

***Pinus sylvestris* – Wald-Kiefer (*Pinaceae*), Baum des Jahres 2007**

VEIT MARTIN DÖRKEN & ARMIN JAGEL

1 Einleitung

Die Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), auch Föhre, Kienbaum, Gemeine Kiefer oder Weiß-Kiefer genannt, ist aufgrund ihrer breiten ökologischen Standortamplitude die in Deutschland am weitesten verbreitete Nadelbaumart. Aufgrund der vielfachen Nutzungsmöglichkeiten stellt sie eine unserer wichtigsten Nutzbaumarten dar. Auch wenn das "Kuratorium Baum des Jahres" meist eher seltenere und daher unbekanntere Baumarten zum "Baum des Jahres" ausruft, um sie einer breiteren Öffentlichkeit ins Bewusstsein zu rufen, wurde 2007 die allgemein bekannte Wald-Kiefer unter dem Motto "Eine bescheidene Schönheit mit zähem Überlebenswillen" gewählt. Hierbei spielte außerdem die Tatsache eine entscheidende Rolle, dass die heutige Verbreitung der Art die Kulturaktivität des Menschen in der deutschen Landschaft ablesbar macht.

Stellvertretend für alle Koniferen stehen die Morphologie und Anatomie der Zapfen sowie des Nadelblattes in der Schule und im Studium oft als einziges Beispiel auf dem Lehrplan, wohl auch, weil die Koniferen in Deutschland und ganz Mitteleuropa von Natur aus nur mit vergleichsweise wenigen Arten vertreten sind. Hierbei muss man sich allerdings bewusst sein, dass dies der oft unterschätzten Vielfalt innerhalb der Koniferen nicht gerecht wird. Dennoch ist die Wald-Kiefer ein geeignetes Objekt, wichtige Unterschiede im Aufbau der Pflanzenorgane und in der Bestäubung zu den Blütenpflanzen zu zeigen.



Abb. 1: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), natürlicher Kiefernwald in einem Waldmoor bei Allensbach/ BW (V. M. DÖRKEN).



Abb. 2: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Einzelbaum (BG Bochum, V. M. DÖRKEN).

2 Systematik

Kiefern gehören zu den Koniferen (= *Coniferales/Pinales*) und damit zu den Nacktsamern (= Gymnospermen). Die Gattung *Pinus* hat sich in der Evolution frühzeitig von den übrigen Kieferngewächsen (*Pinaceae*) abgespalten und ist heute mit rund 110 Arten die artenreichste Gruppe innerhalb der Kieferngewächse (FARJON 1998). Sie wird in zwei Untergattungen unterteilt: subgen. *Strobus* mit einem Leitbündelstrang im Nadelblatt und subgen. *Pinus* mit zwei Leitbündelsträngen im Nadelblatt. Die vier in Deutschland heimischen

Kiefernarten (*P. cembra*, *P. mugo*, *P. rotundta* und *P. sylvestris*) gehören zur Untergattung *Pinus*. Die Wald-Kiefer steht genetisch recht isoliert (ECKENWALDER 2009). Sie weist weltweit je nach systematischer Auffassung zwischen 50 (FARJON 1984) und 150 (KIERMEIER 1993, KINDLE 1995) lokale geographische Sippen auf, die sich in Habitus, Wüchsigkeit, Borkenstruktur, Nadeln, Standortansprüchen und in ihrer Krankheitsresistenz voneinander unterscheiden.

In Deutschland kommt ausschließlich die subsp. *sylvestris* vor. In den Alpen kann sie mit der Leg-Föhre (*Pinus mugo*) die Naturhybride *Pinus* × *rhaetica* bilden. Auch mit anderen Kiefern-Arten lässt sich die Wald-Kiefer kreuzen, wie z. B. mit *P. nigra* (Schwarz-Kiefer), *P. thunbergii* (Thunbergs Kiefer) und *P. densiflora* (Japanische Rot-Kiefer) (ECKENWALDER 2009).

