

Wie reagieren verschiedene Herkünfte der Kiefer auf Trockenheit?

Auswertung des Herkunftsversuches IUFRO 1982 zeigt Bandbreite der Reaktion

Steffen Taeger, Christian Zang, Mirko Liesebach, Volker Schneck und Annette Menzel

Unter den sich derzeit wandelnden Klimabedingungen ist insbesondere mit der Zunahme extremer Witterungsereignisse zu rechnen. Gerade solche Extremereignisse haben großen Einfluss auf das Wachstum und das Überleben unserer Waldbestände. Die wichtigste Anpassungsmaßnahme ist die Wahl der geeigneten Baumarten. Aufgrund der erheblichen innerartlichen Unterschiede ist hierbei jedoch zwingend die »Herkunftsfrage« zu beachten. Unsere Ergebnisse zeigen neben einer besonderen Anpassung südlicher Herkünfte an Trockenheit eine gute Eignung lokaler Herkünfte der Waldkiefer.

Durch den prognostizierten Klimawandel wird es zu einer weiteren Zunahme der Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts kommen, unabhängig davon, welches Szenario man dabei betrachtet (IPCC 2007). In Deutschland werden außerdem Verschiebungen in der saisonalen Niederschlagsverteilung erwartet, mit einer Abnahme der Niederschläge während des Sommers und einer Zunahme während des Winters (Spekat et al. 2007). Zusätzlich werden Extremereignisse in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmen und die Forstwirtschaft vor

neue Herausforderung stellen (Beniston et al. 2007). Eine der wichtigsten Anpassungsmöglichkeiten der Forstwirtschaft an den Klimawandel stellt die Baumartenwahl dar. Aber auch innerhalb der Baumarten – auf Ebene der Herkünfte – findet man deutliche Unterschiede bezüglich Wuchsformen, Wachstum oder der Reaktion auf Klimabedingungen. Herkunftsversuche, die im Forstbereich eine lange Tradition besitzen, gewinnen daher vor dem Hintergrund der Klimaveränderungen wieder neu an Bedeutung (Mátyás 1996).

Insbesondere bei der Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) ist dies äußerst spannend, denn innerhalb ihres Verbreitungsgebietes – dem größten unserer heimischen Baumarten – muss sie sich auf verschiedenartigen Standorten mit unterschiedlichsten Klimabedingungen zurechtfinden. Das erreicht die Waldkiefer durch eine große innerartliche genotypische Variation und große phänotypische Plastizität (Schütt und Stimm 2006). Wenn diese Faktoren nicht berücksichtigt werden, ist die Kiefer nach dem Ansatz der Klimahülle für die Zukunft als nicht anbaueignend eingestuft (Kölling 2007). Andere Untersuchungsergebnisse weisen dagegen auf eine gute Anpassung an extreme Bedingungen (z. B. Trockenheit) im Vergleich zu unseren übrigen Hauptbaumarten hin (Beck 2010; Zang 2012). Aus diesem Grund sollte die Diskussion über die Eignung der Kiefer um den wesentlichen Punkt der »Herkunftsebene« ergänzt werden. Dazu wurden im Projekt KLIP 10 »Trees in an extreme future« die bereits vorhandene Anpassung und die zukünftige Anpassungsfähigkeit verschiedener Kiefernherkünfte insbesondere im Hinblick auf extreme Witterungsereignisse analysiert. Neben Experimenten an Jungpflanzen im Gewächshaus (Taeger et al. 2013a) und im Freiland (Taeger et al. 2014) untersuchten wir die Reaktionen unterschiedlicher Waldkiefernherkünfte auf Extremereignisse an dem internationalen Kiefern-Herkunftsversuch IUFRO 1982 (Taeger et al. 2013b).



