

Artenreiche Magerstandorte in Niederbayern zwischen Donau und Abens

Johannes Kollmann

*Lehrstuhl für Renaturierungsökologie, Technische Universität München,
Emil-Ramann-Str. 6, 85354 Freising
E-mail: johannes.kollmann@tum.de*

Zusammenfassung

Intensive Landwirtschaft, Ausweitung von Siedlungen und Gewerbegebieten sowie Aufforstungen haben zu einer Degradation und Verinselung von Magerstandorten in weiten Teilen Süddeutschlands geführt. Auf der Exkursion in den Landkreis Kelheim in Niederbayern werden dazu Beispiele von Sandkiefernwäldern, Magerrasen und Felsvegetation gezeigt. Anhand der *Leucobryo-* und *Peucedano-Pineten* sowie *Corynephoreten* (Wissenschaftliche Namen der Gefäßpflanzen nach JÄGER [2011] sowie der Pflanzengesellschaften nach RENNWALD et al. [2000]) auf Binnendünen bei Siegenburg werden die Herausforderungen und Erfolge der naturschutzfachlichen Nachbildung historischer Waldbewirtschaftung deutlich. Kleinparzellierte, intensive Streunutzung hat in diesen lichten Kiefernwäldern das Überdauern seltener Arten wie *Armeria elongata*, *Chimaphila umbellata* und *Pulsatilla vernalis* gefördert. Nutzungsaufgabe und Stickstoffeinträge haben in den vergangenen Jahren zu stärkerem Kronenschluss und einer dichten Krautschicht geführt, in der Zwergsträucher und pleurokarpe Moose dominieren. Versuche zur Streuentfernung und erfolgreiche Artenhilfsmaßnahmen werden vorgestellt und diskutiert.

Bei Kloster Weltenburg kommt Felsvegetation am Donaudurchbruch vor, die insgesamt in einem sehr guten Zustand ist, und zwar sowohl die Magerrasenfragmente der Felsköpfe als auch die nitrophytischen Schwarznesselsäume des Felsfußes. Problematisch ist das Zuwachsen einiger Felspartien durch Gehölze, das Eindringen von Neophyten, zunehmender Klettersport und Betreten der Felsköpfe sowie die technische Sicherung der Felsen oberhalb von Straßen und Wegen.

Die Sandharlander Heide ist ein Naturschutzgebiet, in dem auf engstem Raum Kalkmagerrasen und bodensaure Magerrasen nebeneinander vorkommen, die sich nach Rodung lichter Kiefer-Eichenwälder und durch jahrhundertelange, extensive Beweidung entwickelt haben. Dies hat zu einer sehr hohen Artenvielfalt von Basi- und Acidophyten geführt (z. B. *Dianthus carthusianorum* neben *D. deltoides*), die auf der Exkursion studiert werden. Die Beweidung des Gebiets funktioniert gut und angrenzende Äcker wurden in den letzten Jahren erfolgreich als Pufferflächen gegen Nährstoffeinträge extensiviert oder in zusätzliche Magerrasen umgewandelt, die den vielfältigen Eindruck einer historischen Kulturlandschaft unterstützen.

Abschließend wird am Zusammenfluss von Donau und Abens das spätromische Kastell Abusina bei Eining besucht, mit ebenfalls artenreichen Magerrasen und gut entwickelter Vegetation auf den Mauerresten. Das jahrhundertelange Zusammenwirken der natürlichen Gegebenheiten und der Landnutzung in Niederbayern wird hier besonders deutlich. Dies hat eine hohe regionale Biodiversität hervorgebracht, mit entsprechenden Herausforderungen für Naturschutz und Renaturierung der heute meist isolierten Magerstandorte.

1. Geologie, Klima und Böden des Exkursionsgebiets

Die Exkursionsorte im Landkreis Kelheim befinden sich am östlichen Rand der Ingolstädter Donauaue zwischen dem westlichen Niederbayerischen Tertiärhügelland und den nördlich angrenzenden Ausläufern der Südlichen Frankenalb. Die vier Lokalitäten liegen alle flussaufwärts der Stadt Kelheim und südlich der Donau. Im Nordosten des Exkursionsgebietes bildet der Weißjura (Malm) das Ausgangsgestein, aus dem sich Rendzinen und mehr oder weniger tonreiche Terraes fuscae als Hauptbodentypen entwickelt haben. Naturräumlich befinden wir uns hier noch im Schichtstufenland. Im Bereich der Weltenburger Enge hat die Donau mächtige Riffstöcke aus dem ehemaligen Jurameer freigelegt (MAYER et al. 1994). Das südlich angrenzende, zum Alpenvorland gehörende Tertärhügelland bildete sich zwischen Eozän (Alt-Tertiär) und Miozän (Jung-Tertiär) im zyklischen Wechsel mariner und limnischer Sedimentschichten, wobei die Obere Süßwassermolasse den Abschluss bildet (HENNINGSEN & KATZUNG 2002). Im bayerischen Raum stammen die Schuttsedimente größtenteils aus den südlich anstehenden Alpen, im nördlichen Teil waren auch die Südliche Frankenalb und der Böhmisches Masse an der Sedimentschüttung beteiligt (JERZ 1992). Je nach Strömungsverhältnissen wurden Feinsedimente, Sand oder Kiese abgelagert (DOPPLER et al. 2004). Charakteristisch für die Topographie des nördlichen Tertiärhügellandes sind die sanft geschwungenen Hügelketten, die durch ein verzweigtes Gewässernetz gegliedert werden. Im Spätglazial wurden die tertiären Sedimente durch Löss und Lösslehm überdeckt, was das Tertiärhügelland zu einer fruchtbaren, intensiv ackerbaulich genutzten Landschaft macht. Am Nordrand des Hügellandes bildeten sich während der Eiszeit Flugsanddünen, die bis in die jüngste Zeit umgelagert wurden (VÖLKELE et al. 2011).

Das regionale Klima des Exkursionsgebiets ist subkontinental. Die aktuelle durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 9,9 °C, mit einem mittleren Jahresniederschlag von 723 mm (2008–2021, Station Sandharlanden; Agrarmeteorologie Bayern, www.bienenkunde.rlp.de/). Die Temperaturkurve beschreibt im Jahresverlauf eine Schwankung von circa 20 °C, und die höchsten monatlichen Niederschläge fallen im Sommer.