3 Verbreitung

Kiefern sind natürlicherweise nur auf der Nordhemisphäre verbreitet, die Diversitätszentren liegen hier in Nord-Amerika und Ost-Asien. Als Forstbäume werden sie aber weit über das natürliche Areal hinaus auch auf der Südhemisphäre angepflanzt. *Pinus sylvestris* kommt natürlicherweise in weiten Teilen des boreal-kontinentalen Eurasiens vor und hat damit unter allen Kiefern-Arten die weltweit größte Verbreitung. Nach dem Gewöhnlichen Wacholder (*Juniperus communis*) ist es das größte Areal einer Konifere überhaupt. In Deutschland ist die Wald-Kiefer heute aufgrund ihrer Verwendung als Forstbaum überall verbreitet, fehlte ursprünglich aber wohl in weiten Teilen des nördlichen und mittleren Schleswig-Holsteins, des niedersächsischen Tieflandes und auch der Niederrheinischen und der Westfälischen Bucht, der Eifel und des Sauerlandes (KIERMEIER 1993).

Pinus sylvestris wächst vorwiegend auf sonnigen bis halbschattigen, meist nährstoffarmen Standorten (FARJON 2010). Sie kann besonders auf laubholzfeindlichen, vollsonnigen Standorten Bestände bilden. Auf nährstoffreicheren Standorten ist sie auch in Laubmischwäldern eingestreut. Als ausgesprochener Lichtkeimer ist für die Wald-Kiefer eine Naturverjüngung in einem dichteren Laubwald sehr schwierig. Sie verliert dadurch z. B. gegenüber der Buche an Konkurrenzkraft und wird in die oben genannten entsprechenden Nischenstandorte gedrängt. Die Wald-Kiefer hat aber insgesamt gesehen eine sehr breite ökologische Standortamplitude mit sehr geringem Anspruch an das Substrat und weist eine ausgesprochene Trockenheitsverträglichkeit (geringster Wasserbedarf unter den heimischen Bäumen) sowie eine sehr gute Frostresistenz (bis -40 °C) auf.

4 Morphologie und Biologie

Stamm und Wurzeln

Die Wald-Kiefer kann bis 1000 Jahre alt werden, meist erreicht sie aber nur 300-600 Jahre. Die forstliche Umtriebszeit beträgt dagegen nur 100-120 Jahre. Als Baum erreicht sie Höhen von bis zu 50 m. Der Stamm kann auf sehr produktiven Standorten einen Durchmesser von 1,5 m erreichen. Bei Bäumen, die in sehr nährstoffarmen Waldmooren wachsen, wird der Stamm allerdings selbst nach 100 Jahren kaum 30 cm dick. Auf trockenen Standorten und in alpinen Lagen nahe der Baumgrenze wächst die Wald-Kiefer oft nur strauchförmig.

Die Borke ist im oberen Bereich des Stammes fuchsrot und rollt sich papierartig ab. Im unteren Bereich des Stammes ist die Borke braun bis graubraun, tief gefurcht und löst sich in größeren Platten ab (Abb. 3 & 4).

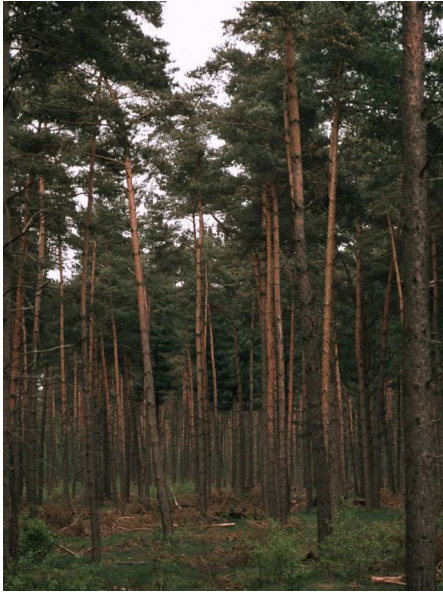


Abb. 3: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) in einem Kieferforst mit der typischen rötlichen Borkenfarbe im oberen Stammbereich (Hohe Mark/Westfalen, A. JAGEL).