Abbildung 1: Ausgewählte Herkünfte und Versuchsstandorte mit dem natürlichen Verbreitungsgebiet der Kiefer nach EUFORGEN 2009 (Taeger et al. 2013b, Abdruck aller Abbildungen mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages)

Tabelle 1: Übersicht über die ausgewählten Herkünfte und Angaben zu den Ursprungsbeständen

Nr.	Land	Herkunft	Höhe (m ü. NN)	MAT (°C)	PPT (mm)
RUS2	Rußland	Kondežskoe	70	3,3	703
LV4	Litauen	Silene	165	5,5	650
PL6	Polen	Supra I	160	6,9	571
PL9	Polen	Bolevice	90	8,5	554
D10	Deutschland	Neuhaus	40	8,5	567
D11	Deutschland	Betzhorn	65	8,8	626
D12	Deutschland	Lampertheim	97	10,1	643
F14	Frankreich	Hagenau	157	10,0	657
S15	Schweden	Sumpberget	185	4,6	660
CZ16	Tschechien	Zahorie	160	9,5	623
BiH19	Bosnien-Herzegowina	Prusačka Rijeka	885	8,1	1009

MAT Jahresdurchschnittstemperatur; PPT Mittlerer Jahresniederschlag

Der Herkunftsversuch IUFRO 1982

Im Rahmen des internationalen Herkunftsversuchs IUFRO 1982 wurden ursprünglich mit 20 Herkünften der Kiefer Versuchsflächen in fünf Ländern angelegt. Eine ausführliche Beschreibung des gesamten Versuchs und Auswertungen früherer Untersuchungen finden sich bei Giertych und Oleksyn (1992), Schneck (2007) und Stephan und Liesebach (1996). Für unsere Untersuchung wählten wir elf Herkünfte an den zwei deutschen Standorten Waldsiefersdorf (östlich von Berlin) und Bensheim (nördlich von Mannheim) aus (Abbildung 1, Tabelle 1). Beide Standorte stocken auf Braunerden aus reinem Sand. Waldsiefersdorf (52 m ü. NN) befindet sich mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,7 °C und Jahresniederschlägen von 538 mm am warm-trockenen Rand der Klimahülle der Kiefer; Bensheim (94 m ü. NN) mit 10,7 °C Jahresdurchschnittstemperatur und Jahresniederschlägen von 603 mm liegt schon außerhalb ihrer Klimahülle. Die Vegetationsperiode ist in Bensheim mit 295 Tagen 33 Tage länger als in Waldsiefersdorf.

Die Versuche wurden in Waldsiefersdorf im Jahr 1984 mit zweijährigen Pflanzen und in Bensheim 1986 mit dreijährigen Pflanzen angelegt. Jede Herkunft wurde in vier Blöcken (je 11 x 11 Bäume) im Pflanzabstand 1,5 x 1,5 m gepflanzt. Beide Bestände waren bis zu unseren Messungen noch nicht durchforstet, in Bensheim wurden im Jahr 2008 Rückegassen angelegt.

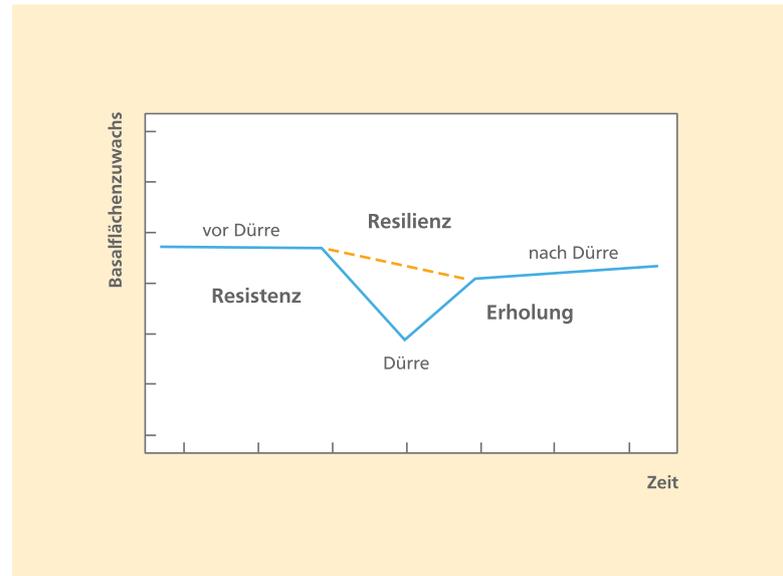


Abbildung 2: Toleranzindizes (verändert nach Lloret et al. 2011)