Der Bodentyp der Exkursionsorte Siegenburg, Sandharlanden und Eining ist in den meisten Fällen eine Braunerde aus äolischen Sedimenten, also Flugsanden. Interessant ist hier die gute K- und mittlere Ca- und Mg-Versorgung der Kiefern. Die Sande sind etwas kalkreicher als die reinen Quarzsande der Oberpfalz (PRIETZEL & KAISER 2005). Bei lokal häufiger Austrocknung des Oberbodens, hoher Jahresmitteltemperatur und schwer zersetzbarer Streu sowie karbonatarmem, aber muskovitreichem Ausgangsmaterial kann eine gewisse Podsolierung einsetzen. Dies führt z. B. in den Sandkiefernwäldern von Siegenburg zu einer sauren Bodenaufgabe, meist Rohhumus oder Moder, die frühzeitig zu einer Tonzerstörung durch intensive Verwitterung im Oberboden führt (BLUME et al. 2010). Die Chronosequenz mit ihren wichtigsten Gliedern verläuft über vier Stufen: Syrosem wird zu Podsol-Ranker, welcher sich durch Anhäufung der Humusaufgabe definiert. Nach intensiver Auswaschung von Fe-, Al-, Mn- und P-Verbindungen aus dem Oberboden und der Wiederausfällung dieser Verbindungen im Unterboden, bildet sich aus Podsol-Braunerde ein Eisen-Humus-Podsol, wobei sich die Unterbodenhorizonte verfestigen und verhärten. Die Korngrößenverteilung der Sandkiefernwälder ist wie folgt: Sand 84 %, Schluff 13 % und Ton 3 % (BAYER. LFU 2020). Das Grundwasser befindet sich in den Exkursionsgebieten 10–20 m unter der Geländeoberfläche. Stauwassereinfluss ist infolge der geringen Feldkapazität des Sandbodens nicht vorzufinden. Aufgrund des weitgehend karbonatfreien Bodens liegt der pH-Wert bei 3–5. Höhere pH-Werte treten auf Kalkgestein des Oberen Jura in den Kalkmagerrasen innerhalb der Sandharlander Heide und bei Weltenburg auf, mit entsprechend andersartigen Bodentypen.

Die Exkursionsregion im Landkreis Kelheim ist Altsiedlungsgebiet mit langer Bewirtschaftungskontinuität und vielen archäologischen Funden, u.a. der Kelten und Römer (NILLER 1998). Die Vegetation ist auch heute noch durch die frühe und über viele Jahrhunderte extensive Landnutzung geprägt.

2. Sandkiefernwälder auf Binnendünen bei Siegenburg

2.1 Gebietsbeschreibung

Das erste Exkursionsziel liegt südlich der Stadt Abensberg im Naturschutzgebiet „Binnendünen bei Siegenburg und Offenstetten“ (48°45'17.0"N, 11°49'45.3"E). Dieses Naturschutzgebiet befindet sich am östlichen Rand des Landschaftsschutzgebiets „Dürnbucher Forst“ und wurde 1984 von der Regierung von Niederbayern zur Erhaltung des durch die Entstehungsgeschichte bedingten geomorphologischen Erscheinungsbildes ausgewiesen. Des Weiteren dient der Schutzstatus der Bewahrung der durch die Pflanzen- und Tierwelt bestimmten natürlichen Eigenart des Gebietes (REGIERUNG NIEDERBAYERN 2005a). Das südliche Teilgebiet des Naturschutzgebietes hat eine Größe von ca. 18 ha und liegt westlich von Siegenburg (392 m NN), das nördliche Teilgebiet ist ca. 9 ha groß und liegt bei Offenstetten östlich von Abensberg. Die Exkursion befasst sich nur mit dem Teilgebiet bei Siegenburg.

Eine Besonderheit des NSG Siegenburg sind die bis zu 10 m hohen und 300 m langen Sanddünen mit SW–NO-Orientierung (Abb. 1). Diese Dünen entstanden bei spärlicher Vegetationsdeckung im Spät- und frühen Postglazial und sind somit geologisch gesehen jung (VÖLKELE et al. 2011). Teilweise treten die Binnendünen in Sichelform auf, da die weniger



Abb. 1. Re-dynamisierte, südexponierte Düne mit zwei Zielarten offener Sandflächen im aufgelichteten Kiefernwald des NSG Siegenburg (Fotos: J. Kollmann, Mai 2019).

mächtigen Randteile vom Wind stärker verfrachtet wurden als die Mittelteile. Durch die noch heute steil ansteigenden NO-Seiten und die weniger geneigten SW-Seiten, lässt sich die historische Hauptwindrichtung aus Nord-Ost ableiten. Die Dünen entstanden zwischen den Flüssen Donau und Abens durch vom Wind aus den Donauniederungen ausgetragenen, glimmerreichen Sand. Der Sand der Dünen besteht vornehmlich aus fein- bis mittelsandigen Quarzkörnern mit wenig Bindemittel, sodass sie leicht beweglich sind und ohne Hindernisse über weite Strecken unter Windeinfluss wandern können.

Erst nachdem die Dünen durch Bewuchs zur Ruhe gekommen waren, entstand ein Kiefernwald mit mehr oder weniger geschlossener Krautschicht. Die Dynamik des Flugsands wurde im Mittelalter durch intensive anthropogene Waldnutzung gefördert (HAMBERGER & BAUER 2019), die heute noch an den schmalen, senkrecht zu den Dünenketten verlaufenden Parzellen zu erkennen ist. Durch die Streunutzung der historischen Landwirtschaft entwickelte sich ein Standort mit Nährstoff- und Wassermangel (KREUTZER 1972). Seit den 1960er findet die traditionelle Nutzung nicht mehr statt. Ein naturschutzfachlicher Nachteil des zunehmend geschlossenen Kiefernwalds mit immer dichter Krautschicht ist, dass er die Dynamik der Dünen einschränkt und kaum mehr offener Sand auftritt. Seit der Jahrtausendwende wird in dem Naturschutzgebiet mit Streupflege experimentiert (Abb. 2). Das Ziel wäre jedes Jahr in 1–2 Teilbereichen den Rohhumus abzutragen, um so sukzessive ein räumliches Störungsmosaik zu erhalten. Anfangs wurde die Streu händisch entfernt, seit 2009 ist dafür ein Kleinbagger im Einsatz (R. Hierlmeier, pers. Mitteil.). Im Zuge weiterer Landschaftspflegemaßnahmen wurde der Kiefernwald aufgelichtet und *ex-situ* vermehrte Zielarten ausgebracht. Dadurch gibt es wieder offenen Sand, den einige seltene Pflanzen- und Tierarten (z. B. Ameisenlöwe, Sandbienen und Grabwespen) besiedeln.



Abb. 2. Lockerer Kiefernwald mit zwei Zielarten der naturschutzfachlichen Streunutzung, die im NSG Siegenburg unregelmäßig stattfindet (Fotos: J. Kollmann, H. Albrecht und C. Bräuchler, Oktober 2017).

