

Artenschutz *report*



Impressum

Herausgeber: MARTIN GÖRNER

Redaktion:

Forst-Ing. M. GÖRNER (Jena)
Dr. P. KNEIS (Nünchritz)
Prof. Dr. H.-D. PFANNENSTIEL (Stahnsdorf)

Anschrift:

Redaktion Artenschutzreport
Schriftleiter M. GÖRNER
Thymianweg 25
D-07745 Jena
E-Mail: ag-artenschutz@freenet.de

Bestellungen: Abonnement sowie Einzelhefte bei der Redaktion
Erscheinungsweise: Jährlich 1-2 Hefte
ISSN 0940-8215

Nachdrucke – auch auszugsweise – sowie die Herstellung von jeglichen Vervielfältigungen sind nur mit Genehmigung des Herausgebers und unter Quellenangabe gestattet.
© beim Herausgeber

Autorenhinweise: Der „Artenschutzreport“ veröffentlicht in 1-2 Hefen pro Jahr wissenschaftliche und möglichst praxisorientierte Aufsätze und Kurzmitteilungen, die geeignet sind, den Schutz heimischer Tier- und Pflanzenarten zu fördern.

Die Beiträge dürfen noch nicht anderen Orts veröffentlicht worden sein.

Für Inhalt und Form der Beiträge sind die Autoren verantwortlich. Die Redaktion behält sich notwendige Änderungen oder Rücksendung zum Zweck des Überarbeitens durch den Autor vor.

Manuskripte müssen druckreif auf einseitig und 1 ½-zeilig beschriebenen DIN A4 Seiten mit 2 cm breitem Rand und durch Einzüge markierten Absätzen eingereicht werden. Originale von Abbildungen, Vorlagen sowie eine Version des Manuskriptes als Worddatei bzw. Open-Office-Dokument auf CD oder USB-Datenträger sind beizulegen bzw. per E-Mail zu übermitteln. Auf allgemein verständliche, gegliederte und konzentrierte Darstellung ist größter Wert zu legen. Umfangreiche Ergebnisse sollen in Tabellen (jeweils gesondertes Blatt) oder Diagrammen dargestellt werden.

Schwarzweiße oder farbige Fotovorlagen müssen druckreife Qualität aufweisen. Sie können als Original oder als Bilddatei (jpg, tif etc.) mit einer druckreifen Auflösung auf einem Datenträger oder per E-Mail eingereicht werden. Die Abbildungen sollen notwendige Aussagen beinhalten und mit prägnanten Legenden auf gesondertem Blatt versehen, Text sparen helfen. Alle Abbildungsvorlagen werden nummeriert und mit dem Autorennamen versehen.

Literaturstellen sind im Text mit Autor und Jahreszahl (in runden Klammern) zu zitieren. Das Literaturverzeichnis ist alphabetisch nach Autorennamen geordnet, in dieser Weise anzulegen:

GORKE, M. (1999): Artensterben. – Stuttgart.
WILDERMUTH, H. (2002): Artenschutz im Spannungsfeld zwischen Forschung und Umsetzung – Beispiel Libellen. – Artenschutzreport 12, 5-10.

Druck: Druckhaus Gera GmbH

Artenschutzreport

Heft 49 / 2023

Jena

Sonderheft

Mensch, Klima und Wald

MARTIN GÖRNER, ROLAND IRSLINGER, ERNST-DETLEF SCHULZE
und HELMUT WITTICKE

1. Einleitung 1

HELMUT WITTICKE

2. Waldgeschichte 2

ERNST-DETLEF SCHULZE

3. Wald und Kohlenstoffbilanz 12

ERNST-DETLEF SCHULZE

4. Wald und Wasserbilanz 15

ROLAND IRSLINGER

5. Wälder und Klimaschutz 17

ERNST-DETLEF SCHULZE

6. Wald und Artenvielfalt 20

ERNST-DETLEF SCHULZE und MARTIN GÖRNER
unter Mitarbeit von HANS-DIETER PFANNENSTIEL

7. Wald und Erholung 23

MARTIN GÖRNER

8. Wald und Windkraft 27

MARTIN GÖRNER, ROLAND IRSLINGER, HANS-DIETER PFANNENSTIEL,
ERNST-DETLEF SCHULZE und HELMUT WITTICKE

9. Ausblick 37

Dank 38

Literatur 38

1. Einleitung

MARTIN GÖRNER, ROLAND IRSLINGER, ERNST-DETLEF SCHULZE und HELMUT WITTICKE

Der Wald gilt als die natürliche Vegetationsdecke in Mitteleuropa. Wälder sind viel zu komplex und für Menschen zu lebenswichtig und für die Biodiversität zu bedeutungsvoll, als dass sie zum Spielball von Interessenskonflikten werden sollten.

Wenn von der Gesellschaft anerkannt wird, dass Wälder vielfältige biologische Funktionen haben und einen speziellen Lebensraum für zahllose Tiere, Pflanzen und Pilze darstellen, dann müsste der Wald in der heutigen Kulturlandschaft als ein sehr hochwertiges Landschaftselement angesehen werden, das vielfältige Nutzungsmöglichkeiten bietet.

Der Begriff „Nachhaltigkeit“, heute in aller Munde, hat seinen Ursprung in der Forstwirtschaft. Er wurde von dem Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz im Jahr 1713 geprägt. Er verlangte eine „continuierliche“, beständige Bereitstellung von Holzprodukten, ohne dass sich die Vorräte verändern. Dies impliziert, dass Wald und die Anliegen des Naturschutzes als Einheit gesehen werden können. In der heutigen Zeit ist der Nutzungsdruck so groß, dass ein Gleichgewicht geschaffen werden muss zwischen dem Bedarf an Holzprodukten, den Anliegen des Naturschutzes, dem Bedarf an Erholung und natürlich den Anforderungen des Klimaschutzes.

Es wird daran erinnert, dass im Jahr 1992 im internationalen Rahmen und zum gemeinsamen Handeln eine umfassende ökologisch ausgerichtete

- Konvention zum Klimaschutz,
- Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt,
- Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung und eine
- Deklaration zum Schutz der Wälder (bisher noch unverbindlich)

verabschiedet wurde. Auf eine Waldkonvention konnten sich die Nationen nicht einigen.

Alle Landschaften in Europa, die – gleich zu welcher Zeit – eine durch den Menschen erfolgte Beeinflussung erfahren haben, müssen als Kulturlandschaft bezeichnet werden. Die europäischen Wälder enthalten – bis auf potentielle Reste in Ost- und Nordeuropa – keine Urwälder mehr. Auch potentielle Urwaldreste wurden indirekt durch den Menschen beeinflusst (Schwefel- und Stickstoffdeposition, Ozon, etc.).

Eine anspruchsvolle Kulturlandschaftsentwicklung ist Grundlage für den biologischen, ästhetischen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Reichtum und bedarf einer begründeten und auf wissenschaftlichen Fakten basierenden Lan-

desplanung. Da sich Landschaften mit ihren Landschaftselementen in der heutigen Zeit schnell verändern können, gilt es, die vorgesehenen Wirtschaftsprozesse in der Landnutzung mit denen des ökologischen Potentials in Übereinstimmung zu bringen. In diesen Prozess sind auch die unterschiedlichen Wälder in ihrer Dichte und Verteilung mit einzubeziehen.

Ein besonderer Schwerpunkt bei der heutigen Diskussion um die Wälder ist ihre Geschichte mit den abzuleitenden Konsequenzen für den Schutz, die Nutzung und die Pflege.

Das Thema Klima ist, wie die Kohlenstoffbindung im Wald, eine Herausforderung für die gesamte Gesellschaft. Der Wert des Waldes im Sinne der Erholung und des Tourismus muss in diesem Zusammenhang evaluiert werden. Die Wohlfahrtswirkungen von Wäldern werden bisher nicht bewertet.

Aus dem Bereich der Wirtschaft und der Finanzen heben deutsche Wissenschaftler hervor, dass auf die natürlichen Lebensräume und die gewachsenen Kulturlandschaften erhebliche Eingriffe zukommen. WEIMANN (2018) weist auch darauf hin, dass das Klimaziel mit dem Handel von Emissionszertifikaten, die kontinuierlich abnehmen, europäisch formuliert ist und damit die Gesamtmenge der Emissionen effektiv gesteuert wird. Daran sollte eine nationale Politik nichts ändern. Die Konsequenzen des Zertifikathandels für den Wald sind unklar. Bislang wurden Emissionen aus LULUCF nicht angerechnet. Es könnte aber sein, dass in der Zukunft die Ernte von Holz als Emission gerechnet wird.

Eine Grundforderung der Gesellschaft ist die Erhaltung des Waldes. Dies bezieht sich nicht nur auf die Waldfläche, sondern auch auf den Wald als nachhaltiges, leistungsfähiges Ökosystem mit seinen vielfältigen Funktionen. So

müssen die Böden, die Wasserbildung, die unterschiedlichen Gewässertypen der Wälder ebenso betrachtet werden, wie die mannigfache Bodenvegetation mit ihren vielgestaltigen Waldgesellschaften, die Artenspektren der Tiere, Pflanzen und Pilze.

Die Trockenheit der letzten Jahre und der dadurch verstärkte enorme Einfluss der Borkenkäfer auf die Nadelholzbestände haben uns deutlich vor Augen geführt, wie sensibel die Forsten und Wälder sind. Die Forderung nach dem Aufbau oder der Umwandlung zu Mischwäldern sollte die Gesellschaft mittragen.

Das Vorhandensein oder Fehlen habitatwirksamer Kleinstrukturen in den Wäldern hängt entscheidend von den Standorten, aber auch von der Bewirtschaftung und von der Verteilung des Eigentums ab.

Im Hinblick auf den Klimaschutz ist es notwendig, Reinbestände (auch die der Buche) in Mischwälder umzuwandeln. Dazu gehört:

- eine standortgerechte Baumartenwahl
- Förderung der regional entstandenen Baumartenspektren
- Förderung der natürlichen Waldentwicklung sowie des Waldgefüges
- Erzielung eines natürlichen und gesunden Wildbestandes in den jeweiligen Waldgebieten und dessen Umland
- Einschränkungen bei der Nutzung für Erholung

Die dargelegten Gesichtspunkte gilt es, umgehend zu verwirklichen, ohne die wirtschaftlichen, ökologischen und umweltethischen Fragen innerhalb der Komplexität des Themas „Mensch, Klima und Wald“ auszublenden. Möge die vorliegende Broschüre dazu einen Beitrag leisten.

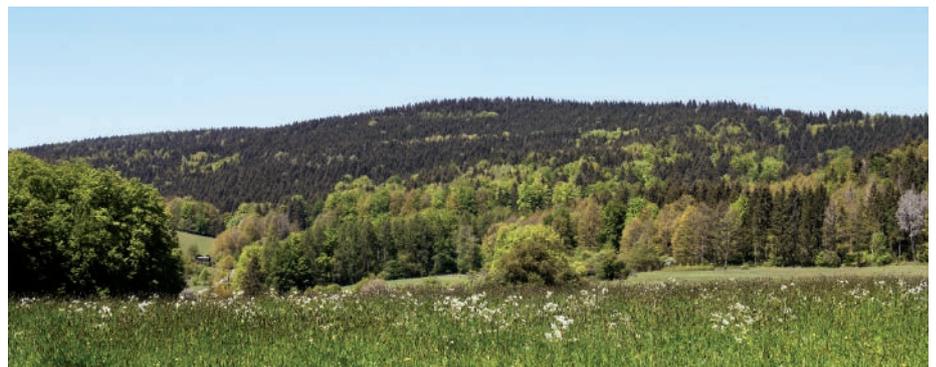


Abb. 1 Blick auf den Kleinen Thüringer Wald bei Schleusingen mit seinen kleinräumigen Waldstrukturen, die von hochwertigen Grünlandflächen umgeben sind (Aufn.: R. MÜLLER).

2. Waldgeschichte

HELMUT WITTICKE

2.1 Einleitung

Auf Grund seiner natürlichen Bedingungen, geprägt durch die Klima- und Bodenentwicklung seit der Weichselvereisung, wäre Thüringen ohne menschlichen Einfluss und den von Großherbivoren weitgehend ein Waldland. Nur kleinfächig kämen andere Vegetationsformen, besonders an Gewässern, in Sümpfen und Moorebenen vor. Vollkommen waldfrei wären nur wenige lokale Extremlagen, wie südexponierte Steilhänge des

Zechsteins und des Unteren Muschelkalles, Hochmoore im Thüringer Gebirge, einige Salzwiesen, Trockenbiotope etlicher Keuper-Kuppen und Gipskarsthügel, durch Eisgang baumfrei gehaltene Auen an Werra, Gera, Elster, Unstrut und Saale sowie Bereiche mit Einfluss von Großherbivoren (HOFMANN 1990, HIEKEL et al. 2004, GERKEN & GÖRNER 2012).

Auf etwa 95 % der Landesfläche würden sommergrüne Laubwälder wachsen. Nur im Thüringer Gebirge und in dessen benachbarten Buntsandsteinge-

bieten wären Nadelholzbestände aus Gemeiner Fichte, Waldkiefer und Weißtanne mit wechselnden Mischungsanteilen von Laubbaumarten vorhanden (HOFMANN 1990, WESTHUS et al. 1993).

Der mitteldeutsche Raum liegt in der Zone der sommergrünen Laubwälder. Hier beherrscht die Rotbuche als Hauptbaumart großflächig die Waldungen seit dem späten Subboreal (vgl. Tab. 1). Die Buchenwälder (Fageten) lösten damals die Wälder der Eichenmischwaldzeit ab, die im warmen Atlantikum mehr als 3.000 Jahre ganz Mitteleuropa mit Ausnahme hoher Gebirgslagen bedeckten (ANHUF et al. 2012 / Abb. 2).

In der warmen Eichenmischwald-Zeit wanderten aus dem Südosten Europas bandkeramische Siedler in die fruchtbaren Lößlandschaften Mitteldeutschlands ein. Als erste Ackerbauern und Viehzüchter revolutionierten diese Sippen nicht nur die Ernährungsweise, sondern sie beeinflussten mit Rodungen und Waldweide die hier vorgefundenen Naturgegebenheiten mit ihren damaligen Urwäldern erheblich und sie änderten die bis dahin einheimische Flora und Fauna. Sie leiteten somit Umgestaltungsprozesse ein, die in den nachfolgenden Jahrtausenden durch (Brand-)Rodung und Schendwirtschaft den Wald zurückdrängten und somit zunehmend zu Kulturlandschaften in Thüringen führten (MANTEL 1990, LÜNING et al. 1997, KÜSTER 2008).

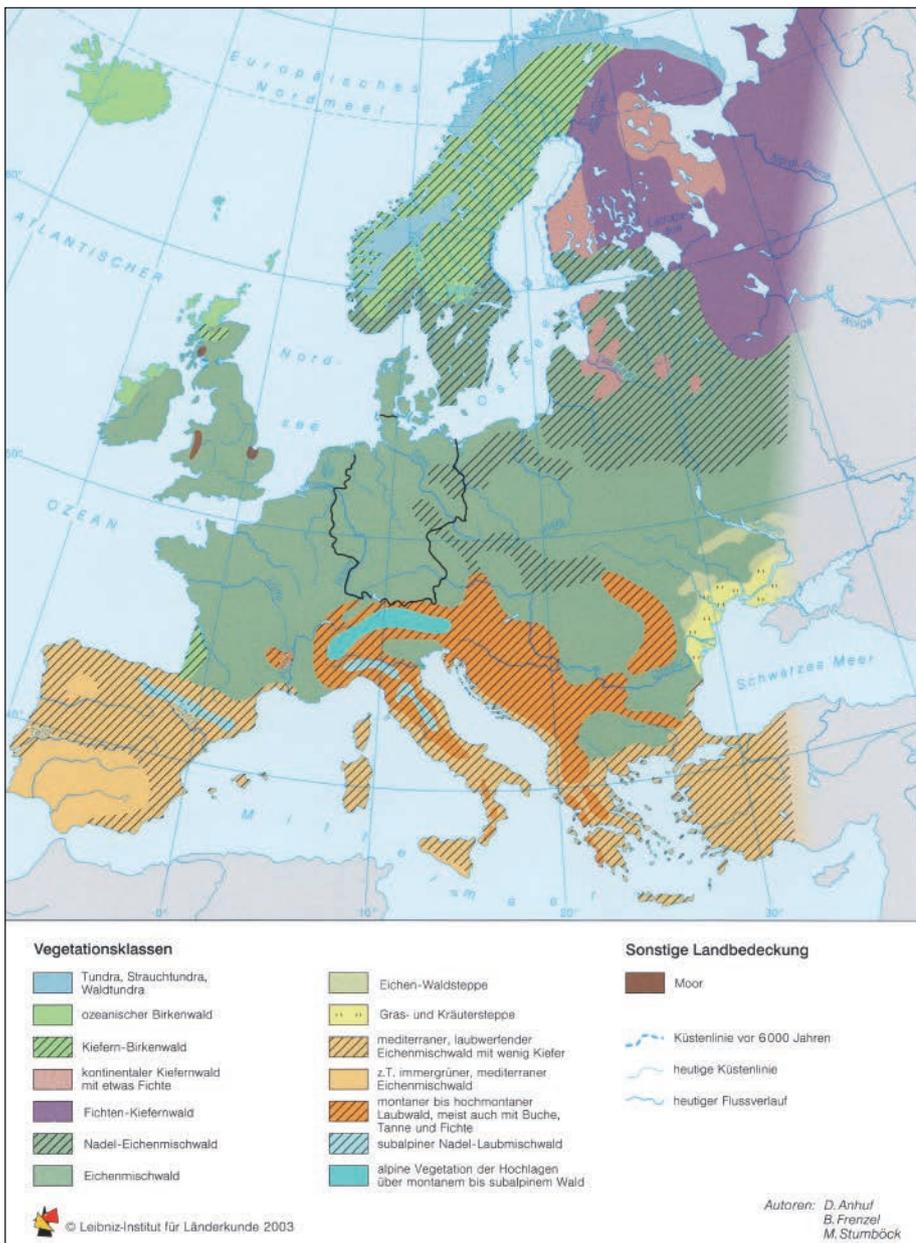


Abb. 2 Vegetation Europas vor 6.000 Jahren (Quelle: Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 3, S. 89).

2.2 Holozäne Einwanderung der Baumarten

Die derzeitige Boden- und Waldentwicklung Deutschlands begann mit der Gletscherschmelze der Weichselvereisung vor etwa 12.000 Jahren. Aus ihren südlichen Rückzugsräumen am Mittel- und Schwarzen Meer wanderten zuerst Waldkiefer, Sand- und Moorbirke, auch die Aspe als hoch wachsende Baumarten über die Burgunder- und Donaupforte in die Gebiete nördlich der Alpen ein. Ihre im Wind weit fliegenden Samen bildeten erste boreale Wälder, welche die bislang vorhandenen niedrig kriechenden Tundragehölze aus Polarweide und Zwergbirke mit der Leitpflanze Silberwurz verdrängten. Nachfolgend füllte die Hasel als Unterholz diese ersten lichten Waldungen. Eine starke Temperaturerhöhung führte im Atlantikum zu einem sogenannten Klimaoptimum. Das ermöglichte wärmeliebenden Baumarten eine rasche Einwanderung. Mit Ausnahme der Hochgebirge entwickelten sich im gesamten Mitteleuropa Eichenwälder, denen sich vor allem Ulmen- und Lindenarten sowie die Esche beimischten. Die

Baumarten der Eichen-Mischwaldzeit verdrängten die bisher dominierenden Kiefern-Birkenwälder nach Nordosten (ANHUF et al. 2012 / Abb. 2).

Seit dem Subboreal ist das Klima in Mitteleuropa durch ständige Schwankungen gekennzeichnet. Das flächenmäßige Vordringen von Fichte und Weißtanne, vor allem aber der Rot- und Hainbuche erfolgte erst vor 5.700 Jahren (ANHUF et al. 2012, SCHNEIDER 2013, WITTI-CKE 2017), vgl. auch Abb. 3.

Das immer noch herrschende Subatlantikum hat natürliche Waldgesellschaften erwachsen lassen, die infolge der hochmittelalterlichen Wärmeperiode und der nachfolgenden „kleinen Eiszeit“ genetische Vielfalt und somit Anpassungsmöglichkeiten unter den einheimischen Baumarten aufweisen (SPELLMANN 2019).

2.3 Großflächenrodungen und Bodenbewirtschaftung im Mittelalter

Die derzeitige Waldfläche Thüringens von etwa 550.000 ha (= 34 % der Landesfläche) ist vor allem ein gesellschaftlich bedingtes, historisch gewachsenes Ergebnis seit der letzten großen Rodungsperiode 1000 bis 1300 n. Ch.

Der germanische Stammesverband der Thüringer entstand durch Verschmelzung der seit dem 1. und 2. Jahrhundert hier ansässigen Hermunduren mit den während der Völkerwanderung aus nördlichen Küstenlandschaften hergezogenen Angeln und Warnen im 4. Jahrhundert. Das war mit größeren Rodungen von Wald verbunden. Diese „Thoringi“ und ihre Pferdezucht erwähnt erstmals der römische Militärhistoriker Publius Flavius Vegetius Renatus zwischen 380 / 400 in seiner Schrift „Ars veterinariae sive mulo-medicinae“, einer Anleitung zur Maultierheilkunde (JONSCHER 1993).

Seit der Bildung eines Thüringer Königreiches im 5. Jahrhundert und der Entstehung nunmehr dauerhaft ortsfester Siedlungen haben etwa 60 Generationen unserer Vorfahren die reiche Naturraumausstattung ihrer Heimat durch Nutzung abgewandelt und verändert, somit ökologisch noch vielseitiger gestaltet. Dörfer und Weiler entstanden nach Rodung in Siedlungskammern, deren Gemarkungen sich durch hohe Bodenfruchtbarkeit und dauerhaftes Wasserangebot für Mensch und Vieh auszeichneten. Während Haus und Hof, Vieh, Ackergeräte, Waffen, Kleidung und Schmuck in der Regel persönliches oder Familieneigentum waren, galten Fluren, Wälder und Gewässer als Gemeingut (Allmende). Deren Nutzung wurde durch die Dorfgenossen gemeinschaftlich organisiert.

In germanischer und frühmittelalterlicher Zeit war eine Zweifelderwirtschaft mit dem Hakenpflug üblich. Die Wechselnutzung von Acker- und Grasland in der Flur sicherte die Ernährung und

Tab. 1 Holozäne Vegetationsentwicklung im herzynischen Raum (nach FIRBAS 1949, SCHRETZENMAYR et al. 1973, BEHRINGER 2012, ANHUF et al. 2012).

Klimastufe:	Boreal	Atlantikum	Subboreal	Subatlantikum
Zeitraum:	8.690-7.270	7.270-3.710	3.710-450 v. Chr.	450 v. Chr. -heute
Pollenzone:	Va und Vb	VI und VII	VIII	IX und X
Bewaldung:	Haselzeit	EMW-Zeit *	EMW, Buche	Buchenzeit
Kulturstufe:	Mesolithikum	Neolithikum	Bronzezeit	Eisenzeit
Klima:	warm, trocken	Klimaoptimum: warm, feucht	noch warm, feuchter	kühl, feucht, ozeanisch
Baumarten:	Kiefer, Birke, Aspe, Hasel	Eiche, Ulme, Linde, Esche	Eiche, Rot- und Hainbuche	Rotbuche, Fichte; Hochmoorbildung

* EMW = Eichenmischwald

Pollenzone: siehe FIRBAS (1949), SCHNEIDER (2013)

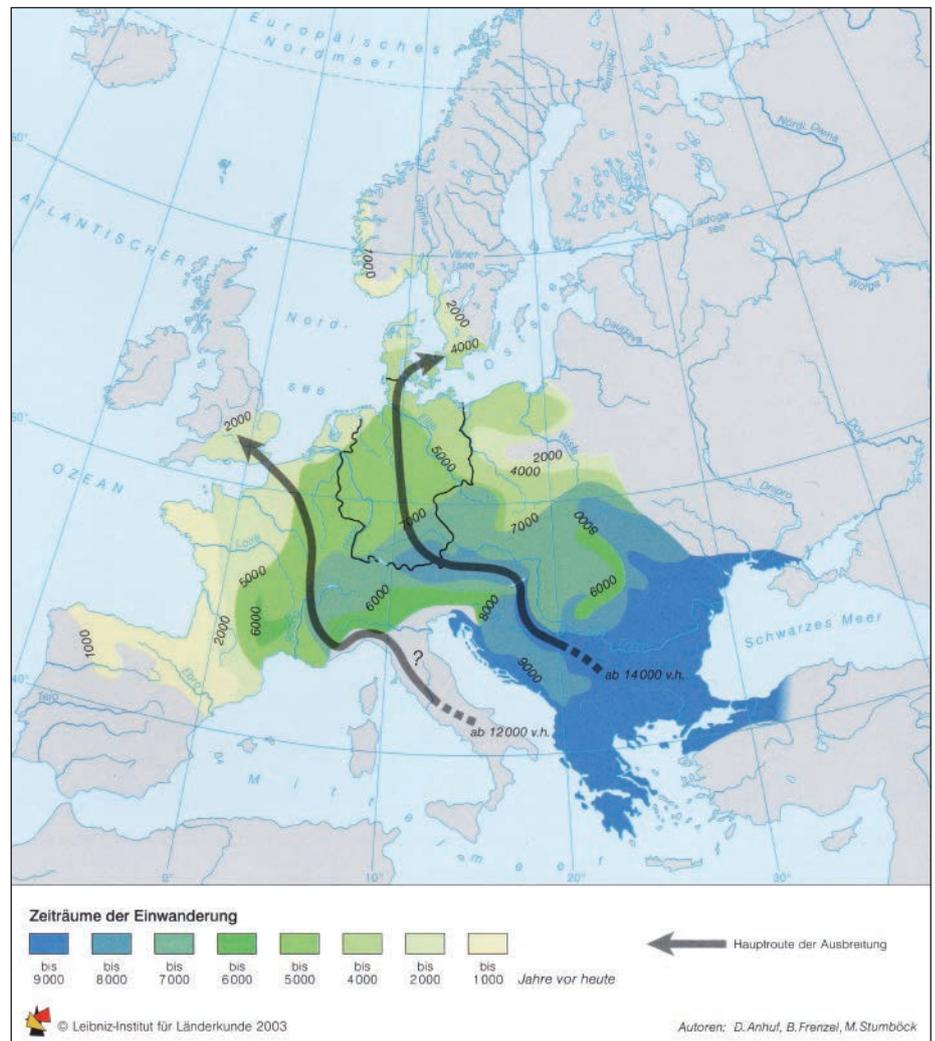


Abb. 3 Ausbreitung der Rotbuche seit der letzten Eiszeit (Quelle: Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 3, S. 90).

teilweise die Viehhaltung. Großvieh, das damals wichtigste Eigentum, hütete man zumeist im Wald. Die bäuerliche Tätigkeit war bei dieser Feld-Graswirtschaft besonders auf Erzeugung tierischer Produkte ausgerichtet (LÜNING et al. 1997).

Überall umgaben umfangreiche Wälder die Feldfluren der Dörfer, die in

Ortsnähe durch Viehweide, Hackwirtschaft und andere Nutzungen zunehmend aufgelichtet wurden. In den Laubholzgebieten bestimmte vor allem Niederwaldbewirtschaftung dorfnah die Wälder. Sie beruhte auf Kahlschlag von Jungholz aller 7-15 (-20) Jahre nach festgelegten Abfolgen in Schlagreihen (Hackwä-

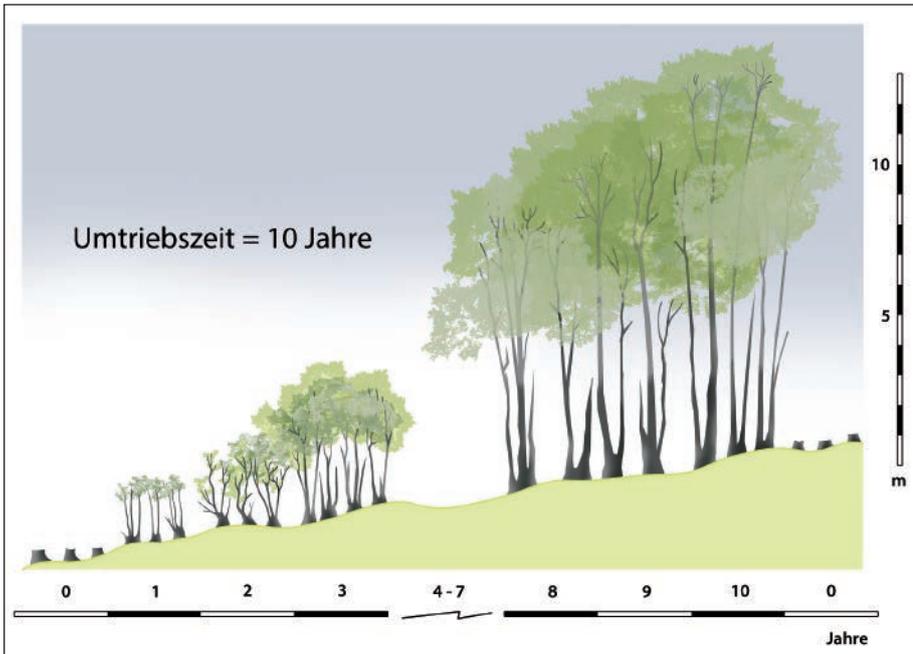


Abb. 4 Niederwald-Hiebsfolge (Grafik: WITTICKE/MALTZAHN 2015).

der, -wirtschaft), vgl. Abb. 4. Die kahl gehackten Flächen verjüngten sich danach natürlich über Stockausschlag und Wurzelbrut vegetativ. Das bevorteilte wegen ihres guten Ausschlagvermögens Eichen, Linden, Hainbuche, Hasel, Feldulme und Aspe in den Niederwäldern. Da die Rotbuche Kahlhiebe schlecht verträgt und Schösslinge treibt, deren

Aufwuchs in Thüringen geringer als der anderer Baumarten ausfällt, verliert diese Hauptholzart wesentliche Anteile in den Schlagreihen (WITTICKE 2017a, b).

Die wegen ihrer großen Wurzelballen lang austreibenden Schösslinge hießen im 1. Wuchsjahr Sommerlatten. Der althochdeutsche Ausdruck „sumarlota“ ist Sprachbeweis für eine solche



Abb. 5 Einschlag und Transport von Reisigwellen und Brennknüppeln (Stundenbuch des Herzogs Jean de Berry; Kalenderbild Februar (Ausschnitt); gemalt von den Gebrüder Limburg um 1410).

Waldnutzung seit dem Frühen Mittelalter (Deutsches Wörterbuch, Bd. 16, Sp. 1540).

Diese Waldbewirtschaftung diente zur Versorgung der Gehöfte mit eingebundenem Reisig (Wellreisig) als täglich gebrauchtes Küchenholz auf den damals offenen Herdstellen (Abb. 5). Jeder Hof brauchte im Jahr etwa 1.400 solcher Reisigwellen. „Wellerchen binden“ gehörte bis zum 20. Jahrhundert zu den jährlichen Arbeiten der bäuerlichen Bevölkerung in Thüringen. Die trockenen Reisigwellen erzeugten rasch Hitze und sorgten so für schnelles Kochen, Braten und Backen. Somit sind sie mit dem modernen Elektro- und Gasverbrauch vergleichbar. Niederwälder durften erst dann zur Waldweide genutzt werden, wenn die Wipfel der Stockausschläge dem Viehmaule entwachsen waren (WITTICKE 2015).

Die stärkeren Äste sowie das Stangenholz der Haue erbrachten Brennknüppel und Holzscheite als Heizholz für Wintertage. Jenseits des Niederwaldgürtels eines jeden Dorfes wachsender Wald lieferte Bau- und Werkholz oder wurde als Hutewald genutzt. Pferde, Rinder, Ziegen, Schafe und Schweine weideten bei normalem Witterungsablauf ganzjährig im Walde (KÜSTER 2008, WITTICKE 2015).