Methodik

Da das Zuwachsverhalten von Bäumen als guter Indikator für ihre Vitalität gilt, lässt sich rückblickend anhand des Baumwachstums die Toleranz gegenüber vergangenen Extremereignissen analysieren (Eilmann und Rigling 2012). Neben der Messung von Baumhöhen und der Brusthöhendurchmesser wurden daher an insgesamt 142 Bäumen in Waldsiefersdorf und 132 Bäumen in Bensheim Stammscheiben in 1,30 m Höhe gewonnen und die Jahrringbreiten ermittelt. Um das jährliche Höhenwachstum zurückzuvorforschen, wurden die jährlichen Triebblängen aller Probestämme rückgemessen. Zusammen mit Klimadaten unmittelbar benachbarter Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes prüften wir für beide Standorte, welche Beziehung zwischen den dort herrschenden Witterungsparametern und dem Wachstum besteht. Mit dem Wasserhaushaltsmodell »Thorntwaite water balance model« (McCabe und Markstrom 2007) identifizierten wir für Bensheim das Jahr 2003 und für Waldsiefersdorf das Jahr 2006 als jeweils extremstes Trockenjahr. Die Wachstumsreaktion der Herkünfte auf diese Dürreextreme beurteilten wir dann mit Hilfe von Toleranzindizes nach Lloret et al. (2011) (Abbildung 2). Neben der *Resistenz* und der *Erholungsreaktion* berechneten wir die *Resilienz* als Verhältnis des Wachstums nach dem Dürreereignis zu dem Wachstum vor dem Dürreereignis (Betrachtungszeitraum: drei Jahre). Abschließend wurden die Herkünfte anhand der multivariaten Archetypenanalyse (Cutler und Breiman 1994) einer Gesamtbeurteilung unterzogen.

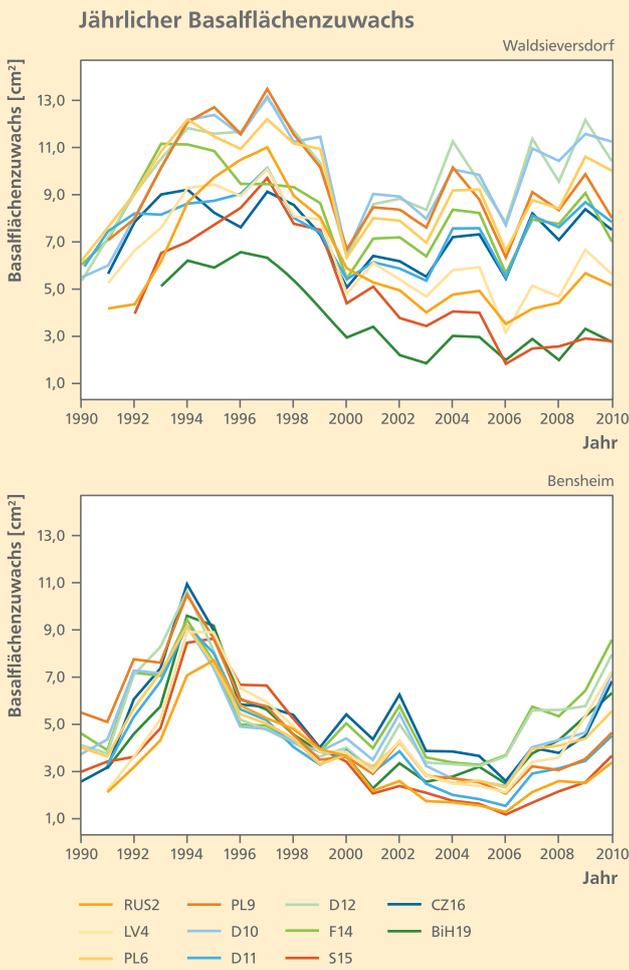


Abbildung 3: Jährlicher Basalflächenzuwachs aller Herkunftse an beiden Standorten; oben Waldsiefersdorf, unten Bensheim (Taeger et al. 2013b)