2.2 Waldvegetation der Binnendünen

Natürliche oder naturnahe Kiefernwälder kommen in Süddeutschland meist nur kleinflächig auf nährstoffarmen, trockenen Standorten vor und sind Reliktvorkommen der postglazialen Wärmezeit (HEINKEN 2008, LUBW 2013). Der im Naturschutzgebiet Siegenburg vorkommende Kiefernwald ist ein *Leucobryo-Pinetum*, mit Übergängen zum etwas basi-phytischerem *Peucedano-Pinetum* auf den Dünenkämmen (BEER & EWALD 2005). Die Kiefern sind heute 70–75 Jahre alt, 20–25 m hoch und zeigen eingeschränkte Vitalität aufgrund von Schnee- und Windbruch sowie häufigem Vorkommen der Kiefernmitel. Die Waldgesellschaft gehört zu den Kiefern-Steppenwäldern (FFH-Lebensraumtyp 91U0). Da es in Deutschland nur 277 ha dieses Waldtyps gibt (KROHNER et al. 2017), wird er in Bayern durch Art. 23 Bay-NatSchG in Verbindung mit §30 BNatSchG besonders geschützt.

Da die Artenzusammensetzung dieser Wälder durch Streunutzung und Stickstoffeintrag maßgeblich gesteuert wird und in einem labilen Zustand ist, reicht eine Unterschutzstellung allerdings nicht aus. Die Wälder müssen aktiv in ihrer Form erhalten werden, um das Vorkommen seltener und geschützter Arten wie *Armeria elongata*, *Chimaphila umbellata*, *Diphysastrum complanatum* agg., *Pulsatilla vernalis* und *Pyrola chlorantha* zu gewährleisten. Der labile Zustand beruht auf mehreren Faktoren: So wachsen *Chimaphila umbellata* und *Pyrola chlorantha* nur auf nährstoffarmem Boden (RUFF et al. 2016), der heute auch auf den Binnendünen verändert ist. Diese nährstoffarmen Lebensräume werden durch die anthropogenen Stickstoffemissionen (2003: 16 kg N ha⁻¹) und die dadurch entstehende Düngung und Bodenversauerung gefährdet (RASPE et al. 2018), was zu einer teilweise sehr dichten Krautschicht von *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Rubus idaeus* und *R. fruticosus* agg. führt. Außerdem befindet sich der Kiefernwald an der Westgrenze des Verbreitungsgebietes z. B. von *Chimaphila umbellata* (OBERDORFER 2001), wo sich der Klimawandel vermutlich besonders ungünstig auf diese Arten auswirkt (BRÄUCHLER & KOLLMANN 2018).

2.3 Re-dynamisierung der Binnendünen

Wegen der raschen Sukzession der Sandkiefernwälder wird die Re-dynamisierung der Binnendünen von Siegenburg und Offenstetten in verschiedenen Kleinversuchen erprobt. An einigen Stellen wird nur die Streu entfernt und der A-Horizont beibehalten. Dadurch sind die optimalen Bedingungen für Sandrasen noch nicht gegeben, da im Oberboden noch zu viel Stickstoff vorhanden ist, der eine Etablierung der Zielarten verhindert; kennzeichnende Arten sind hier *Calluna vulgaris*, *Deschampsia flexuosa* und *Luzula multiflora*. Oberbodenabtrag ist die erfolgreichste Maßnahme zur Etablierung der Sandrasenvegetation, am besten in Kombination mit einer Auflichtung des Kiefernwalds. Durch diese Maßnahme sind die Bedingungen für die Etablierung anspruchsvoller Sandrasenarten gegeben, da hier eine größere Nährstoffarmut vorherrscht und die Kiefern nicht mehr so stark decken. Allerdings ist die Verwendung oder Entsorgung des Oberbodens nicht immer einfach, weshalb dieser zum Teil lokal gelagert wird. Schon nach wenigen Jahren ist auch die Zielart *Corynephorus canescens* mit einer Deckung von 10–20 % vorhanden; weitere Arten sind *Cerastium semidecandrum*, *Hieracium pilosella*, *Hypochaeris radicata*, *Rumex acetosella*, *Spergula morisonii*, *Teesdalia nudicaulis*, *Thymus serpyllum* und *Viola canina*. Problematisch auf diesen Flächen ist eine intensive Verjüngung der Kiefer, die zum Teil händisch entfernt wird, um die Silbergrasrasen zu erhalten.

Um die Veränderung der Vegetation quantitativ zu erfassen und den Wandel wissenschaftlich auszuwerten, sind einige Versuchsflächen des VöF Kelheim, der HSWT und TUM angelegt worden, welche hilfreiche Erkenntnisse zur Verbesserung der Pflegepraxis liefern.

Die ersten Flächen wurden im Jahr 1996 in dem Wald von Siegenburg eingerichtet und 2004 hinsichtlich der Veränderungen der Artenvielfalt und des Deckungsgrades der Pflanzen und Bäume unter Auswirkung der naturschutzfachlichen Streunutzung untersucht (BEER & EWALD 2005, PRIETZEL & KAISER 2005). Die weiteren Veränderungen der Wälder wurden im Sommer 2020 auf insgesamt sieben Dauerflächen studiert (EPE 2020). Dazu gehörte der Vergleich der Vegetation auf nicht-streugenutzten und streugenutzten Flächen, letzteres zuletzt vor 20 Jahren behandelt. Außerdem wurde der Einfluss atmosphärisch bedingter Eutrophierung auf die Deckung und das Artenspektrum in den naturschutzfachlich relevanten Beständen evaluiert.

Die aktuellen Ergebnisse zeigen, dass 20–25 Jahre nach Durchführung der Maßnahmen nur in zwei Schichten ein signifikanter Unterschied zwischen den streugenutzten und den nicht-streugenutzten Arealen festgestellt werden (EPE 2020). Hinsichtlich der Deckungsprozente waren in der Strauchschicht und der ersten Baumschicht Abweichungen erkennbar, in Moos-, Kraut- und zweiter Baumschicht waren dagegen keine Auffälligkeiten in Deckung und Artenvielfalt zu erkennen. Die geringen Unterschiede lassen sich durch die fehlende Kontinuität der Streunutzung erklären. Dadurch verschwinden konkurrenzschwache Arten, und die Streuauflage entwickelte sich erneut zu einer Stärke wie vor der letzten Störung des Ökosystems. Effekte atmogener Stickstoffeinträge sind auf der Südseite des Gebiets nahe der Bundesstraße und angrenzender Landwirtschaftsflächen nachweisbar aufgrund verstärkten Vorkommens meso- oder nitrophytischer Arten (*Corylus avellana*, *Rubus fruticosus* agg., *Urtica dioica*) sowie zunehmender Deckung pleurokarper Moose (EPE 2020).