Abb. 4: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Borke im oberen und unteren Bereich des Stammes (V. M. DÖRKEN).

Die Wald-Kiefer hat eine ausgeprägte Pfahlwurzel mit einem hohen Anteil an feinen Faserwurzeln im oberen Bodenhorizont. Das Wurzelsystem ist recht tolerant und verträgt Einschüttungen mit Lockermaterial bis 1 m Höhe, kurzzeitige Überschwemmungen und im innerstädtischen Bereich sogar Einpflasterungen (KIERMEIER 1993). Die Wald-Kiefer verfügt über eine ausgeprägte Mykorrhiza z. B. mit Fliegenpilzen oder Butterröhrlingen (DÜLL & KUTZELNIGG 2011).

Das Sprosssystem ist bei allen Kiefern deutlich in Lang- und Kurztriebe differenziert. Dabei treiben im Frühjahr Lang- und Kurztriebe zeitgleich aus (sylliptisch), ein Merkmal, das bei den heimischen Bäumen und auch innerhalb der Koniferen insgesamt nur selten auftritt. In jeder Achsel eines nur rudimentär ausgebildeten Langtriebblattes steht ein Kurztrieb mit sehr kurzer Achse. Der Vegetationspunkt des Kurztriebs wird bei der Bildung der zwei Nadelblätter vollständig aufgebraucht, sodass die Kurztriebe nicht weiter wachsen können.

Nadeln

Die Wald-Kiefer gehört zu den wenigen in Deutschland heimischen, immergrünen Arten. Auf die 4-8 Keimblätter (Abb. 5) folgen am Sämling noch mehrere normal ausgebildete Nadeln (Abb. 6). Mit Einsetzen der Langtrieb-/Kurztrieb-Differenzierung werden die Langtriebblätter nur noch als kleine braune Schuppenblätter ausgebildet. Die Photosynthese erfolgt dann ausschließlich durch die Nadeln der Kurztriebe. Sie bilden lediglich zwei in sich gedrehte Nadelblätter aus (Abb. 7). Die Wald-Kiefer wird daher als "zweinadelig" bezeichnet (für die Bestimmung wichtig!). Bei anderen Kiefernarten können es auch drei oder fünf solcher Nadeln pro Kurztrieb sein. Bei der nordamerikanischen *Pinus monophylla* gibt es ausnahmsweise den Fall, dass ein Kurztrieb nur eine einzige Nadel ausbildet. Den Kurztriebnadeln voraus gehen zahlreiche häutige, chlorophyllfreie Niederblätter, die die Basis des Kurztriebs umschließen (Abb. 8).

Die derben Kiefernadeln weisen zahlreiche Anpassungen an Trockenheit auf, die die Transpirationsrate und damit den Wasserverlust deutlich herabsetzen. Schon allein, weil Kiefernadeln überall in Deutschland gut zu bekommen sind, stellen sie für die Lehre ein wichtiges Standardobjekt für anatomische Studien zur Hartlaubigkeit (= Skleromorphie) dar.



Abb. 5: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Kiefernkeimling mit noch nicht vollständig abgestreifener Samenschale an den Spitzen der Keimblätter (Hohe Mark/NRW, T. KASIELKE).



Abb. 6: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Sämling mit jungen, grünen Langtriebblättern (V. M. DÖRKEN).



Abb. 7: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), in jeder Achsel eines häutigen Langtriebblattes steht ein zweinadeliger Kurztrieb (V. M. DÖRKEN).



Abb. 8: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Detail der Basis eines Kurztriebes; das Langtriebblatt ist stark reduziert, die Kurztriebachse wird von einer bleibenden häutigen Blattscheide umgeben (V. M. DÖRKEN).