Klima beeinflusst Basalflächenzuwachs

Standortsunterschiede

Der jährliche Basalflächenzuwachs (jährlicher Kreisflächenzuwachs) unterscheidet sich besonders stark zwischen den Herkunftse in Waldsiefersdorf (Abbildung 3 oben). Im Gegensatz dazu können die dort wachstumskräftigeren Herkunftse aus Deutschland und Polen in Bensheim ihr Potenzial weniger deutlich zeigen (Abbildung 3 unten). Im Vergleich zu Waldsiefersdorf liegen die Zuwächse der Herkunftse in Bensheim trotz längerer Vegetationsperiode auf niedrigerem Niveau enger zusammen. Diese generellen Zuwachsunterschiede können hauptsächlich auf die klimatischen Bedingungen beider Standorte zurückgeführt werden. Trotzdem wird auch in Bensheim von fast allen Herkunftse die I. Bonität nach der Ertragstafel von Wiedemann erreicht.

Resilienz der Herkunftse

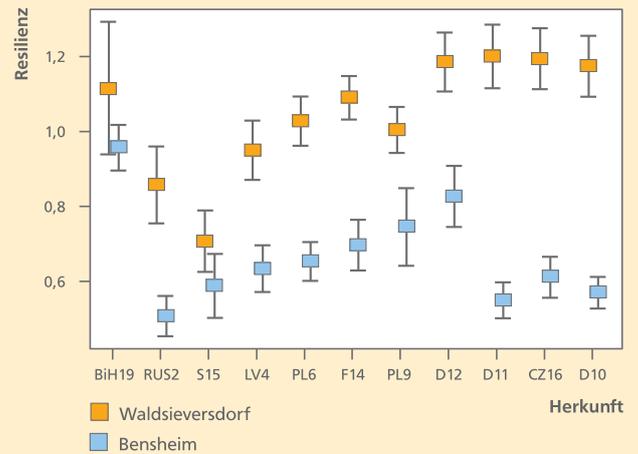


Abbildung 4: Resilienz der Herkunftse an beiden Versuchsstandorten (Taeger et al. 2013b)

Frühsommer bestimmt Dickenwachstum

Wasserverfügbarkeit im Frühsommer des aktuellen Jahres ist besonders wichtig für das Dickenwachstum (Zang 2012). Ein Wasserdefizit zwischen Mai und Juli, berechnet als die Differenz aus potenzieller und aktueller Evapotranspiration, reduziert den Basalflächenzuwachs aller Herkunftse auf beiden Standorten signifikant. Ein schwächerer Zusammenhang besteht dagegen zwischen dem Wasserdefizit und dem Höhenwachstum. Denn neben den Witterungsbedingungen während der Streckung des Sprosses im Frühling ist für das Höhenwachstum auch die Phase der Knospenbildung im Vorjahr entscheidend.

Dauer und Zeitpunkt sind entscheidend

Bei der Untersuchung der Reaktion des Baumwachstums auf die beiden Dürrejahre wurde deutlich, wie sehr diese von der Dauer und des Zeitpunktes des Auftretens des Dürreereignisses abhängt. In Bensheim hatte das Extremjahr 2003 mit seiner lang andauernden Trockenheit in Verbindung mit dem zusätzlich trockenem Jahr 2004 eine deutliche Reduktion des Höhenzuwachses 2004 zur Folge. Im Gegensatz dazu war 2006 in Waldsiefersdorf vor allem der Frühsommer von extremer Trockenheit geprägt. Durch den dann aber weniger trockenem Spätsommer und einem ausreichend feuchten Frühjahr 2007 kam es hier nicht zu einem Einbruch im Höhenzuwachs.