Die Bewaldungsprozente, die Baumartenanteile, die Struktur und der Zustand des Waldes werden seitdem weitgehend von menschlicher Nutzung beeinflusst und überformt (KÜSTER 2008).

Drei durch bäuerliche Siedlungstätigkeit geprägte Rodungsperioden bestimmten die Wald-Feld-Verteilung in Thüringen maßgeblich: In der ersten Rodungsperiode blieb die bäuerliche Landnahme der germanischen Stämme der Hermunduren, Warnen und Angeln auf Lössböden oder auf Zechsteinkalke im Altsiedelgebiet zwischen Weser und der Saale-Elbe-Linie beschränkt.

Nach der Zerschlagung des Thüringer Königreiches 531 durch Franken und Sachsen siedelten fränkische Bauernkrieger und deren militärische Anführer von der Rhön und dem Thüringer Wald im Süden bis zum Harz im Norden mit der Saale als östlichen Grenzfluss. Im Bereich zwischen Ilm und Saale verstärkten und ergänzten slawische Siedler die zweite Rodungsperiode.

In dieser Fränkisch-Karolingischen Rodungsphase vom 7. bis 9. Jahrhundert sind die reichen bis kräftigen Braunerdeböden der einst ausgedehnten Buchenwälder des Hügel- und niederen Berglandes in Ackerfluren und Weiden umgewandelt worden. Die fränkische Kolonisierung änderte das Landschaftsbild erheblich. Nach anfangs schwächerem Landesausbau in der merowingischen Zeit entfaltete die fränkische Übersiedlung unter den karolingischen Herrschern, besonders in der Regierungszeit Karls des Großen (768-814), eine immer größere Wirkung. Das trifft sowohl auf die Umgestaltung der Naturverhältnisse, als auch bei gesellschaftlichen Entwicklungen zu.

Neben und zwischen den Gemarkungen thüringischer Bauern entstanden fränkische Ortschaften, die sich zumeist mit -hausen, -dorf und -heim in den Ortsbezeichnungen ausweisen. An den Grenzen, an Furten und anderen militärstrategisch wichtigen Geländeabschnitten legten die Franken entsprechende Warten und Befestigungen an, die sie mit Wegen verbanden. Solche Rennwege sind im Hainich, im Eichsfeld, in der Hainleite, in der Schrecke und Finne inmitten von Wäldern heute noch nachweisbar. Die fränkische Kolonisierung war verknüpft mit aufgezwungener Fremdverwaltung, mit Feudalisierung und Christianisierung, mit Errichtung von Fronhofverbänden (Villikationen) und entsprechender Abhängigkeit, mit Abgaben und Steuern, vor allem aber mit Fronarbeit (PATZE 1962, PATZE & SCHLESINGER 1973/1974).

Schon die Schenkungsurkunde des fränkischen Herzogs Heden, der von Würzburg aus Thüringen verwaltete, bezeugt 704 für Arnstadt feudale Abhängigkeit, aber auch die große Bedeutung der Waldweide, da die Hirten gesondert aufgeführt werden. Die für die Geschichte Thüringens bedeutsame Regeste nennt erstmalig hiesige Ortschaften, nämlich Arnstati (Arnstadt), benachbart davon Mullenberg (Mühlberg) und weiter entfernt Monhore (Großmonra) nahe dem heutigen Kölleda. Diese drei Ortschaften sind somit die ältesten urkundlich nachgewiesenen Siedlungen in Thüringen. Heden und seine Gemahlin Theodrada schenken zum Heil ihrer Seelen und zur Förderung des Christentums dem Bischof Willibrord einen großen Hof (Fronhofverband) bei Arnstadt: „[...] mit allen Zugehörungen, das ist mit Häusern, kleinen Gehöften, Feldern, Wiesen, Weideplätzen, Wäldern, Wassern, mit Beweglichem und Unbeweglichem, mit den Leibeigenen / Hörigen, dem Großvieh, den Kuhhirten, Schäfern, Schweinehirten und was sonst noch dazu gehört.“ (WERNER, M. 2004, Die Ersterwähnung Arnstadts im Jahre 704, S. 7).

Bedeutende Anteile am Landesausbau, aber auch an der Abhängigkeitsentwicklung bislang freier Dorfgemeinschaften in ihren Gemarkungen hatte das von Karl dem Großen 775 zur Reichsabtei erhobene Kloster Hersfeld, welches mit vielerlei Rechten in Thüringen ausgestattet wurde. Im südlichen Landesteil war außerdem das Kloster Fulda einflussreich wirksam.

Das fränkische Feudalsystem löste entsprechenden Widerstand aus. In Gegenwehr führte der Edeling Hartrat 785/86 einen folgenschweren Aufstand in Thüringen an, den Karl der Große blutig niederschlagen ließ. Die fränkischen Sieger enteigneten die Güter und besetzten die Höfe der Rebellen und errichteten darauf Stützpunkte und Königshöfe, die sich später oft zu Pfalzen oder Adelsitzen entwickelten (PATZE 1962, JONSCHER 1993).

Betroffene Wälder fielen im Aufstandsgebiet unter Königsbann. Ihre Beaufsichtigung und Nutzungsregelung leitete vermutlich ein Verwalter, meistens der Meier (lat. maior) des jeweils zuständigen Königshofes. Ob damals die mehrstufige Forstverwaltung der altfränkischen Gebiete mit Forstmeistern (magister forestarii) und Förstern (forestarii), denen als unfreie Hilfskräfte die Forstknechte (servi forestarii) zur Durchführung von Waldarbeiten unterstanden, auch in Thüringen wirkte, ist urkundlich nicht belegt (MANTEL 1990).

Mit dem zunehmenden karolinischen Landesausbau im 8. Jahrhundert entwickelte sich die Dreifelderflur mit Gewannen, die in der Abfolge Brache, Wintergetreide und Sommersaat mit Flurzwang bewirtschaftet wurde. Jeder Berechtigte bearbeitete im Gewinn in nachbarlicher Abstimmung den zugewiesenen Ackerstreifen. Der neu eingeführte, rädergestützte Beet- oder Wendepflug mit Eisenschar ermöglichte eine bessere Bodenbearbeitung. Die Getreideerträge stiegen. Durch Einsatz des Kummets verdrängten Pferdegespanne die Ochsen als Zugtiere, erforderten aber Hafer als Kraftfutter (HENNING 1994).

In der durch Rodungsgrafen im Auftrag der Ottonen, Salier und Staufer sowie durch die berühmten Rodungsorden der Benediktiner und Zisterzienser auf Reichslehen organisierten 3. Rodungsperiode, griff die Entwaldung dann schließlich auf bodenschwache, saure Braunerden des höheren Hügellandes und der Mittelgebirge über. Es entstand somit landwirtschaftliche Nutzung am Rande oder sogar inmitten der nadelholzdominierten Bergmischwälder des Thüringer Gebirges. Auf der Leeseite des Schiefergebirges reichten die Rodungen bis in den Höhenbereich von 650 m ü. NN. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die hochmittelalterliche Wärmeperiode mit besseren klimatischen Bedingungen

als derzeitig Ackerbau und Viehzucht in solchen Berglandschaften begünstigte und folglich die damalige bäuerliche Landnahme in diesen höheren Lagen erst ermöglichte (BEHRINGER 2012, GLASER 2013).

Die Landnutzung der im Hochmittelalter neu entstehenden Dörfer im Vogtland, im Thüringer Gebirge und in den benachbarten Buntsandsteinlandschaften unterschied sich wesentlich von bisheriger Bodenbewirtschaftung im Hügel- und Flachland. Die von Nadelholz geprägten Wäldungen rund um die jungen Rodungsdörfer hatten wegen geringerer Bodenfruchtbarkeit und völlig anderer Vegetationsverhältnisse eine grundlegende Umstellung der bäuerlichen Wirtschaftsweise zur Folge.

Die dort wachsenden Nadelbaumarten Fichte, Tanne und Kiefer lassen sich nämlich nur über Samen, also generativ, verjüngen. Die entsprechenden Auf- oder Kernwüchse ergeben Hochwald. Damit mussten die Gebirgsbauern mit der althergebrachten Brennholzgewinnung im Niederwald brechen. In den rauen Mittelgebirgslagen fehlte die wichtige Mastbaumart Eiche, das führte zu einer starken Einschränkung der Schweinehaltung.

Die Höhenlagen über 400-500 m ü. NN erforderten wegen der kurzen Vegetationsperiode andere Feldbausysteme gegenüber den begünstigten unteren Landschaften mit der dort üblichen Dreifelderwirtschaft. Nur die Sommerfrüchte Hafer, Hirse, Buchweizen und Lein konnten erfolgreich angebaut werden, warfen aber zumeist geringe Erträge ab. Daher entstanden andere Flurstrukturen – den Höfen wurde ein langer Flurstreifen zugeteilt. Rodungsgrafen oder Vögte aus den Adelsgeschlechtern der Ludowinger, Henneberger, Schwarzbürger sowie Lobdeburger – die späteren Reußen – steuerten im Königsauftrag diese Landnahme. Örtlich leiteten sogenannte Lokatoren Flächenerkundung, Rodung, Hausbau und Fluraufteilung. Diese tatkräftigen



Abb. 6 Dittersdorf/Saalfelder Höhe: Gelängsflur (Aufn.: H. WITTICKE, 2008).

Anführer von siedlungswilligen Bauernfamilien, welche zumeist aus dem Rhein-Main-Gebiet stammten, sind wegen ihrer Anerkennung und Tüchtigkeit häufig mit ihrem (Vor-)Namen in die Ortsbezeichnung der neu entstandenen Dörfer eingegangen, siehe z. B. Dietrich bei Ditterdorf (WITTICKE 2015).

Die Gemarkungen der neugeschaffenen Waldhufendörfer gliederten sich mit den streifenweisen Bewirtschaftungsflächen zu einer charakteristischen Gelängsflur (vgl. Abb. 6). Hinter der Hofstätte zog sich das Gelände, welches 1 Hufe umfasste, aus dem Bachgrund hangaufwärts. Dabei entsprach die alte Fränkische Landhufe 30 Acker (etwa 12 ha), während die Sächsische Landhufe rund 20 ha aufwies. Allgemein teilten die Bauern ihre bewirtschaftete Fläche hinter dem Gehöft in Acker (Wonne), Wiese am Mittelhang und Wald(-weide) im oberen Hangbereich. Trotzdem ihre Hufen durch eigene Rodungsarbeit entstanden, zählten sie nicht zum Familieneigentum wie ihr selbsterbautes Haus, die Ackergeräte und das Vieh. Rechtlich galt die bewirtschaftete Hufe als Lehen, war jährlich mit Abgaben belegt und konnte nur nach Zahlung von Erbzins an die erbberechtigten Nachkommen weitergegeben werden. Um die soziale Lage der Familie zu verbessern, strebten die Waldhufenbauern eine verstärkte Haltung von Rindern, Schafen und Ziegen an, ohne die Futtergrundlage auf der eigenbewirtschafteten Fläche sichern zu können. Das erforderte Waldweide in den angrenzenden Wäldern, die zumeist von örtlichen Lehnsherren im königlichen Auftrag verwaltet wurden. Gleichzeitig im Hohen Mittelalter ist in den bodensaurigen Kiefernwaldern des Buntsandsteingürtels nördlich des Schiefergebirges im Holzland und bei Paulinzella sowie südwestlich des Thüringer Waldes auf Werrabuntsandstein gerodet worden (WITTICKE 2015).

Bei der Anfertigung von Gegenständen des täglichen Bedarfs standen Laubholzarten mit ihren sehr unterschiedlichen Gebrauchseigenschaften im „hohen Wald“ nur eingeschränkt zur Verfügung. Dagegen boten die gut bearbeitbaren, langschäftigen Nadelhölzer völlig neue Verwendungsmöglichkeiten, besonders im Bauwesen und durch die Harznutzung. Zur Dacheindeckung war Stroh nicht einsetzbar, da die eingebrachten Stroh mengen in Gebirgslagen im Winter als Futterreserve dienten. Auch Schilf fand als Dachbedeckung kaum Verwendung, da Teichufer oder Nasswiesen mit ausreichendem Schilfwuchs um die Höhendörfer selten vorkamen. Die Dachschindel, aus starken Tannenstämmen gespalten, stellte vom Schiefergebirge bis zum mittleren Thüringer Wald, dem natürlichen Verbreitungsgebiet der Weißtanne, über Jahrhunderte das wichtigste Bedachungsmaterial. Die Übernutzung der Weißtanne resultiert zu einem Großteil aus der Schindelfertigung, die in ländlichen Gebieten erst im 19. Jahrhundert durch Herstellung von Dachschiefer oder Dachziegeln ersetzt werden konnte (WITTICKE 2013).

Die drei großen Rodungsperioden im Frühen und Hohen Mittelalter, welche den damals riesigen Waldanteil von vermutlich 80-85 % im 5. Jahrhundert auf etwa 25 % im 13. Jahrhundert drückten, bestimmten den Landschaftswandel und beeinflussten das Lokalklima erheblich. Die Waldrodungen führten zu einer erheblichen Veränderung der Landschaftsausstattung. Das neugeschaffene Offenland verschärfte über ungehinderte Ein- und Ausstrahlung die Temperaturgegensätze im Tageslauf und Jahresgang. Damit erhielten weite Gebiete Thüringens ein Klima mit mehr kontinentalem Charakter. Ehemalige Waldböden trugen nun künstlich geschaffene Kultursteppenvegetation, die ihrerseits einer zuge-

hörigen Steppentierwelt Lebensraum bot. Die Niederschläge fielen auf zeitweilig durch Pflugarbeit vegetationslose Äcker und lösten stärkere Erosionen in geneigten Geländeabschnitten aus. Der Oberflächenabfluss spülte die schwachen Lößdecken der Mittelgebirgsstandorte über die Bäche und Flüsse in die Niederungen, was dort zu übermäßigen Auebildungen führte. Im Verlaufe des Mittelalters verloren geneigte Bodenflächen mit ihren Lößauflagen auch ihre gute Pflugfähigkeit, ihre Oberbodenstruktur und ihre Ton-Humuskomplexe – sie wandelten sich allmählich zu flachgründigen, steinigen Ackerflächen um. Daher wuchsen über die Jahrhunderte zunehmend die Lesesteinwälle an den Ackerrainen (HENNING 1994, KÜSTER 2008).

Ab dem 13. Jh. sanken die Temperaturen wieder. Menschen, Vieh, Wald und Flur hatten im 14. Jahrhundert eine kalte Feuchtperiode zu überstehen. Gehäufte Witterungsunbilden mit ihren Missernten führten zu Hungersnöten und Seuchenzügen. Besonders die Pestepidemie 1347-52 hatte für das Land katastrophale Auswirkungen (JONSCHER 1993).

Die Bevölkerungsdichte sank somit im 14. Jahrhundert erheblich. Der für diese Zeit charakteristische Wüstungsprozess führt in Thüringen zur Aufgabe von etwa 30 % aller bisherigen Siedlungen, besonders auf schlechteren oder durch Erosion nicht mehr nutzbaren Böden. Aufzeichnungen lassen auf einen Bevölkerungsrückgang von mindestens einem Viertel, örtlich sogar einem Drittel gegenüber dem vorgehenden Jahrhundert schließen. Die nunmehr unbearbeiteten Fluren erobert sich der Wald zurück, auch siedlungsnah erholen sich die Bestandsvorräte infolge des stark gesunkenen Bedarfs an Holz aller Art. Die Wälder können durch diese Nutzungsflaute die hohen Holzmassen anreichern, welche zu Beginn der Neuzeit als Rohstoff- und Energiegrundlage eine bedeutende Wirtschaftsentwicklung und auch kulturelle Blüte in Thüringen ermöglichten (JONSCHER 1993, WITTICKE 2015).

Schließlich setzten im Spätmittelalter größere Rodungen in bislang wenig zugänglichen Gebirgslagen des Landes ein, die einen ersten Höhepunkt im 16. Jahrhundert fanden, sich aber lokal bis weit in die Neuzeit erstreckten. Diese Rodungen waren nicht durch bäuerliche Landnahme, sondern industriell bedingt. Die energetische Grundlage dafür waren Wasserkraft und Holzkohle. Entstehende Montanbetriebe, wie Bergwerke, Pochanlagen, Eisenhämmer, Schmelz- und Saigerhütten sowie ab 1525 auch Glashütten, erforderten Flächen für die Wirtschaftsbauten und entsprechende Unterkünfte für Bergleute, Hüttenarbeiter, Holzhauer, Köhler, Aschebrenner und Fuhrleute.

Wegen der Erzvorkommen an Berghängen und der Wasserkraftpotenzen entstanden diese Ortschaften meistens in hochgelegenen Tälern an Gebirgs-



Abb. 7 Rohrhammer bei Katzhütte (Aquarell um 1780 (?), Künstler unbekannt; Schlossmuseum Arnstadt, Sign. II-90-3).

flüssen, die sich durch großes Gefälle auszeichneten (vgl. Abb. 7). Um ihre Ernährungsprobleme zu lösen, legten die Montan- und Forstarbeiterfamilien schmale Terrassenäcker und Bergwiesen durch Rodung an. Die kleinen landwirtschaftlichen Nutzflächen, mühsam in Hackkultur bearbeitet, erbrachten nur geringe Erträge (WITTICKE 2015).

Jagdregale thüringischer Grafen, eingewiesene Köhler, Ausbau vieler Gebirgsflüsse für die Flößerei und konzentrierte Einschläge von Floßholz haben außerdem Kleinsiedlungen in den Flusstälern bis hoch in das Thüringer Gebirge im 16. Jh. entstehen lassen. Auch an alten Handelswegen, die als „Hohe Straßen“ über die thüringischen Hügelländer und die Pässe der Mittelgebirge führten, sind kleine Siedlungsinselformen entstanden, um bei Anstiegen den notwendigen Vorspann zu gewährleisten und Herberge zu bieten (WITTICKE 2015).

Im Spätmittelalter brachen (Eichen-) Hutewälder wegen Überalterung zusammen. Durch den kurzfristigen sich wiederholenden Kahlschlag erschöpfte sich auch das Ausschlagsvermögen der Niederwälder. Großflächig ersetzten die Bauern solche wenig produktiven Flächen durch Mittelwaldbestockung. Mittelwald ist nach Verjüngung und Struktur eine Kombination von Nieder- und Hochwald. Während der Oberbestand, auch Oberholz genannt, als Kernwuchs generativ aus Samen verjüngt wird und ungleichartig aufwächst, entwickelt sich das gleichaltrige Unterholz, der Unterstand, vegetativ durch Stockausschläge und Wurzelbrut. Sein Abtrieb erfolgte je nach Standortverhältnissen und Lichtgenuss zumeist in 20-40 Jahren. Der Schwerpunkt der Nutzung lag auf dem Unterstand, um vor allem Wellreisig zu erzeugen (Abb. 8).

Dem Oberholz entnahmen die Nutzer im Sortimentshieb ganz bestimmte Gebrauchsstämme für Werkzeuge und Geräte im bäuerlichen Bedarf sowie ihr Bauholz ohne Rücksicht auf den verbleibenden Bestand („wüste Plünderung“). Die ausgehauenen Stämme im Oberbestand mussten durch nachgezogene Lasseitel oder Hegebäume laufend ergänzt werden (vgl. Abb. 9).

Der Mittelwaldbetrieb war eine bäuerlich geprägte Naturalversorgungswirtschaft, die neben der Nutz- und Brennholzgewinnung (vgl. Abb. 10) auch Waldweide ermöglichte, wenn der Unterstand dem Viehmaule entwachsen war. Schafe konnten meist nach dem 5.-8. Jahr, Rindvieh nach dem 8.-12. Jahr in die entsprechenden Forstorte eingetrieben werden. Ökologisch betrachtet ist Mittelwald ein Dauerwald, der geschickt gesteuert, über lange Zeiträume genutzt werden konnte. Die entscheidende Kunst bestand in der ständigen Regulierung des Lichtbedarfs für das Unterholz und in der Sicherung einer genügenden Anzahl von Lasseiteln verschiedener Baumarten, um immer wieder den Einschlag von Nutzstämmen unterschiedlicher Abmessungen im lichten Oberholz auszugleichen (WITTICKE 2015).

Mittelwälder bestimmten in den Laubholzgebieten Thüringens etwa 500 Jahre Waldstrukturen, Waldnutzungen und Landschaftsbilder. Ihre durch Übernutzung erzwungene Ablösung erfolgte zögerlich in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts, vor allem aber im 19. Jahrhundert durch von Forstleuten geschaffene, leistungsfähige Hochwälder. Wenn die Naturverjüngung versagte, besonders auf devastierten Forstorten, erbrachten Waldarbeiter über künstliche Wiederaufforstung mit Saat und Pflanzung neue Kulturen (WITTICKE & BIEHL 2009, WITTICKE 2017b).



Abb. 8 Well(en)holz zur Küchenversorgung (Buch der Weisheit alter Meister, Holzschnitt 1483).

2.4 Waldfunktionen

Der Zustand der Waldungen wird weitgehend von der Form des Eigentums und damit von ihrer Nutzung bestimmt. Im Altsiedelgebiet Thüringens, gekennzeichnet durch die gut pflügbaren, fruchtbaren Lößdecken, beeinflussten 1.500 Jahre bäuerliche Bewirtschaftung die dort vorkommenden Laubwälder. Dabei überwog fast über den gesamten Zeitraum die Nutzung der Waldungen als Nährwald und Energiequelle deren Funktion als Lieferant von Bau- und Werkholz.

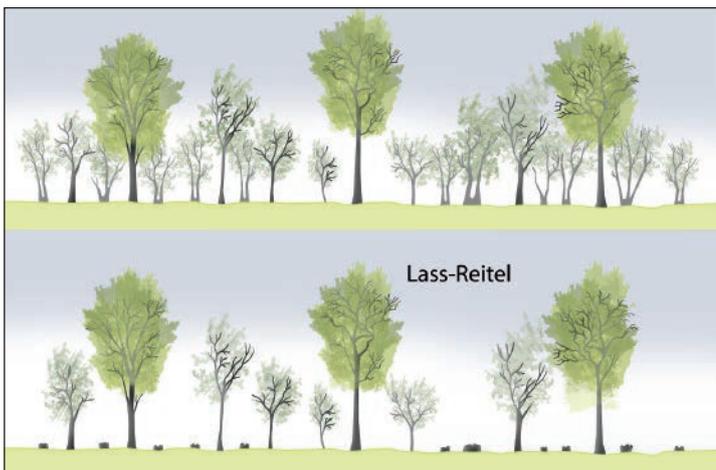


Abb. 9 Mittelwald vor und nach der Unterholznutzung (Grafik: WITTICKE/MALTZAHN 2015).

Abb. 10 Mittelwald nach der Unterholznutzung (Aufn.: Fm. E. MAHLER, Arnstadt, um 1930).



Tab. 2 Waldnutzungen vom Mittelalter bis zum 19. (20.) Jhd. in Thüringen (nach MANTEL 1990, WITTICKE 2015).

Nährwald		Nutzwald	
Waldweide (Hutewald)	Rinder, Pferde, Ziegen, Schafe; meist ganzjährig	Brennholz als Küchen- und Heizholz: Wichtigstes Sortiment: Kronenäste	aus Nieder- /Ausschlagwald, alle 7-20 Jahre genutzt; vom Unterholz im Mittelwald, alle 10-25 (-40) Jahre genutzt. Reisigwellen , daneben Brennknüppel. nach Nutzung im Oberholz
Schweinemast Untermast	mit wildschweinähnlichen Rassen. Mäuse, Schnecken, Würmer, Insekten, Pilze, Wurzeln		
Schweinemast Obermast	mit wildschweinähnlichen Rassen. Eicheln, Eckern, Nüsse, Wildobst ab Michaeli (29. September)	Nutzholz als Bau- und Werkholz Wellenholz Röhrenbäume	Blochholz für Zimmerer. Werkholz für Tischler, Wagner, Drechsler, Böttcher, Kahnbauer, Mollenhauer. für Mühlräder. für Brunnen- und Wasserleitungsbau. Schnitzholz, Maltafeln. aus Starktannen gefertigt Eichenpfähle für Weinbau Hasel und Weide für Kübel, Fässer, Wannen, Eimer. Holzkohle Besenbinderei Korbflechtere Weide, Hasel, Hainbuche, grüne Fichtenäste. Reisig vieler Baumarten. Eichenkoppelpfähle Weide, Hainbuche Scharharz bei Fichte Pechöfen bei Kiefer
Laubheu, Laubfutter	Futterlaubtrocknung um Johanni (Johannistriebe), Zweigschneideln		
Waldgras, Laubfutter	Futtergrasgewinnung (Gräserei), Laubsträufeln an Jungbäumchen	Künstlerbedarf Schindeln Rebholz Reifstecken	
Pilze	Frisch-, Trocken- und Gewürzpilze		
Heilkräuter	Tee, Heilpackungen	Meilerholz Birkenreisig Weidenruten Flechtwerk für Gefache Faschinen Zaubauholz Flechtzäune Harz, Ruß Pech, Kienöl	
Zeidlerei	Honig als Nahrungsmittel, damals einziger Süßstoff Wachs für Kirchenriten, auch zur Konservierung		
Beeren Nüsse	Mus, Säfte, Trockenbeeren Haselnüsse als Essvorräte	Lohrinde Farbrinden Bast Pottasche aus Aschewäldern Zunder	Eiche, Birke, Fichte Tuchfärberei von Linde aus Niederwald, auch von Weide Abbrennen von Ast- und Zweigmaterial aus Zunderschwämmen
Jagd Vogelfang	Wildbret, Leder, Pelze, Felle, Darmsaiten Wildgeflügel; Zier-, Bettfedern		

In den später gerodeten Waldgebieten der höheren Lagen bekam die Waldweide mit Rindvieh, Schafen und Ziegen eine noch größere Bedeutung, da dort die Ackererträge viel geringer ausfielen. Die Brennholzgewinnung im Nadelholz gestaltete sich schwieriger, weil hochgewachsene und stärkere Bäume zum Einschlag kamen. Das war gefährlicher als der Abtrieb von Laubholzstangen im Niederwaldbetrieb und erforderte zusätzlich Spaltarbeit (WITTICKE 2015).

Eine enorme, heute kaum noch vorstellbare Bedeutung hatten Lohrinden-, Harz-, Pech- und Rußgewinnung, die Bast- und Zunderherstellung sowie die Pottaschensiederei in entsprechend genutzten Waldgebieten (MANTEL 1990).

2.5 Waldentwicklungen im 18. und 19. Jahrhundert

Nach der gesellschaftlichen Katastrophe des Dreißigjährigen Krieges 1618-48 dauerten die allgemeine wirtschaftliche Erholung und der Ausgleich der Bevölke-

runszahlen Jahrzehnte. In den entstehenden Kleinstaaten, die in Thüringen durch feudale Landesherren absolut regiert wurden, setzte sich eine merkantilistische Wirtschaftspolitik (Kameralismus) durch. Die kameralistisch geführte Wirtschaft mit ihrem inneren Landesausbau und der Förderung der „fruchtbaren Stände“ Bergbau, Landwirtschaft und Forstwirtschaft ergab die Grundlagen für das Leben auf dem Lande und in den Städten sowie die Ausprägung von barocken Hofhaltungen in den Residenzen. Diese gesellschaftlichen Prozesse beanspruchten die Waldungen maßgeblich.

Manufakturproduktion für Metall-, Tuch-, Leder- und Glaswaren blühte auf. Zusätzlich entstanden nach 1760 auch Porzellanmanufakturen überall im Thüringer Gebirge. Brennholz und Holzkohle, aber auch Wasserkraft, lieferten dazu die Energie. Holznutzung und Holzverkauf nahmen riesige Ausmaße an. Eine schrankenlose Ausplünderung der Wälder führte rasch zu holzlosen Lehden (kahle Berghänge) und Blößen. Diese größer werdenden Kahlfelder wiesen

wegen der Verschlechterung kleinklimatischer Bedingungen nur spärliche Naturverjüngungen auf, die unter zunehmender Waldweide litten. Außerdem gewann die barocke Jagd als wichtiges Hofvergnügen den Vorrang vor einer ordnungsgemäßen forstlichen Bewirtschaftung der Wälder. Besonders die ökologisch und ökonomisch wichtigen Schattbaumarten Weißtanne, wesentliche Bau- und Schindelholzquelle, und Rotbuche, wichtigster Holzkohlelieferant, büßten somit Flächen und Vorräte ein.

Holz wurde knapper. Wegen Holzkohle- und Brennholzmangel bahnte sich eine Energiekrise an, welche die allgemeine Entwicklung hemmte. Diese Situation erzwang im 18. Jahrhundert eine geordnete, nachhaltige Forstwirtschaft.

Holzgerechte Jäger in den Revieren und weitsichtige Kameralisten in den Finanzverwaltungen versuchten, mit neuen naturwissenschaftlich-technischen Erkenntnissen der Aufklärungszeit einen Ausweg aus der kritischen Lage zu finden. Sie erkundeten Standortbedingungen und Wuchsverhalten der Bäume,

erhoben Holzvorräte der Forstorte, maßen Flächen und Zuwüchse, kalkulierten Erträge und fertigten dazu Forstkarten und -betriebswerke an. Vor allem erlernten sie Methoden zur künstlichen Verjüngung durch Saaten oder Pflanzung von Jungbäumchen (WITTICKE 2015).

„Was das Forstwesen sey, weitläufig zu erklären, würde unnötig seyn, denn wer nur einen Blick in die Wirthschaft gethan, wird einstimmig bekennen, daß eine wohl überlegte – pflegliche – doch nuzbahre – nachhaltige – und denen künftigen Zeiten ohn nachtheilige Einrichtung, die Waldung zu gebrauchen, darunter verstanden werde.“

(Carl Christoph v. Lengefeld, Schwarzburg-Rudolstädter Oberforstmeister 1745. ThStA Rudolstadt, Akte A VIII 4d, Nr. 20: „Den Verlohrnen = Werth derer Jagd- und Forstwissenschaften“. Handschrift, S. 83).

Die neu eingeführte Forsteinrichtung versuchte über die Erfassung von Bestockungsverhältnissen, die Vorräte und Zuwüchse der Forsten langfristig mit den Nutzungen in Einklang zu bringen und somit das Nachhaltigkeitsprinzip in der Waldbewirtschaftung zunehmend durchzusetzen. Durch Aufforstungen über Saat und Pflanzung von Eiche sowie den Nadelbaumarten Fichte, Kiefer und Lärche auf Kahlfeldern wurden produktionslose Freiflächen wieder in Kultur gebracht.

Drei Thüringer trieben diese Entwicklung maßgeblich voran: **Johann Matthäus Bechstein** (1757 Waltershausen – 1822 Dreißigacker bei Meiningen), **Heinrich Cotta** (1763 Forsthaus Kleine Zillbach bei Wasungen – 1844 Tharandt) und **Gottlob König** (1779 Hardisleben – 1849 Eisenach) begründeten forstliche Ausbildungsstätten, waren hervorragende Forsteinrichter, strebten nachhaltige Waldbewirtschaftung an, schrieben bedeutende Forstlehrbücher und befruchteten das praktische Forstwesen nicht nur in Thüringen. Cotta wirkte dabei ab 1811 in Sachsen. Ein ungeheurer Aufschwung in der thüringischen Forstwirtschaft setzte in ihrer Schaffenszeit ein (WITTICKE 2015).