Zusammenfassend ist deutlich, dass die Binnendünen in Siegenburg und Offenstetten noch stärker dynamisiert werden sollten, weil die Streunutzung alle 10–20 Jahre nicht ausreicht, um die Nährstoffeinträge zu kompensieren und die Sukzession Richtung Laubmischwald zu stoppen. Durch diese Entwicklung wird die Bodenvegetation sehr artenarm und die Sandrasenarten verschwinden aufgrund der Dominanz der Gehölze und der damit einhergehenden Schattenwirkung. Die am Südrand des Gebiets bei Siegenburg gefundenen Nitrophyten belegen den negativen Einfluss der Stickstoffeinträge aus Landwirtschaft und Verkehr auf die Waldvegetation sowie den Puffereffekt eines entsprechend breiten Randwalds auf das Schutzgebiet. Interessanterweise befindet sich westlich des NSG ein noch immer gesperrtes militärisches Übungsgebiet (ehem. Bombenabwurfplatz) mit offenen Sandflächen, dessen Zukunft derzeit offen ist.

3. Felsvegetation an der Weltenburger Enge

3.1 Gebietsbeschreibung

Aufgrund einer Verlagerung der Donau zwischen Neuburg und Kelheim vor ca. 80.000 Jahren hat sich der Fluss durch rückschreitende Erosion tief in die Jurakalke eingeschnitten und imposante Felswände geschaffen (Abb. 3). Das felsige Donauufer unterhalb von Weltenburg zählen heute zu den schönsten Geotopen Bayerns. Die Waldgebiete um das Weltenburger Kloster (48°53'55.8"N, 11°49'11.1"E; 347 m NN) sind struktur- und artenreich und seit Februar 2020 als Nationales Naturmonument geschützt (197 ha).

Die an die schmale Straße zum Kloster angrenzenden Felsen bestehen aus (Schwamm-) Kalken des Weißjuras. Da das Hangwasser an vielen Stellen durch den Kalkstein sickert und diesen langsam brüchig macht, versucht man die Felsen zu sichern, um Unfälle vorzubeugen. Die auf den Felsen angebrachten Hangsicherungsmaßnahmen, wie Befestigungsnetze und Ausspritzungen mit Beton wirken sich aber nachteilig auf die dort wachsende Felsvegetation



Abb. 3. Naturnahes und artenreiches Vegetationsmosaik an den Weißjurfelsen des Donaudurchbruchs zwischen Weltenburg und Kelheim (Foto: J. Kollmann, Juli 2019).

aus. Zudem führt die Aufgabe der früher intensiven Waldnutzung zu einer zunehmenden Beschattung der Felsen, die erst vor wenigen Jahren durch naturschutzfachliche Fällung von Bäumen und Gebüsch freigestellt worden sind.

3.2 Vegetation der Felsen

In Mitteleuropa gehören Felsen zu den wenigen von Natur aus waldfreien Standorten außerhalb der Hochgebirge (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010); sie beherbergen bei Weltenburg daher Glazialrelikte wie *Arabidopsis petraea*, *Draba aizoides*, *Erica carnea* und *Primula auricula* (MERGENTHALER 1959); weiter verbreitete typische Arten sind *Bellidiastrum michelii*, *Carduus defloratus* und *Sesleria caerulea*. Felsstandorte bilden kaum Boden, sie sind der Sonneneinstrahlung stark ausgesetzt, meist trocken und windexponiert. Kleine Absätze und Spalten bilden in den Felswänden Lebensräume für eine spezielle Vegetation, und die Felspflanzen ernähren sich daher von akkumuliertem Detritus und Staub. Auf Vorsprüngen und in Nischen kommt das *Allio montani-Melicetum ciliatae* vor mit *Achillea nobilis*, *Allium lusitanicum*, *Artemisia campestris*, *Bromus erectus*, *Campanula rotundifolia*, *Centaurea scabiosa*, *Euphorbia cyparissias*, *Galium glaucum*, *Lactuca perennis*, *Melica ciliata*, *Sedum acre*, *S. album*, *S. sexangulare* und *Stachys recta*; ein Lokalendemit ist *Hieracium spurium* ssp. *tubulatum*. Gehölzgesellschaften sind selten und oft niederwüchsig, so z.B. das *Coronillo-Prunetum mahaleb* mit *Cotoneaster integerrimus*, *Prunus mahaleb* und *Sorbus danubialis*.

Alle Arten sind auf Felsritzen oder -balkone angewiesen und finden auf glatten Betonflächen der durch Baumaßnahmen gesicherten Felspartien keinen passenden Standort. In den zusätzlich angebrachten Stahlnetzen sammelt sich aber Gesteinsmaterial, auf welchem sich Arten der Kalkmagerrasen, thermophytischen Säumen und Gebüsch ansiedeln, die die

eigentliche Felsvegetation verdrängen. Außerdem bieten die Netze Kletterpflanzen guten Halt, u. a. der neophytischen *Parthenocissus quinquefolia*. Für die Felsvegetation wünschenswert wären Verfahren der Hangsicherung, bei denen zwar Spritzbeton ausgebracht wird, aber Unebenheiten und Nischen erhalten bleiben, sodass ausreichend Hangsicherheit gewährleistet ist, aber genügend Lebensraum für die Spezialisten der Felswände erhalten bleibt.

Ganz im Gegensatz zu den unter wasser- und nährstoffarmen Verhältnissen lebenden Pflanzen der Feldwände kommt am Fuß der Felsen eine nitrophytische Staudenvegetation vor (*Lamio albi-Ballotetum foetidae*). Das mit Düngestoffen angereicherte Regenwasser sammelt hier, und vor der Einrichtung der Straße zum Kloster wurde dieser Standort sicher auch durch die Hochwasser der Donau positiv beeinflusst. Dies fördert Arten wie *Artemisia vulgaris*, *Ballota nigra*, *Bromus inermis*, *Campanula trachelium*, *Chelidonium majus*, *Isatis tinctoria*, *Lamium album*, *Malva neglecta*, *Rumex obtusifolius* und *Urtica dioica*. Leider wird ein Großteil dieser Ruderalgesellschaft heute regelmäßig abgemäht.

4. Sandharlander Heide

4.1 Gebietsbeschreibung

Das Naturschutzgebiet ‚Sandharlander Heide‘ (ID NSG-00090) liegt ebenfalls im niederbayerischen Landkreis Kelheim, und zwar ca. 5 km nordwestlich von Abensberg am äußersten Südrand des Fränkisch-Bayerischen Jura (48°50'38.8"N, 11°47'58.6"E; 375 m NN). Das Gebiet befindet sich auf einer langgezogenen Kuppe zwischen Eining und Sandharlanden und umfasst 11 ha (REGIERUNG VON NIEDERBAYERN 2005b). Die Kernfläche ist durchschnittlich ca. 100 m breit und die westöstliche Ausdehnung beträgt ca. 750 m. Im Jahr 1998 wurde die Fläche auf 26 ha erweitert.