Die Resilienz beschreibt das Verhältnis Basalflächenzuwachs nach zu Basalflächenzuwachs vor dem Dürreereignis. Die Kiefernherkunftse unterscheiden sich hinsichtlich ihres Resilienzverhaltens zwischen den beiden Standorten und Trockenjahren sehr deutlich (Abbildung 4). In Waldsiefersdorf erreichen die meisten Herkunftse nach dem Dürreereignis wieder ihr vorheriges Wachstumsniveau oder übertrafen die-

Tabelle 2: Ergebnis der Archetypen-Analyse

Nr.	Herkunft	Übereinstimmung mit erwünschtem Archetyp
D12	Lampertheim	1,00
D10	Neuhaus	1,00
F14	Hagenau	1,00
PL9	Bolewice	0,93
PL6	Supra I	0,89
CZ16	Zahorie	0,82
D11	Betzhorn	0,64
LV4	Silene	0,42
RUS2	Kondežskoe	0,02
S15	Sumpberget	0
BiH19	Prusačka Rijeka	0

ses sogar (Resilienz $\geq 1,0$). In Bensheim bleiben die Herkünfte im Mittel bei nur etwa 65 % des Zuwachses vor dem Dürreereignis. Auffällig ist das besonders gute Abschneiden der südlichen Herkunft aus Bosnien-Herzegowina (BiH19), die in Bensheim die höchste Resilienz auf das Trockenjahr 2003 zeigt. Sie ist offensichtlich an Trockenereignisse besonders angepasst. In Waldsiefersdorf übertreffen die deutschen Herkünfte und die tschechische Herkunft das Wachstumsniveau vor 2006 besonders deutlich. Insgesamt erscheinen auch die jeweils lokalen Herkünfte (Waldsiefersdorf D10, Bensheim D12) mit ihrer überdurchschnittlichen Resilienz als für diese Bedingungen gut gerüstet.

Lokale Herkünfte bestens angepasst

Die Betrachtung der Resilienz als relative Reaktion lässt das Zuwachsniveau der jeweiligen Herkunft unberücksichtigt. Um dies bei der Interpretation mit einzubeziehen, führten wir eine Archetypen-Analyse durch. Dabei wurde eine hypothetische Herkunft als »erwünschter Archetyp« errechnet, der alle erwünschten Eigenschaften einer geeigneten Herkunft in sich vereint: eine hohe Resilienz, ein hohes Höhen- und Durchmesserwachstum sowie ein großes Stammvolumen. Tabelle 2 zeigt die Übereinstimmung der beobachteten Herkünfte mit dem erwünschten Archetyp, die einfach als Ranking interpretiert werden kann. Da die besondere Anpassung an Trockenheit der Herkunft aus Bosnien-Herzegowina (BiH19) mit dem insgesamt niedrigsten Wachstum einhergeht, ist sie alles in allem als für Bayern ungeeignet einzustufen. Dies gilt auch für die nördlichen Herkünfte RUS2 und S15. Die höchste Übereinstimmung mit dem erwünschten Archetypen und damit die insgesamt beste Anpassung an die herrschenden Bedingungen weisen die lokalen Herkünfte D12 »Lampertheim« des Versuchsstandorts in Bensheim und D10 »Betzhorn« des Versuchsstandorts Waldsiefersdorf zusammen mit der französischen Herkunft F14 auf. Die Ergebnisse bestätigen die Bedeutung lokaler Effekte für spezifische Anpassungen (Alia et al. 2001).