Allerdings hemmten feudale Lasten, besonders die Fronarbeit, außerdem die überholte Dreifelderwirtschaft weiterhin die Entwicklung ländlicher Gebiete. Erst die Abschaffung der Lehnverhältnisse und der feudalen Abhängigkeiten, anfänglich nach 1815 in den preußischen Regierungsbezirken, ab 1826 in einigen thüringischen Fürsten- und Herzogtümern, allgemein nach der Revolution von 1848, führten zu bäuerlichem Landbesitz, zur Ablösung der Dreifelderwirtschaft, zur Aufteilung der Gewinnstrukturen und Allmendeflächen sowie darauf folgend zu Separationen in den Gemarkungen. Das Landschaftsbild, aber auch die Wald-Feld-Verteilungen, hingen stark von diesen lokalpolitischen und sozial-

ökonomischen Prozessen ab. Häufig entstanden dabei Feldfluren mit kleinteiligen „Handtuchwirtschaften“, aber auch Genossenschafts- und Kommunalwälder konnten rechtlich abgesichert werden. Die Ablösung von bäuerlichen Holzwerbe- und Waldweiderechten (Servituten) in herrschaftlichen Wäldern geschah selten durch Geldzahlungen. Die berechtigten Bauern erhielten als Entschädigung für wegfallende Nutzungsrechte ihren jetzigen kleinflächigen Privatwald vom Fiskus (WITTICKE 2004 und 2015).

Die kapitalistische Industrialisierung im 19. Jahrhundert erfasste besonders die Gebirgslagen wegen der dort vorhandenen Erze und energetischen Potenzen, die immer noch auf Holzkohle und Wasserkraft beruhten. Eine wesentliche Grundlage bildeten dabei die schnell aufwachsenden Nadelholzaufforstungen mit ihren hohen nutzbaren Vorräten. Das Straßen- und Wegesystem erfuhr Ausbau oder Modernisierung. Die Eisenbahn im Dampflokbetrieb trat als Wirtschaftsfaktor mit ihren rationellen Massentransporten einen Siegeszug in Thüringen an. Der Bau der Thüringen Bahn (Halle-Weimar-Erfurt-Gotha-Eisenach-Bebra) 1846-1849 stand am Beginn dieser Entwicklung. Die Umstellung der Energiegewinnung auf Steinkohle und Dampferzeugung setzte sich durch.

In der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts gewannen ökonomische Bestrebungen, besonders die Bodenreinertragslehre, die Oberhand in der forstlichen Bewirtschaftung. Der propagierte Waldbau des höchsten Ertrages richtete die Forstbetriebe zunehmend auf Gewinnmaximierung aus (PRESSLER 1858/1885).

Vorhandene Blößen und Lehden sowie herunter gewirtschaftete Mittel- und Niederwälder kommen nach deren Abnutzung zur Wiederaufforstung. Der Waldbau wird auf höchste Verzinsung des Boden- und Holzvorratskapitals ausgerichtet. Schnell wachsende Nadelholzarten warfen bei Umtriebszeiten von etwa 100 Jahren den höchsten Profit ab. Der Jahrhunderte übliche naturale Versorgungswald, der vor allem die Energiesicherung und Viehernahrung zu gewährleisten hatte, verwandelte sich endgültig in Erwerbswald und unterlag mit dem Anbau von Reinbeständen im Kahlschlagbetrieb Rentabilitätsgesichtspunkten (THOMASIUS 1999).

Viele Jahrhunderte vorherrschende Brennholzerzeugung wich einer steigenden Nutzholzproduktion. Die aufwachsenden Jungbestände erforderten Durchforstungen (Pflegehiebe) und erbrachten damit Faserholz-Sortimente für die aufstrebende Papierindustrie.

In den Laubholzgebieten werden aus besseren Mittelwäldern Hochwaldstrukturen entwickelt. Seitdem erobert die Rotbuche nach über tausendjähriger Niederhaltung infolge von Nieder- und Mittelwaldbewirtschaftung ökologisch zusagende Standorte zurück. Die Laubwaldbewirtschaftung wird besonders auf

Wertholzsortimente ausgerichtet. Hierdurch entstanden auch die berühmten Buchenplenterwälder im Hainich und bei Keula sowie die beeindruckenden Eichenbestände um Ebeleben und in der Hainleite zum Ende des 19. Jahrhunderts (WITTICKE & BIEHL 2009, WITTICKE 2015 und 2017a).

Einige leitende Forstbeamte, besonders in Sachsen Coburg und Gotha, in Sachsen-Meiningen und im preußischen Regierungsbezirk Erfurt, versuchten mit Begründung von Mischbeständen dem allgemein üblichen Nadelholzanbau in Reinbeständen entgegenzutreten. Die eigentliche Gegenbewegung zu den Nadelholzforsten, die besonders unter Sturm- und Insektenschäden litten, leiteten die Professoren Karl Gayer (1822-1907), München, sowie Alfred Möller (1860-1922) und besonders Alfred Döngler (1874-1944), beide in Eberswalde, ein. Ihre Bücher „Der gemischte Wald“ (1886), „Der Dauerwaldgedanke“ (postum 1923) und „Waldbau auf ökologischer Grundlage“ (1930) regten viele Praktiker zur Gestaltung von naturgemäßen, standortgerechten Wäldern an (THOMASIUS 1999).

2.6 Forstwirtschaft Thüringens im 20. Jahrhundert

Infolge der Novemberrevolution 1918 traten die thüringischen Landesfürsten ab. Nach Übergangslösungen entsteht 1920 der Freistaat Thüringen ohne die preußischen Gebiete. Die neugeschaffene Landesforstverwaltung in Weimar stützt sich auf erfahrene Beamte der aufgelösten fürstlichen Forstverwaltungen und auf Ergebnisse des 1922 geschaffenen Thüringischen Forsteinrichtungsamtes in Meiningen. Das große Thema der Zeit – der Dauerwald – steht auf der Tagesordnung. 1927 wird in Jena die Arbeitsstelle für forstliche Standorterkundung eingerichtet. Bis 1933 zeichnet sich eine ordentliche waldbauliche Arbeit ab, die in dem Richtwerk von Oberforststrat Robert Schaber „Waldbauliches aus Thüringen“ 1933 dargelegt wird.

Infolge der Kriegsvorbereitungen musste die Landesforstverwaltung 1935/36 das Prinzip der Nachhaltigkeit aufgeben. Der geplante Hiebssatz der Einrichtungsperiode 1934/42 betrug jährlich durchschnittlich 718.130 Festmeter (fm), entsprach also ziemlich genau dem ermittelten Jahreszuwachs von 719.000 fm. Der wirkliche Jahreseinschlag lag aber bei 1.142.801 fm, also sind die Wälder mit 159 % übernutzt worden. Die nachfolgenden Kriegsjahre verschlimmerten die Übernutzung, die Hiebssätze steigerten sich auf 200 bis 250 % des Zuwachses (vgl. Tab. 3). Die Mehreinschläge betrug 3,8 Millionen fm Derbholz. Die Aufforstungen hinkten der starken Übernutzung hinterher. Die produktionslosen Kahlfelder wuchsen jährlich, folglich sanken die Vorräte und Zuwüchse entsprechend. Das alles ergab düstere Aussichten für die Zukunft des

Tab. 3 Derbholzeinschlag im Staats-, Körperschafts- und umlagepflichtigen Privatwald (nach SCHREIBER et al. 1996, S. 96).

Jahr	Insgesamt	Staatswald	Übriger Besitz
1939	2.016	1.563	453
1940	1.980	1.542	438
1941	1.923	1.490	433
1942	2.002	1.552	450
1943	2.006	1.555	451
1944	2.322	1.800	522
1945	2.281	1.768	513

Bemerkung:

Der Einschlag in preußischen Wäldern ist einbezogen. Angaben in 1.000 fm.

Landes und seiner Wälder (SCHABER & HASELHUHN 1944).

Nach dem verheerenden II. Weltkrieg 1939-45 regelten die Siegermächte in den vier Besatzungszonen die schwierigen Nachkriegsjahre. In Thüringen leitete die Sowjetische Militäradministration (SMAD) mit Befehlen gesellschaftliche und wirtschaftliche Abläufe. Das Land litt unter den Kriegsfolgen. Energieversorgung, Industrie und Verkehr lagen darnieder, an allen lebenswichtigen Gütern herrschte Mangel. Hunger, Elend, Wohnungsnot und fehlendes Heizmaterial bestimmten den Alltag. Außerdem waren Reparationsleistungen zu erbringen. Das erforderte Reparationshiebe, riesige Holzeinschläge über die Eigenversorgung von Nutz- und Brennholz hinaus. Hinzu kamen Sturmschäden 1946 und nachfolgend Borkenkäferkalamitäten im Thüringer Wald. Die Wälder befanden sich in einem katastrophalen Zustand. Die Wiederaufforstung der Blößen der Kriegs- und Nachkriegszeit dauerte bis 1955. Langsam normalisierte sich die

Waldbewirtschaftung. In der DDR wurde eine standortgerechte Forstwirtschaft angestrebt, dazu entwickelten Eberswalder Forstwissenschaftler ein neues Forsteinrichtungsverfahren. Vorlaufend zur Forsteinrichtung fand in den Forstbetrieben eine systematische forstliche Standorterkundung statt (WAGENKNECHT et al. 1956, BURSE 2018).

Die Wälder der DDR hatten den dringend gebrauchten Rohstoff Holz zu liefern, einen der wenigen einheimischen Rohstoffe mit Schlüsselfunktion und vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten. Die Entwicklung zu einer wieder auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Waldbewirtschaftung stieß daher ständig an Grenzen. Erst um 1965/66 konnten die Einschläge auf Grund von Holzimporten aus der Sowjetunion auf ein verträgliches Maß von etwa 7 Millionen Festmeter gesenkt werden.

Nach 1960 führten Schadstoffemissionen zu zunehmenden Absterbeprozessen in den Wäldern. Das betraf nicht nur die Forstwirtschaft, sondern bedrohte auch die Landeskultur. Anfangs verursachten Schwefeldioxidbelastungen aus Braunkohleverfeuerung die Schäden, später verstärkten Stickoxide das „Waldsterben“. Das führte zu großflächigen Kalkungen in betroffenen Waldgebieten durch Flugzeuge und Hubschrauber des Agrarfluges und zu einer jährlichen Kontrolle des Gesundheitszustandes der Wälder – der ökologischen Waldfondskontrolle (MILNIK & HEYDE 1998).

Die damaligen Leistungen der Belegschaften der 1952 neu gegründeten Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebe (StFB), die Probleme und Schwierigkeiten sowie die Erfolge bei der forstlichen Bewirtschaftung sind in der neu erschienenen „Forstchronik“ von ThüringenForst nachlesbar (WELLER et al. 2018).

Im Zuge der Vereinigung Deutschlands 1990 wurde am 14. Oktober ein neuer Landtag gewählt und somit das Land Thüringen wieder gebildet. Das Thüringer Waldgesetz von 1993 ergibt

den Rahmen für eine nachhaltige, naturnahe Bewirtschaftung der einheimischen Wälder unter Berücksichtigung der Allgemeinwohlbelange. Dieses Gesetz bestimmte den gleichrangigen Dreiklang der Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion der Wälder. Da nur die Nutzfunktion Geldeinnahmen bei der Betriebsführung erbringt, gesellschaftliche Anforderungen aber ständig höhere Ansprüche an die Wälder stellen, geraten Forstverwaltungen an die Grenzen der befriedigenden Erfüllbarkeit einer allseitig multifunktionalen Forstwirtschaft. Die Urbanisierung entfernt Großteile der Bevölkerung von Landleben und Waldnutzung, die in dem absurden Slogan „Baum ab – nein, danke!“ gipfelt. Öffentlichkeitsarbeit und Waldpädagogik erhalten daher eine immer größere Bedeutung. Forderungen nach touristischer Erschließung von Waldgebieten (Waldparkplätze, Wander- und Radwege, Rasthütten, Informationstafeln u. a.) sind zu erfüllen.

Bisher wurden ökologische und landeskulturelle Leistungen der forstlich bewirtschafteten Wälder ökonomisch nicht bewertet, trotzdem sie wesentliche Lebensgrundlagen sichern, eine bedeutende CO₂-Senke sind, dem Klimaschutz dienen und vielfältige Wohlfahrtswirkungen erbringen.

Wälder haben unersetzbare Funktionen für die Erhaltung der Biodiversität, den Schutz der Umwelt und die Aufrechterhaltung von Lebensqualität für uns Menschen (Schutzfunktion), vgl. Tab. 4. Sie sind wesentlich an Energie- und Stoffkreisläufen der Biosphäre beteiligt.

Der angestrebte naturnahe Waldbau und die bessere Anpassung an Witterungsextreme erzwingt eine Veränderung von Baumartenanteilen und Bestandsstrukturen. Der Abbau von einstufigen Reinbeständen ist dabei ein wichtiges Bewirtschaftungsziel (vgl. Abb. 11). Waldfunktions- und Biotopkartierung unterstützen eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder.

Beide Vorhaben sind wegen der Langfristigkeit der forstlichen Produktion eine Jahrhundertaufgabe. Um nur 1 % der Wälder in Thüringen zu verändern, ist Umbau auf etwa 5.500 ha erforderlich. Dabei sind ökonomische, technische, ökologische und schutzrechtliche Belange sachlich gegeneinander abzuwägen.

Europaweit müssen Lösungen zur Minderung von Schadstoffen aus der Luft erreicht werden. Stickoxide (NO_x-Verbindungen) berühren nicht nur die biologische Produktivität von Bäumen, somit das Herzstück der Forstwirtschaft, sondern sie bedrohen auch die lebensentscheidenden Funktionen von Luftreinhaltung, Bodenfruchtbarkeit und Wassergüte im Land.

Derzeit ist der Stickstoffeintrag in die Waldökosysteme auf schwächeren Standorten noch eine willkommene Gratsdüngung, welche die Humus- und Nährstoffausträge einstiger Streunutzung und Wellreisiggewinnung, auch

Tab. 4 Schutzfunktionen der Wälder (Auswahl).

Biotop- und Artenschutz	Lebensraum für Tiere und Pflanzen, Erhalt der Biodiversität, Totholzanteile im Wirtschaftswald, Wald-Naturschutzgebiete
Bodenschutz	Hemmung von Bodenerosion, Stabilisierung bodendynamischer Prozesse, Bildung von Ton-Humus-Komplexen und sekundärer Tonminerale, Wandlung toter organischer Substanzen (Humifizierung, Mineralisierung)
Klimaschutz	Ausgleich von Temperatur-, Strahlungs-, Feuchte- und Windverhältnissen
Wasserschutz	Wasserspeicherung und -filtration, ständige Trinkwasserneubildung
Luftreinigung	Ausfilterung von Stäuben, Ruß und NO _x . Durch Assimilation wird CO ₂ organisch gebunden und langfristig als Holzbestandteil festgelegt, dabei wird Sauerstoff neu gebildet.
Lärmschutz	Waldbestände schlucken Schall und fungieren als natürliche Schutzwände gegenüber Lärmbelastigung.

den (Roh-) Humusabbau früherer Kahlschlagswirtschaft ausgleicht. Aber es zeigen sich erste Tendenzen von Ungleichgewichten der Nährstoffe im Oberboden, die sich zu Vitalitätsbeeinträchtigungen der Waldbäume ausweiten können. Überwachung und Kontrolle von Böden und Waldbeständen sind ständig notwendig (WITTICKE 2015).

Im forstlichen Umweltmonitoring liefern die jährliche Waldzustandserhebung (WZE) im 4 x 4 km-Raster und die Bodenzustandserhebung (BZE) aller 10-15 Jahre im 8 x 8 km-Raster entsprechende Daten. Für exakte wissenschaftliche Analysen wird ein Intensiv-Monitoring an 14 Messstationen in Thüringen betrieben, die alle Wuchsbezirke abdecken.

Der Waldschutzmeldedienst und spezielle Überwachungsverfahren liefern Daten zu Populationsbewegungen von Wühlmäusen und Hauptschadinsekten sowie zum Auftreten von Pilzkrankheiten. All diese Aufgaben hat das Forstliche Forschungs- und Kompetenzzentrum (FFK) in Gotha zu gewährleisten. Die Ergebnisse sind im jährlichen Waldzustandsbericht dokumentiert (CHMARA et al. 2001, BAIER 2018).

In der Forstnutzung und Holzbringung hat sich ein rasanter Wechsel vollzogen. Forstliche Spezialtechnik koppelt Baumfällung, Stammvermessung und Einschnitt sowie Rückung der eingeschnittenen Sortimente an Abfuhrwege miteinander. In schwierigem Gelände kommen Seilkräne zur Holzbringung nach motormanuellem Fällen zum Einsatz. Um mit den schweren Maschinen die Waldböden nicht überall zu schädigen, müssen vorausgewählte Arbeitsschneisen geschaffen sein, auf denen sich die Forsttechnik zu bewegen hat. Mit besonderen Reifen und Spezialkonstruktionen wird versucht den schädigenden Bodendruck zu mindern (WITTICKE 2015, WELLER et al. 2018).

Als eine Bedrohung für die Waldökosysteme, die natürlichsten Gebiete unseres Landes, erweisen sich zunehmend Errichtungen von Windkraftanlagen im Wald.

Die thüringischen Wälder mit einer Gesamtfläche von etwa 550.000 ha erbrachten bislang jährlich rund 5,8 Millionen Vorratsfestmeter (m³ mit Rinde) an Zuwachs (Bundeswaldinventur 3; vgl. Tab. 5).

Das extreme Trockenjahr 2018 und die Folgen der Sturmkatastrophen der vergangenen Jahrzehnte ergeben erhebliche Sonderaufwendungen bei der weiteren waldbaulichen Arbeit und in der zukünftigen Holznutzung.

Die Situation hat sich durch die nachfolgenden Dürrejahre 2019, 2020 und 2022 dramatisch verschärft. Eine Massenvermehrung etlicher Borkenkäferarten brachte ältere Fichtenbestände großflächig zum Absterben, aber auch Kiefern- und Lärchenvorkommen zeigten erhebliche Schäden. Außerdem hat der Wassermangel ältere Buchenwä-



Abb. 11 Verjüngung von Rotbuche und Douglasie unter Fichte, Revier Nauendorf, Abt. VB 12a1 (Aufn.: A. HEYN, 2011).

Tab. 5 Schadholzanfall (Gesamtwald) in Tausend Festmeter / Tfm (Angaben FFK Gotha, Referat Waldschutz 2023).

Schadursache	2018	2019	2020	2021	2022	Summe
Sturm	1.145	296	286	106	674	2.507
Dürre	–	2.093	1.930	539	536	5.098
Insekten	810	2.361	3.681	3.592	3.914	14.358
Insges.	1.955	4.750	5.897	4.237	5.124	21.963

der, besonders die Altersklassen über 140 Jahre, in den Oberkronen so betroffen, dass sich dort kaum Regeneration erwarten lässt und folglich massenhaft Totholz entsteht.

Seit 2018 sind durch diese Witterungseinflüsse und forstliche Schaderreger rund 76.600 ha Kahlfächen oder stark aufgelichtete Waldbestände entstanden. Dabei fielen bis zum Jahresende 2022 fast 22 Mio. Festmeter Schadholz an (TMIL: Waldzustandsbericht 2022, S. 8 sowie Angaben zum 4. Quartal 2022 des FFK Gotha, Referat Waldschutz).

Somit ist in den Wäldern Thüringens eine außerordentliche Katastrophensituation großflächigen Ausmaßes entstanden. Deren langwierige Folgen für die Landeskultur, allgemein für die Wirtschaft, erfordern folglich auch außerordentliche Anstrengungen und überdurchschnittliche Aufwendungen als gesamtgesellschaftlich notwendiges Anliegen.

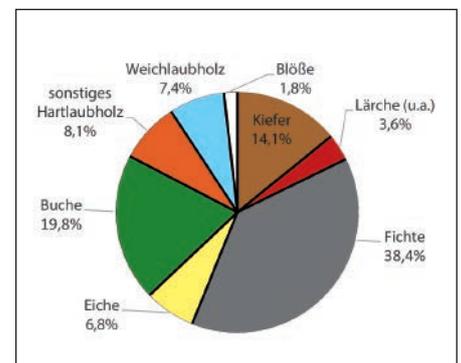


Abb. 12 Baumartenverteilung in Thüringen, Bundeswaldinventur 3, 2012 (Quelle: FFK Gotha, H. HIRSCHFELD 2015).

Daher muss diese Sondersituation in der Landespolitik und bei der Öffentlichkeitsarbeit langfristig anhaltend eine entsprechende Beachtung finden.

3. Wald und Kohlenstoffbilanz

ERNST-DETLEF SCHULZE

3.1 Einführung

In der öffentlichen Diskussion über den Klimawandel wird nach Möglichkeiten gesucht, den Anstieg klimawirksamer Gase zu begrenzen oder auszugleichen. Dabei wird immer wieder die Bedeutung des Waldes herausgestellt, da im Wald die Vorräte an Holz und die Böden erhebliche Mengen an Kohlenstoff enthalten. Damit unterscheidet sich der Wald von landwirtschaftlich genutzten Flächen, wo Feldfrüchte oder Grünland keine entsprechenden Kohlenstoffvorräte aufweisen. Der Wald ist aber auch ein Wirtschaftsgut, in dem der Zuwachs geerntet wird, um Bedürfnisse der Öffentlichkeit nach Holzprodukten zu befriedigen. In den letzten Jahrzehnten hat die forstliche Bewirtschaftung die Kohlenstoffvorräte in den Beständen und Böden nicht verringert. Dabei reicht die Palette an Produkten, die aus Holz gefertigt werden, vom Bauholz über Zeitungs- und Toilettenpapier bis hin zu Fasern für die Herstellung von Outdoor-Kleidung. In Zukunft, sofern in einer Bioökonomie Plastikprodukte aus Holz hergestellt werden, wird die Bedeutung von Wald als Rohstofflieferant steigen. Bei einer **nachhaltigen** Bewirtschaftung sollten die Vorräte im Wald trotz Nutzung dennoch konstant bleiben. Damit würde der Wald einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz über die Nutzung und nicht über eine Vorratsänderung leisten.

Im Gegensatz zum Klimaschutz durch Nutzung steht der Klimaschutz durch Nicht-Nutzung des Holzes. Der Naturschutz argumentiert, dass allein in einem Wald, in dem keine Nutzung erfolgt, die

Klimaschutzwirkung des Waldes als Kohlenstoffspeicher erst über einen Vorratsaufbau voll zur Geltung kommt. Dabei wird aber übersehen, dass die Öffentlichkeit auch in Zukunft Produkte aus Holz benötigt und in Anspruch nimmt, und dass mit steigenden Vorräten das Risiko des Waldverlustes durch Klimaschäden steigt, und dass bei Nicht-Nutzung das Holz für Produkte aus anderen Ländern importiert werden muss.

Basierend auf diesen unterschiedlichen Ansprüchen soll im Folgenden untersucht werden:

- Wie unterscheidet sich die Kohlenstoffbilanz des Waldes im Vergleich zu anderen Landnutzungen?
- Wie ist in Hinblick auf das Klima die Leistung des Wirtschaftswaldes im Vergleich zu einem durch Naturschutz stillgelegten Waldes zu bewerten?
- Mit welchen Risiken hat die Forstwirtschaft in einer Zeit des Klimawandels zu rechnen, um die bisherigen Leistungen aufrechtzuhalten?

3.2 Die Kohlenstoffbilanz im Vergleich zu anderen Landnutzungen

Über die Leistung eines Ökosystems hinsichtlich der Klimawirksamkeit gibt es sehr unterschiedliche Vorstellungen. In dem EU-Projekt „CarboEurope“ (SCHULZE et al. 2009) wurden die Begriffe einheitlich definiert und in folgender Bilanzierung zusammengeführt (Abb. 13): Die Photosynthese der Pflanzen ist der grundlegende Prozess der Bindung von atmosphärischem CO₂.

Bei der Photosynthese wird durch Nutzung des Sonnenlichtes Kohlendioxid in Zucker eingebaut, und dieser Zucker ist der Baustein für die Herstellung von Biomasse. Auf Landschaftsebene wird diese Größe über meteorologische Messungen indirekt erfasst und „Bruttoprimärproduktion“ genannt. Einen Teil der Zucker benötigt die Pflanze zum Wachstum und Erhalt der eigenen Struktur. Dieser Anteil wird als „autotrophe Atmung“ bezeichnet und benötigt etwa 50 % der Photosynthese-Produkte. Die Atmung erzeugt CO₂ das wieder in die Atmosphäre gelangt. Nach Abzug dieser „Kosten“, repräsentiert die Netto-Primärproduktion, das Wachstum von Spross und Wurzel einer Pflanze. Ein Teil dieses Wachstums wird durch den Menschen geerntet, ein Teil bleibt in der Vegetation und verändert die stehende Biomasse, ein Teil wird im Jahresverlauf wieder absterben (z. B. Laubfall). Damit gelangt Biomasse in den Boden und versorgt dort alle übrigen Organismen. Vor allem in landwirtschaftlichen Systemen wird mit organischem Dünger zusätzlichen Kohlenstoff in den Boden gebracht. Tote Biomasse und Dünger werden von Bodenorganismen zum Leben gebraucht, wobei durch die sogenannte heterotrophe Atmung die Energie, die in der Biomasse gebunden ist, genutzt wird und der Kohlenstoff wird als CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben. Feuer kann zusätzlich einen Teil der Vegetation vernichten und CO₂ freisetzen. Bei der Zersetzung toter Biomasse wird auch löslicher organischer und anorganischer Kohlenstoff gebildet und ans Grundwasser abgegeben. Dies führt bei der Verwitterung von Karbonaten zu zusätzlichen Emissionen. Am Ende

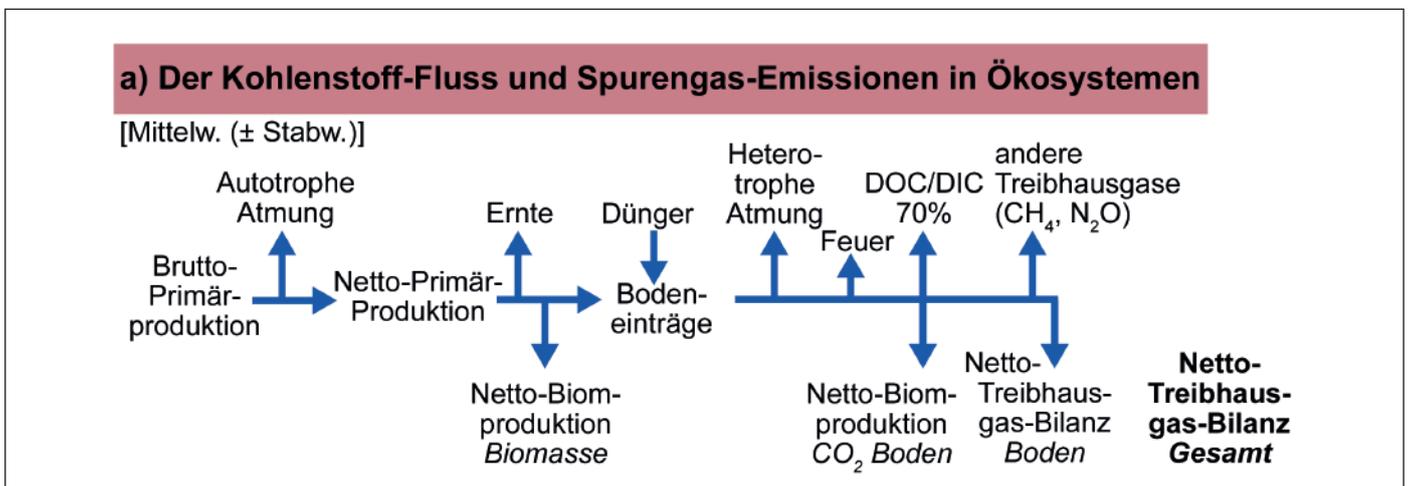


Abb. 13 Die Kohlenstoffbilanz eines Ökosystems und die Schritte von der Photosynthese (Bruttoprimärproduktion) bis hin zur Treibhausgasbilanz (SCHULZE et al. 2009).

dieser Kohlenstoffnutzung im Ökosystem steht die „Netto-Biom-Produktion“, d.h. die Änderung in der Kohlenstoffmenge im Ökosystem. Dies ist aber noch nicht die Bilanz aller klimawirksamen Spurengase. Es gibt Quellen und Senken von Methan und Lachgas (N₂O) und flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (VOC), die je nach chemischen Eigenschaften ein Vielfaches an Klimawirksamkeit im Vergleich zu CO₂ haben. In der Klimabilanz werden sogenannte CO₂-äquivalente Mengen berechnet. Erst nach Berücksichtigung all dieser Umsetzungen bleibt die Netto-Treibhausgas-Bilanz, anhand derer man verschiedene Ökosysteme oder Nutzungen (einschließlich des Naturschutzes) vergleichen kann.

Der Vergleich verschiedener Studien ist verwirrend, da unterschiedliche Dimensionen verwendet werden. Die Forstwirtschaft berechnet den Zuwachs in Festmetern Holz (fm/ha/Jahr). Ein Festmeter entspricht einem Kubikmeter Holzmasse. Geowissenschaftler rechnen mit Kohlenstoff (1 fm Holz entspricht etwa 0,25 t C), und Atmosphären-Wissenschaftler rechnen mit dem Gewicht von CO₂ (1 fm = 0,25 t C = 0,92 t CO₂). Dabei ist es nicht das Gewicht, sondern die Zahl der Moleküle, die klimawirksam sind. Man müsste in „mol“ rechnen, aber diese Dimension ist in der Öffentlichkeit schwer zu vermitteln.

In dem EU-Projekt CarboEurope wurden die wichtigsten Landnutzungen Europas verglichen und die Netto-Treibhausgas-Bilanzen berechnet (Tabelle 6).

Es zeigt sich, dass im Vergleich aller Landnutzungen der Wald die einzige größere Senke für klimawirksame Gase ist. Grünland ist ebenfalls eine Senke, aber die Bilanz wird stark von Emissionen bestimmt, die wirtschaftsbedingt sind: Methan und Lachgas (N₂O) entstehen bei der Verdauung des Grases durch Weidevieh. Aber ohne Beweidung wäre das Grünland in Mitteleuropa nicht stabil. Es würde sich in Wald umwandeln. Die agrarische Nutzung führt insgesamt zu einer erheblichen CO₂-Belastung der Atmosphäre, aber die landwirtschaftlichen Produkte sind Voraussetzung für das Leben der Menschen.

Auf Landschaftsebene bestimmen die Anteile der Flächennutzung die Bilanz der Treibhausgase. Europa ist bei dieser Bilanzierung eine geringfügige Quelle klimawirksamer Gase (ca. 30 Tg/Jahr), bedingt durch den hohen Anteil der Landwirtschaft an der Flächennutzung.

Es bleibt die politisch wichtige Frage offen, welchen Einfluss die Flächenstilllegung des Waldes für den Naturschutz auf diese Kohlenstoffbilanz hat. Flächenstilllegung bedeutet, dass keine Nutzung und kein Export von Biomasse aus dem Wald entnommen werden. Der Holzzuwachs verbleibt im Wald. Nach SCHULZE et al. (2022) ist die Brutto-primärproduktion in bewirtschafteten und nicht-bewirtschafteten Wäldern gleich. Der verbleibende Bestand hat nach einer Durchforstung mehr Wasser und Nähr-

stoffe zur Verfügung und wächst daher kräftiger als ein Bestand ohne Durchforstung (PRETZSCH 2022). Die Netto-Ökosystembilanz des Kohlenstoffs ist nach Durchforstung im Wirtschaftswald höher als im Naturschutzwald. In einem nachhaltig bewirtschafteten Betrieb, ist auch der Export von Biomasse durch die Ernte eines Altbestandes ausgeglichen durch den Zuwachs jüngerer Bestände. Die Fläche wird verjüngt, und ein abnehmender Zuwachs eines Altbestandes wird ersetzt durch den hohen Zuwachs eines Jungbestandes.