Geologisch betrachtet besteht die Sandharlander Heide aus verschiedenen Gesteinsformationen. In einigen Bereichen kam es zu Bodenbildung auf Jurakalk und Sandstein, andere Stellen wurden durch Sand und Löss überweht. Dadurch gibt es ein kleinräumiges Mosaik von kalkreichen, kalkarmen und sandigen Böden. Die unterste (nördliche) Schicht besteht aus Jurakalk. Am Unterhang und in kleinen Abgrabungen ist diese durch Verwitterung freigelegt und trägt einen Kalkmagerrasen (*Brometum*). Über dem Jurakalk befindet sich südlich anschließend eine Schicht mit verkieseltem Sandstein; diese führte zur Bildung eines bodensauren Magerrasens (*Festuco-Genistelletum sagittalis*). Über dem Sandstein befindet sich eine Überdeckung mit Sand und Löss, worauf sich ein Sandmagerrasen entwickelt hat. In der Altheide kommen sowohl kalkreich-lehmige als auch kalkarm-sandige Böden vor. Südlich der Altheide und durch einen Weg getrennt befindet sich als renaturierter Bereich die ‚Neuheide‘ auf sandigen Schichten mit unterschiedlichem Lößanteil.

Durch die jahrhundertelange extensive Nutzung wurden die Böden ausgemagert. Dadurch konnten sich die genannten Halbtrockenrasen und Flügelginster-Heide entwickeln (Abb. 4). Die enge Verzahnung von sauren und basischen Standorten führt zu einem hohen Artenreichtum der Sandharlander Heide mit über 250 Gefäßpflanzenarten, von denen die häufigsten in Tabelle 1 aufgeführt sind. Darüber hinaus treten die Acidophyten *Hypericum maculatum* und *Carlina acaulis* auf sowie die Basiphyten *Chamaecytisus ratisbonensis*, *Cirsium acaule*, *Euphorbia cyparissias*, *Helianthemum nummularium*, *Primula veris* und *Trifolium montanum*.

Über Jahrhunderte wurde die Fläche der heutigen Heide als Teil einer ausgedehnten Allmende der Gemeinde Sandharlanden beweidet. Im Jahr 1945 wurde die Beweidung aufgegeben, und bis 1970 lagen die Flächen brach; dadurch bildete sich ein dichter Grasfilz, und



Abb. 4. Sandharlander Heide mit (gepflanzten) Wacholdern und Weideichen. Altheide mit *Calluna vulgaris* und *Genista sagittalis* im Vordergrund sowie Neuheide oberhalb eines Weges im Hintergrund (Foto: J. Kollmann, Juni 2021).

die Heide verbuschte. Im Jahr 1970 wurde die Sandharlander Heide zum Naturschutzgebiet erklärt. Entsprechend des damaligen Naturschutzgedankens blieben die Flächen weitgehend ungepflegt. In den 1980er Jahren wurden durch den Bund Naturschutz (Eigentümer seit 1962) auf den Flächen Wacholder angepflanzt und die Beweidung und wiederaufgenommen, um die Verbuschung zurückzudrängen, möglicherweise auch durch Pflegemahd. Seit den 1990er Jahren pflegt der Landschaftspflegeverband Kelheim VöF e.V. die Sandharlander Heide durch regelmäßige Schafbeweidung. Eine Gefährdung des Magerrasens bestand allerdings weiterhin durch Nährstoffeinträge aus den umliegenden landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen (Erdbeeren, Mais, Spargel). Daher wurden zusammen mit dem Bund Naturschutz und mit finanzieller Unterstützung des Bayerischen Naturschutzfonds im Jahr 2008 die südlich und später auch die östlich angrenzenden Ackerflächen erworben und mittels Mähgutübertragung der Altheide renaturiert. Zudem wurden einige der unmittelbar angrenzenden Flächen in Naturschutzäcker umgewandelt mit einer heute bemerkenswerten Wildkrautvegetation.

4.2 Vergleich der Vegetation der Alt- und Neuheide

Im Rahmen studentischer Übungen des Lehrstuhls für Renaturierungsökologie der TUM wurden in den Jahren 2011–2021 jeweils 15–25 Probeflächen (0,08 m²) an zufälligen Positionen in der Alt- und Neuheide Ende Juni aufgenommen. In der Altheide wurden die Bereiche mit Kalkmagerrasen und unter Gehölzen ausgespart. Es wurden alle Arten notiert, jedoch ohne Deckungsangabe. Zusätzlich wurden die maximale mittlere Vegetationshöhe (in Alt- und Neuheide 20 cm), die Gesamtpflanzendeckung (83 vs. 88 %), die Streudeckung (18 vs. 20 %) sowie der Anteil offenen Bodens aufgenommen (11 vs. 5 %). Diese Zahlen

zeigen eine hohe Ähnlichkeit der Vegetationsstruktur 11 Jahre nach Renaturierung, allerdings gibt es in der Altheide ein stärkeres Mosaik dicht bewachsener und lückiger Kleinstandorte mit Totholz sowie zahlreichen Ameisenhaufen.

Die Aufnahmen aus dem Jahr 2019 belegen aber Unterschiede in der Diversität der beiden Flächen. Der Shannon-Index war in der Altheide etwas höher (3,56) als in der Neuheide (3,46), ebenso die Evenness (0,72 vs. 0,69). Die Bray-Curtis-Dissimilarity (0,47) beschreibt die Verschiedenheit der beiden Flächen und bedeutet, dass der Anteil an gemeinsamen Arten fast genauso hoch ist wie der Anteil an Arten, welche jeweils nur in einem der beiden Heidetypen vorkommt. Zusammenfassend lässt sich somit sagen, dass die beiden Heideflächen in ihrer Artenzusammensetzung Ähnlichkeiten aufweisen, jedoch auch einige Arten vorhanden sind, die ausschließlich auf einer der beiden Flächen vorkommen. Man kann noch immer ein leichtes Artenzahlgefälle von der Altheide zur renaturierten Neuheide beobachten; auf ersterer wurden insgesamt 39 Arten festgestellt, während es auf der renaturierten Fläche 35 Arten wuchsen.