Fazit

Die Ergebnisse demonstrieren eindrücklich die innerartliche Variation der Waldkiefer. Die Herkunftsfrage ist deshalb in der Diskussion über zukünftige Baumarteignungen unbedingt zu berücksichtigen (Konnert 2007). Obwohl wir für die südliche Herkunft BiH19 eine spezielle Anpassung an Trockenheit nachweisen können, dürften ihr insbesondere lokale Herkünfte weiterhin überlegen sein, da neben der physiologischen Trockenheitstoleranz auch der ökonomische Aspekt der Ertragsleistung für die Beurteilung der Baumarteignung bei Klimawandel herangezogen werden muss.

Literatur

- Alia, R.; Moro-Serrano, J.; Notivol, E. (2001): Genetic Variability of Scots Pine (*Pinus sylvestris*) Provenances in Spain: Growth Traits and Survival. *Silva Fennica* 35, S. 27–38
- Beck, W. (2010): Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf den Waldzustand in Deutschland – Waldwachstumskundliche Ergebnisse der Studie im Auftrag des BMELV. In: Nagel, J. (Hrsg.): DVFFA- Sektion Ertragskunde, Beiträge zur Jahrestagung 2010, S. 56–65
- Beniston, M.; Stephenson, D.B.; Christensen, O.B.; Ferro, C.A.T.; Frei, C.; Goyette, S.; et al. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change* 81, S. 71–95
- Cutler, A.; Breiman, L. (1994): Archetypal analysis. *Technometrics* 36, S. 338–347
- Eilmann, B.; Rigling, A. (2012): Tree-growth analyses to estimate tree species' drought tolerance. *Tree Physiology* 32, S. 178–187
- EUFORGEN (2009): Distribution of Scots pine (*Pinus sylvestris*). www.euforgen.org. Abgerufen am 20. April 2012
- Giertych, M.; Oleksyn, J. (1992): Studies on genetic variation in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) coordinated by IUFRO. *Silvae Genetica* 41, S. 133–143
- IPCC (Hrsg.) (2007): Fourth assessment report: climate change 2007: Working group I report. The physical science basis, Geneva, Switzerland
- Kölling, C. (2007): Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. *AFZ-Der Wald* 62, S. 1242–1245
- Konnert, M. (2007): Bedeutung der Herkunft beim Klimawandel. *LWF aktuell* 60, S. 38–39
- Lloret, F.; Keeling, E.G.; Sala, A. (2011): Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120, S. 1909–1920
- Mátyás, C. (1996): Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests. *Euphytica* 92, S. 45–54
- McCabe, G.J.; Markstrom, S. (2007): A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. U.S. Geological Survey Open-File report, 6 S.
- Schneck, V. (2007): Wachstum von Kiefern unterschiedlicher Herkunft - Auswertung der Kiefernherkunftsversuche im nordostdeutschen Tiefland. In: Ministerium für Ländliche Entwicklung, U.u.V.(L.B. (Hrsg.), Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. XXXII. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe XXXII, S. 374–382

Waldbirkenmaus im Bayerischen Wald wieder entdeckt



Foto: Dr. Richard Kraft

Ein außergewöhnlicher Fund ist Kleinsäugerexperten im Auftrag des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) im Bayerischen Wald gelungen: In der Gemeinde Neureichenau (Lkr. Freyung-Grafenau) wurden zwei Exemplare der extrem seltenen Waldbirkenmaus (*Sicista betulina*) wiederentdeckt. Bei den gefundenen Tieren handelt es sich um ein erwachsenes und ein Jungtier. Die beiden männlichen Mäuse sind nur 6,5 bzw. 5 cm groß, ihre Schwänze sind gut doppelt so lang und sind eine wichtige Kletterhilfe. Ein weiteres eindeutiges Merkmal ist der schwarze Aalstrich auf dem Rücken. Der Entdeckung gingen systematische Untersuchungen im Rahmen der europäischen Fauna-Flora-Habitat-(FFH-)Richtlinie voraus. Begleitet wurden diese von Mitarbeitern der Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald und den Bayerischen Staatsforsten, Forstbetrieb Neureichenau. Auch die örtliche Bevölkerung hat durch Hinweise an der Suche nach einem der seltensten Säugetiere Deutschlands mitgewirkt.