3.3 Die Anrechnung der klimawirksamen Leistung des Waldes

Bei der Berechnung der Kohlenstoffbilanz als Summe aller Landnutzungen einer Landschaft wird die eigentliche Leistung des Waldes nicht sichtbar. Die fast ausgeglichene Treibhausgas-Bilanz von Land- und Forstwirtschaft führt dazu, dass kein Anreiz besteht, etwas zu ändern. Dabei ist der Wald nicht nur eine Senke, der die Emissionen der Landwirtschaft ausgleicht, sondern der Wald liefert auch Holzprodukte, die die Emission fossiler Brennstoffe ersetzen. Nach Angaben der Bundeswaldinventur (BWI-3) nimmt der Vorrat des Waldes (bewirtschaftet und unbewirtschaftet) sogar um ca. 15 Mill. fm (1,4 fm/ha/Jahr = 0,35 t C/ha(Jh)) zu. Dies wäre die „Koh-

Tab. 6 Die Netto-Treibhausgas-Bilanzen unterschiedlicher Landnutzungen (SCHULZE et al. 2009). Senken von CO₂, bei denen CO₂ von der Atmosphäre in die Vegetation aufgenommen wird, werden als negative Zahl dargestellt. Quellen von CO₂, bei denen CO₂ von der Vegetation an die Atmosphäre abgegeben wird, werden als positive Zahl dargestellt.

Landnutzung	Netto-Treibhausgas-Bilanz (gC-equ m ⁻² Jahr ⁻¹)
Wald	-74
Grünland	-14
Agrarnutzung	+40

lenstoff-Senke“, an die der Naturschutz denkt. Diese Vorratsänderung ergibt sich aus zwei Prozessen: (1) es ist der Anteil des Zuwachses, der nicht geerntet wurde, und als Risikosicherung gilt, und (2) ein Zuwachs, der sich durch gute und nachhaltige Pflege des Waldes ergibt.

Beginnen wir bei dem zweiten Punkt: BOURIAUD et al. (2016) zeigen für Nadelwälder, dass der Zuwachs bei Bewirtschaftung um den Faktor 2 steigt, d.h. eine Ernte hat keine negative Wirkung auf den Vorrat. BOURIAUD et al.

Tab. 7 Mittlerer und maximaler Bestandesvorrat, Bestandesalter und Derbholzzuwachs bewirtschafteter und nichtbewirtschafteter Laub- und Nadelwälder in Deutschland (SCHULZE et al. 2021).

	Laubwald (Buche)		
	Unbewirtschaftet	Bewirtschaftet	Signifikanz
Mittlerer Bestandesvorrat (m ³ ha ⁻¹ lebendes & totes Holz)	435 ± 34, n=332	366 ± 6, n=9.104	***
Maximaler Bestandesvorrat (m ³ ha ⁻¹ lebendes & totes Holz, ab incl. 95. Perzentile)	981 ± 148, n=46 von 732	919 ± 195, n=776 von 15.519	n.s.
Flächengewichtetes Alter	115	101	
Derbholzzuwachs (m ³ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	8,99 ± 0,9, n=327	10,28 ± 0,16, n=8.746	***
	Nadelwald (Fichte)		
	Unbewirtschaftet	Bewirtschaftet	Signifikanz
Mittlerer Bestandesvorrat (m ³ ha ⁻¹ lebendes & totes Holz)	421 ± 37, n=308	425 ± 6, n=15.073	n.s.
Maximaler Bestandesvorrat (m ³ ha ⁻¹ lebendes & totes Holz, ab incl. 95. Perzentile)	1118 ± 202, n=43 von 859	1098 ± 201, n=1456 von 29.113	n.s.
Flächengewichtetes Alter	94	69	
Derbholzzuwachs (m ³ ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	9,01 ± 1,04, n=271	13,95 ± 0,16, n=14.219	***

Tab. 8 Grundfläche und Bestandesvolumen des Urwaldgebietes von Uholka, Ukraine (STILLHARDT et al. 2022).

Uholka	2010	2019	
Grundfläche (m ² /ha)	35,2	35,4	nicht signifikant
Bestandesvolumen (m ³ /ha)	578	564	nicht signifikant

(2019) bestätigen diesen Sachverhalt auch für Buchenbestände. Der Vorrat ist unabhängig von der Bewirtschaftung. Dieser Sachverhalt fehlt in den Diskussionen über die Bedeutung von Flächenstilllegungen. Vergleicht man den mittleren Vorrat der Urwälder in der Slowakei (KORPEL 1995) mit den mittleren Vorräten im Altersklassenwald, so sind diese fast identisch. Dass die Bewirtschaftung des Waldes zu einen „Kohlenstoff-Schuld“ (HOLTSMARK 2012) führt, ist für den nachhaltig bewirtschafteten Wald der temperaten Zone nicht korrekt. Auch die maximalen Vorräte sind im Wirtschaftswald eher höher als im Stilllegungswald (SCHULZE et al. 2019a).

Die Vorstellung des Naturschutzes über Vorratsänderungen eine nachhaltige Kohlenstoffsenke zu schaffen ist zu hinterfragen. Zum einen zeigen die Trockenjahre von 2018 und 2022, dass alte Wälder in hohem Maße gefährdet sind. Bäume mit starkem Durchmesser werden als erstes vom Borkenkäfer angegriffen. Die Kahlflecken im Bayerischen Wald und im Harz sind ein mahndendes Beispiel für das Risiko einer Flächenstilllegung.

Hinzu kommt, dass der Vorratsaufbau, in Abhängigkeit von der bestandesbildenden Baumart nicht unendlich ist. Die Untersuchungen in dem Urwaldgebiet von Uholka, Ukraine, zeigen, dass der Bestandesvorrat eine Sättigung erfährt, bei der gleich viel Biomasse abstirbt wie zuwächst (NAGEL et al. 2023). In Uholka nimmt bei konstanter Grund-

fläche der Bestandesvorrat sogar ab (STILLHARDT et al. 2022).

Untersuchungen an der Südbuche in Neuseeland zeigen, dass ab einem Vorrat von etwa 400 m³/ha die Wälder eine Kohlenstoffquelle werden (PAUL et al. 2021).

In einer neueren Publikation über die Naturwaldparzellen in Deutschland zeigen NAGEL et al. (2023), dass in der Vergangenheit Bestände nach Stilllegung Kohlenstoff anreicherten. Die Vorräte stiegen innerhalb von 40 Jahren um 73 t C/ha (das entspricht etwa 1,8 t C/ha/Jahr oder 7,2 fm/ha/Jahr). Dies erscheint mehr als die Netto-Volumenzunahme im Wirtschaftswald, ohne dass der benachbarte Wirtschaftswald gemessen wurde. Gute Standorte haben eine höhere Wuchstleistung, schlechte Standorte reagieren gar nicht auf Stilllegung. Nach 40 Jahren wird ein Plateau erreicht, das nach 60 Jahren sogar wieder absinkt. In der Arbeit von NAGEL et al. (2023) wird das räumliche Nebeneinander von Flächen unterschiedlichen Alters als „Zeitachse“ verwendet, ohne die Anfangsbedingungen jeder Versuchsfläche zu nennen. Dies könnte die Aussagen verändern.

In dieser Betrachtung fehlen die Holz-Produkte die allein bei Nutzung des heimischen Waldes geliefert werden. In Deutschland werden etwa 7 fm ha⁻¹ Jahr⁻¹ aus dem Wald entnommen und in Produkte überführt. Nach einer primären Nutzung sollten diese Produkte entweder erneut genutzt werden, oder in einer energetischen Nutzung wieder in CO₂ überführt werden. Bei der Anrechnung

einer Bewirtschaftung geht es aber nicht um den Produktspeicher, sondern darum, wieviel Energie am Schluss einer Nutzungskette aus der Biomasse gewonnen werden kann, und damit fossile Brennstoffe als Energiequelle ersetzt. Unter Berücksichtigung aller energetischer Kosten in der Holzernte und Holzverarbeitung ersetzen die 7 fm ha⁻¹ Jahr⁻¹ etwa 1 m³ Heizöl. Es ist diese Substitution fossiler Brennstoffe, die klimawirksam ist. Berücksichtigt man zusätzlich die Produktsubstitution, dann liegt diese in gleicher Größenordnung wie die Energiesubstitution (SCHULZE et al. 2021). Addiert man den Kohlenstoffgehalt in der Vorratsänderung mit den Substitutionseffekten, dann ergibt sich eine Gesamtleistung des Wirtschaftswaldes von etwa 1,42 t C/ha/Jahr. Dies ist anscheinend weniger als die Vorratszunahme nach Stilllegung, berücksichtigt aber nicht, dass die Vorratsänderung bei Stilllegung nicht von Dauer ist, und sich langfristig in eine Emission verwandelt.

Da die mittleren Vorräte im Wirtschaftswald und Naturschutzwald ähnlich sind, sehen wir keine klimawirksame Leistung einer Stilllegung.

Die Bedeutung der Energiesubstitution durch Holzverbrennung wird am Beispiel von Schweden deutlich (HÖGBERG 2021): Schweden hatte im Jahr 1970 einen Energiebedarf von etwa 460 TWh/Jahr. Dieser Energiebedarf blieb bis 2020 etwa konstant, d.h. Schweden hat durch effiziente Energienutzung den Primärenergiebedarf auf gleichem Niveau gehalten. Damit ist Schweden ein gutes Beispiel, um die Wirkung der Energiesubstitution zu demonstrieren. Im Jahr 1970 wurden 80 % dieses Energiebedarfs durch fossile Brennstoffe gedeckt. Durch konsequenten Ausbau der Atomenergie und der Nutzung von Holz für Bioenergie wurde bis 2019 der fossile Brennstoffbedarf um 62 % gesenkt, wobei 15 % der Primärenergie aus Atomkraftwerken stammt und fast 40 % der Primärenergie aus Biomassekraftwerken gewonnen wurde. Windenergie deckt nur 4 % des Primärenergiebedarfs. Dabei ist Schweden ein Beispiel dafür, dass die nationalen Holzvorräte trotz einer zunehmenden Nutzung steigen (KAUPPI et al. 2022).

Nachdem Deutschland höhere Biomassevorräte und höhere Zuwächse hat als Schweden, wäre in Schweden eventuell ein Modell zu sehen, das viele Konflikte vermeidet. In Deutschland werden nur etwa 10 % des primären Energiebedarfs aus Biomasse gedeckt.

Die Speicherung von Kohlenstoff als Vorratszunahme des Waldes ist riskant, wie man im Harz sehen kann. Zusätzlich werden keine fossilen Brennstoffe eingespart. Es ist ein „Ablasshandel“, ohne das Verhalten der Betroffenen zu ändern, und die Leistung der nachhaltigen Holzgewinnung und Verarbeitung bleibt unberücksichtigt.

Die Entscheidung über Nutzung und Schutz wird zusätzlich in Richtung „Nut-

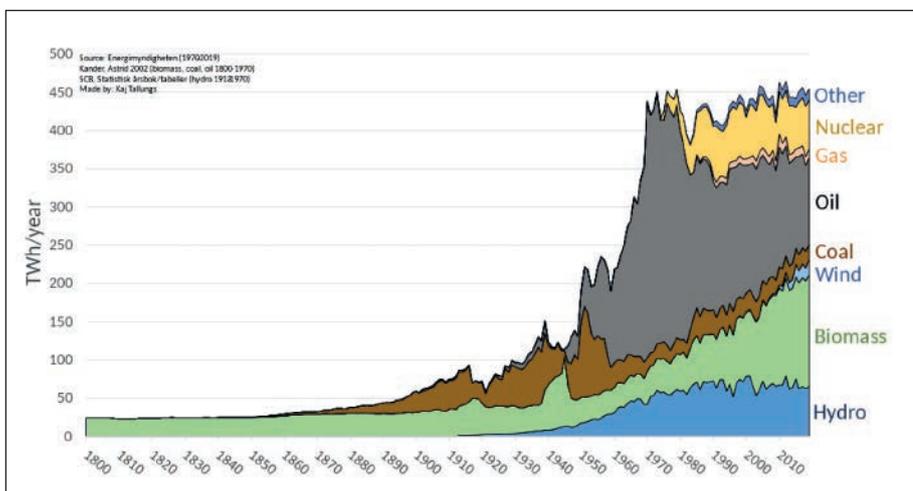


Abb. 14 Die schwedische Energiebilanz seit 1800-2019 (wikipedia).

zung“ gelenkt, wenn man die Abbauraten von Produkten und Totholz vergleicht. Holzprodukte haben mit ca. 20 Jahren eine doppelt so lange Lebenszeit (50 % Abbau) wie Totholz von 13 Baumarten, das nach ca. 9 Jahren zu 50 % abgebaut wird (PROFFT et al. 2009, EDELMANN et al. 2023).

3.4 Ungeklärte Probleme

Im Augenblick ist es nur möglich, auf der Basis der Bundeswaldinventur pauschale Mittelwerte anzugeben, ohne Berücksichtigung von Unterschieden zwischen Baumarten und Standorten. Da es hier zunächst um das Prinzip geht, sind diese Unterschiede zweitrangig. Sie müssten aber in Zukunft quantifiziert werden, wenn es um die Anrechnung konkreter Flächen geht. Unabhängig von der bewirtschafteten Baumart führen Pflege und nachhaltige Bewirtschaftung zu einem erhöhten Zuwachs. D. h. die Ernte verändert nicht die Ökosystemprozesse, und dies wird nicht als Leistung honoriert.

Die Menge an Biomasse, die der Wald zur Verbesserung der deutschen CO₂-Bilanz bereitstellen kann, ist limitiert durch die begrenzte Zuwachsleistung der ein-

heimischen Baumarten. Es muss überlegt werden, ob durch die Auswahl von Baumarten aus der temperaten Zone sowohl Zuwachs als auch Klimastabilität erhöht werden kann.

3.5 Schlussfolgerungen

- Wälder und Grünland sind hinsichtlich der C-Bindung sehr ähnlich. Da aber im Grünland über das Weidevieh mehr Methan und N₂O produziert wird, sind auf Landschaftsebene die Wälder die stärkste Grünhausgas-Senke, und gleichen die Emissionen der Landwirtschaft weitgehend aus.
- Wenn man die tschechischen, slowakischen und ukrainischen Urwaldreste zum Vergleich heranzieht, dann sind die mittleren Vorräte von Wirtschaftswald und Naturschutzwald gleich. Die maximalen Vorräte kurz vor der Ernte sind für den Wirtschaftswald sogar höher als für den Naturschutzwald. Es gibt eine positive Rückkopplung zwischen Zuwachs und Bewirtschaftung, die bei der Klimawirkung des Waldes berücksichtigt werden muss.
- Die Ernte bedeutet keine zusätzliche Emission. Der klimawirksame Effekt

des Waldes errechnet sich aus der Vorratsänderung und aus der Menge an Holz, das nach einer Nutzung als Produkt noch energetisch verwertet wird. Das CO₂, das bei der Verbrennung freigesetzt wird, ist Teil des natürlichen C-Kreislaufs, und daher nicht anrechenbar. Die Substitution von fossilen Brennstoffen fehlt im Naturschutzwald. Dies müsste als unterlassene Klimavermeidung dem Naturschutz in Rechnung gestellt werden.

- Nur bei Bewirtschaftung kommen die Substitutionseffekte des Holzes zur Geltung. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der in Deutschland aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern erzeugt wird. Es handelt sich um ein regionales Produkt. Bei Brennholz werden diese Merkmale durch keinen anderen Brennstoff erreicht. Die stoffliche und energetische Substitution fossiler Brennstoffe wird nicht beim Forst als Leistung anerkannt.
- Fremdländische Arten werden nötig sein, um in Zukunft mit zunehmenden Klimaänderungen ein Waldbild zu erhalten.

4. Wald und Wasserbilanz

ERNST-DETLEF SCHULZE

Bei der derzeitigen Diskussion über den Klimawandel und die Maßnahmen, die nötig sind, um die CO₂-Emissionen einzuschränken, werden andere Parameter, die das Gedeihen von Wäldern bestimmen, weitgehend vernachlässigt. Dazu gehört auch der Umsatz an Wasser.

In diesem Kapitel soll versucht werden, die Bedeutung des Waldes für den Wasserhaushalt zu erklären. Der potentielle Überschuss in der Wasserbilanz der Ökosysteme ist unser Trinkwasser. In Zeiten des Klimawandels wird die Erneuerung des Trinkwassers an Bedeutung gewinnen. Der vorliegende Beitrag ist eine nur kurze Einführung in die Problematik, denn es gibt deutlich weniger Daten über die Grundwasser-Erneuerung als über den CO₂-Austausch von Ökosystemen. Dies ist darin begründet, dass die Aufteilung der Sonnenenergie in fühlbare Wärme (Temperatur) und

latente Wärme (Wasserdampf) messtechnisch nach wie vor schwierig ist.

4.1 Die Umsetzung der Sonnenenergie

Die Sonne ist die einzige Energiequelle, die alle meteorologischen Prozesse in der Erdatmosphäre antreibt. An der Außengrenze der Atmosphäre herrscht eine Bestrahlungsstärke von 1360 W m⁻² (1,36 kJ m⁻² s⁻¹), davon werden durchschnittlich 53 % in der Erdatmosphäre absorbiert oder reflektiert. In Mitteleuropa erreichen etwa 105 W m⁻² die Erdoberfläche, und diese Energie muss vollständig umgesetzt werden. Bei dieser Umsetzung führen 20 % der eingestrahlten Energie zu einer Erwärmung der Luft (fühlbare Wärme), 80 % werden bei der Verdunstung von Wasser umgesetzt (latente Wärme). Damit ist die Verdunstung ein bedeutsamer Teil des Umsat-

zes der Sonnenenergie (SCHULZE et al. 2019b).

Die Pflanzenwelt kann nur einen kleinen Teil dieser Sonnenenergie mit der Photosynthese für den Aufbau von Biomasse nutzen (1 bis maximal 3 % der eingestrahlten Energie; Photovoltaik erreicht inzwischen 30 %). Die geringe physiologische Nutzung der Sonnenenergie liegt vor allem daran, dass Pflanzen ein breites Spektrum an Strahlung nutzen, und bei hoher Einstrahlung Schäden auftreten, die den Photosynthese-Apparat zerstören. Daher muss ein Teil der eingestrahlten Energie als Temperaturerhöhung (fühlbare Erwärmung) und einer damit verbundene Abstrahlung (ca. 20 % der eingestrahlten Energie), und ein weiterer Teil durch Verdunstung von Wasser (latente Wärme: ca. 80 % der eingestrahlten Energie) ausgeglichen werden. Die Pflanzenwelt reagiert je nach Standort



Abb. 15 Die Erhaltung der in historischer Zeit angelegten Flöbsteiche trägt zum Wasserrückhalt in Wäldern bei (Aufn.: Archiv VANT).

in vielfältiger Weise auf die Einstrahlungswärme. Steht ausreichend Wasser zur Verfügung, werden große Mengen an Wasserdampf gebildet und gleichzeitig viel CO₂ über die Photosynthese gebunden. Steht wenig Wasser zur Verfügung, dann wird die Blattfläche pro Bodenfläche reduziert, es werden kleiner Blätter oder Nadeln gebildet, oder es werden auf den Blättern Schutzschichten aus Wachs oder Haaren gebildet, die die Einstrahlung abmildern (SCHULZE et al. 2019, LARCHER 2003).

4.2 Die Umsetzung von Wasser

Aus dem Prozess der Umwandlung der Sonnenenergie wird deutlich, dass der Verbrauch an Wasser durch die Pflanze die Bindung des CO₂ um einen Faktor >100 überschreitet. Im Durchschnitt produzieren Laub- und Nadelbäume 3 bis 5 g Trockensubstanz pro kg Wasser (LARCHER 2003).

Die Wasserbilanz eines Standortes wird bestimmt vom Niederschlag, der sich aufteilt in einen Anteil, der verdunstet (latente Wärme), den Oberflächenabfluss und die Versickerung ins Grundwasser, die anschließend die Oberflächengewässer speist. Die Versickerung ist für den Menschen von besonderer Bedeutung, denn das ist die Menge an Wasser, die als Trinkwasser zur Verfügung steht.

Der Oberflächenabfluss ist im Wald gering. Starkregen fließt zwar auf Waldwegen ab, dieses Wasser wird aber im Allgemeinen wieder in den Wald abgeleitet. In der modernen Welt gibt es einen weiteren Störfaktor, das sind illegale Pfade und Pisten, die von Besuchern des Waldes als Abkürzung oder als sportliche Ertüchtigung steil zu der Hangneigung angelegt werden. Dort findet Abfluss und Erosion statt. An diesen Stellen beginnen die Waldschäden. Erst stirbt der angrenzende Baum, dessen Feinwurzeln freigelegt werden, dann entsteht eine Lichtung, und dann kommen Waldkrankheiten hinzu, und es stirbt der Wald. Die Feinerschließung bei maschineller Ernte führt im Gegensatz zu den illegalen Pfaden zu keinem erhöhten Abfluss, da die Zweige der gefällten Bäume als Teppich quer über die Rücklinie gelegt werden und damit jeder Abfluss verhindert wird.

Die Nutzung des eingesickerten Bodenwassers durch die Pflanzen hängt stark ab vom Bewuchs. Laubabwerfende Wälder (Laubwald) verdunstet mehr Wasser (500 bis 800 mm Niederschlag im Jahr) als Nadelwald (300 bis 600 mm Niederschlag im Jahr) (LARCHER 2003). Daher findet man Nadelbäume (insbesondere die Kiefer) oder Gebüsch auf trockneren Standorten.

Die Wasserbilanz wird zusätzlich beeinflusst von der Menge an Nieder-

schlag, die bei Regen im Kronendach hängen bleibt und dort unmittelbar verdunstet. Dieser Anteil ist im Nadelwald mit den größeren Oberflächen größer als im Laubwald, wobei die Fichte mehr Wasser auffängt als die Kiefer.

Totholz hat keinen messbaren Einfluss auf die Wasserbilanz des Waldes. Ein Totholzvorrat von 30 m³/ha mit unterschiedlichen Abbaustufen speichert etwa 2 mm Niederschlag, und diese Menge ist großenteils nicht pflanzenverfügbar. Im Gegensatz dazu speichert der Waldboden je nach Textur und Bodentiefe 50 bis 200 mm pflanzenverfügbares Wasser.

4.3 Die regionale Wasserbilanz

In Mitteleuropa liegt der Niederschlag im Allgemeinen über der Menge, die die Pflanzen transpirieren oder oberflächlich an Wasser verdunsten. Im Durchschnitt beträgt die Grundwassererneuerung aber nur ca. 100 mm im Jahr. Das ist die Trinkwassermenge, die den Menschen zur Verfügung steht. Im Bergland ist das mehr, im Windschatten weniger.

Es gibt aber einige Regionen, die wegen der topographischen Lage weniger Niederschlag abbekommen. Als Beispiel soll hier Brandenburg genannt werden, wo im langjährigen Mittel 601 mm Niederschlag fällt. Im Trockenjahr 2022 sank der Jahresniederschlag auf 503 mm.

Brandenburg ist zu 37 % bewaldet, und es dominiert die Kiefer (70 %), die im 18. Jahrhundert zur Stabilisierung der Wanderdünen gepflanzt wurde, und die als Monokultur vom Naturschutz nicht geschätzt wird. Die Kiefer hat einen Jahresverbrauch an Wasser von etwa 450 mm, d. h. in einem Trockenjahr bleiben 50 mm Versickerung für das Trinkwasser. Wenn man den Brandenburger Wald in einen Laubwald umwandelt, dann würde der durchschnittliche Wasserverbrauch auf etwa 650 mm steigen. D. h. in einem Trockenjahr gibt es kein Trinkwasser. Nun ist Brandenburg von Urstromtälern durchzogen, und es fließt Grundwasser von SO nach NW, das die Trinkwasserversorgung aufrechterhält, aber in dem Trockenjahr 2018 sank auch der Grundwasserspiegel in den Urstromtälern und den damit verbundenen Seen deutlich ab. Brandenburg lag also trotz Kiefernwald an der Grenze der Wassernutzung.

Die Verteilung von Laub und Nadelwald wird von der Wasserbilanz bestimmt. Die Buche starb im Jahr 2018 und 2022 in den oberen Kronenteilen ab, denn dort findet der Austausch der Sonnenenergie statt, und dort ist die Verdunstung am höchsten. Die Waldbewirtschaftung reguliert den Wettbewerb der Bäume um das verfügbare Wasser, und stellt damit in einem gewissen Rahmen sicher, dass der verbleibende Bestand auch in einem Trockenjahr überlebt.

5. Wälder und Klimaschutz

ROLAND IRSLINGER

Ökosystemar betrachtet liegt eine fundamentale Bedeutung der Wälder für das Klima in ihrer Funktion als Kohlenstoff-(C-)Speicher. Aber, in historisch gewachsenen Kulturlandschaften ist die Frage zu beantworten, wer das Klima besser schützt, der sich selbst überlassene oder der nachhaltig bewirtschaftete Wald. Denn in der Gesamtbetrachtung beruht die Wirkung von Waldlandschaften auf das globale Klima auf vier Säulen, dem Waldspeicher¹, dem Holzproduktspeicher, der stofflichen und der energetischen Substitution.

Wälder leisten von allen Ökosystemen in unserem Land den größten Beitrag zum Klimaschutz. Holz ist außerdem der bedeutendste nachwachsende Rohstoff in Deutschland, dessen Nutzung zusätzliche Klimavorteile bringt. Ein Vorratsfestmeter² Holz enthält je nach Baumart und Feuchte etwa 0,5 Tonnen absolut trockenes Holz, darin sind im Mittel aller Baumarten 250 Kilogramm C enthalten, einem Vorratsfestmeter im Wald stehenden oder frisch gefällten Holzes entsprechen 917 Kilogramm gebundenes CO₂.

Seit Beginn einer geregelten Forstwirtschaft ist der Wald in Deutschland eine C-Senke³. Über längere Zeiträume hinweg und bei konstantem Klima tendiert diese Senke sowohl im Primär⁴- und Naturschutzwald⁵ als auch im nachhaltig bewirtschafteten Wald gegen null. Primärwald-Landschaften streben bei konstantem Klima einem Fließgleichgewicht zu. Bäume sterben, ihr Holz wird zersetzt und CO₂ entweicht, der Wald verjüngt sich, das Durchschnittsalter der Bäume ändert sich nicht mehr. Die C-Vorräte schwanken um ein langfristiges Gleichgewichtsniveau zwischen Wachstum und Sterblichkeit. Dieser Wald ist kohlenstoffneutral, denn langfristig und auf Landschaftsebene ist die Bilanz zwischen CO₂-Aufnahme und CO₂-Emission null (KÖRNER 2017). So ergab ein Vergleich zweier Inventuren in den Buchen-Urwäldern von Uholka-Shyrokyi Luh in den ukrainischen Karpaten erwartungsgemäß keine signifikante Veränderung des lebenden Holzvorrates (STILLHARD et al. 2022).

Primärwälder der Slowakei zeigen Langzeit-Muster mit Phasen von Akku-

mulation und Zusammenbruch (KORPEL 1995). Der Holzvorrat erreicht am Ende der Optimalphase ein Maximum, die anschließende Zerfallsphase mündet in die Verjüngungsphase. In diesen Wäldern liegen die Holzvorräte zwischen 250 und 800 Vorratsfestmetern je Hektar. In Zerfallsstadien, die dort auf knapp 50 Prozent der Fläche vorkommen und 50 bis 70 Jahre lang dauern, sinkt der Holzvorrat auf 40 bis 70 Prozent des Maximalvorrates ab. Damit verglichen ist der mittlere Vorrat der bewirtschafteten Buchenwälder in Deutschland mit 356 Vorratsfestmetern je Hektar hoch. Bewirtschaftete Buchenwälder haben ähnliche, teilweise auch höhere Lebendvorräte als unbewirtschaftete (NORD-LARSEN et al. 2019, SCHULZE et al. 2021).

Deutschland ist nicht nur das walddreichste Land Mitteleuropas, sondern sein Waldspeicher ist heute ähnlich hoch wie er ohne Bewirtschaftung wäre (SCHULZE et al. 2021). Die C-Senke Wald tendiert aber mehr und mehr gegen Null, weil unser Wald der maximal möglichen Kohlenstofftragfähigkeit inzwischen recht nahe ist. Angesichts der hohen Vorräte in Deutschland besteht im Hinblick auf die infolge des Klimawandels zu erwartende Störungsdynamik kein Spielraum mehr nach oben. Auf 10,8 Millionen Hektar begehbarer Holzbodenfläche wachsen 7,6 Milliarden Bäume mit einem Durchmesser in Brusthöhe mit Rinde ab 7 cm (Derbholz). 3,9 Milliarden Vorratsfestmeter Derbholz stehen im deutschen Wald. Zwischen 2012 und 2017 hat sich der Waldspeicher in Deutschland jährlich um weitere 49,4 Millionen Vorratsfestmeter vergrößert. Mit einem mittleren Vorrat von 358 Vorratsfestmetern je Hektar liegt Deutschland an der Spitze der EU, der Holzvorrat ist so hoch wie seit dem Mittelalter nicht mehr. Die Waldwirtschaft in Deutschland ist unbestritten nachhaltig dank der Förster:innen, die diesen hochbevorzugten Wald nach fast vollständiger Verwüstung in nur zweihundert Jahren wieder aufgebaut haben.

Im Zeitraum von 2002 bis 2012 wurden in Deutschland durchschnittlich 76 Millionen Erntefestmeter ohne Rinde genutzt, wobei deutlich mehr hätten geerntet

werden können. Folge dieser Zurückhaltung sind die aktuell hohen Vorräte. Holzernte und natürliches Absterben von Bäumen erreichten zwischen 2012 und 2017 nur 76 Prozent des Zuwachses, die restlichen 24 Prozent gingen in den Vorratsaufbau. Ein Abbau der Vorräte durch Nutzung steht in Deutschland nicht zur Diskussion.

Der Wald in Deutschland ist im Durchschnitt 77 Jahre alt, am ältesten sind Eichen mit 102, Buchen mit 100 und Tannen mit 96 Jahren, die Flächen mit Bäumen älter als 120 Jahre haben um 12 Prozent zugenommen, unsere Buchen sind sogar älter als die in den Urwäldern der Slowakei. Zu 85 Prozent werden unsere Wälder natürlich verjüngt.

Aktuell beginnt der Holzzuwachs langsam zu sinken, weil es immer mehr ältere Wälder gibt. Der laufende Hektar-Zuwachs ist in jüngeren Altersklassen am höchsten, in diesem Alter wird auch das meiste CO₂ pro Jahr in der aufwachsenden Biomasse gebunden, mit zunehmendem Alter fällt der Zuwachs ab. Das Altern der Wirtschaftswälder führt zu einer Abnahme der CO₂-Absorption, die beste Klimaschutz-Strategie ist daher eine rechtzeitige Nutzung, um einem natürlichen Absterben der Bäume zuvor zu kommen und um den Zuwachs der nächsten Waldgeneration zu sichern. Eine weitere Alterung der Waldbestände wäre auch deshalb bedenklich, weil dadurch die Chancen für ein Gelingen der Naturverjüngung sinken.

Die lebende Biomasse aller Bäume in deutschen Wäldern bindet 4,5 Milliarden Tonnen CO₂. Hinzu kommen 22 Kubikmeter Totholz je Hektar, die 125 Millionen Tonnen CO₂ binden. Gegenwärtig bleiben jährlich 20 Millionen Vorratsfestmeter pro Jahr aus Gründen des Artenschutzes im Wald liegen, wobei für die Artenvielfalt nicht die Menge an Totholz, sondern die Vielfalt der Habitate und Baumarten entscheidend ist (GOSSNER et al. 2016).

Der Humus der Waldböden bindet insgesamt 4,8 Milliarden Tonnen CO₂, mehr als die lebende Biomasse. Boden-C gelangt über fallendes Laub, Nadeln, Rinde, Stängel, Äste, Totholz und Wurzeln in den Waldboden. Waldpflege för-

1 Holz besteht wie auch sonstige pflanzliche Biomasse im Durchschnitt zu etwa 50 Prozent seiner Trockenmasse aus Kohlenstoff. Die Menge des in einem Wald gespeicherten Kohlenstoffs (Waldspeicher) ist daher von der vorhandenen Menge an Holz (Holzvorrat) bzw. Biomasse abhängig.