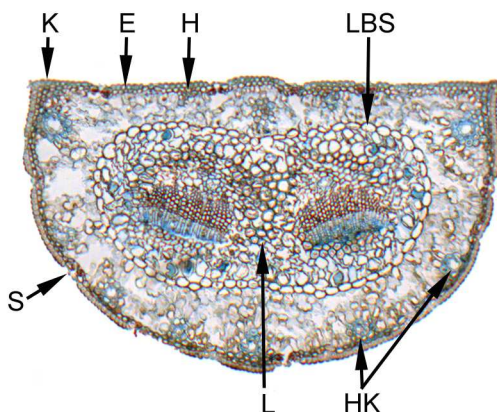


Abb. 9: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Querschnitt durch die Mitte einer Nadel, E = Epidermis, H = Hypodermis, HK = Harzkanal, K = Kutikula, L = Leitbündel, LBS = Leitbündelscheide (V. M. DÖRKEN).



Abb. 10: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Nadelunterseite mit Streifen von weiß erscheinenden Spaltöffnungen (Stomatastreifen) (V. M. DÖRKEN).

Je trockener bzw. alpiner ein Standort ist, desto dicker sind die Wachsschichten auf den Kiefernadeln ausgebildet. Je mehr Wachse aufgelagert sind, desto intensiver stahlblau sind sie gefärbt. Schneidet man durch die Mitte des Nadelblattes, hat es den Anschein, als befänden sich im halbkreisförmigen Querschnitt zwei Leitbündel (Abb. 9). Untersucht man aber den Leitbündelverlauf über die gesamte Nadellänge, stellt man fest, dass es sich in Wirklichkeit um nur ein einziges Leitbündel handelt, das in der Mitte des Nadelblattes durch ein stark entwickeltes, cellulosereiches Parenchym in zwei separate Stränge aufgespalten ist (DÖRKEN & STÜTZEL 2011).

Die in Längsreihen auf der Nadelunterseite aneinander gereihten Spaltöffnungen (= Stomata) sind tief in die Epidermis eingesenkt (Abb. 9) und von außen gut als weiße Streifen erkennbar (sog. Stomatastreifen, Abb. 10). Die Zellwände der Epidermis (äußerste Schicht der Nadeln) sind außerdem stark verdickt. Unterhalb der Epidermis ist eine weitere Zellschicht vorhanden, die sog. Hypodermis. Ihre Zellwände sind stark verdickt und verholzt, wodurch sie der Nadel eine besondere Festigkeit verleihen. Das Leitbündel ist von einer ebenfalls stark sklerifizierten (= verholzten) Leitbündelscheide, der Endodermis, umgeben, die den Wasser- und Stoffaustausch zw. Leitbündel und Mesophyll kontrolliert. Teilweise wird die Skleromorphie der Kiefernadel auch als Peinomorphose gedeutet, wie man dies von der Besenheide (*Calluna vulgaris*, *Ericaceae*) kennt (DÜLL & KUTZELNIGG 2011, DÖRKEN & JAGEL 2012). Die Nadeln der Wald-Kiefer sind harzreich, in ihrer Peripherie sind zu beiden Seiten zahlreiche Harzkanäle ausgebildet (Abb. 9). Das Harz dient dem Baum besonders zum raschen Wundverschluss und als Fraßschutz.

Das Alter von Kiefernadeln ist abhängig von den Standortbedingungen, besonders auch von der Luftqualität. In Tieflandregionen Deutschlands werden sie meist nur 2-4 Jahre alt, in borealen Zonen sowie in montanen und alpinen Lagen dagegen bis 9 Jahre (AAS 2007). Da die Wald-Kiefer besonders sensibel auf Schwefeldioxid reagiert, führen starke Luftverschmutzungen zu einem verfrühten Abwurf der Nadeln bereits nach 2 Jahren (SCHÜTT & al. 2002). Kiefernadeln werden anders als Fichten- und Tannennadeln nicht einzeln abgeworfen, sondern zusammen mit ihrem Kurztrieb.

