Alps.

Certainly the pine is a robust pioneer, well adapted to damages by frosts, drought, forest fires, and nutrient poor conditions. However, under warm-humid, for the future more winter-mild conditions as they are calculated for the southern part of Central Europe by regionalized models of global climate simulations this conifer is supposed to loose further competitiveness against deciduous trees and to get more susceptible for diseases. The survival of relictic occurrences (e.g. in the Switzerland canton Wallis) is in question.