2 Ein Vorratsfestmeter (= m³) ist der Rauminhalt eines stehenden Baumes oder Baumbestandes in m³ fester Holzmasse an Derbholz mit Rinde.

3 Ein Speicher ist eine Zustandsgröße, Senke und Quelle sind dagegen Flussgrößen. Wald und Holzprodukte sind dann eine C-Senke (Speicherung), wenn ihr Speicher größer wird, ein Wald oder ein Holzproduktspeicher also mehr Kohlenstoff aufnimmt als er abgibt, umgekehrt sind sie eine C-Quelle. Durch Senken wird die Atmosphäre von Treibhausgasen entlastet, durch Quellen belastet.

4 Der Begriff „Primärwald“ charakterisiert einen Wald, der sich unter natürlichen Bedingungen ohne jeglichen anthropogenen Einfluss entwickeln konnte.

5 Als Naturschutzwälder werden hier Wälder bezeichnet, die einen Schutzstatus haben, der natürliche dynamische Prozesse zulässt.

dert den Aufbau stabiler Humusvorräte und ermöglicht eine vielfältige Bodenvegetation, die wiederum die Artenvielfalt fördert (SCHERBER et al. 2010a, SCHULZE 2022). Auch Waldkalkung zur Pufferung der Säureinträge stabilisiert den C-Pool des Bodens. Bei der Holzernte wird aus Gründen des Bodenschutzes auf Rückegassen gefahren. Diese reduzieren den Zuwachs des Waldes nicht, denn die Randbäume an den Gassen sind meist dicker als im Bestand, v.a. Buchen reagieren stark auf Freistellung entlang der Rückegasse. Aufgrund pfleglicher Waldwirtschaft findet momentan in Deutschland trotz Nutzung eine Humusakkumulation von 0,75 Tonnen C je Jahr und Hektar statt (BOLTE et al. 2016). Ein Aufbau zusätzlicher C-Vorräte im Waldboden verläuft extrem langsam, denn die C-Senke im Waldboden ist viel kleiner als die Akkumulation von C in der oberirdischen Biomasse (SCHLESINGER et al. 2009). Signifikante Unterschiede in den C-Gehalten von Böden zwischen bewirtschafteten und teilweise seit Jahrhunderten unbewirtschafteten Wäldern konnten nicht gefunden werden (NAGEL et al. 2023, NORD-LARSEN et al. 2019). Insgesamt hält der deutsche Wald das Äquivalent von 9,4 Milliarden Tonnen CO₂ zurück, die ansonsten die Atmosphäre belasten würden.

KEITH et al. (2009) verstehen unter der Kohlenstofftragfähigkeit einer Waldlandschaft die Menge an C, die ohne anthropogene Beeinflussung akkumuliert werden kann. Gemäßigte feuchte Wälder

mit kühlen Temperaturen und mäßig hohen Niederschlägen haben die höchsten Biomasse-C-Vorräte, mit wärmer und trockener werdendem Klima werden diese immer geringer (Abb. 16), unabhängig davon, ob Wälder bewirtschaftet werden oder nicht. Bereits im Hitzesommer 2003 wurden aus bis dato biogenen Senken C-Quellen, noch gefährlicher war die Dürre von 2018, ein seit 500 Jahren nie dagewesenes Ereignis.

Trockenheit und Hitze erhöhen die Anfälligkeit für sekundäre Stressoren. Vermehrter Stress bringt zuerst die Altbäume zum Absterben, hohe Bäume in alten Wäldern sind am stärksten bedroht (MCDOWELL & ALLEN 2015). So traten nach dem Dürresommer 2018 bei Buchen Pilze und Borken- sowie Prachtkäfer als Schadorganismen auf, die auch geschlossene Buchenbestände befallen können (LANGER et al. 2020).

Klimabedingter Wasserstress korreliert mit Waldbrandrisiken (MILLAR & STEPHENSON 2015), die umso höher sind, je länger Wälder nicht bewirtschaftet werden und je mehr Totholz sich anreichert. Feuer führen zu einer zusätzlichen CO₂-Belastung der Atmosphäre. Im Zuge des Klimawandels werden sich Waldtypen mit geringeren Biomassevorräten ausbreiten. Auch Primär- und Naturschutzwälder werden davon betroffen sein, wie die sterbenden Buchen im Nationalpark Hainich bereits zeigen. Im Klimawandel ist zu befürchten, dass unsere Wälder zu C-Quellen werden, Naturschutzwälder sind dabei besonders labile C-Speicher, während Waldpflege

Kalamitäten mindern kann. Zum Risiko der Schwächung des C-Speichers im Naturschutzwald kommt der Ausfall der stofflichen und energetischen Substitution.

Aus der Perspektive des langfristigen Klimaschutzes ist „Natur Natur sein lassen“ in unseren Wäldern kontraproduktiv. Unter der Dynamik von Naturschutzwäldern leiden häufig Eiche und Hainbuche, da sie der konkurrenzstarken Buche unterlegen sind. Dies kann zu strukturarmen reinen Buchenwäldern führen. Auch diese Entwicklung ist aus Gründen der Stabilität der Wälder in Trockenzeiten kritisch zu sehen. Das Potenzial eines klimawandelbedingten Schwundes biogener Speicher ist außerdem mehrfach höher als ihr zusätzliches Senkenpotenzial (LUHMANN 2006), Permanenz ist nicht gegeben. Das politische Versprechen eines weiteren Holzvorratsaufbaus hat eine Alibifunktion, weil eine biogene Senke wie eine vermiedene Emission behandelt und die Öffentlichkeit so über die tatsächliche Höhe der fossilen Emissionen im Ungewissen gelassen wird.

Bewirtschafteter Wald vermeidet fossiles CO₂ durch Substitution, Wälder weiter wachsen zu lassen bedeutet dagegen bilanziell die Akkumulation von fossilem C in einem labilen Speicher, der das CO₂ im Fall klimabedingter Kalamitäten wieder in die Atmosphäre entlassen wird.

Die Bindung von C in einem Holzproduktspeicher, z. B. in Holzhäusern, ist stabiler als in einem Naturschutzwald. Insbesondere Buchen-Totholz unterliegt einem raschen Abbauprozess (EDEMANN et al. 2023). Holzprodukte sind eine Erweiterung des Waldspeichers (CHURKINA et al. 2020). Je langlebiger Holzprodukte sind, desto besser ist dies für das Klima, denn sie verzögern die Emission des Kohlenstoffs. Stämme ausreichender Qualität sollten primär zur Herstellung hochwertiger Produkte wie Schnittholz und Holzwerkstoffe eingesetzt werden. Die Erziehung von Wertholz im Rahmen der Waldpflege ist deshalb so wichtig.

Die Herstellung von Produkten aus Holz ist in den meisten Fällen mit deutlich weniger fossilen CO₂-Emissionen verbunden, als wenn dazu Stahl, Aluminium, Glas oder Beton verwendet würde. Diese sog. stoffliche Substitution darf nicht mit dem Produktspeicher verwechselt werden. Der Bausektor macht derzeit etwa die Hälfte der gesamten weltweiten Stahlnachfrage aus, die Herstellung von Zement verursacht etwa acht Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen. Für Deutschland ergibt sich beim Bau von Ein- und Zweifamilienhäusern aus Holz statt aus mineralischen Baustoffen eine Vermeidung fossiler Treibhausgas-Emissionen von 35 bis 56 Prozent je Gebäude (HAFNER & SCHÄFER 2017).

Die energetische Verwertung von Holz vermeidet, dass fossiles C in die Atmosphäre gelangt. Energetisch genutztes Holz ist ein Nebenprodukt der Her-

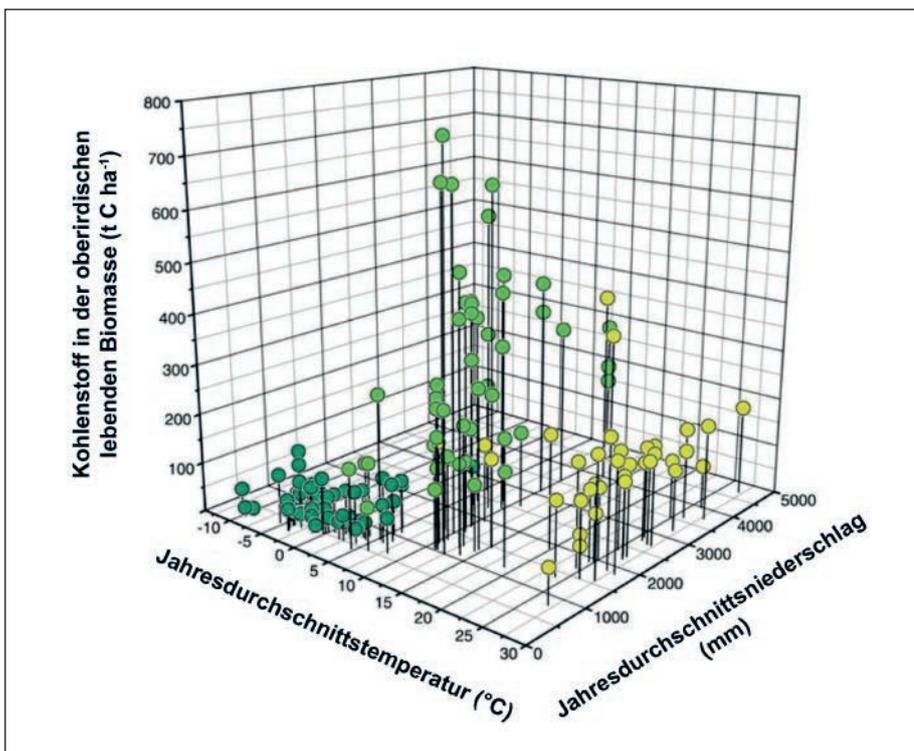


Abb. 16 Oberirdische lebende Biomasse von Primärwäldern in Abhängigkeit von mittlerer Jahrestemperatur und mittlerem Jahresniederschlag (aus KEITH et al. 2009).

stellung von Säge- und Zellstoffholz für stoffliche Anwendungen. Holz-Heiz-(kraft)werke nutzen Waldrestholz, Reststoffe wie Sägemehl und Rinde, Landschaftspflegeholz sowie Altholz. Unter Berücksichtigung des fossilen Aufwandes der gesamten Lieferkette werden je Festmeter Holz 0,614 Tonnen fossiles CO₂ vermieden (IRSLINGER 2022a). Eine stoffliche Verwertung sollte einer energetischen prinzipiell vorgezogen werden, denn dann substituiert Holz mehrmals, einmal oder mehrfach als Produkt und ein letztes Mal als Brennstoff.

Ob die energetische Nutzung von Holz CO₂-neutral ist, hängt vom Einfluss der Holznutzung auf den C-Speicher der Waldlandschaft ab. Sofern dieser konstant bleibt oder zunimmt, ist CO₂-Neutralität gegeben (SCHULZE et al. 2022). Nachhaltige Waldwirtschaft schöpft maximal den Zuwachs ab, der im Falle von Nicht-Nutzung durch natürliche Verrottung CO₂ freisetzen würde, ohne dabei fossile Emissionen zu vermeiden. Die Energiedichte ist bei der Beurteilung der CO₂-Neutralität irrelevant, denn fossile Energieträger befördern Kohlenstoff, der seit Jahrtausenden dem Kreislauf entzogen ist, aus der Erdkruste in das Biosphären-Atmosphären-System. Die energetische Nutzung von Holz setzt dagegen C frei, der bereits Teil des biosphärisch-atmosphärischen Kreislaufs ist. Holzenergie aus nachhaltiger Waldwirtschaft ist CO₂-neutral, heute und in Zukunft und unabhängig vom jeweiligen Energiemix.

Holzimporte aus ausbeuterischer Waldnutzung dagegen sind nicht CO₂-neutral, weil die Verluste bei der Ernte und Verarbeitung des Holzes mit Netto-CO₂-Emissionen verbunden sind. Nutzungsverzicht hierzulande hätte einen erhöhten Nutzungsdruck auf Wälder außerhalb Deutschlands mit geringerem Schutzstatus zur Folge und würde unseren ökologischen Fußabdruck ins Ausland verlagern (LESSENICH 2018).

Eine Kohlenstoffschuld entsteht bei hohen Vorräten und nachhaltiger Waldwirtschaft nicht (SCHULZE et al. 2022), denn der Betrag des mit der Holzernte entnommenen C ist innerhalb einer Vegetationsperiode wieder gebunden. Im Durchschnitt vermeidet ein Vorratsfestmeter Derbholz aus nachhaltiger Waldwirtschaft die Emission von etwa einer Tonne fossilem CO₂ (IRSLINGER 2022a). Holznutzung vermeidet fossile CO₂-Emissionen ein für alle Mal, Jahr für Jahr, Vermeidung ist real, permanent und kumulativ. Kohlenstoff speichern kann ein Wald dagegen nur einmal bis zu seiner maximalen Kohlenstofftragfähigkeit. Selbst wenn ein Einschlagstopp den Holzvorrat erhöhen könnte, wäre dies mangels Additionalität kein Klimaschutz, weil die Speicherung von C im



Abb. 17 Eine hohe Brandlast aus Totholz, hier im Nationalpark Harz, erhöht bei Dürre das Risiko schwerer und intensiver Waldbrände (Aufn.: R. IRSLINGER).



Abb. 18 Waldpflege erhöht den Anteil des stofflich nutzbaren Buchenholzes, das dabei anfallende, stofflich nicht verwertbare Brennholz ist CO₂-neutral (Aufn.: R. IRSLINGER).

Wald durch Verlagerungsprozesse im Produktsektor netto nicht zu einer geringeren Belastung der Atmosphäre mit CO₂ führt.

Deutschland emittierte 2022 746 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente⁶, ohne nachhaltige Waldwirtschaft hätte die Emission 2022 bei etwa 850 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten gelegen. Die Waldbewirtschaftung verringerte 2022

die deutschen Treibhausgas-Emissionen demnach um etwa 12 Prozent⁷. Im dicht besiedelten Mitteleuropa sind wir darauf angewiesen, den Prozess der Transformation in ein warm-trockenes Klima durch „Climate Smart Forestry“ (NABUURS et al. 2017) zu begleiten, um die Resilienz der Wälder zu erhöhen und deren Klimaschutz-Funktion dauerhaft sicherzustellen.

⁶ CO₂-Äquivalente reduzieren die unterschiedliche Klimawirksamkeit der verschiedenen Treibhausgase auf einen einzigen Wert (CO_{2e}).

⁷ Dieser Schätzwert ergibt sich aus der je Vorratsfestmeter geerntetem Holz vermiedenen Emissionsmenge an fossilem CO₂ von 0,966 Tonnen zuzüglich der Bindung von 0,917 Tonnen CO₂ je Vorratsfestmeter im nicht genutzten Zuwachs und der Zunahme des Holzproduktspeichers (IRSLINGER 2022a).

6. Wald und Artenvielfalt

ERNST-DETLEF SCHULZE

6.1 Einführung

Die EU hat mit der neuen Strategie zur biologischen Vielfalt im Jahr 2021 neue Standards für den Naturschutz gesetzt: 10 % der Landesfläche der EU sollen unter strengen Schutz gestellt werden, und 30 % der Landesfläche sollen geschützt und nur unter Auflagen bewirtschaftet werden (European Parliament 2021). Die Umsetzung dieser Forderung wird schwierig, denn die Landwirtschaft hat gerade die Ackerschutzbstreifen wieder in Betrieb genommen, um die Nahrungssicherheit zu gewährleisten. Wenn dies so bleibt, dann muss der Forst für die Schutzflächen einspringen. Das bedeutet, dass der Staatswald (30 % der bewaldeten Fläche in Deutschland) aufgelöst wird. Mit der neuen Förderung von klimaangepasstem Waldmanagement ist bereits eine Stilllegung von 10 % (5 % Flächenstilllegung + Habitatbäume) im Privatwald geplant.

In dieser Situation ist es dringend erforderlich, den Zustand der Biodiversität in Deutschland zu überprüfen. Es ist unbestritten, dass in den Tropen große Landnutzungsänderungen stattfinden und Auswirkungen auf die Artenvielfalt in den Tropen haben. Diese Landnutzungsänderungen reichen von der

Umwandlung des tropischen Regenwaldes in Kurzumtriebsplantagen mit Eukalyptus bis hin zu Palmölplantagen und Soja-Feldern. Die Produkte, die auf diesen Plantagen erwirtschaftet werden dienen dem Export in die Industrienationen, aber diese werden nicht mit der Landnutzungsänderung in den Tropen belastet. Diese Änderungen in der Landnutzung erfolgen gleichzeitig zu einer nie zuvor erlebten Intensivierung der Landwirtschaft in der gemäßigten Zone, was ebenfalls Rückwirkungen auf die Artenvielfalt hat.

Unbenommen von diesen Prozessen ist die nachhaltige Nutzung des Waldes abzutrennen von den Änderungen in der Landnutzung, d. h. von der Umwandlung von Wald in agrarische Nutzung oder Infrastrukturmaßnahmen. Im Folgenden soll daher geklärt werden:

- Wie sind die Arten in Deutschland auf Offenland und Wald verteilt?
- Wo leben die geschützten, gefährdeten und Verantwortungsarten?
- Welche Trends sind für den Wald erkennbar?
- Welche Anforderungen an die Nutzung des Waldes sind daraus abzuleiten?

Die Arbeit behandelt nicht den Schutz von großen Wirbeltieren und Vögeln, die einer gesonderten Betrachtung unterliegen (GÖRNER 2023).

6.2 Schutzkategorien in Deutschland

Bislang ist nicht klar, wie die Schutzanforderungen der EU umgesetzt werden sollen. Das gilt auch für das Förderprogramm Deutschlands zum klimaangepassten Waldmanagement. Dabei gibt es bereits einen „Zoo“ an Unterschutzstellungsmöglichkeiten (Tabelle 9).

Da die Flächen der genannten Schutzgebietstypen überlappen, ist es nicht möglich zu sagen, wieviel Landfläche netto in Deutschland einen Schutzstatus genießt.

Wären Landschaftsschutzgebiete der angestrebte Schutzstatus, dann wären 30 % Unterschutzstellung fast erreicht. Auch Vogelschutzgebiete gelten bereits für 30 % der Landfläche. Anders sieht es aus bei den Gebieten mit strengem Schutzstatus. Nach den Angaben des Naturschutzes stehen nur ca. 2 % der Waldfläche unter strengem Schutz. Nach den Ergebnissen der 3. Bundeswaldinventur werden 5,6 % des Waldes nicht bewirtschaftet (BMEL 2015). Diese Flächen zählen aber nicht, da das Eigentum weiterhin beim Forst ist. Es ist unklar, wie bei der Unterschutzstellung von Privatwald in dem neuen Förderprogramm verfahren wird.

Sofern sich die Definitionen der EU durchsetzen, dann wäre es an der Zeit, das Repertoire deutscher Schutzgebietstypen zu bereinigen.

6.3 Artenvielfalt in Offenland und Wald

Da die Vielfalt in der Pflanzenwelt weitgehend die Vielfalt der anderen Organismen bestimmt (SCHERBER et al. 2010b) wird im Folgenden die Verteilung der Artenvielfalt auf Offenland und Wald von Arten am Beispiel der Pflanzenarten diskutiert (Tabelle 10).

Die Tabelle 10 zeigt, dass der Wald in der gemäßigten Klimazone relativ artenarm ist. Er enthält nur ca. 10 % des Arteninventars. Darüber hinaus erkennt man, dass im Offenland eine erhebliche Neuentstehung von Arten im Gang ist. Die Apomikten und Hybriden machen fast 1/3 der Flora aus, und diese Neubildung von Arten findet primär im Offenland statt. Die sogenannten indigenen Arten machen nur etwa die Hälfte der Gesamtflora aus. Im Wald ist dieser Anteil größer.

Insgesamt ist in der Flora Deutschlands kein deutlicher Artenrückgang

Tab. 9 Schutzgebiete in Thüringen. Eine Reihe von Flächen überlappen sich, so dass eine Aufsummierung der Flächenanteile nicht sinnvoll ist.

Schutzgebiet-Kategorien	Flächenanteil (% der Landesfläche Thüringens)	Quelle
Naturpark	26,8	TMUEN (2019)
Landschaftsschutzgebiet	23,9	TMUEN (2019)
Biosphärenreservat	5,1	TMUEN (2019)
Naturschutzgebiet	2,7	TMUEN (2019)
Nationalpark	0,5	TMUEN (2019)
Nationales Naturmonument	0,4	TMUEN (2019)
Flächennaturdenkmal	0,2	TMUEN (2019)
Geschützter Landschaftsbestandteil	0,1	TMUEN (2019)
Naturdenkmal	<0,1	TMUEN (2019)
Biotop und Biotopverbund (z. B. Streuobstwiesen)	0,6	TMUEN (2019)
Wildnis (nicht gesetzlich verankert)	1,6	TMUEN (2019)
Naturwaldreservat & Parzellen (forstliche Einrichtung)	0,5	Geoportal Thüringen
Unbewirtschaftete Flächen (Forst, Landwirtschaft)	1,1	Thüringen Forst, Auskunft
EU Natura 2000: FFH-Flächen und -objekte	10,0	TLUBN (2023)
EU Natura 2000: Vogelschutzgebiete	14,3	TLUBN (2023)

erkennbar. Nur etwa 30 Arten sind ausgestorben, wobei aber einige dieser Arten inzwischen wiedergefunden wurden. Nach derzeitiger Kenntnis ist im Wald keine walddtypische Gefäßpflanzenart ausgestorben (*Rosa abietina* und *Carex depauperata* wurden wiedergefunden). Es wird weiterhin aus Tabelle 10 deutlich, dass der Wald nicht einen Artenrückgang bzw. eine Gefährdung von Arten im Offenland ausgleichen kann. Es handelt sich um unterschiedliche Artengruppen.

Die Auflistung der Gesamtzahl der Pflanzenarten gibt noch keinen Einblick in den Gefährdungszustand. Dazu wird die Flora unterteilt in geschützte Arten, die per Gesetz einen Schutzstatus haben, in gefährdete Arten, die von Experten beobachtet und in der Roten Liste zusammengefasst werden. Darüber hinaus gibt es Arten, für die Deutschland eine Verantwortung übernimmt, dass diese Arten fortbestehen (SCHULZE & AMMER 2015). Diese Pflanzenarten sind in Tabelle 11 aufgelistet.

Aus Tabelle 11 wird deutlich, dass nur etwa 10 % der naturschutz-relevanten Arten im Wald vorkommen. Da es sich um unterschiedliche Pflanzengesellschaften handelt, kann der Wald in keiner Weise die Gefährdung von Arten im Offenland kompensieren, bzw. die Offenlandarten beherbergen.

Die Gesamtzahl naturschutz-relevanter Arten ist niedriger als die Summe der einzelnen Gefährdungstypen, da es vielfältige Überschneidungen gibt. Eine Möglichkeit, die Ausweisung von Naturschutzflächen an der Naturschutzrelevanz zu orientieren, wäre die, dass man primär sich auf die Arten fokussiert, die sowohl geschützt als auch gefährdet sind und für die Deutschland eine Verantwortung übernommen hat. Es ist interessant zu sehen, dass es nur sehr wenige Waldarten gibt, die sowohl geschützt, als auch gefährdet sind und für die Deutschland Verantwortung übernimmt. Im Wald sind dies 4 Arten, von denen 2 Arten offensichtlich keine Waldarten sind, d. h. diese Arten wurden vom BfN falsch zugeordnet: *Asplenium adulterinum* kommt nur auf besonnten Serpentinfelsen vor und verschwindet bei einem beschattenden Kronendach. *Hymenoptera thunbergiensis* kommt in feuchten Sandsteinklüften vor. Da wächst kein Baum. Die übrigen 2 Arten (*Chimophila umbellata* und *Epipogium aphyllum*) kommen vornehmlich im Wirtschaftswald vor. Auch die einzige, nach Natura 2000 prioritäre Art des Waldes, *Cypripedium calceolus*, ist vornehmlich im Wirtschaftswald zu finden und verschwindet bei Unterschutzstellung (zu dichtes Kronendach).

6.4 Artenvielfalt im Wirtschafts- und Stilllegungswald

Die vorangegangene Betrachtung bezog sich auf Pflanzenarten als wesentlichem Ausgangspunkt für andere Organismen. Es wird befürchtet, dass andere Organismen einen Artenrückgang erleiden,

Tab. 10 Verteilung der Pflanzenarten auf verschiedene Gruppen: Apomikten sind selbstbestäubende Arten, Hybriden sind stabile Kreuzungen zwischen Arten, Neophyten sind Arten, die nach der Entdeckung Amerikas nach Deutschland gelangten, Archaeophyten sind Arten, die mit der Einführung der Landwirtschaft in der Jungsteinzeit nach Deutschland kamen, und indigene Arten, die sich nach der Eiszeit ausbreiteten (SCHULZE et al. 2015).

	Wald und Offenland	Offenland	Wald
Gesamtzahl	3.874	3.530	344
Apomikten	961	958	3
Hybriden	116	112	4
Neophyten	488	474	14
Archaeophyten	235	233	2
Indigene Arten	2.074	1.753	321

Tab. 11 Zusammenfassung von geschützten, gefährdeten und Verantwortungsarten (SCHULZE & AMMER 2015).

	Wald und Offenland	Offenland	Wald
Gesamtzahl	1.177	1.077	100
Geschützt	370	310	60
Gefährdet	712	660	52
Verantwortung	303	286	17

der unabhängig ist von den Veränderungen bei den Pflanzen. HEINRICHS et al. (2019) untersuchte daher Monokulturen und Mischwald von Buche und Fichte in allen Altersklassen und quantifizierte damit erstmals für eine große Zahl von Organismengruppen eine landschaftsbezogene Diversität, die sogenannte γ -Diversität. Die Abbildung 19a zeigt, dass die Fichte und nicht die Buche die höchste landschaftsbezogene Diversität erreicht.

Die Untersuchungen von HEINRICHS et al. (2019) wurden ergänzt von SCHALL et al. (2018), der eine sehr große Zahl von Organismengruppen für Waldhabitate, u. a. Fledermäuse, Vögel, Spinnen, Weberknechte, Käfer, Hautflügler, Florfliegen, Wanzen, Gefäßpflanzen,

Moose, Flechten, Pilze und Bakterien untersuchte. Sie alle kamen im „klassischen“ Altersklassenwald mit größerer Häufigkeit vor, als im strukturierten Dauerwald und im Naturschutzwald.

Das Verhalten der Vögel hat dabei besondere Bedeutung, denn die Vögel sind das Endglied einer Nahrungskette. Sie werden daher als Indikator für den ökologischen Zustand in einem Ökosystem genutzt. Die Bundesanstalt für Naturschutz (BfN) hat eine repräsentative Gruppe von Vogelarten ausgewählt, die für den Wald als typisch angesehen werden. Es wurde festgestellt, dass bei dieser Gruppe von Vögeln seit dem Jahr 1970 keine Änderung in der Population beobachtet wurde (Abb. 20). In Erwartung darauf, dass sich durch massive

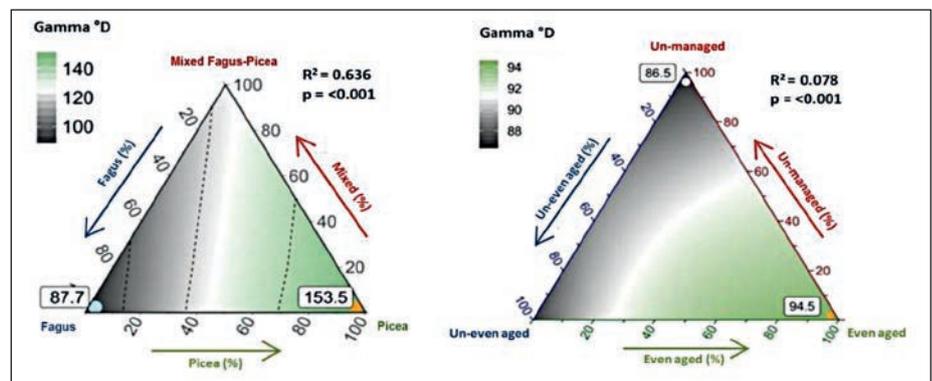


Abb. 19 Die landschaftsbezogene γ -Diversität für dominante Waldarten (links: HEINRICHS et al. 2019) und Bewirtschaftungstypen (rechts: SCHALL et al. 2018).

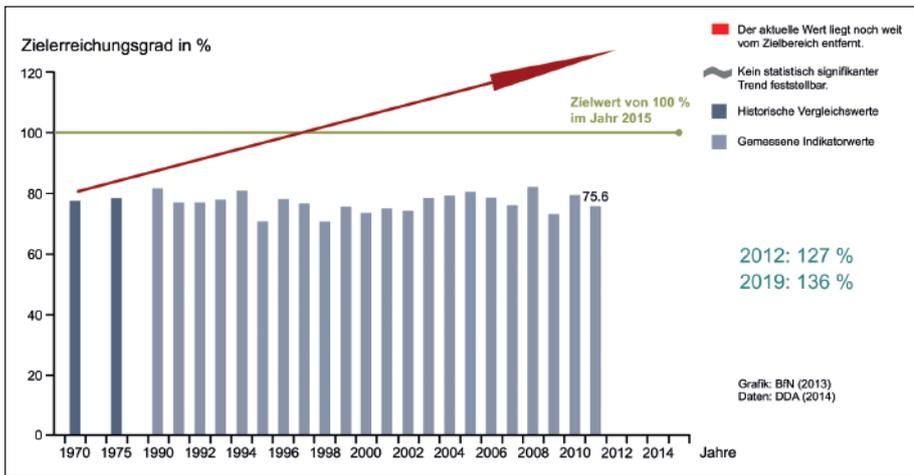


Abb. 20 Die Veränderung der vom BfN (2015) ausgewählten Vogelarten (Vertikale Säulen: Grauspecht, Kleiber, Kleinspecht, Mittelspecht, Schreiadler; Schwarzspecht, Schwarzstorch, Sumpfmehse, Tannenmehse, Waldlaubsänger und Weidenmehse) im Vergleich zu der Veränderung von typischen winterheimischen Waldarten (rote Linie: Blaumehse, Kohlmeise, Sumpfmehse, Grauspecht, Buntspecht, Schwarzspecht, Mittelspecht, Gimpel, Eichelhäher, Waldbaumläufer).

Unterschützstellung von Wald diese Situation in Zukunft verbessern könnte, hat man den Basiswert von 1970 auf 80 % skaliert. Nun zeigt aber SCHULZE et al. (2019b), dass die vom BfN ausgewählte Gruppe heterogen aus nichtziehenden, aus regional ziehenden und aus kontinental ziehenden Vogelarten zusammengesetzt ist. Als Maß für den Zustand des

Waldes in Deutschland kann man sich nur auf die nichtziehenden, winterheimischen Arten beziehen, und die zeigen eine erhebliche Zunahme.