Zapfen

Die Wald-Kiefer ist wie alle Kiefern windbestäubt und einhäusig. Männliche und weibliche Zapfen sitzen also auf einem Baum, aber in getrennten Zweigabschnitten. Zwitterige Zapfen gibt es nicht. Die korrekte wissenschaftliche Benennung der einzelnen Elemente der Zapfen ist oft verwirrend, was darin begründet ist, dass die Koniferen nicht zu den Blütenpflanzen (Angiospermen) gehören. Der Volksmund überträgt die gängigeren Begriffe der Blütenpflanzen aber meist auf sie, was dem Wissenschaftler oft nicht gefällt. Im eigentlichen Sinne besitzen Koniferen nämlich keine Blüten. Im Folgenden sollen die verschiedenen Begriffe nebeneinander aufgeführt werden, wobei die gewohnten Begriffe zuerst genannt sind.

Die männlichen Blüten (= Pollenzapfen, männliche Zapfen) werden im Mai zusammen mit den neuen Zweigen ausgebildet. Sie bestehen aus zahlreichen spiralig angeordneten Staubblättern (= Mikrosporophylle, Abb. 11), die jeweils zwei Pollensäcke (= Mikrosporangien) auf ihrer Unterseite (= hyposporangiat) tragen (in Abb. 12 einer davon im Längsschnitt). Da diese Staubblätter nicht in der Achsel eines Tragblattes stehen, entsprechen solche Pollenzapfen der Definition einer Blüte. Als Anpassung an die Windbestäubung werden in den Pollensäcken riesige Mengen von Pollenkörnern gebildet. Nach einem kräftigen Regen im Mai kann man in Pfützen und in Teichen einen Film aus gelben Pollen finden, den sog. Schwefelregen (Abb. 13).



Abb. 11: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), männliche Blüte (= Pollenzapfen) (V. M. DÖRKEN).

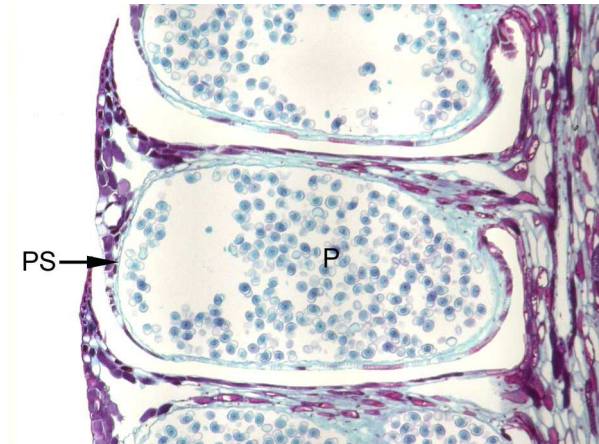


Abb. 12: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Längsschnitt durch ein Staubblatt (= Mikrosporophyll), P = Pollenkörner, PS = Pollensack (V. M. DÖRKEN).



Abb. 13: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Massen von Kiefernpollen (Schwefelregen) an einem Teichufer (A. JAGEL).



Abb. 14: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Zweig mit zahlreichen, dicht gedrängt stehenden männlichen Blüten (V. M. DÖRKEN).

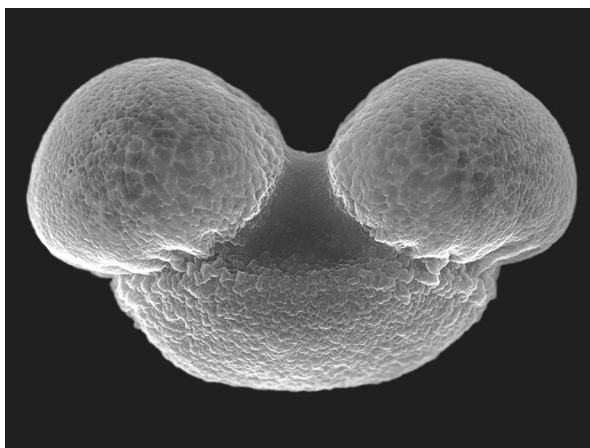


Abb. 15: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Pollenkorn mit zwei Luftsäcken (REM-Aufnahme, V. M. DÖRKEN).