Im Jahr 2019 gab es zudem Unterschiede der Alt- und Neuheide in den durchschnittlichen (gewichteten) Zeigerwerte nach Ellenberg. Die Bodenfeuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahl waren in der Altheide (3,8; 4,3; 2,9) durchschnittlich etwas niedriger als in der Neuheide (4,0; 5,4; 3,3). Aufgrund der großen räumlichen Nähe zeigten sich erwartungsgemäß kaum Unterschiede in der Licht-, Temperatur- und Kontinentalitätszahl (7,3–7,4; 5,5; 3,4–3,7). Im Vergleich zu den Erhebungen im Jahr 2015 haben sich Reaktions- und Stickstoffzahlen der Alt- und Neuheide weiter angeglichen, und der Einfluss der ehemaligen Ackernutzung ist immer weniger deutlich. Es handelt sich bei der Alt- und der Neuheide um trockene bis frische (F4), saure bis mäßig saure (R4–5) und stickstoffarme (N3) Standorte.

Tabelle 1. Artenstetigkeit und Renaturierungserfolg des ursprünglichen Naturschutzgebiets (v. a. *Festuco-Genistelletum sagittalis* und etwas *Brometum*) und der südlich angrenzenden Erweiterungsfläche der Sandharlander Heide Anfang Juli 2019, d. h. 11 Jahre nachdem diese Fläche angekauft und in die Beweidung aufgenommen worden war (Altheide und Neuheide jeweils 18 Probeflächen [0,8-m²]). Die Stetigkeit beschreibt die relative Anzahl der Aufnahmeflächen, auf der eine bestimmte Art gefunden wurde; Arten nach Stetigkeit in der Altheide geordnet. In der Altheide kamen 18 Arten (hellgrau) exklusiv vor, in der Neuheide 12 Arten (dunkelgrau).

Gefäßpflanzenarten	Stetigkeit (%)		Renaturierungsquotient
	Altheide (A)	Neuheide (N)	[N/(A+1)]
<i>Calluna vulgaris</i>	61	11	0,18
<i>Achillea millefolium</i>	56	67	1,18
<i>Thymus pulegioides</i>	44	56	1,22
<i>Genista sagittalis</i>	39	6	0,14
<i>Luzula multiflora</i>	33	39	1,13
<i>Hieracium pilosella</i>	33	39	1,13
<i>Galium verum</i>	33	28	0,81
<i>Agrostis capillaris</i>	33	22	0,65
<i>Festuca rubra</i>	33	6	0,16
<i>Plantago lanceolata</i>	28	17	0,58
<i>Veronica officinalis</i>	28	11	0,37
<i>Hypochaeris radicata</i>	22	6	0,24
<i>Dianthus deltoides</i>	17	61	3,46
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	17	22	1,26

Gefäßpflanzenarten	Stetigkeit (%)		Renaturierungsquotient
	Altheide (A)	Neuheide (N)	[N/(A+1)]
<i>Potentilla erecta</i>	17	17	0,94
<i>Bromus erectus</i>	17	11	0,63
<i>Viola canina</i>	17	6	0,31
<i>Nardus stricta</i>	17	6	0,31
<i>Deschampsia flexuosa</i>	17	6	0,31
<i>Agrimonia eupatoria</i>	11	39	3,21
<i>Holcus lanatus</i>	11	17	1,38
<i>Potentilla neumanniana</i>	11	11	0,92
<i>Tragopogon pratensis</i>	6	22	3,39
<i>Daucus carota</i>	6	17	2,54
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	6	11	1,69
<i>Fragaria vesca</i>	6	11	1,69
<i>Teucrium montanum</i>	6	6	0,85
<i>Leontodon hispidus</i>	6	6	0,85
<i>Arrhenatherum elatius</i>	6	6	0,85
<i>Rumex acetosella</i>	11	0	0
<i>Ranunculus bulbosus</i>	11	0	0
<i>Centaurea jacea</i> agg.	11	0	0
<i>Carex pilulifera</i>	11	0	0
<i>Vicia sepium</i>	6	0	0
<i>Veronica chamaedrys</i>	6	0	0
<i>Stellaria graminea</i>	6	0	0
<i>Sanguisorba minor</i>	6	0	0
<i>Rumex acetosa</i>	6	0	0
<i>Potentilla argentea</i>	6	0	0
<i>Polygala vulgaris</i>	6	0	0
<i>Poa angustifolia</i>	6	0	0
<i>Knautia arvensis</i>	6	0	0
<i>Genista tinctoria</i>	6	0	0
<i>Dianthus carthusianorum</i>	6	0	0
<i>Danthonia decumbens</i>	6	0	0
<i>Cerastium brachypetalum</i>	6	0	0
<i>Carex muricata</i> agg.	6	0	0
<i>Pimpinella saxifraga</i>	0	56	55,56
<i>Trifolium pratense</i>	0	44	44,44
<i>Trifolium repens</i>	0	44	44,44
<i>Campanula rotundifolia</i>	0	39	38,89
<i>Lotus corniculatus</i>	0	17	16,67
<i>Galium mollugo</i> agg.	0	17	16,67
<i>Lathyrus pratensis</i>	0	11	11,11
<i>Brachypodium pinnatum</i>	0	11	11,11
<i>Trifolium arvense</i>	0	6	5,56
<i>Cynosurus cristatus</i>	0	6	5,56
<i>Crepis capillaris</i>	0	6	5,56
<i>Convolvulus arvensis</i>	0	6	5,56
<i>Cerastium arvense</i>	0	6	5,56

Eine genaue Analyse der Artenverteilung ergab, dass in der Altheide Pflanzen der Zwergstrauchheiden dominierten, darunter *Calluna vulgaris*, *Genista sagittalis* und *Luzula multiflora* sowie seltener *Deschampsia flexuosa*, *Nardus stricta* und *Potentilla erecta*. Diese wurden mit gutem Erfolg auf die Neuheide übertragen (Tab. 1). Eher seltene und bisher nicht übertragene Heidearten waren *Rumex acetosella*, *Carex pilulifera* und *Polygala vulgaris*. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den basiphytischen Arten: häufige und gut übertragene Arten der Altheide waren *Thymus pulegioides*, *Galium verum* und *Bromus erectus*; seltene, gut übertragene Arten waren *Agrimonia eupatoria*, *Potentilla neumanniana* und *Teucrium montanum*, während *Ranunculus bulbosus*, *Genista tinctoria* und *Dianthus carthusianorum* bisher nicht übertragen wurden. Interessanterweise fanden wir auf der Neuheide zudem *Pimpinella saxifraga*, welche typisch für kalkhaltige Magerrasen ist, sowie mehrere Arten des mesophytischen Grünlands, allerdings meist nur noch mit kümmerlichem Wuchs (*Trifolium pratense*, *T. repens* und *Lotus corniculatus*). Auch Arten gestörter Ruderalflächen, wie *Convolvulus arvensis* und *Daucus carota* kamen nur auf der renaturierten Fläche vor. Insgesamt waren nach 11 Jahren fast 45 % der gefundenen Arten solche, die natürlich in Zwergstrauchheiden vorkommen, während es im Bereich der Neuheide es nur rund 27 % waren. Der Anteil an Arten der Kalkmagerrasen war dagegen in beiden Flächen ähnlich (40 % Altheide, 37 % Neuheide).