Eine statistische Analyse zeigt, dass die typischen Waldarten bedingt durch Klimawandel (längere Vegetationsperiode) und Waldbau (Mischwald) an Häufigkeit gewonnen haben. Der Wirt-

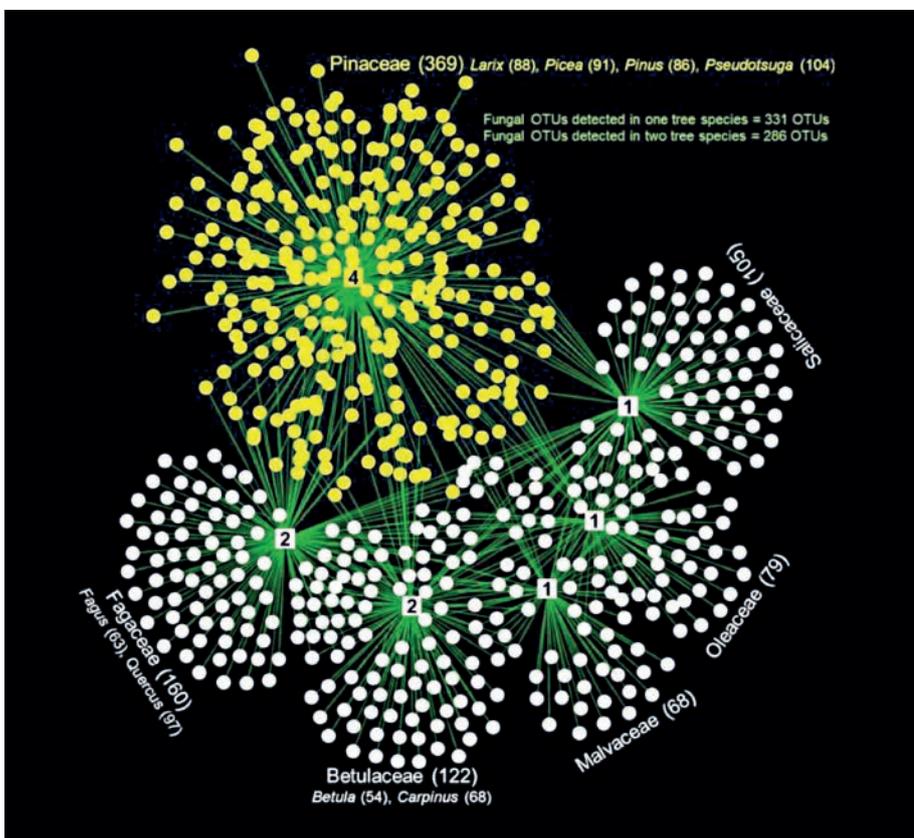


Abb. 21 Die Artenvielfalt der Pilze im Totholz verschiedener Baumarten (PURA HONG et al. 2018).

schaftswald hat das vom BfN gesetzte Planziel von 100 % bereits im Jahr 1997 erreicht und befindet sich 2019 bei etwa 130 % bezogen auf das Basisjahr 1970.

6.5 Totholz

Da das Totholz im Naturschutz eine besondere Bedeutung hat, soll dieses besonders erwähnt werden. In einem Totholzexperiment mit 12 Baumarten, die als Langholzabschnitte mit mehr als 30 cm Mittendurchmesser unter allen Bewirtschaftungsbedingungen im Norden, der Mitte und im Süden von Deutschland exponiert wurden, wurde der Abbau dieses Holzes durch verschiedene Organismengruppen untersucht. Das Experiment wird umfassend beschrieben bei KAHL et al. (2017).

PURAHONG et al. (2018) untersuchte die holzabbauenden Pilze (Abb. 21). Man erkennt deutlich die geringe Bedeutung der Buche bei der Artenvielfalt der holzabbauenden Pilze. Im Buchenholz gab es nur 63 Arten gegenüber 369 Arten im Fichtenholz. Auch im Vergleich zu anderen Laubbaumarten ist die Buche artenarm. Die Bedeutung der Straucharten für die Artenvielfalt wird am Beispiel der Pilze von GÜNTHER et al. (2022) untersucht.

In dem gleichen Totholzexperiment wurden die xylobionten Käfer untersucht (EDEL MANN et al. 2022). Dabei zeigt sich ebenfalls, dass die Diversität der Holzarten signifikant wichtiger ist als die Menge an Totholz, und dass die Koniferen einen signifikanten Beitrag zu der Diversität der Totholzkäfer beitragen, mehr als die Buche.

6.6 Landschaftsbezogene Artenvielfalt und Waldeigentum

Die Untersuchung der Pilze brachte eine weitere wichtige Erkenntnis (GÜNTHER et al. 2022). Es zeigt sich, dass die Artenvielfalt linear abhängt von der Vielfalt des Eigentums auf der Untersuchungsfläche. Viele Eigentümer mit unterschiedlichen Bewirtschaftungszielen fördern die Artenvielfalt der Pilze. Dies stellt die Einrichtung von Großschutzgebieten in Frage.

6.7 Probleme, ungeklärte Fragen

Trotz aller positiven Befunde über die Artenvielfalt im Wald soll an dieser Stelle nur auf einige wenige Probleme hingewiesen werden.

Jagd: Die hohen Wildbestände und die Regulierung des Abschusses einschließlich der „Hegeziele“ sind ein bedeutsamer Faktor in der Gefährdung der Baumarten im Wald. Auf die Jagd wird in Kapitel 7 dieser Schrift gesondert eingegangen.

UNESCO-Naturerbe Buche: In der Begründung zur Anerkennung der Buche als UNESCO-Naturerbe werden „Reinbestände“ von Buche gefordert. Dies

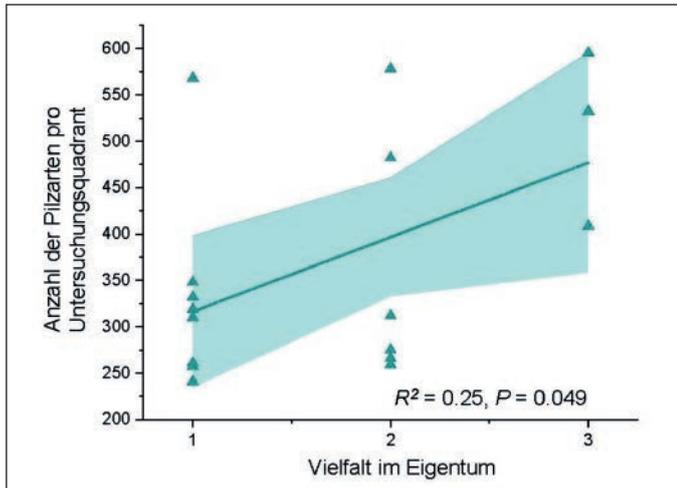


Abb. 22 Die Artenvielfalt der Pilze in Abhängigkeit von der Vielfalt im Eigentum (GÜNTHER et al. 2022). X-Achse: 1 = ein Eigentümer pro Untersuchungsquadrant, 2 und 3: zwei oder drei Eigentümer pro Quadrant. Eigentümer waren der Staatswald, Kommunalwald und Privatwald, wobei im Privatwald mehrere Eigentümer beteiligt sein können. Der eine Punkt mit hoher Artenvielfalt bei einem Eigentümer liegt in einem Kommunalwald. Diese Fläche wurde historisch als Allmende genutzt.



Abb. 23 Strukturreicher Bergmischwald im Thüringer Wald (Aufn.: H. R. LANGE).

widerspricht der Einsicht, dass die Artenvielfalt der Gehölzarten im Wald Ausgangspunkt der Artenvielfalt insgesamt ist. Bei den Pilzen wurden entsprechende Modellrechnungen durchgeführt. Würde die Buche aussterben, würde sich an der Pilzflora nichts ändern. Andere Gehölzarten sind von größerer Wichtigkeit. Die hohe Zahl an Gehölzarten in Deutschland ist wirtschaftsbedingt. Zusätzlich zeigen SCHULZE & GRIMM (2022), dass nicht *Fagus sylvatica*, sondern *Fagus orientalis* mit der Population im Iran das eigentliche genetische Naturerbe ist.

Erholung: Die intensive Nutzung der landwirtschaftlichen Flächen führte zu einer Konzentration der Nutzung des

Waldes durch die Öffentlichkeit für Erholung. Das ungebremste Betretungsrecht des Waldes führt zu einer erheblichen und unüberschaubaren Gefährdung der Arten im Wald. Darauf wird in Kapitel 7 eingegangen.

6.8 Schlussfolgerungen

- Der Wald kann den Artenrückgang im Offenland nicht kompensieren.
- Wirtschaftswald hat insbesondere bei kleinräumiger Eigentumsverteilung mehr kommune und geschützte Arten als ein Naturschutzwald.
- Die Erhaltung der Vielfalt an Baum- und Straucharten ist Voraussetzung

für den Artenreichtum anderer Organismen im Wald.

- Eine Vielzahl von Problemen, die durch die zunehmende Nutzung des Waldes durch die Öffentlichkeit bedingt sind, könnten in Zukunft einen Artenrückgang auch im Wald in Gang setzen.
- Das Kapitel beschreibt den derzeitigen Zustand bzw. die Vergangenheit. Mit zukünftigen technischen Entwicklungen in der Flächennutzung könnte sich dieser Zustand ändern.

7. Wald und Erholung

ERNST-DETLEF SCHULZE und MARTIN GÖRNER

7.1 Einleitung

Der Wald ist für viele Menschen in industrialisierten Ländern ein Ort des Wohlempfindens. Es gibt keinen Zweifel,

und dies belegen auch Umfragen unter der Bevölkerung, dass Wälder sehr stark als Erholungs- und Erlebnisraum wahrgenommen werden (z. B. PRÖBSTL et al. 2010, Naturkapital Deutschland

2008). Dort kann man die „Natur“ mit allen Sinnen spüren, den Geruch des Bodens, die Waldluft, die Ruhe und die verschiedenen Tier- und Pflanzenarten kennen lernen. Das war nicht immer so.

Der Osterspaziergang von Goethe ging durch ein Offenland, in dem man weit blicken konnte. Aber die Möglichkeiten zur Erholung in der offenen Landschaft sind in heutiger Zeit verloren gegangen. Wege, Hecken und Kleinstrukturen fehlen in der modernen Agrarlandschaft weitestgehend. Erholung kann man dort nicht mehr suchen. Somit konzentriert sich die Suche nach Erholungsräumen auf den Wald, und der Wald wird touristisch und hinsichtlich der Erholungsaktivitäten von externen Interessenten vermarktet, ohne dass der eigentliche Eigentümer des Waldes an dem Prozess beteiligt ist. Daraus folgt, dass die meisten Menschen eine positive Einstellung und ebenso positive Vorstellungsbilder zum Wald haben, und oft merken sie es nicht oder wollen es nicht wahrhaben, dass sie extern gesteuert werden, und fremdes Eigentum nutzen. Auch Waldbesucher verlangen nach Ausblicken und fürchten sich im dichten Wald. Eine wohlgeordnete Parklandschaft wäre das Ideal.

Seit mehreren Jahren werden Wälder auch unter dem Blickwinkel einer ökologischen Esoterik gesehen (Wald ist Natur, Vorstellung von dauerhaften Waldsystemen; der Schutz hat besonderen Vorrang vor der Nutzung (AGGESTAM et al. 2020)). Die Forstwirtschaft mit ihrem Service für die Öffentlichkeit mit einer Bereitstellung von Holz für Holzprodukte wird bei diesen Betrachtungen weitgehend ausgeblendet. Der Förster ist nicht mehr ein Mensch der den Wald pflegt und erhält, sondern ein Mensch der „Bäume tötet“.

Die Bemühungen der Forstwirtschaft zur Erhaltung und Gestaltung der Waldflächen, zum Waldumbau in stabile Mischwälder, zur Vermeidung des Schädlingsbefalls, zur Abwendung von Sturmschäden, zur Erzielung eines ausgewogenen Verhältnisses von Wald und Wild sowie zur Regelung von Artenschutzmaßnahmen bei Pflanzen und Tieren werden in der Öffentlichkeit nicht wahrgenommen oder gar honoriert. Auch forstliche Investitionen, die dazu dienen, den Wald zu bewirtschaften (z. B. Anlage

von Wegen), werden von der Öffentlichkeit als Anlagen für Erholungs- und Sportaktivitäten angesehen.

Von Waldbesuchern benannte Konflikte kommen in den Stichworten: Holzeinschlag, Ernte und Bodenverdichtung durch große Maschinen und zerfahrene Wege zum Ausdruck. Durch Besucher verursachte Beeinflussungen des Waldes: Müll, Hunde, Reiter, Motorradfahrer und Radfahrer werden meistens übersehen. Die Totholzmassen, die im Wald stehen und liegen, werden positiv bewertet, aber gleichzeitig von Selbstwerbern als Brennholz geschätzt und genutzt.

Da im Vergleich zu früheren Jahrzehnten heute nur noch wenige ortsansässige Menschen im Wald arbeiten, verliert der Wald als Produktionsraum in unserem Bewusstsein an Bedeutung. Weit verbreitet besteht die Idealvorstellung, dass der Wald einen ursprünglichen, vom Menschen unberührten Lebensraum, also „Wildnis“, darstellen soll, die aber an die Ziele der Erholungssuche angepasst werden muss (OPITZ et al. 2015, KNAUF 2022).

Bei all diesen Betrachtungen spielt die Rohstoffgewinnung von „Holz“ keine Rolle, wobei die meisten Bürger keine Hemmungen haben, ihre Einweg-Taschentücher längs aller Wanderwege liegen zu lassen. Die Gesellschaft vergisst, dass das Holz für den Lebensstandard nach wie vor essentiell ist, von Hygieneartikeln (Toilettenpapier) über die Holzmöbel bis hin zur Outdoorbekleidung (Viskose) ist der Wald der Rohstofflieferant.

Die stadtnahen Wälder haben für die Bevölkerung einen besonderen Stellenwert, da sie zum Spaziergang mit dem Hund oder für vielfältige sportliche Aktivitäten genutzt werden (SOGA et al. 2020). Diese Naherholungsräume bedürfen einer gesonderten Betrachtung. Unser Fokus liegt auf den großen Waldgebieten, die bislang einem geringeren touristischen Druck durch die Bevölkerung unterliegen.

Will man den Bedürfnissen von Waldbesuchern gerecht werden, dann sind die Fakten um die Waldnutzung und die

„Gratisleistungen“ der Wälder deutlicher zu vermitteln. Den meisten Menschen ist nicht einmal bewusst, dass der Wald unterschiedliche Eigentümer (z. B. Staats-, Kirchen- und Privatwald) hat, und dass der Erholungssuchende auch Pflichten gegenüber dem Eigentum hat, und dass der Wald keine Sportstätte ist.

Der § 14 des Bundeswaldgesetzes regelt das Betreten des Waldes (vgl. Abb. 24): Der Bürger ist verpflichtet durch sein Verhalten dazu beizutragen, dass Natur und Landschaft pfleglich genutzt, nicht verunreinigt und vor Schäden bewahrt werden.

7.2 Freizeit und Erholung

Die nachhaltige Entwicklung der Erholung im Wald setzt Menschen aus unterschiedlichen Bereichen in Aktion. Forstleute, Politiker, Ärzte, Regionalplaner, Landschaftspfleger, Naturschützer, Vertreter von Tourismus- und Sportverbänden müssten eng zusammenarbeiten, um die gesundheitlichen Wirkungen des Waldes auf die Menschen im dem Wirtschaftsraum „Wald“ zu minimieren, und gleichzeitig zu berücksichtigen, dass auch die Waldtiere Ruhezeiten benötigen.

Die Wirkungen des Waldes auf die Gesundheit werden bei der medizinischen Behandlung bewusst eingesetzt. Hier wird von einem „Heilklima“ gesprochen. Dabei sind die meteorologischen und chemischen Wirkungen besonders zu erwähnen. Stichworte wie: Geruchsstoffe, Strahlung, Schattenwirkung, Licht, Wärmeempfindungen, Niederschlag, Schall, Lärm, Ruhe, Windstille usw. belegen die Mannigfaltigkeit medizinischer Reize (MORSE et al. 2020). All diese Reize gehen aber auch von blumenreichen Wildwiesen aus, nur sind diese weitgehend verschwunden. Es ist die Vermarktung die heute den Wald zu etwas Besonderem stilisiert.

Neben der individuellen Freizeitgestaltung im Wald nimmt die Anzahl kommerzieller Veranstaltungen mit hohen Teilnehmerzahlen verschiedener Art zu. Abgesehen von den rechtlichen Bedenken, dass ein Geschäft betrieben wird auf fremdem Eigentum, sei auch festgehalten, dass sich die Freizeit- sowie Erholungsnutzung zunehmend in die Abend- und Nachtstunden verlagern. Diese Aktivitäten schließen nunmehr das gesamte Jahr und 24 Stunden am Tag ein.

Somit wird zunehmend eine Lenkung der Erholungssuchenden und Freizeitnutzer im Wald nötig.

Es gibt mehrere Gründe und Belange zu berücksichtigen:

- Einhaltung der Wegegebote, auch im Winter
- Artenschutzgründe (seltene Pflanzen und Tiere)
- Forst und Jagd (forstliche Standorte, Ruhegebiete für Wildtiere)
- Naturschutzgebiete und Totalreservate sowie Forschungsflächen

Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft – Bundeswaldgesetz (BWaldG)

§ 14 Betreten des Waldes. (1) ¹ Das Betreten des Waldes zum Zwecke der Erholung ist gestattet. ² Das Radfahren, das Fahren mit Krankenfahrstühlen und das Reiten im Walde ist nur auf Straßen und Wegen gestattet. ³ Die Benutzung geschieht auf eigene Gefahr. ⁴ Dies gilt insbesondere für walddtypische Gefahren.

(2) ¹ Die Länder regeln die Einzelheiten. ² Sie können das Betreten des Waldes aus wichtigem Grund, insbesondere des Forstschutzes, der Wald- oder Wildbewirtschaftung, zum Schutze der Waldbesucher oder zur Vermeidung erheblicher Schäden oder zur Wahrung anderer schutzwürdiger Interessen des Waldbesitzers, einschränken und andere Benutzungsarten ganz oder teilweise dem Betreten gleichstellen.

Abb. 24 § 14 des Bundeswaldgesetzes (BWaldG).

Mit dem Aufkommen und den Aktivitäten von Mountainbikern und Reitern im Wald (Natursport) nehmen die Konflikte zwischen Erholungssuchenden, Naturschutz und Forstwirtschaft zu. Das „Gasgeben“ mit dem Haushund kann hier nur als Beispiel dienen. Der Wald kann nicht als Auslauf für Hunde dienen. Die Menschheit schafft sich Geräte und Tiere an, die sie in ihrem privaten Bereich nicht mehr unterbringen, bzw. bewegen können, und drängen nunmehr auf Flächen, die ihnen nicht gehören, wo sie aber unerfüllbare Ansprüche stellen (mein Hund braucht am Wochenende Auslauf, das Pferd braucht Bewegung). Hier wird Umwelt- und Naturbewusstsein vorgeschoben, um eigene Vorteile zu gewinnen.

Bei all der Diskussion darf ein wichtiger Grundsatz nicht außer Kraft gesetzt werden: „Auch Wald benötigt Ruhe“. Die Schutzwirkungen des Waldes sind sehr vielseitig und dürfen nicht durch klein- oder großflächiges Öffnen von Waldflächen für exorbitante Wünsche und Anlagen außer Kraft gesetzt oder wirkungslos werden.

Wald sollte auch weiterhin zum Zweck der Erholung für Menschen offenstehen, aber nicht als Sportplatz genutzt werden.

Die mit der Novellierung des Thüringer Waldgesetzes geplante Öffnung des Waldes zu weitreichenden Freizeitaktivitäten bei zunehmender Verwischung von der Nutzung des Waldes mit „Kraftfahrzeugen“ (E-Bikes) und Wandern, und indirekten kommerziellen Nutzung fremden Eigentums (Werbung) wird in Hinblick auf die ureigenen Funktionen des Waldes sehr kritisch gesehen. Der Wald kann nicht Freiraum zur Befriedigung aller Bedürfnisse werden. So wie in der Medizin gilt auch für den Wald: „Die Dosis macht das Gift“. Eine begrenzte Zahl an Besuchern kann „der Wald tragen“, aber ein Massenansturm an Menschen ist dem Wald-Ökosystem abträglich (1.000 Pfadfinder auf einem Berggipfel im Thüringer Wald vor Ostern 2019). Man merkt an Pflanzen und Tieren, dass am Himmelfahrtstag oder Pfingsten schönes Wetter war. Die größte Fichte Europas wurde im ältesten Naturwaldreservat Europas, dem Wald von Podyji in der Tschechischen Republik, von Besuchern zu Tode getreten.

7.3 Vandalismus

Die Information über den besucherbedingten Vandalismus im Wald ist schwer erreichbar. Selbst bei einer offenen Diskussionsrunde des „Wald Forums“ (Brauerei Bitburg) verbat sich der Tagungsleiter eine Diskussion über den Vandalismus.

Die meisten Besucher des Waldes verhalten sich verständnisvoll gegenüber Eigentum und Natur. Es gibt aber einen geringen Prozentsatz an Besuchern, die zusätzlich nach einem Erlebnis (einem „Kick“) suchen, und daraus ergibt sich



Abb. 25 Wurzelschäden auf Fußpfaden (Aufn.: E.-D. SCHULZE).

eine Sachbeschädigung am Wald durch Eigensinn und bewussten Vandalismus.

Eine besondere Gefahr geht von illegalen Feuerstätten aus (https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Wald/wald_node.html). Nur 1,7 % der im Jahr 2022 registrierten 2.397 Waldbrände Deutschlands hatten natürliche Ursachen (z. B. Blitzschlag) (<https://www.bmel-statistik.de/forst-holz/Waldbrandstatistik/>). Nach jedem Wochenende muss der Eigentümer die Spuren von Bränden beseitigen oder verwischen. Das hoch lodernde Lagerfeuer wird alltäglich im Fernsehen bei der Bierwerbung verherrlicht, und dies setzt sich in den Köpfen der Waldbesucher fest. Für viele Besucher gehört ein Feuer im Wald mit zur Waldromantik und Erholung. Die Zunahme der Waldbrände in Deutschland (SCHELHAAS et al. 2003, Holz-Zentralblatt 2023) ist nicht klimabedingt sondern durch Menschen unmittelbar verursacht.

Ein weiteres Problem ist die Anlage, Markierung und Ausweisung in sozialen Netzwerken von illegalen Pfaden, die oft zu besonderen Pflanzen, Ausblicken oder zur körperlichen Ertüchtigung dienen. Das Betreten der Waldfläche z. B. zum Suchen von Pilzen und Beeren ist grundsätzlich erlaubt, aber es macht einen Unterschied, ob eine einzelne Person oder eine Gruppe von Menschen diesen Pfad regelmäßig und wiederholt nutzt. Die Nationalparke (<https://www.welt.de/regionales/niedersachsen/article241949723/Nationalpark-Harz-geht-gegen-digitale-Wanderwege-vor.html>) wurde das Problem illegaler Pfade erkannt, aber nur in Nationalparks besteht die rechtliche Möglichkeit, die illegale Nutzung der Waldfläche zu unterbinden. Der Privatwald steht der öffentlichen Nutzung von Betriebsflächen machtlos gegenüber.

Fußpfade, die als Abkürzung oder zu körperlichen Ertüchtigung durch Bestände führen, werden meist steil mit der Hangneigung angelegt. Dabei werden Totholz und störende Zweige und Bäume abgebrochen oder aktiv entfernt. Es ent-

steht ein Trittpfad ohne Humusaufgabe mit freien Feinwurzeln. Bei Starkregen setzt hier die Erosion an. Damit unterscheiden sich Fußpfade von Rücke-Linien, auf denen der Harvester einen Teppich von Ästen ausbreitet, und damit die Erosion verhindert.

Bei den illegalen Pfaden und Wegen geht es nicht nur um Fußpfade, sondern in zunehmendem Maße auch um Pisten für E-Bikes, Downhill-Strecken und Cross-Fahrer-Pisten (WILKENS-ALLEMANN et al. 2020). Die ökologischen Schäden durch wilde Nutzung des Mountainbikes sind inzwischen ein europäisches Problem geworden (KUWECZKA et al. 2023). Der Eigentümer entdeckt diese Anlagen oft sehr spät. Wenn der Eigentümer eine Piste duldet, ist er im Schadensfall mit haftbar. Somit bleibt die Arbeit des Rückbaus solcher Anlagen als Arbeitsleistung beim Eigentümer.

Bedingt durch die zunehmende Motorisierung der Erholungssuchenden, werden auch Schranken, die den illegalen Kraftverkehr im Wald unterbinden sollen, zunehmend ein Objekt, um Aggressionen abzureagieren. Schrankenschlösser werden regelmäßig zugeklebt. Schranken, die für die Holzabfuhr geöffnet werden, werden regelmäßig zerstört.

Mit den Einschränkungen der Bewegungsfreiheit während der Corona-Epidemie stieg die Zahl der Waldbesucher etwa um den Faktor 5 (DERKS et al. 2020, RICE et al. 2020, MCGINLAY et al. 2020). Damit stieg auch der Anteil der Personen, die zu Vandalismus bereit sind, oder die wohl den eigenen Frust des Alltags abreagieren wollen. Der Eigentümer haftet, und auch regelmäßige Anzeigen gegen unbekannt haben keinen Erfolg. In dieser Situation muss darüber nachgedacht werden, wer die Haftung und die Kosten für die öffentliche Nutzung des Waldes übernimmt. Wanderwege und touristische Anlagen (z. B. Schutzhütten) dienen dem Tourismus (insbesondere der Gastronomie), wobei die Haftung für die Kollateralschäden der Eigentü-

mer zu tragen hat (FEIL et al. 2018). Lt. Waldgesetz ist das staatliche Forstamt für die Ausweisung von Wanderwegen zuständig. Dies kann aber nur umgesetzt werden, wenn gleichzeitig die Kollateralschäden des Tourismus bezahlt werden.

7.4 Jagd

HANS-DIETER PFANNENSTIEL und MARTIN GÖRNER

Die Wechselbeziehung von Mensch und Jagd ist im Verlauf der Jahrtausende ein sehr komplexes Thema. Bis zum heutigen Tage unterliegt die Jagd vielfältigen Entwicklungen.

In der heutigen Kulturlandschaft hat die Jagd verschiedener jagdbarer Tiere im Sinne der Regulierung von Arten eine zunehmende Bedeutung. Doch ist das Thema Jagd im Rahmen der Freizeitnutzung in Wald und Feld umstritten, da Menschen sehr unterschiedliche Nutzungsansprüche haben oder entwickeln. Andererseits nimmt die Anzahl der Jäger zu. Jeder Beteiligte vertritt eigene Interessen, was zunächst legitim ist.

Fakt ist, die Jagd bleibt auch unter den Bedingungen der Kulturlandschaft notwendige Realität. Daher sollte sie allgemein als Instrument des Wildtiermanagements anerkannt werden. Soweit erkennbar, ist nach klaren juristischen Regelungen seit 1952 keine jagdbare Art wegen Bejagung verschwunden oder hat in ihren Beständen abgenommen.

Gegenwärtig wird von vielen Menschen das Absterben vieler Baumbestände registriert, woraus die Notwendigkeit abzuleiten ist, Waldflächen für die Zukunft konsequent als klimaresiliente Mischwälder zu schaffen.

Auch hierbei ist die Jagd gefordert. Es wäre allerdings zu kurz gegriffen, wenn es bei der Jagd lediglich um die Redu-

zierung örtlich zu hoher Schalenwildbestände ginge. Die Jagd nutzt auch den nachwachsenden Rohstoff Wildbret und versucht sog. Verliererarten der Kulturlandschaft durch Prädatorenmanagement zu helfen.

Forstwirtschaft, Jagd und Naturschutz tragen für das Ökosystem „Wald“ gemeinsam Verantwortung. Dies muss allen Beteiligten klar und eindeutig sein. Es sollten Ruhezeiten in Wäldern ausgewiesen und auch für das jagdbare Wild eventuell neue Schutzkonzepte entwickelt werden. Tiere und Pflanzen benötigen Zeiten und Orte, zu bzw. an denen sie vor anthropogenen Einflüssen weitgehend geschützt sind.

Einsichten, fachliche Qualifikation, das Erkennen von natürlichen Zusammenhängen und ein auf Fakten beruhendes Wissen sollten Jäger, die Verantwortung für unsere Wildarten tragen, besitzen und in der Praxis realisieren.

Jagd erhält mit ihren Traditionen Kulturgut. Traditionen müssen dem Wandel der Zeit folgen und gepflegt werden. Der unbestimmte Rechtsbegriff Weidgerechtigkeit ist gutes Beispiel dafür, wie sich jagdliche Kulturtraditionen im Sinne von Tier- und Naturschutz verändern.

Etwa ab Mitte der 1970er Jahre gab es in Deutschland mit der Zunahme von Naturschutz-, Umweltschutz- und Tierschutzthemen eine deutliche Änderung der Jagdbetrachtung. Damit ging bedauerlicherweise eine Entfremdung jagender und nichtjagender Naturschützer einher, die den notwendigen Erhalt von Natur unnötig erschwert.

Ein unverzichtbarer Bestandteil des Jagdrechts ist die Verpflichtung zur Hege der Wildbestände sowie die Sicherung ihrer Lebensgrundlagen. In diesem Sinne sollten sich Jäger und Nichtjäger korrekt und anerkennend zueinander verhalten.

7.5 Schlussfolgerungen

ERNST-DETLEF SCHULZE und MARTIN GÖRNER

Waldbesuche steigern das menschliche Wohlbefinden und fördern die Gesundheit. Aber nicht nur zur Erholung, sondern auch zur Ausübung weiterer Freizeitaktivitäten besuchen Menschen Wälder. Folgende Rangfolgen sind bekannt: sie führen Hunde aus, beobachten die Natur, reiten, gehen spazieren, joggen, wandern, betreiben Radsport, suchen Ruhe und Erholung, spielen mit Kindern, feiern oder sammeln (Pilze, Beeren usw.), suchen nach einem körperlichen „Kick“ (Klettern, Downhillfahren, Crossfahren). An diesen Beispielen wird deutlich, dass der Wert des Waldes für die Öffentlichkeit sehr groß und vielfältig ist.

Jeder langzeitige menschliche Aufenthalt im Wald kann ein gesundheitlicher Gewinn sein, aber ein Massenansturm ist dem Wald abträglich, insbesondere, wenn Haus- und Sporttiere mitgeführt werden, und wenn der Wald als sportliche Einrichtung genutzt wird.

Somit haben alle Waldbewirtschaftenden zwar eine Verpflichtung zur Pflege, zum Fortbestand und zur optimalen Gestaltung der Wälder im Sinne der Wohlfahrtswirkung und Erholung für den Menschen, sie müssen aber den Wald als Eigentum auch bewirtschaften und dabei haben auch auf Forderungen des Artenschutzes in Hinblick auf die im Wald vorkommenden Tiere und Pflanzen zu achten. Insofern sind die Forderungen der Öffentlichkeit nach Erholung und Naturbeschaulichkeit ein signifikanter und unentgeltlicher Eingriff in das Eigentum und in die Natur. Dabei entstehen erhebliche Kosten, denn der „Spagat“ setzt für den Eigentümer umfassende forstliche Planungen und eine gute durchdachte forstliche Praxis auf der Fläche voraus und bedarf einer Präzisierung der Erholungs- und Freizeitaktivitäten im Wald. Die Öffentlichkeit will „Spaß“ haben, die Gemeinden wollen über den Tourismus Geld erwirtschaften, und der Waldeigentümer kommt für die Kosten auf, die durch kollaterale Schäden entstehen. Letztendlich bedeutet dies für die Gesellschaft, den Wald für Erholung und Freizeit in Wert zu setzen, und dass das freie Betretungsrecht Grenzen hat.

Die Jagd bleibt ein umstrittenes Thema, wo grundsätzliche Änderungen in der Jagdgesetzgebung nötig sind, um historische belastete Gebräuche zu überwinden.

Wälder oder Forsten sind unabhängig von den Besitzverhältnissen für die Gesellschaft ein sehr hohes Gut.

Ihre uneingeschränkten Funktionen sind zu erhalten und zu fördern. Waldbesucher müssen sich darüber im Klaren sein, dass der Staat, die Kommunen, Verbände, Kirchen und Privatwaldbesitzer die Verantwortung für die Waldgebiete tragen. Jede Person, die den Wald betritt hat die Verpflichtung mit ihm sehr sorgsam umzugehen.