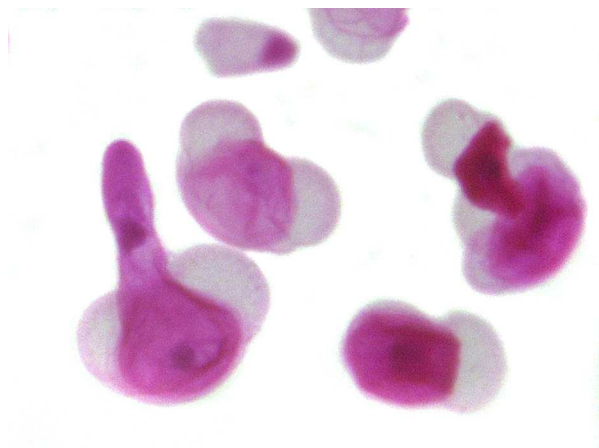


Abb. 16: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), keimende Pollenkörner mit sich entwickelnden Pollenschläuchen gefärbt mit Safraninrot (V. M. DÖRKEN).

Die einzelnen Pollenkörner sind mit zwei Luftsäcken ausgestattet (Abb. 15), die durch das Ausstülpen der äußersten Wandschicht des Pollenkorns (= der Exine) entstehen. Die eigentlich naheliegende Annahme, dass solche Luftsäcke zur Verbesserung der Flugeigenschaften beitragen, trifft nach verschiedenen Untersuchungen nicht zu. Sie haben vielmehr eine Funktion bei der Bestäubung (s. u.). Da der Pollen frei von Pollenkitt ist, geht von der Wald-Kiefer auch keine Gefahr als Heuschnupfenreger aus (DÜLL & KUTZELNIGG 2011). Nachdem die männlichen Blüten den Pollen ausgeschüttet haben, vertrocknen sie rasch und werden abgeworfen.



Abb. 17: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), blühender Kiefernzapfen (A. JAGEL).

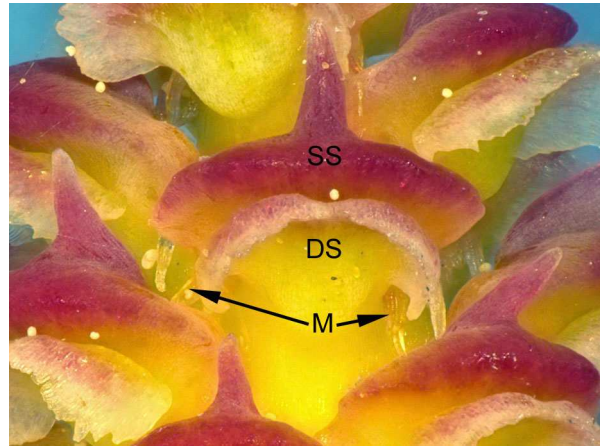


Abb. 18: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Deck-/Samenschuppen-Komplex von vorne. Auf beiden Seiten sind die zangenförmigen Mikropylen (M) zu erkennen, DS = Deckschuppe, SS = Samenschuppe (V. M. DÖRKEN).



Abb. 19: Berg-Kiefer (*Pinus mugo*), Bestäubungstropfen (BT), DS = Deckschuppe, SA = Samenanlage, SS = Samenschuppe (V. M. DÖRKEN).



Abb. 20: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), reifer nach unten ausgerichteter Kiefernzapfen (V. M. DÖRKEN).

Die Zapfen (= Samenzapfen), volkstümlich auch als Kienäppeln bezeichnet, sind morphologisch gesehen Blütenstände, also keine Blüten. Sie sind aus zahlreichen spiralig stehenden sog. Deck-/Samenschuppen-Komplexen aufgebaut (Näheres hierzu bei DÖRKEN & JAGEL 2010). Zum Zeitpunkt der Bestäubung stehen die Zapfen aufrecht und sind intensiv rot gefärbt (Abb. 17). Die Samenschuppen in der Mitte des Zapfens tragen jeweils zwei Samenanlagen. Ihre Mikropylen – die kleine Öffnung, durch die der Pollen zum Nucellus (= Struktur, die die Eizelle bildet) gelangt – hat zwei zangenartige Fortsätze und ist senkrecht abwärts ausgerichtet (Abb. 19). Zum Zeitpunkt der Bestäubung spreizen die Zapfenschuppen weit auseinander, sodass der Pollen durch den Wind tief bis ins