4.3 Managementempfehlung

Die Entwicklung der Erweiterungsfläche der Sandharlander Heide macht einen guten Eindruck, und die extensive Schafbeweidung sollte in der derzeitigen Form weitergeführt werden. Um eine Angleichung der Artenzusammensetzung der Neuheide an die Altheide weiter zu fördern, sollte darauf geachtet werden, dass die Schafe zuerst auf der Altheide (mit vermutlich geringerer Futterqualität) und anschließend auf der Neuheide weiden und dabei Samen übertragen. Außerdem wird dadurch verhindert, dass heidefremde Arten aus der Neuheide in die Altheide verschleppt werden und unnötige Nährstoffeinträge stattfinden. Da die Reaktions- und Nährstoffzeigerwerte im Jahr 2019 im Vergleich zu 2015 nicht sonderlich gestiegen sind, im Falle der Neuheide sogar abgenommen haben, ist eine Änderung der aktuellen Pflegeintensität nicht erforderlich.

5. Römisches Kastell Abusina bei Eining

5.1 Gebietsbeschreibung

Das Römerkastell Abusina liegt am südlichen Rand des Ortes Eining am Hochufer der Donau (48°51'05.0"N, 11°46'15.7"E; 363 m NN). Es war mit einer Fläche von rund 2 ha eines der großen römischen Truppenlager in Bayern, denn es diente der Sicherung einer wichtigen Straßenkreuzung, der Donauschiffahrt und des Ostabschnittes des Limes, der 4 km nördlich von Westen kommend an die Donau stieß (BONGERS et al. 2012, FISCHER 2016). Die gut erhaltenen Grundmauern der Gebäude verdeutlichen ihre verschiedenen Funktionen und die historische Entwicklung des Lagers sowie die hochkaiserzeitliche und spätantike Nutzung.

Das Römerkastell Abusina wurde im Jahr 80 n. Chr. unter Kaiser Titus zunächst in Holz-Erde-Bauweise errichtet und schützte fast 400 Jahre lang die Nordgrenze des Reiches. Hier war eine Kohorte mit Hilfstruppen stationiert, weshalb das Kastell sowohl als Kohorten- als auch als Auxiliarkastell bezeichnet wurde. Das heißt, es konnte einerseits eine Kohorte von ca. 500 Mann aufnehmen, war andererseits ein Kastell für Hilfstruppen. Damit war Abusina

zunächst Teil einer Kastell-Kette entlang der Donau. In den beiden darauffolgenden Jahrhunderten zählte der Ort zu den Grenzanlagen des obergermanisch-rätischen Limes. Im 4. und frühen 5. Jahrhundert verteidigte Rom seine Grenzen mit kleinen, stark befestigten Kastellen, zu denen auch Abusina zählte. Den Untergang des Kastells markierte eine Brandkatastrophe um 430 n.Chr. Gleichzeitig endete die systematische Überwachung der Donau durch römische Truppen. Die Gebäude und Wehranlagen von Abusina wurden zwischen 1879 und 1920 ausgegraben und konserviert. Die Wehranlage ist Bestandteil des im Jahr 2005 als UNESCO-Weltkulturerbe ausgezeichneten Limes und zugleich eines der wenigen vollständig freigelegten und rekonstruierten Kastelle an diesem Bereich der Nordgrenze des römischen Reichs.

5.2 Vegetation der archäologischen Stätte

Die Vegetation des archäologischen Parks ist vielfältig und interessant. Auf den Mauerresten des Kastells finden sich Moos- und Sedumdecken (*Sedum acre*, *S. album* und *S. sexangulare*) mit *Cerastium brachypetalum*, *Gypsophila muralis* sowie *Potentilla neumanniana* (Abb. 5). An den Mauerseiten wachsen je nach Exposition Farne (*Asplenium ruta-muraria*, *A. trichomanes*) und *Mycelis muralis*. Die Magerrasen zwischen Ruinen sind arten- und blütenreich, wenn nicht gerade gemäht. Ein differenziertes Mahdregime zur Förderung von Blütenbesuchern und anderen Insekten wäre hier wünschenswert.



Abb. 5. Mauervegetation im Römerkastell Abusina mit *Sedum acre* und *Gypsophila muralis* sowie dichten Moosdecken (Foto: J. Kollmann, Juni 2021).

6. Schlussfolgerungen

Umgeben von intensiver Landwirtschaft und unterbrochen von vielen Siedlungen finden sich im südlichen Teil des Landkreises Kelheim wertvolle und recht unterschiedliche Standorte mit Magervegetation. Dabei weisen die Magerrasen von Sandharlanden inklusive der assoziierten Gebüsche und Extensiväcker den günstigsten Erhaltungszustand auf, der durch Renaturierung und eine passende Pflege in den vergangenen Jahren gefördert wurde. Die Kalkfelsen an der Donau und die Magerrasen der archäologischen Fundstätte Abusina sind ebenfalls in einem guten Zustand, die Sicherung der straßennahen Felsen stellen jedoch eine potentielle Gefahr für diese Vegetation dar. Nach wie vor schwierig ist die Erhaltung der Sandkiefernwälder, da hier die Nährstoffeinträge noch immer zu hoch sind und eine regelmäßige Streunutzung bisher nicht realisiert werden konnte. Einige Zielarten (*Corynephorus canescens*, *Thymus serpyllum*) profitieren von den derzeitigen Pflegeeingriffen, andere sind bisher nur mit gezielten Wiederansiedlungsmaßnahmen (*Armeria elongata*, *Pulsatilla vernalis*) oder noch gar nicht erfolgreich etabliert worden (*Chimaphila umbellata*, *Pyrola chlorantha*). Hier ist weitere Forschungsarbeit nötig.