Seit ihrem ersten Nachweis in Bayern im Jahre 1950 wurde die Waldbirkenmaus lediglich drei Mal im Landkreis Freyung-Grafenau (zuletzt 1994) und drei Mal im Landkreis Oberallgäu (zuletzt 2000) gefunden. Weitere Nachweise in Deutschland sind nur aus Schleswig-Holstein bekannt. Die Waldbirkenmaus war während der letzten Eiszeit (Würm) zwischen dem Nordrand der Alpengletscher und dem Südrand der skandinavischen Gletscher weit verbreitet. Heutzutage ist sie ein Charaktertier der Wald- und Waldsteppenzone Nordeuropas und Asiens. Das geschlossene Verbreitungsgebiet reicht von Südfinnland, den Baltischen Staaten, Ostpolen und Weißrussland nach Osten bis zum Ural und Kaukasus. Die jüngste Wiederentdeckung im Bayerischen Wald liegt tiergeographisch am westlichen Rand der Hauptverbreitung dieser Art.

In der Roten Liste gefährdeter Tiere Bayerns ist die Waldbirkenmaus in Kategorie G eingestuft. Das bedeutet, ihr Status ist unbekannt, es wird aber von einer Gefährdung ausgegangen. Das LfU plant in den nächsten Jahren weitere Untersuchungen, um mehr über die Größe und den Zustand der Population sowie das Verbreitungsgebiet der seltenen Maus zu erfahren. Mit den Erkenntnissen können in Zukunft gezielt Hilfsmaßnahmen im Rahmen der bayerischen Biodiversitätsstrategie entwickelt werden. red

Schütt, P.; Stimm, B. (2006): *Pinus sylvestris* L. In: Lang, U.M. (Hrsg.) - Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie, 45th edn, Wiley-VCH Weinheim, 32 Seiten

Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hochaufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI – OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarien B1, A1B und A2. Projektbericht im Rahmen des F+E-Vorhabens 204 41 138 »Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland«. Mitteilungen des Umweltbundesamtes. Dessau

Stephan, B.R.; Liesebach, M. (1996): Results of the IUFRO 1982 Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Provenance Experiment in Southwestern Germany. *Silvae Genetica*. 45, S. 342–349

Taeger, S.; Fussi, B.; Konnert, M.; Menzel, A. (2013a): Genetic structure and drought induced effects on European Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. *European Journal of Forest Research* 132, S. 481–496

Taeger, S.; Zang, C.; Liesebach, M.; Schneck, V.; Menzel, A. (2013b): Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forest Ecology and Management*. 307, S. 30–42

Taeger, S.; Sparks, T.; Menzel, A. (2014): Effects of advanced temperature and drought manipulations on Scots pine seedlings. In Vorbereitung

Zang, C. (2012): Wachstumsreaktion von Baumarten in temperierten Wäldern auf Sommertrockenheit: Erkenntnisse aus einem Jahrringnetzwerk. *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft* 97, S. 29–46

Die Auswertung des Versuches erfolgte innerhalb des Projektes KLIP 10 »Trees in an extreme future« mit freundlicher Unterstützung des Thünen Instituts. Das Projekt wird von der Bayerischen Forstverwaltung finanziert.

Steffen Taeger ist Mitarbeiter der Abteilung »Boden und Klima« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft und promoviert am Fachgebiet Ökologiklimatologie der Technischen Universität München zum Thema »Auswirkungen extremer Witterungsereignisse auf Herkünfte der Kiefer«.

Dr. Christian Zang ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Ökologiklimatologie.

Dr. Mirko Liesebach ist Leiter, Volker Schneck ist Mitarbeiter des Forschungsbereichs Herkunfts- und Züchtungsforschung des Thünen Instituts für Forstgenetik.

Prof. Dr. Annette Menzel leitet das Fachgebiet Ökologiklimatologie der Technischen Universität München.

Korrespondierender Autor: Steffen.Taeger@lwf.bayern.de