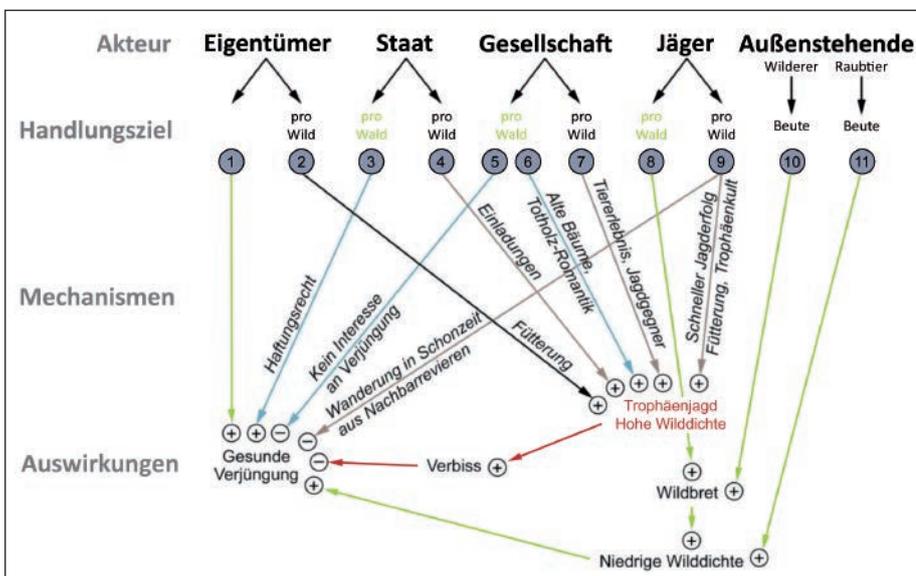


Abb. 26 Interessenlage der Bevölkerung bei der Frage „Wald vor Wild“ oder „Wild und Wald“ (SCHULZE et al. 2016).

8. Wald und Windkraft

MARTIN GÖRNER

8.1 Einleitung

Die Bewertung der derzeit noch vorhandenen Kulturlandschaftstypen lässt erkennen, dass in Deutschland eine Vielfalt der Landschaften vorhanden ist. Landschaftliche Vielfalt stellt einen hohen Wert, insbesondere für die Biodiversität und den Erholungswert für Menschen dar.

Besonders die Offenlandschaften und die Halboffenlandschaften des Tief-, Berg- und Mittelgebirgslandes beginnen ihren Landschaftscharakter durch das Installieren von technischen Anlagen zu verändern.

Die klein- und großflächigen Wälder müssen dominierende Rückzugsgebiete für Menschen, Pflanzen und Tiere sein, unabhängig von der jeweiligen Waldstruktur. Jede Waldfläche muss Waldfläche bleiben unter den Bedingungen der Klimakrise. Wenn wir das Ziel der Mischwälder aufgegeben haben, nur weil derzeit große Kahlflecken durch Trockenheit und Borkenkäfer entstanden sind, rechtfertigt dies aus landschaftsökologischen Gründen keine Flächen für Windenergie- oder Photovoltaikanlagen.

Künftige Energielandschaften, die beispielsweise durch Windenergieanlagen geprägt werden, sollten die Waldgebiete ausschließen.

Wenn private Waldbesitzer, aus welchen Gründen auch immer, den Windkraftanlagen als technischen Anlagen den Vorzug geben, müssen sie auch die Verantwortung für ihr Eigentum tragen.

Wir leben in einer Zeit, wo tatsächlich ausgewiesene Fachleute und Spezialisten kaum noch gefragt sind.

Künftig sollen mehr Windkraftanlagen in Deutschland und in größerem Tempo als einst gebaut werden. Dazu hat der Bundestag das Gesetz zur Erhöhung und Beschleunigung des Ausbaus von Windkraftanlagen sowie die Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes vom 07.07.2022 beschlossen, am 08.07.2022 hat es der Bundesrat gebilligt. Der Betrieb von Windkraftanlagen liegt im überragenden öffentlichen Interesse und dient der öffentlichen Sicherheit. Damit können die zur Erreichung der Ziele notwendigen Ausnahmegenehmigungen einfacher erteilt werden.

Damit wird wohl kaum den Belangen der biologischen Vielfalt Rechnung getragen. Für die Lösung dieser ebenfalls anstehenden Biodiversitätskrise gibt es nur wenige praxisbezogene und bewährte Vorschläge, wenn von den nationalen Artenhilfsprogrammen (z. Z. nur für Vögel) abgesehen wird.

Auch in Wäldern können ausdrücklich Windkraftanlagen errichtet werden.



Abb. 27 Windkraftanlage im Kaufunger Wald (Aufn.: J. BRAUNEIS).

Mit dem am 10.11.2022 veröffentlichten Beschluss des Bundesverfassungsgerichtes, wonach das pauschale Verbot zur Errichtung von Windkraftanlagen im Wald aufgehoben wurde, bezieht sich auf das Eigentumsrecht der Waldbesitzenden.

Fachlich bleiben aber die ökologischen Fakten bestehen. Waldbesitzer mögen dies anders betrachten. Es wird sogar diskutiert, dass vorrangig geschädigte Waldflächen oder Kahlschläge für Windkraftanlagen im Wald in Frage kommen. Damit wird schlechtes Management zusätzlich honoriert.

Ohne funktionierende Ökosysteme können wir die Biodiversität nicht erhalten oder retten. Wenn wir nicht zur Zahlung von Ökosystemleistungen kommen, was kompliziert ist und recht schnell gelöst werden sollte, bleiben uns die Themen Klimakatastrophe und Biodiversitätsverlust erhalten. Über die negativen Begleiterscheinungen erneuerbarer Energien wird auf der politischen Ebene kaum sachlich diskutiert. Wir zahlen einen sehr hohen Preis für die derzeitige Energie- und fragen nicht, was für ein Erbe wir unseren Kindern und weiteren Nachkommen hinterlassen.

Wissenschaftler aus unterschiedlichen Fachbereichen sind sich in der Frage einig, dass die Reduktion der CO₂-Emissionen als zentrale Aufgabe der kommenden Jahre angesehen werden muss.

Wenn eine breite Fachwelt in der Auffassung übereinstimmt, dass Wälder, intakte Moore, Grünländer und Böden die schärfsten Instrumente sind, um CO₂ zu binden, dann sollten gerade diese in ihren Funktionen erhalten, gepflegt und wenn möglich vermehrt werden.

Windkraftwerke in Wäldern verursachen erhebliche Eingriffe in diese Ökosysteme deren Langzeitwirkung wir nicht kennen. Manche Politiker, Lobbyisten und viele Interessengläubige vertreten in der Öffentlichkeit ohne Fakten andere Meinungen.

Nochmals: Die Speicherung von CO₂ in der Landschaft mit ihren Landschaftselementen bzw. die Nutzung von Holz in Produkten sind der effektivste Klimaeffekt. Landschaften sind Lebensräume und Grundlagen für menschliche Existenzen.

Bedenken wir ebenso: Menschen vermögen Bäume, aber keinen Wald zu pflanzen. Wälder sind aber viel besser.

Habitate oder Lebensräume zu bewahren, müssen wir lernen und von der weiteren Erschließung von Ökosystemen Abstand nehmen. Ökologischer Wandel, besonders in Wäldern, vollzieht sich, abgesehen von Katastrophen, sehr allmählich, als dass wir ihn deutlich wahrnehmen. Wir kümmern uns zu wenig oder überhaupt nicht um die Folgen unseres Tuns.

Windräder sind technische Anlagen, während Wälder hochwertige Ökosys-

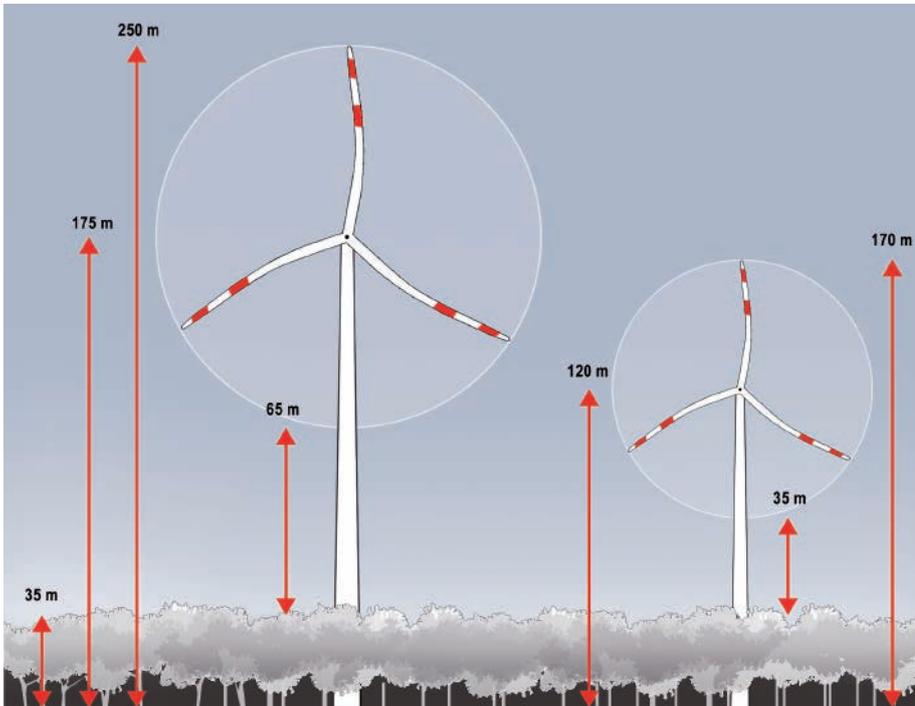


Abb. 28 Anlagenbauer empfehlen im Wald Windräder mit Nabenhöhen von über 120 m.

teme darstellen. Werden technische Anlagen, gleich welcher Art, Größe und Umfang in Wäldern errichtet, beeinflussen diese meistens negativ die vielfältigen Funktionen eben dieser Ökosysteme.

Das ändert auch nichts an Rechtsprechungen von Verwaltungsgerichten, da der o. g. Sachvorgang nicht ausgeräumt wird sondern nur auf das Eigentumsrecht „Waldbesitz“ abhebt. Wenn Nichtfachleute für die Errichtung von Windkraftanlagen in Wäldern oder auf ehemaligen Waldflächen sind, dann mag dies auf fehlenden ökologischen Kenntnissen oder Zusammenhängen fußen.

Andererseits wollen diese oder weitere Menschen große Wildnisgebiete, unbewirtschaftete Wälder oder großräumige Schutzgebiete der verschiedenen Typen (z. B. Nationalpark, Naturschutzgebiet) gesichert wissen.

In Landschaftsschutzgebieten und in den meisten deutschen Naturparks sind, nach aktueller Rechtsauffassung die Voraussetzungen geschaffen worden, dass in diesen Schutzgebieten Windkraftanlagen errichtet werden können. Wozu dann noch Landschaftsschutzgebiete?

Wenn aber Förster zu der Überzeugung gelangen, dass Windräder oder Windkraftanlagen in Wäldern oder auf Waldflächen vereinbar sind, dann scheint es, als hätten sich die ökonomischen Betrachtungen durchgesetzt.

Offensichtlich bestimmt die Politik die Belange. Wissenschaftliche Erkenntnisse scheinen kaum noch von Bedeutung zu sein, da die Alleingänge in der Klimapolitik in Deutschland für sich sprechen.

Wir können nicht nur aussteigen, ohne mittelfristig Wege aufzuzeigen, wie die ökologischen und ökonomischen

Probleme in einem hochtechnisierten Wirtschaftsland wie Deutschland ohne Schaden zu nehmen, gelöst werden können.

Selbst wenn Deutschland das Klimaproblem löst, bleiben außer der Vorbildwirkung eine Reihe von Ländern, wie beispielsweise China, Russland, USA, Indien usw. gegenüber unseren Anstrengungen zurück. Nur die mögliche Vorbildwirkung im Klimaschutz wird nicht ausreichen, um das Problem weltweit und ständig zu lösen.

Auch wäre ein Blick auf die übrigen Staaten in Europa und darüber hinaus angeraten, da auch dort an unterschiedlichen Lösungen des Problems gearbeitet wird.

Wo und wann wurde in Deutschland allumfassend und unter landschaftsökologischen Fragestellungen der Einfluss von Windkraftanlagen im Offenland und in Wäldern seriös und langfristig wissenschaftlich untersucht?

Gab es dazu Risikountersuchungen und wie belastbar oder auf andere Standorte übertragbar sind die Ergebnisse?

Solche Fragestellungen sind unter den Themen des Landschaftswasserhaushaltes, der Windhöffigkeit, der Bodenbiologie, der Verdichtung und Zerschneidung von Bodenstandorten, des Raumwiderstandes, der Landschaftsästhetik, der Klimaforschung, des Artenschutzes, der Nachhaltigkeit von Naturräumen und ethischer Fragen zu untersuchen, um nur einige zu nennen.

Wenn wir in Deutschland der politischen Vorstellung folgen, dass wir mit der Installation von Windkraft- und Photovoltaikanlagen in den vielfältigen und einmaligen Landschaften einschließlich

ihrer Wälder das erklärte Ziel erreichen, dann tragen wir erheblich dazu bei, dass sich die bisherigen Kulturlandschaften zu technisierten Landschaften entwickeln. Dies kann gewollt sein, aber wie erhalten wir die Biodiversität mit solchen technischen Anlagen und wie sehen die möglichen Lösungen aus?

Gewinnen oder beherrschen wir die Klimakrise, was nur zu wünschen wäre, so bleibt aber das noch zu lösende Problem der Biodiversität. Auch da nützen kaum Lösungen nur in Deutschland. Eine reine nationale Sicht ist nicht zielführend.

Was fehlt ist eine allumfassende Lageanalyse, wie die unterschiedlichen Ziele der Klima- und Biodiversitätsprobleme gelöst werden können.

8.2 Windenergieprojekte im Wald und Forst

Urwälder, auch in Resten, kommen in Mitteleuropa seit Jahrhunderten nicht mehr vor. Wir verfügen noch über naturnahe Wälder, angelegte Forsten, autochthone Waldbestände sowie über Wirtschaftswälder. Die einst historisch genutzten Mittelwälder sind heute nur noch auf Restflächen erkennbar. Mittelwälder heute wieder zu erreichen, dürften die praktizierenden Forstwirte vor nicht geringe Schwierigkeiten stellen.

Aus Sicht des Artenschutzes sind die Mittelwälder nicht hoch genug einzuschätzen. Die Bewertung von naturnahen Wäldern, Mischwäldern und Forsten (künstlich begründete Bestände) ist bezogen auf die CO₂-Senke mehr oder weniger gleichwertig.

Die Folgen des Klimawandels haben unter mitteleuropäischen Verhältnissen sowohl den Wäldern als auch den Forsten trockenheitsbedingt bisher erhebliche, riesige Schäden zugefügt.

Wenn die genannten Schäden viel stärker im Wald festgestellt wurden und weiterhin existenzbedrohend für Wald und Forst sind, dürfen wir, selbst auf riesigen Kalamitätsflächen, Windkraftanlagen nicht zulassen. Das Waldinnenklima, das zur Abkühlung im Wald und Umland führt, die Grundwasserneubildung und die Unversehrtheit der Waldböden können erheblich gestört werden, wenn Windkrafttrader im Wald errichtet werden. Diese fachlichen Gesichtspunkte ändern in keiner Weise etwas an den Besitzverhältnissen der Waldflächen. Die Gesellschaft und somit die Politik muss sich entscheiden, was sie will.

Privatwaldbesitzer kennen den ökonomischen und ökologischen Zusammenbruch genau oder das Unheil, welches sie ertragen oder noch ertragen müssen. Soll so ihr Wald entwertet werden? Verständlich ist, dass sie wieder Gewinn mit ihren Waldflächen erwirtschaften. Ob aber der Weg dazu über Windkraft- oder Photovoltaikanlagen beschritten werden kann, darf und muss hinterfragt werden.

Hierzu gibt es hochglanzbedruckte Prospekte, die Windenergieprojekte im

Forst als Teil der Energiewende darstellen.

Dort heißt es ohne Quellenangabe „Windenergieprojekte im Forst sind überdies sehr gut mit dem Artenschutz vereinbar“. Unter „Gute Gründe für Windenergie im Forst“ wurden unter „Stärkung des Forstes“ verschiedene Aussagen getroffen, welche in der Tab. 12 wiedergegeben werden. Diesen Aussagen wurden hier in der gleichen Tabelle offene Fragen gegenübergestellt.

Das Problem ist, die Gesellschaft braucht immer mehr Strom, weshalb nun auch noch Waldflächen (welche, wie viele) benötigt werden. Offensichtlich sollte man in Deutschland über Kernkraft nicht sprechen, weil das Thema ideologisch nicht zeitgemäß ist. Fachliche Diskussionen werden kaum zugelassen oder sind nicht erwünscht. Die wissenschaftliche Forschung auf diesem Gebiet ist für eine Industrienation wie Deutschland wohl unverzichtbar und bedeutet ein „Aus“.

Demgegenüber gibt es derzeit weltweit über 400 arbeitende Atomkraftwerke, über 50 werden neu gebaut und ca. 100 befinden sich in Planung. Dies zur Klarstellung und ohne jegliche Bewertung.

Es geht nur noch in der öffentlichen Diskussion um erneuerbare Energien, ohne Hinweis auf nicht gelöste oder ausreichend geklärte Probleme aufmerksam zu machen.

1. In Windkraftanlagen wird oder kann die Substanz Schwefelhexafluorid (SF₆) eingesetzt werden. Die Hersteller von Windkraftanlagen verweisen darauf, dass der Klimakiller SF₆ noch unverzichtbar sei.
2. Das Balsaholz aus Regenwäldern für die Rotorenflügel wird mit verschiedenen Kunststoffen sowie mit Glas- und Carbonfasern verklebt und die Entsorgung derselben bereitet noch erhebliche Schwierigkeiten. An dem Problem wird derzeit geforscht.
3. Es findet eine Entwertung durch die Herabsetzung der Funktionen des Waldes (Wohlfahrtswirkung) statt und die ausgegebene Flächenbilanz (2 %) umfasst nur die Grundfläche des Bauwerkes. Es wird aber mehr Fläche beeinflusst.
4. Da die drehenden Windkraftflügel für alle fliegenden Tiere (Insekten, Vögel, Fledermäuse) durch Geschwindigkeit und Unterdruck eine Gefahr darstellen können, haben diese Anlagen möglichen Einfluss auf die Biodiversität.
5. Photovoltaikanlagen in der offenen Landschaft oder auf Waldstandorten sind ebenfalls technische Anlagen und können den Lebensraum für Tiere (besonders Insekten, Säugetiere und Vögel) einengen oder stören.

Wenn das Energieproblem (erhebliche Reduzierung des CO₂-Anteils) nicht gleichwertig mit der Problematik der Erhaltung der Biodiversität gelöst wird,

Tab. 12 Vermeintliche Gründe für Windenergie im Forst sowie ungeklärte Fragen.

Aussage	Offene Fragen
Stärkung des Forstes	
<ul style="list-style-type: none"> • Forstwirtschaft und Flächenbesitzer profitieren von jahrzehntelanger (finanzieller) Unterstützung 	Wenn alle Wohlfahrtswirkungen der Wälder von der Gesellschaft bezahlt würden, was dringend notwendig wäre, gäbe es finanzielle Förderung ohne Waldbeeinflussung.
<ul style="list-style-type: none"> • Gerodete Fläche wird im Ausgleich als widerstandsfähiger und artenreicher Mischforst neu angepflanzt 	Gerodete Flächen lassen den Schluss einer Nutzungsänderung zu. Was sind widerstandsfähige und artenreiche Mischwälder und wie werden sie erzielt? Welche Baumarten werden eingesetzt?
<ul style="list-style-type: none"> • Aufforstung wird um weitere ökologisch sinnvolle Maßnahmen ergänzt 	Was ist damit waldbaulich oder ökologisch für den Wald gemeint?
Kaum Nutzungskonflikte	
<ul style="list-style-type: none"> • Forstflächen liegen in der Regel in größeren Entfernungen zu Wohngebieten 	Solche Waldgebiete benötigen dringend Ruhebereiche und keine durch Infrastruktur erschlossenen technischen Anlagen.
<ul style="list-style-type: none"> • Forstwirtschafts- und Erholungsfunktion bleiben erhalten 	Welche Wälder werden diesen Funktionen gerecht? Das ist eine Behauptung, aber durch keine Fakten belegt.
<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung des Artenschutzes durch Schaffung von gesunden und robusten Lebensräumen 	Was sind gesunde und robuste Lebensräume für welche Arten? Wodurch wird der Artenschutz gestärkt?
Forst als Teil der Energiewende	
<ul style="list-style-type: none"> • Forststandorte werden zur Erreichung der Ausbauziele im Rahmen der Energiewende benötigt 	Womit wird dies seriös begründet? Aufgrund fehlender Flächenbilanzen?
<ul style="list-style-type: none"> • Forst bietet wichtige Ergänzungen zum Freiraum 	Wodurch wird das belegt, wem nutzt das und wofür?
<ul style="list-style-type: none"> • Besonders, aber nicht ausschließlich, Forstgebiete mit windreichen Höhenlagen bieten großes Potential für Windenergie 	Dort sollten sich geschlossene Waldbestände befinden, die nicht vom Wind angegriffen werden können.

wird die Gesellschaft nicht weiterkommen oder zukunftsfähig sein.

Wenn der Artenschutz politisch zurückgefahren wird, um das Klima zu retten, wird das Dilemma zwischen Windenergie und Naturschutz sehr deutlich.

Fakt ist, dass Individuen von Vögeln, Fledermäusen und Insekten durch die bereits vorhandenen Windkraftanlagen ums Leben kommen. Was passiert, wenn weitere über 30.000 Anlagen hinzukommen und ihre „Dichte“ erheblich zunimmt? Wir wissen noch nicht eindeutig, welche Arten oder Artengruppen detailliert davon betroffen sind, um über Gesamtzahlen, je nach Standorten getrennt, eine Bewertung vornehmen zu können. Demgegenüber sind die Kriterien nicht aufgehoben, dass der gute Erhaltungszustand von Populationen nicht verschlechtert werden soll (FFH-Richtlinie).

Genehmigungsbehörden legen Abschaltzeiten für Windkraftanlagen fest. Wenn alle Windkraftanlagen mit Erkennungssystemen (Kamera- und Radarsysteme) versehen wären, könnten Abschaltungen derselben bei Kollisi-

onsgefahr erfolgen. Diesen Forschungen gehören die Zukunft und jede Förderung.

Windkraftanlagen verändern zunehmend das Landschaftsbild in Deutschland.

Ein Mindestabstand zwischen Wohnsiedlungen und Windkraftanlage zum Schutz der Menschen vor Geräuschemissionen ist bisher uneinheitlich auf Länderebene (400 bis 1.100 m) geregelt.

In Landschaftsschutzgebieten (LSG) und Wäldern sollen künftig Windkraftanlagen errichtet werden können.

Somit sind die ökologischen Wirkungen und Störungen sowie die Erhöhung der Mortalität von Fledermäusen und Vögeln, aber auch Insekten, erwähnenswert.

Derzeit wird pro Windkraftanlage mit einem Flächenbedarf von ca. 0,3 ha (davon Fundament 380 m², Kranstellfläche 1.000 m² und Zuwegung einschl. Verdichtung 1.938 m²) ausgegangen.

8.3 Lebensraum Wald

An die sehr unterschiedlichen Waldstrukturen haben sich im Verlauf von Jahrhun-

dernten eine Vielzahl von Tieren, Pflanzen und Pilzen angepasst, die vielfältige Habitatstrukturen nutzen.

Typisch für die Schichtung des Laubwaldes sind die 1. und 2. Baumschicht, die Strauchschicht, die Krautschicht und die Mooschicht.

Nach THOMASIUŠ in SCHUBERT (1984) zeichnen sich Wälder gegenüber



Abb. 29 Schwarzspechte benötigen bevorzugt Alt- und Starkholz, um Höhlen anzulegen. Somit haben Spechte durch die Schaffung von Höhlen, die zahlreichen Tieren als Unterschlupf- und Fortpflanzungsstätte dienen, eine Schlüsselfunktion in Waldökosystemen (Aufn.: T. HORAK).

Tab. 13 Beispiele von waldbewohnenden Tierarten (nach STURM 1992/93 in SCHERZINGER 1996).

Tiergruppe	Arten
Säugetiere	56
Vögel	211
Tagfalter	165
Nachtfalter	1.400
Kleinschmetterlinge	1.720
Bockkäfer	163
Buntkäfer	14
Kurzflügel-/Stutzkäfer	291
Ameisen	75
Landwanzen	680
Spinnen	746
Weberknechte	35

anderen Ökosystemen durch die Vorherrschaft von Bäumen aus, die so dicht beieinander stehen, dass sich ein spezifisches Waldinnenklima mit einem besonderen Waldbodenzustand einstellt.

Wissenschaftler haben ermittelt, dass in einem Buchenwald etwa 7.000 verschiedene Tierarten vorkommen. Die Insekten sind mit mehr als 5.000 Arten eine bedeutende Tiergruppe, dazu kommen Würmer, Schnecken und Spinnen. Die Gruppe der Wirbeltiere ist mit etwa 100 Arten überschaubar (vgl. SCHRÖDER 1979).

STURM (1992/93) in SCHERZINGER (1996) hat eine Zusammenstellung von waldbewohnenden Tierarten für Deutschland vorgenommen (vgl. Tab. 13).

Die Erhaltung der Biodiversität ist eines der Ziele des modernen Naturschutzes.

Oberstes Ziel müsste es doch sein, dass alle Negativfaktoren, die auf Tierpopulationen und Ökosysteme einwirken, weitgehend ausgeschlossen werden.

An einem Beispiel kann verdeutlicht werden, wie zwiespältig die Belange des Artenschutzes derzeit gesehen werden. Es gibt klare Gefährdungsanalysen für Arten, die in Wäldern oder anderen Biotopen leben. Ebenso werden finanziell stark geförderte Artenschutzprojekte, die zu begrüßen sind, auf den Weg gebracht, um den Lebensraum von Tieren – hier den Wald – zu erhalten. Dass die Installation von Windkraftanlagen, eben in Wäldern, einen Eingriff in den Lebensraum der Arten darstellt, wird oft nicht in diesem Zusammenhang gesehen. Bei dieser Betrachtung, die weitgehend neutral formuliert ist, wird nicht unterlegt, ob es sich dabei um einen erheblichen oder nur einen Eingriff handelt.

Nach allem, was über die Habitatanforderungen der Fledermäuse in Wäldern bekannt ist, würde es bei der Errichtung von Windkraftanlagen und den damit verbundenen Strukturveränderungen sowie dem Gefahrenpotential, das bei Betrieb der Anlagen auf die Arten selbst einwirkt, zu einer erheblichen Gefährdung dieser Waldfledermäuse kommen.

Unter Gefährdung und Schutz der Mopsfledermaus wird für Thüringen ausgeführt: „Als Jäger im freien Luftraum ist die Mopsfledermaus potentiell durch Windenergieanlagen gefährdet. [...] Dennoch muss im Bereich der Schwerpunktorkommen der Mopsfledermaus in Thüringen bei der Planung und dem Betrieb von Windenergieanlagen auf die Art besonders geachtet werden.“ (TLUG 2012).

Abschließend kann festgehalten werden, dass Windräder weder Insekten, Vögel oder Fledermäuse schützen. Im Gegenteil – wir, die Nutzungen und Naturschutz ernsthaft betreiben, sollten jegliche technische Anlagen aus den letzten Flächen der verbliebenen Oasen der Kulturlandschaften heraushalten. Heutzutage ist vieles technisch möglich, auch die Errichtung von Windparks oder

Photovoltaikanlagen in Wäldern (vgl. GÖRNER & PFANNENSTIEL 2022).

Der Bundesverband WindEnergie hat im Dezember 2018 eine Stellungnahme vorgelegt, in welcher Gründe für die Windenergienutzung in Nutzwäldern dargelegt werden. So ist zu lesen „Forstflächen sind weitestgehend unbesiedelt oder siedlungsfern und bieten somit naturgemäß Standorte mit hohem Anwohnerschutz. [...] Mit der Nutzung von Windenergie bleiben die wesentlichen forstlichen Funktionen erhalten: Waldökologie, Forstwirtschaft, Erholungsfunktion und Jagdbetrieb.“ An anderer Stelle ist ausgeführt: „Waldgebiete mit besonders wertvollen Laubwäldern und Mischwäldern oder Schutzgebieten mit besonders hoher ökologischer Wertigkeit für Mensch und Tier sind von der Windenergienutzung stets auszuschließen.“

Aber was ist mit Formulierungen wie „Die Gesellschaft muss ihre Verantwortung für die nachkommenden Generationen wahrnehmen und mit Augenmaß eine nachhaltige Nutzung der Natur betreiben.“?

Hier steht die Politik in der Verantwortung. Gibt es von den vielen Lobbyisten, die versuchen auf die Politik Einfluss zu nehmen, ein tatsächlich faires Abwägen der Interessen von Ökologie und Ökonomie?

Es ist derzeit ein bewährtes Muster, die Erkenntnisse und Fakten der Wissenschaft nicht ernst zu nehmen und deren Aussagen in jeder Hinsicht zu relativieren oder zu diskreditieren.

8.4 Insekten

Selbstverständlich gab es in der Vergangenheit auch indirekten Einfluss auf die Insektenfauna, wenn statt Laubhölzer großflächige Fichten- und Kiefernforste angelegt wurden. Somit änderte sich auch die Artengarnitur bei den Insekten.

Wälder werden weniger mit Dünger versorgt, was auch einen positiven Einfluss auf die dort lebenden Arten hat. Auch im Wald erfolgen gezielt lokale Insektenbekämpfungen mit toxischen Mitteln, die je nach Entwicklungsstand der Population in kürzeren oder längeren Zeitabständen stattfinden.

WERMELINGER (2017) benennt die Artenanzahl der europäischen Waldinsekten mit ungefähr 30.000.

Der Rückgang von Insekten in Deutschland wird in der Literatur schon seit Jahrzehnten diskutiert (vgl. z. B. URBACH 1973, SEDLAG 1981). Die Ursachen sind vielfältiger Natur und bedürfen klarer Analysen.

Selbstverständlich müssen die vielgestaltigen Biotope der unterschiedlichen Insektengruppen in den Blick genommen werden. Sie zu gestalten, zu schützen und ordnungsgemäß zu pflegen, sowohl in Agrarräumen als auch in Gärten, Siedlungen und Städten, ist die aktuelle Herausforderung, an der jeder Einzelne sowie die Landnutzer aktiv mitarbeiten können. Wie wäre es beispielsweise,

wenn wir sofort helle Beleuchtung während der Nacht abschalten würden?

Welchen prozentualen Anteil Windkraftanlagen am Rückgang von Insekten haben, kann derzeit nicht seriös beantwortet werden. Andererseits darf dieser Tatbestand aber auch nicht kleingeredet werden.

Bereits seit den 1930er Jahren ist bekannt, dass flügellose Insekten im freien Luftraum (Verschleppung durch den Wind) nachgewiesen wurden. Diese Insekten, die auch als „Luftplankton“ bezeichnet werden, können über Land und Wasser festgestellt werden.

Inzwischen gibt es bestätigte Beobachtungen, dass das Luftplankton bis in Höhen von ca. 4.000 m über Grund nachgewiesen werden konnte. Einige Insekten haben die Fähigkeit zur aktiven Ausbreitung und neigen zu einem regelrechten Wandertrieb (vgl. GATTER 1981). Aber die Individuendichte ist sehr gering (Hohe Türme: MPI BGC). Zu den wandernden Insekten zählen z. B. bestimmte Tag- u. Nachtfalter, Schwebfliegen, Libellen, Marienkäfer und Heuschrecken.