Literatur

- BAYER. LFU (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT) (2020): Boden. – URL: [https://www.umweltatlas.bayern.de/standortauskunft/rest/reporting/sta_boden/generate?location=707997.6552337831%2C5403859.609832132&extent=706851.0992337831%2C5403325.7446946325%2C709144.211233783%2C5404393.474969632&srs=25832&reportAuthor=Landesamt%20f%C3%BCr%20Umwelt%20Bayern&format=pdf&application=Lfu-WebGIS&reportingParameterClass=de.conterra.reporting.reports.geothermie.ErdwaermesondenReportParameterInitializer&reportTitle=Boden&reportType=Boden&placename=Siegenburg&platform=Win32&userAgent=Mozilla%2F5.0%20\(Windows%20NT%2010.0%3B%20Win6](https://www.umweltatlas.bayern.de/standortauskunft/rest/reporting/sta_boden/generate?location=707997.6552337831%2C5403859.609832132&extent=706851.0992337831%2C5403325.7446946325%2C709144.211233783%2C5404393.474969632&srs=25832&reportAuthor=Landesamt%20f%C3%BCr%20Umwelt%20Bayern&format=pdf&application=Lfu-WebGIS&reportingParameterClass=de.conterra.reporting.reports.geothermie.ErdwaermesondenReportParameterInitializer&reportTitle=Boden&reportType=Boden&placename=Siegenburg&platform=Win32&userAgent=Mozilla%2F5.0%20(Windows%20NT%2010.0%3B%20Win6) [Zugriff am 11.02.2022].
- BEER, A. & EWALD, J. (2005): Vegetationskundliche Untersuchungen rezent streugennutzter Kiefernwälder auf Binnendünen des niederbayerischen Tertiärhügellandes. – *Tuexenia* 25: 93–109.
- BLUME, H.P., BRÜMMER, G.W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.M. (2016): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. – Springer-Verlag, Heidelberg: 750 pp.
- BONGERS, F., JÄHNKE, A., TULLIUS, J., FALCKENTHAL, A., HECK, S. & MATIJEVIC, K. (2012): Salve Abusina! Ein archäologisch-historischer Museumsführer durch das römische Auxiliarkastell von Abusina/Eining und seinen Vicus. – Peter Morsbach Verlag, Regensburg: 144 pp.
- BRÄUCHLER, C. & KOLLMANN, J. (2018): Vorbereitung, Durchführung und Erfolgskontrolle der Ausbringung von *Chimaphila umbellata* (Dolden-Winterlieb) und *Pyrola media* (Mittleres Wintergrün). – Gutachten im Auftrag des Bayer. LFU, Augsburg: 11 pp.
- DOPPLER, G., GLASER, S. & SCHWERD, K. (2004): GeoBavaria – 600 Millionen Jahre Bayern. – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg: 92 pp.
- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. – Ulmer, Stuttgart: 1333 pp.
- EPE, S. (2020): Streunutzung als landschaftspflegerische Maßnahme zur Revitalisierung von Sandkiefernwäldern. – Bachelorarbeit, TUM, Freising: 39 pp.
- FISCHER, T. (2016): Das Römerkastell Eining und seine Umgebung: Ein Führer (Archäologie in Bayern). – Pustet, Regensburg: 120 pp.
- HAMBERGER, J. & BAUER, O. (2019): Wald. Mensch. Heimat. Eine Forstgeschichte Bayerns. 2. Aufl. – Laubsänger-Verlag, Freising: 328 pp.
- HEINKEN, T. (2008): *Vaccinio-Piceetea* (H7). Beerstrauch-Nadelwälder. Teil 1: *Dicrano-Pinion*. Sand- und Silikat-Kiefernwälder. – Synop. Pflanzenges. Dtschl. 10: 1–88.
- HENNINGSSEN, D. & KATZUNG, G. (2002): Einführung in die Geologie Deutschlands. 6. Aufl. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 214 pp.

- JÄGER, E.J. (Hrsg.) (2011): Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband. 20. Aufl. – Springer Spektrum, Heidelberg: 930 pp.
- JERZ, H. (1993): Das Eiszeitalter in Bayern. Erdgeschichte, Gesteine, Wasser, Boden. – Schweizerbart, Stuttgart: 243 pp.
- KREUTZER, K. (1972): Über den Einfluß der Streunutzung auf den Stickstoffhaushalt von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris* L.). – Forstw. Cbl. 91: 263–270.
- KROIHER, F., MÜLLER-KROEHLING, S., SCHMITZ, F. & SUKOPP, U. (2017): Methodology for recording and assessing FFH Forest Habitat types in the scope of the 3rd National Forest Inventory (NFI 2012). – Thünen Working Paper 69a: 1–67.
- LUBW (LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG) (Hrsg.) (2013): FFH-Lebensraumtyp 91U0. Steppen-Kiefernwälder. – URL: https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/277202/LRT_91U0.pdf/40c92a96-30e1-427a-a25d-3c830e4f2a12 [Zugriff am 11.02.2022].
- MAYER, R., SCHMIDT-KALER, H., KAULICH, B. & TISCHLINGER, H. (1994): Wanderungen in die Erdgeschichte, Bd. 6: Unteres Altmühltal und Weltenburger Enge. – Pfeil Verlag, München: 152 pp.
- MERGENTHALER, O. (1959): *Primula auricula* L. in der Weltenburger Donaenschlucht. – Jahrb. Ver. Schutz Alpenpflanz. -Tiere 24: 136–137.
- NILLER, H.P. (1998): Prähistorische Landschaften im Lößgebiet bei Regensburg-Kolluvien, Auenlehme und Böden als Archive der Paläoumwelt. – Regensburger Geogr. Schr. 31: 1–452.
- OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. – Ulmer, Stuttgart: 1051 pp.
- PRIETZEL, J. & KAISER, K.O. (2005): De-eutrophication of a nitrogen-saturated Scots pine forest by prescribed litter-raking. – J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 461–471.
- RASPE, S., DIETRICH, H.-P., KÖHLER, D., SCHUBERT, A. & STIEGLER, J. (2018): Stickstoff im Überfluss. Waldböden in Bayern reichern Stickstoff weiter an. – LWF aktuell 2.2018: 21–24.
- REGIERUNG VON NIEDERBAYERN (2005a): Verordnung über das Naturschutzgebiet „Binnendünen bei Siegenburg und Offenstetten“ vom 8. November 1984. – (RABl Nr. 25/30.11.1984), Landshut: 3 pp.
- REGIERUNG VON NIEDERBAYERN (2005b): Landesverordnung über das Naturschutzgebiet „Sandharlander Heide“ vom 27. Juli 1970. – (GVBl S. 376), Landshut: 2 pp.
- RENNWALD, E. (Koord.) & Mitarb. (2000): Verzeichnis der Pflanzengesellschaften Deutschlands mit Synonymen und Formationseinteilung. – Schriftenr. Vegetationskd. 35: 121–391.
- RUFF, M., ULMER, A. & ELSNER, O. (2016): Mittleres Wintergrün *Pyrola media* Sw. Merkblatt Artenschutz 41. – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg: 4 pp.
- VÖLKEL, J., LEOPOLD, M., DÖTTERL, S., SCHNEIDER, A., HÜRKAMP, K. & HILGERS, A. (2011): Origin and age of the Lower Bavarian sand dune landscape around Abensberg and Siegenburg. – Z. Geomorphol. 55: 515–536.