Zapfeninnere gelangen kann. Hier haften die Pollenkörner an den klebrigen Mikropylenzangen fest. In der Nacht wird dann von Nucellus ein Bestäubungstropfen sezerniert (Abb. 19 am Beispiel der Berg-Kiefer). Die Pollenkörner treten in den Tropfen ein und driften aufgrund ihrer beiden Luftsäcke wie Bojen zum Nucellus im Inneren der Samenanlage (vgl. DOYLE & O'LEARY 1935, DOYLE 1945, STÜTZEL & RÖWEKAMP 1997). Hier keimen sie, bilden einen Pollenschlauch aus und befruchten die Eizelle.

Nach erfolgreicher Bestäubung schließt sich der Zapfen und verholzt stark, wodurch die heranreifenden Samen geschützt sind. Beim Heranreifen verändert der junge Zapfen außerdem durch Wachstum des Stieles seine Ausrichtung und weist letztlich nach unten (Abb. 20). Dadurch können die Samen zur Reifezeit besser aus dem Zapfen fallen.

Zwischen Bestäubung (= Übertragung des Pollens) und Befruchtung (= Verschmelzung der männlichen und weiblichen Keimzellen) liegt bei der Wald-Kiefer etwa ein Jahr. Erst dann setzt ein verstärktes Wachstum des Zapfens ein, sodass er am Ende des zweiten Jahres seine endgültige Form und Größe erreicht. Die Samen sind zu diesem Zeitpunkt bereits ausgereift. Sie werden allerdings erst im Frühjahr des dritten Jahres entlassen. Die reifen Samenzapfen öffnen sich bei trocken-warmer Witterung mit weithin hörbarem Knacken. Dieser Öffnungsmechanismus ist reversibel und bei feuchter Witterung schließen sich die Zapfen wieder. Wie bei vielen heimischen Laubbäumen (z. B. Eichen und Buchen) gibt es auch bei der Wald-Kiefer sogenannte Mastjahre, in denen besonders viele Zapfen und Samen ausgebildet werden.

Die mit reichlich fetten Ölen und einem chlorophyllreichen Embryo ausgestatteten Samen sind 3-4 mm lang und weisen einen Samenflügel auf, der dem Samen aus Gewebe der Samenschuppe aufgelagert wird. Der Flügel führt zu einer propellerartigen Flugbewegung des Samens (= Drehflieger). Aufgrund der Länge des Samenflügels kann in einen kurz- und einen langflügeligen Samentypen unterschieden werden. Die kurzflügeligen Samen werden dabei nur über relativ kurze Distanzen mit Reichweiten von rund 150 m ausgebreitet, die langflügeligen bis über 1000 m (DÜLL & KUTZELNIGG 2011).

5 Verwendung

Die Wald-Kiefer ist eine heimische Baumart, die quasi universell genutzt wurde/wird und auch heute forstwirtschaftlich noch intensiv angebaut wird. So liegt ihr Anteil am Wald bundesweit bei rund 23 % (AAS 2007). Das Holz der Wald-Kiefer (Abb. 21) ist mit rund 0,5 g/cm³ recht leicht und lässt sich gut zu Fensterrahmen, Türen, Dielen, Treppen und Möbeln verarbeiten. Es dient außerdem als wichtiges Bau- und Konstruktionsholz. Aus dem Holzteer wurde sog. Kienöl für Lampen sowie Schusterpech gewonnen. Die Nadeln wurden ehemals unter der Bezeichnung "Waldwolle" als Füll- und Stopfmaterial verwendet. Junge Triebspitzen dienten in früheren Zeiten besonders den verarmten Waldbauern als reichhaltige und vor allem als kostengünstige Vitamin C-Quelle. Aus den zuckerhaltigen Ausscheidungen, dem sog. Honigtau, der von den auf Nadeln saugenden Läusen stammt, wird "Echter Kiefernhonig" gewonnen ("Waldhonig"). Die Ausbeute kann je nach Alter und Größe eines Baumes mehrere Kilogramm pro Jahr betragen (DÜLL & KUTZELNIGG 2011). Das aus den Nadeln destillierte ätherische Öl wird pharmazeutisch als Inhalationszusatz bei Bronchitis eingesetzt.

Die Wald-Kiefer ist sehr harzreich. Das Harz diente als Schmier- und Dichtungsmittel und in früheren Zeiten als Zahnersatz. Außerdem wird aus dem Harz Terpentin gewonnen. Die Gewinnung des Harzes erfolgte ehemals auch in Deutschland durch eine Technik, wie man sie heute noch von der Kautschukgewinnung her kennt. Die Borke der sog. "Harzbäume"

wurde dazu so tief fischgrätenartig angeritzt, dass es zum massenhaften Harzfluss kam (Abb. 22). In einem Harzglas wurde das austretende Harz aufgefangen, um später in speziellen Harzöfen daraus ein flüssiges gelbes Harz sowie Harzgieben zu produzieren, welches dann in Rußhütten in der Druckerschwärzherstellung beigemischt wurde.



Abb. 21: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Holz (A. JAGEL).



Abb. 22: Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Harzgewinnung durch fischgrätenartiges Anritzen des Stamms (Tonbach, Schwarzwald, V. M. DÖRKEN).

Aufgrund ihrer breiten ökologischen Standortamplitude wird die Wald-Kiefer ingenieurbologisch besonders zur Wiederbegrünung, bei Rekultivierungsmaßnahmen (z. B. Halden- oder Abraumbegrünung), zur Bodenfestlegung auch von ärmsten Sand- und Schottersubstraten sowie als Pioniergehölz intensiv genutzt. Zudem existieren zahlreiche Selektionen, vom kleinen kugeligen Zwergstrauch bis hin zu großen Säulenformen, die als Ziergehölz in Gärten und Parkanlagen gepflanzt werden.

Literatur

- AAS, G. 2007: Systematik, Verbreitung und Morphologie der Wald-Kiefer. LWF 57: 7-11. – Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freisingen.
- DÖRKEN, V. M. & JAGEL, A. 2010: Weihnachtliche Koniferenzapfen. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 1: 270-281.
- DÖRKEN, V. M. & JAGEL, A. 2012: *Calluna* und *Erica*, Besenheide und Heide (*Ericaceae*) als Winterblüher der Friedhöfe und Gärten. – Jahrb. Bochumer Bot. Ver. 3: 203-209.
- DÖRKEN, V. M. & STÜTZEL, T. 2011: Morphology, anatomy and vasculature of leaves in *Pinus* (Pinaceae) and their evolutionary meaning. *Flora* 207(1):57-62.
- DOYLE, J. 1945. Developmental lines in Pollination Mechanisms in the Coniferales. – *Scient. Proc. R.D.S.* 24, 43-62.
- DOYLE, J. & O'LEARY, M. 1935. Pollination in *Pinus*. – *Scient. Proc. R.D.S.* 21, 181-191.
- ECKENWALDER, J. E. 2009: *Conifers of the world*. – Portland: Timber Press.
- FARJON, A. 2010: *A handbook of the world's conifers*, Vol. 2. – Leiden, Boston: Brill.
- FARJON, A. 1998: *World Checklist and Bibliography of Conifers*. – Kew: Royal Botanical Gardens.
- SCHÜTT, P., SCHUCK, H. J. & STIMM, B. 2002: *Lexikon der Baum- und Straucharten, das Standardwerk der Forstbotanik*. – Hamburg: Nikol.
- STÜTZEL, T. & RÖWEKAMP, I. 1997: Bestäubungsbiologie bei Nacktsamern. – *Palmengarten* 61(2): 100-110.