Bereits von 1989 bis 1990 wurden in Niedersachsen und Schleswig-Holstein an verschiedenen Standorten von Windkraftanlagen im Offenland der Vogelschlag und Insektenanflug untersucht sowie Fledermauskontrollen durchgeführt. Hier muss berücksichtigt werden, dass es sich um kleinere Windkraftanlagen gehandelt hat, die mit den derzeit errichteten Anlagen bezüglich der Höhe nicht vergleichbar sind. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass es einen Insektenanflug gab, wie die Bilder belegen. Es konnten vier Insektengruppen (Fliegen, Mücken, Fransenflügler, Schnabelkerfe) an den Rotorblättern identifiziert werden.

In jüngster Zeit haben dieses Thema, ausgelöst durch die Diskussion über das Insektensterben, Wissenschaftler des Instituts für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) aufgegriffen. Sie stellten fest, dass es an Rotorblättern einen Insektenschlag gibt (vgl. Abb. 30). Von dieser Tatsache ausgehend, legten sie eine Modellanalyse vor, die veröffentlicht wurde. Sofort setzte Kritik ein, ohne dass die Wechselwirkungen zwischen Windkraft und Insektenmigration tiefgründig untersucht wurde oder wird. Mit Präzision hat Dr. F. Trieb die Insekten-dichte und die Volumenströme der Luft an Windrädern analysiert. Danach wurde ein Modell erstellt. Nach einer Hochrechnung werden jeden Tag von April bis Oktober in Deutschland Milliarden Insekten an Windkraftanlagen getötet. Der Verlust summiert sich auf 1.200 Tonnen pro Jahr.

Natürlich ist die Frage, wie die Rotoren auf die Insektenpopulationen wirken, sehr berechtigt und kann in die Debatte um das Insektensterben nicht ausgeblendet werden. Viel wichtiger aber ist es, Gegenmaßnahmen zu entwickeln.

Dies bedeutet, dass die bisher vorherrschenden Meinungen

1. Insekten fliegen nur bis etwa 30 m über Grund und
2. Insekten fliegen nicht bei größeren Windgeschwindigkeiten oder Turbulenzen

nicht haltbar sind.

Offensichtlich ist die Dichte der Insekten im Luftraum gering, die Volumenströme durch die Windkraftanlagen sind aber gewaltig, wie die Untersuchungen des DLR ausweisen.

Die Forscher haben errechnet, dass von April bis Oktober etwa acht Millionen Kubikkilometer Luft durch die derzeit bestehenden Anlagen wehen (Stand 2017 bei rund 31.000 Windkraftanlagen). Das entspricht etwa dem Zehnfachen des deutschen Luftraums bis 2.000 m Höhe. Ein Kubikkilometer Luft enthält ca. 9 kg Insekten. Etwa 5 % fallen nach den Rechnungen Windrädern zum Opfer. Dies entspräche, um es bildlich einzuordnen, umgerechnet 5 bis 6 Milliarden Heuschrecken, Wildbienen, Wespen, Zikaden und Käfern an jedem Tag während der warmen Monate, wobei diese Artengruppen in Höhen bis 200 m und mehr nachgewiesen wurden (TRIEB 2018).

Die oft diskutierten Hinweise, der Auto- und Zugverkehr töte ebenfalls zahllose Insekten, ist für jedermann überzeugend. Wenn noch vor Jahrzehnten die Autoscheibe nach wenigen Stunden Fahrt gereinigt werden musste, spielt dies heute kaum noch eine Rolle. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Zugverkehr. Deutlich wird nur, dass die Abnahme der Insekten in den Lufthöhen bis etwa 3 m für jedermann ersichtlich spürbar ist.

WEIDEL (2008) hat in seiner Dissertation zum Thema „Die Verteilung des



Abb. 30 An Rotorblättern einer Windkraftanlage festgestellte Insektenreste, die bei weiterer Zunahme selbst einen Rückgang der Leistung bewirken können (Aufn.: BladeCleaning 2018 in TRIEB & HAUS 2019).

Aeroplanktons über Schleswig-Holstein“ Ergebnisse vorgelegt, die die durchschnittlichen Individuendichten in den abgeflogenen Höhen (ohne Angaben zur gesamten Luftmenge) dokumentieren. Die prozentuale Zusammensetzung der dort im Aeroplankton nachgewiesenen Insektengruppen sind aus Abb. 31 zu entnehmen.

In der Abb. 32 werden die Prandtl-schicht (bis etwa 100 m Höhe), die kritischen Rotorbereiche und die Insekten-dichte von 0 bis 280 m Höhe dargestellt. Prandtl war Physiker und legte zahlreiche Arbeiten über Aero- und Hydrodynamik

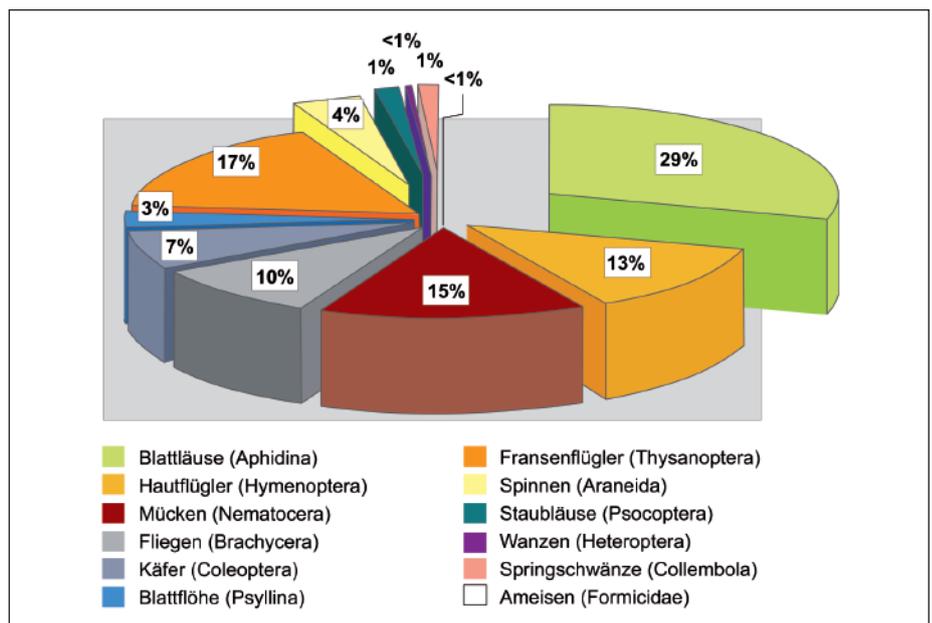


Abb. 31 Prozentuale Verteilung der Insektengruppen, die im Luftraum in Schleswig-Holstein bis in eine Höhe von 1.750 m in den Jahren 1998 bis 2004 gefunden wurden (Grafik von WEIDEL 2008 aus TRIEB 2018).

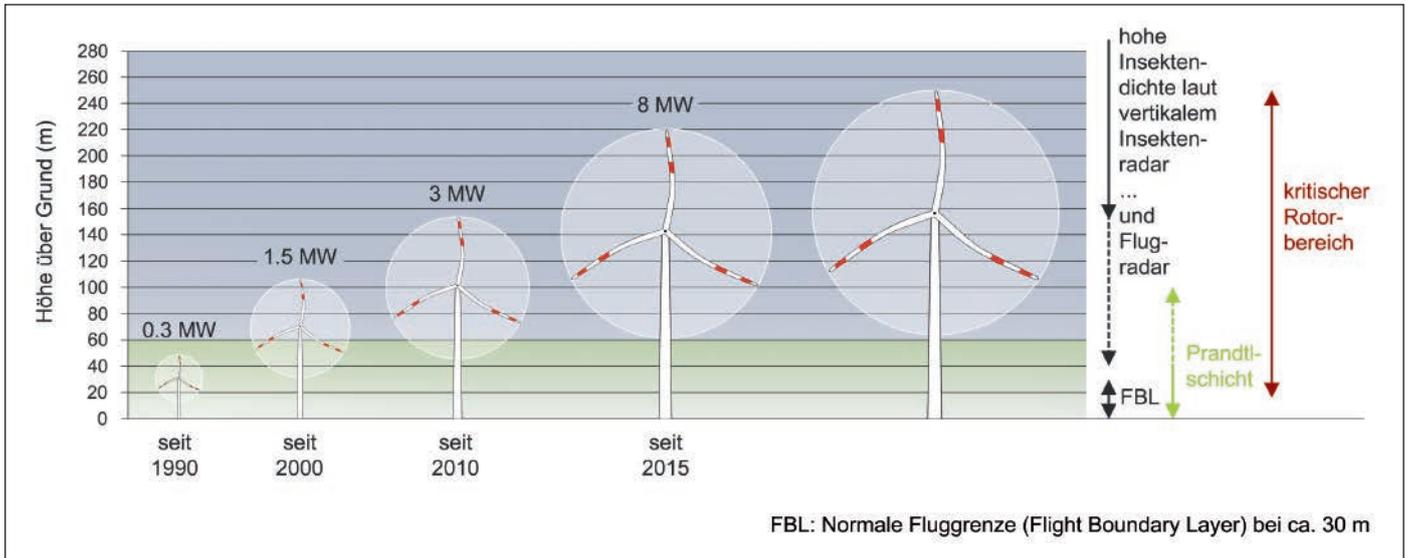


Abb. 32 Windkraftanlagen und migrierende Fluginsekten nutzen den Wind oberhalb der Prandtl-Schicht (Grafik aus TRIEB & HAUS 2019).

(Strömungsforschung) vor. Nach ihm wurde diese Luftschicht benannt. Aktuelle Untersuchungen von Technikern und Insektenforschern belegen, dass migrierende Fluginsekten und Windkraftanlagen den Wind oberhalb der Prandtl-Schicht nutzen (TRIEB 2018). Somit befindet sich der kritische Rotorbereich, abhängig von der Höhe der Anlage, in einem Luftraum mit möglicher hoher Insekten-dichte. Dies mag jahreszeitlich unterschiedlich sein (vgl. Abb. 33).

Hier wird ein Problem deutlich, das in der bisherigen Naturschutzpraxis keine Rolle gespielt hat. Für den Naturschutz

hatte es bisher nur Bedeutung, wenn Veränderungen von Lebensräumen einer gesetzlich geschützten Insektenart zu erwarten waren.

Offensichtlich bewegen sich viele Insektengruppen zur Migration zu bestimmten Zeiten bis etwa 4.000 m und darüber (vgl. auch JOHNSON 1969, WEBER & WEIDNER 1974).

Unklar ist, ob Insekten beim Durchfliegen der Luftbereiche mit vorhandenem Unterdruck im Umfeld von Windkraftanlagen auch ein Barotrauma erleiden.

Auch diese Unsicherheiten gilt es so schnell wie möglich wissenschaftlich

auszuräumen, damit die Diskussion sachliche Argumente erhält. Kritikern dieses Sachverhaltes muss auch geantwortet werden, dass es ein beträchtlicher Unterschied ist, ob Insekten durch technische Anlagen reduziert oder ob sie als Nahrung beispielsweise von Vögeln, Fledermäusen, Insekten, Fischen oder Reptilien aufgenommen werden. Nach wie vor haben Insekten im Rahmen der Nahrungspyramide innerhalb der Tierwelt einen sehr hohen Stellenwert. Deren Abnahme oder ein spürbares Ausdünnen der Individuen hat unvorhergesehene Konsequenzen für die Biodiversität in Europa.

Es gilt, den derzeit festgestellten Tiefstand der Insektenpopulationen in den Kulturlandschaften und urbanen Bereichen, fußend auf einer eindeutigen Gefahrenanalyse, wieder zu beseitigen. Die Einengung der Lebensräume bewirkt in der Regel eine Verarmung der Insektenwelt; nun kommen noch weitere technische Anlagen mit unterschiedlichen Wirkungen (Windkraft- und Photovoltaikanlagen) dazu.

Die Untersuchungen von TRUSCH et al. (2021) zur Anlockwirkung von Windkraftanlagen auf nachtaktive Insekten gelten der aktuellen Fragestellung. Die Autoren heben hervor, dass bei künftigen Untersuchungen an mehreren Standorten derartige Erfassungen erfolgen, um eine breitere Datenbasis zu erhalten.

Damit keine Fehlinterpretationen entstehen, müssen auch mehrere Vegetationsperioden einbezogen werden. Bei der Publikation wurden die Ergebnisse durch Lichtfallen auf der Kanzel und am Fuß der Windkraftanlage verglichen und diskutiert.

8.5 Fledermäuse

Alle Waldtypen in Europa werden von Fledermäusen genutzt. Sie dienen den lautlosen und bevorzugt nächtlichen Jägern als Fortpflanzungs- und Ruhestätte

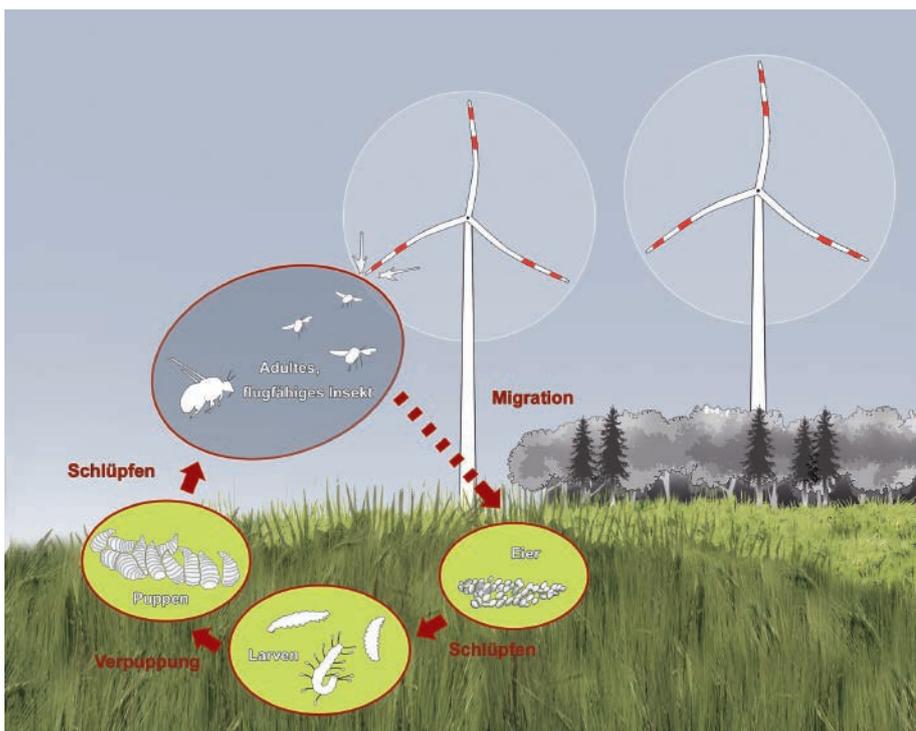


Abb. 33 Stadien der Insektenentwicklung (Grafik nach TRIEB 2018).

sowie als Nahrungshabitate. Selbst wenn Fledermäuse zeitweise am Waldrand oder im Wald Nahrung suchen oder auch nur Teilbereiche des Waldes mit Windkraftanlagen versehen werden, entsteht ein erhöhtes Kollisionsrisiko für die Tiere. Das Problem verschärft sich dadurch, dass mit den Anlagen im Wald direkt in die Funktionsräume der Fledermäuse eingegriffen wird. Die Gründe für das Aufsuchen der Waldhabitate durch die Tiere sind vielfältiger Art.

Fledermäuse haben einen komplizierten Lebenszyklus und sich im Verlauf des Jahres ändernde Habitatnutzungen, wenn man an die Paarungs- und Überwinterungsplätze, die unterschiedlichen Reproduktionsstätten sowie an die Rastörtlichkeiten und Zugwege denkt (vgl. auch Abb. 34 und 35). Ferner muss bedacht werden, dass Fledermausweibchen in der Regel ein Junges pro Jahr zur Welt bringen.

Ein Gesamtbild dieser Verhaltensmuster und der Habitatnutzungen bei den in Deutschland ständig vorkommenden Arten liegt noch nicht vollständig vor.

Laub- und Mischwälder bieten den Fledermäusen den besten Lebensraum. Dies ist besonders der Fall, wenn sie älter und struktureicher sind. Mehrere Fledermausarten jagen an Waldrändern, über Forstwegen, Schneisen und in lichten Waldbeständen, andere in Kronenräumen und über dem Wald.

Festzuhalten bleibt, dass mit der Installation von Windkraftanlagen im Wald ein Lebensraumverlust und negative Veränderungen der Jagdhabitate für Fledermäuse einsetzen.

Dieses Problem verschärft sich noch weiter, da es sich um europäische Populationen handelt. VOIGT et al. (2012) haben mit aller Deutlichkeit dargelegt, dass beispielsweise Großer und Kleiner Abendsegler, Zwerg-, Mücken-, Breitflügel-, Zweifarb- und Rauhaufledermaus wandernde Arten aus Nord- und Osteuropa sind, die über Deutschland hinwegziehen.

Die Ergebnisse von Isotopenanalysen an Fledermäusen, die Kollisionsopfer an Windkraftanlagen wurden, deuten auf Tiere lokaler wie auf solche aus europäischen und länderübergreifenden Populationen hin (vgl. VOIGT et al. 2012, VOIGT 2020, LEHNERT et al. 2014). In der Fachliteratur (vgl. VASENKOV et al. 2022) wird von einem Weibchen der Rauhaufledermaus (*Pipistrellus nathusii*) berichtet, welches in 63 Tagen von Nord-West-Russland nach Frankreich eine Strecke von 2.486 km zurücklegte. Es gibt Berechnungen aus dem Jahr 2012, nach denen jährlich etwa 200.000 Fledermäuse aus Nordeuropa an deutschen Windrädern sterben. Zahlreiche Autoren weisen in diesem Zusammenhang auch darauf hin, dass die Lebensstätten und die biologischen Funktionen der Fledermausarten im Ganzen gesehen werden

müssen. Die meisten Fledermausarten sind in der FFH-Richtlinie gelistet, was bedeutet, dass für diese Arten ein „günstiger Erhaltungszustand“ zu erreichen oder wiederherzustellen ist.

Hinzu kommt, dass derzeit nahezu die meisten Fledermausarten in Deutschland hinsichtlich ihres Erhaltungszustandes bereits als „ungünstig“ eingestuft werden.

Die vielen Bemühungen, Fledermauskästen an geeigneten Stellen im Wald aufzuhängen, sind begrüßenswert, tragen aber kaum zur Lösung des Problems bei.

Es müssen auch die durch die Installation der Windkraftanlagen im Wald neu entstandenen Freiflächen und Wegeführungen betrachtet werden. Diese könnten von den Fledermäusen bevorzugt genutzt werden und somit zusätzlich dazu beitragen, dass die Tiere direkten Zugang zu den Windkraftanlagen erlangen. Auch dieser Fakt ist noch nicht eingehend untersucht.

In diesem Zusammenhang muss hervorgehoben werden, dass der Zug der Fledermäuse keinesfalls mit denen des Vogelzuges verglichen werden kann. Fledermäuse nutzen wohl stets bei entsprechenden Wetterlagen die sich bewegenden Insekten als Nahrung, damit sie ständig Energie aufnehmen können (VOIGT et al. 2010).

Diese Tatsache lässt das Zugverhalten der Fledermäuse nicht einfach nach dem derzeitigen Wissensstand erklären.

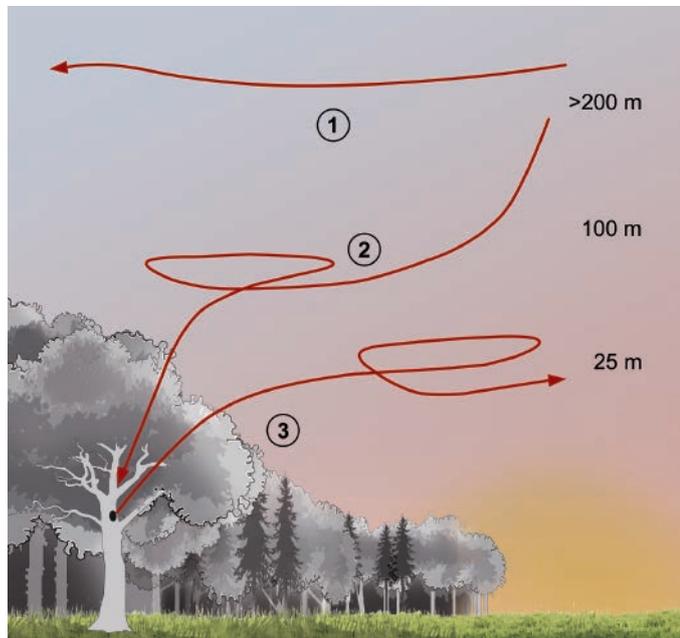


Abb. 34 Stark schematisiertes Flugverhalten Großer Abendsegler am Tagesende in den Zugperioden. 1 = Durchzug ohne Verweilen; vor Sonnenuntergang meist in größter Höhe. 2 = Nahrungssuche bei sinkender Flughöhe im Verlauf der Dämmerung (stationäre und eintreffende Individuen; mit Einbruch der Dunkelheit Aufsuchen von Ruhequartieren (im Spätsommer/Frühherbst auch Kopulation), 3 = Ausflug stationärer Großer Abendsegler am Ende der Abenddämmerung. – Alle drei Aktivitäten können während der Zugperioden am selben Tag zur gleichen Zeit beobachtet werden (Grafik aus MEINIG 2015).

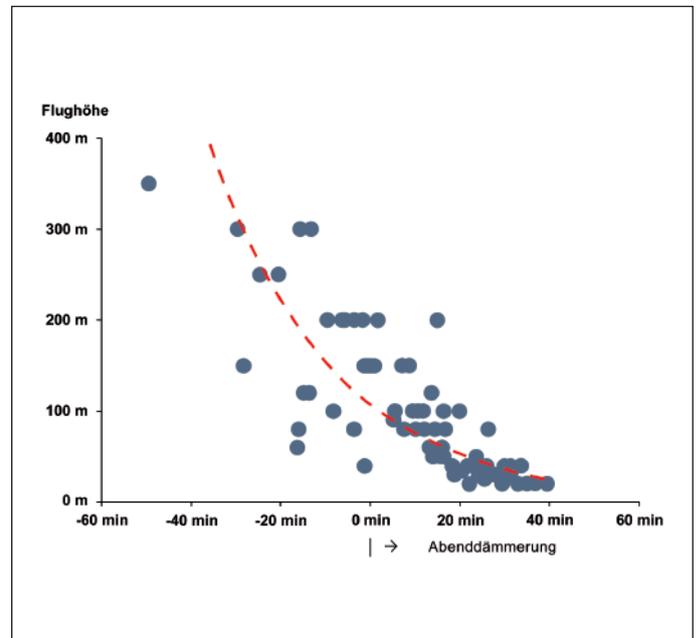


Abb. 35 Maximale Flughöhen Großer Abendsegler an Tagen mit individuellem Auftreten (≥ 100). Stichprobenumfang: 18 Tage aus 10 Jahren (Mai, September und Oktober). „0 min“ markiert den Sonnenuntergang. Die Trendlinie deutet auf einen Zusammenhang zwischen Höhe und Tageszeit bzw. Lichtstärke hin (Grafik aus MEINIG 2015).

Die ersten Ergebnisse von telemetrierten Individuen verschiedener Fledermausarten stimmen hoffnungsvoll und lassen noch manche Überraschung erwarten. Genau diese komplizierten Zusammenhänge des „Zuges“ oder besser der „Migration“ von Fledermäusen im lokalen und europäischen Raum sind eine Herausforderung für die Forschung.

Hier muss auch auf die Unterschiede der Geschlechter in Bezug auf ihr Verhalten und ihre reproduktiven Besonderheiten näher eingegangen werden, was die Untersuchungsmethodik nicht leichter gestaltet. Es ist bekannt, dass Jungtiere verstärkt an WKA zu Tode kommen. Weibchen sind häufiger als Männchen davon betroffen.

Solche Ergebnisse haben für den Natur- und Artenschutz mit Sicherheit weitreichende Konsequenzen. Auch wegen dieser noch vorhandenen Wissenslücke kann der Errichtung von Windkraftanlagen im Wald nicht zugestimmt werden, wenn man verantwortungsvoll mit den Wäldern und ihren Potentialen umgehen will.

Um das Tötungsrisiko für geschützte Tiere zu minimieren, gibt es Vorschläge zur Abschaltung oder Anbringung von Scheueinrichtungen an Windkraftanlagen. Dies würde konsequent durchgeführt dazu dienen, dass kaum ein Betrieb der Anlagen nachts von April bis Oktober stattfinden dürfte. Damit stellt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit solcher Vorschläge. Als weiterer Fakt ist zu beachten, dass es noch die Sommerzeit gibt, die bei solchen Betrachtungen unberücksichtigt bleibt. Dies bedeutet nicht, dass Monitoringprogramme zur Erfassung und Bestandsentwicklung von Fledermäusen nicht gebraucht würden. Im Gegenteil, hier sind weitere Untersuchungen geradezu notwendig.

Aus der Sicht des Fledermausschutzes halten es Experten für geboten, auf Windkraftanlagen in Wäldern zu verzichten (RICHARZ 2014).

8.6 Vögel

Wie umfangreiche Untersuchungen an den unterschiedlichen Standorten von Windkraftanlagen belegen, gehören Vögel zur Risikogruppe dieser technischen Anlagen.

Bei den Singvögeln scheint das Kollisionsrisiko, abgesehen vom Vogelzug, geringer zu sein. Dies trifft allerdings auf einzelne Arten der Rabenvögel, die ebenfalls zu den Singvögeln zählen, nicht zu.

Bezogen auf den Standort Wald, ist hier die Betrachtung besonders auf die in Wäldern lebenden und die im Offenland Nahrung suchenden Vogelarten gerichtet.

Für Vögel veröffentlichte die Ländereinigungs- und Naturschutzgemeinschaft der Staatlichen Vogelschutzwarten (LAG VSW) im Jahr 2007 (aktuell vom April 2014) die „Abstandsregelungen für Windenergieanlagen zu Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten“ (auch als „Helgoländer Papier“ bekannt).

Der Gesetzgeber hat das „Helgoländer Papier“ als überholt betrachtet. Die Regierung hat mit Blick auf die Klimakrise vereinbart, den Ausbau der erneuerbaren Energien drastisch zu beschleunigen und alle Hemmnisse aus dem Weg zu räumen (Stand März 2023).

Hierbei spielte das Problem „Biodiversität“ wohl kaum eine Rolle. Das Bundesnaturschutzgesetz wurde novelliert, Schutzmaßnahmen (Tab. 14) eingeführt, um das Kollisionsrisiko bei Tieren unter die Signifikanzschwelle zu senken.

Ebenso wurde der Abstand vom Brutplatz zur Windkraftanlage der betreffenden Vogelart neu festgelegt (vgl. Tab. 14).

In dieser Tabelle sind auch der bevorzugte Lebensraumtyp, der Brutplatz und das Jagdgebiet neben dem Status der Vogelart dargestellt. Für diese Vogelarten sollen nationale Artenhilfsprogramme zukünftig entwickelt und praxiswirksam werden. Die Bundesregierung möchte künftig auf Populationsschutz bei den genannten Vogelarten setzen, wobei der Einzelvogel nicht im Blickpunkt der Betrachtung steht.

Es gibt keine Hinweise, wie der Populationsschutz in der Praxis umgesetzt werden soll. Ob die vorgesehenen Artenhilfsprogramme einen Ausgleich für individuelle Verluste an Arten schaffen, bleibt abzuwarten und ist zu hinterfragen. Populationsforscher an freilebenden Tieren haben längst Erkenntnisse darüber, dass die Bestandsentwicklungen von Tierarten regional sehr unterschiedlich sein können. Solange die These durch Forschung nicht widerlegt ist, dass Windkraftanlagen auf die Gesamtpopulation von den jeweiligen Tieren negativ wirken, tragen Artenhilfsprogramme kaum zur Lösung des Problems bei.

Sensible Bereiche mit Vorkommen von Tieren gibt es auf allen Flächen, abgesehen davon, dass auch zeitliche Häufungen vorkommen können.

Das Vorsorgeprinzip ist stets bei biologischen Abläufen zu betrachten.

Die Festlegung, bei der Staatlichen Vogelschutzwarte Brandenburg eine zentrale Funddatei über Schlagopfer an Windkraftanlagen seit 2002 zu führen, ist in jeder Hinsicht zu begrüßen. Hier gehen bevorzugt Zufallsfunde ein, wobei bedacht werden muss, dass nur ein sehr kleiner Anteil von Kollisionsopfern (Vögel wie Fledermäuse) im Gelände gefunden und gemeldet wird. Hinzu kommt, dass Kollisionsopfer (Tierkörper, gleich welcher Größe) recht schnell von vielen Prädatoren (auch bei Nacht) gefressen oder weggeschleppt und selbst von dafür beauftragten Menschen aufgesammelt und beseitigt werden.

Es darf nicht vergessen werden, dass Windenergieanlagen zur Minderung der jeweiligen Habitatqualität von Brutplätzen von Vogelarten beitragen.

Solange keine gesicherten Daten, besonders populationsökologische Fakten vorliegen, die im Bereich von Windkraftanlagen gewonnen wurden, lassen sich keine Bewertungen treffen.

Ebenso liegen kaum ausreichende Untersuchungsergebnisse von möglichen Scheuchwirkungen von Windkraftanlagen vor, die artbezogenen Verallgemeinerungen zulassen (vgl. SPATZ et al. 2022).

Aus der Sicht des Vogelschutzes ist die Errichtung von Windkraftanlagen im Wald schon deshalb als sehr problematisch zu sehen,

- da die längeren Rotorblätter der jüngeren Generation der Windkraftanlagen erhebliche Luftdruckunterschiede und wohl auch Verwirbelungen bewirken.
- da die längeren Rotorblätter beim Transport zum Standort zwangsläufig



Abb. 36 Schwarzstörche sind Langstreckenzieher und somit auf ihrem Zug zahlreichen Gefahren ausgesetzt (Aufn.: T. HORAK).

Tab. 14 Vogelarten, die vom Gesetzgeber als mit signifikantem Tötungsrisiko durch Windkraftanlagen eingestuft wurden. Im Nahbereich der jeweiligen Brutplätze sollen Windkraftanlagen untersagt sein. Ausnahmen sind möglich.

Art	Lebensraumtyp			Brutplatz	Jagdgebiet	Status									Abstand Brutplatz zu WKA in m		
	Offenland	Wald	Gebirge			1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Steinadler	x	x	x	Auf Bändern an Felswänden oder auf Bäumen	Über Waldgrenze	x	x	x							x		1.000
Wanderfalke	x	x	x	Auf Simsens oder Bändern von Felswänden oder Einzelfelsen, in alten Greifvogelhorsten sowie auf Vorsprüngen hoher Gebäude	Jagd in offenen Landschaften	x	x	x									500
Wiesenweihe	x			In Sümpfen, Mooren, nassen Wiesen und Getreidefeldern	Offene Flächen	x			x	x	x	x					400
Kornweihe	x			In Altschilfbeständen	Wiesen, Äcker	x		x			x		x	x			400
Rohrweihe	x			In Altschilfbeständen, Mooren, Heideflächen und Feuchtwiesen	Verlandungszonen	x			x	x	x	x	x				400
Baumfalke	x			Benutzt Baumnester anderer Vögel (z. B. Krähen)	Verlandungszonen, Feuchtwiesen	x			x	x	x	x					350
Weißstorch	x			Nester auf Gebäuden, Schornsteinen, Masten und großen Bäumen	Feuchtwiesen, Teiche, Grünland, Äcker	x			x	x		x					500
Sumpfohreule	x			In Sümpfen, auf Feuchtwiesen, Dünen und im hohen Gras	Offene Landschaftsbereiche mit deckungsreicher Vegetation z. B. Moore, Verlandungsflächen, Dünen- gelände	x	x	x			x				x		500
Uhu	x	x	x	Auf Simsens oder in Höhlungen an Felswänden, in Steinbrüchen, in Nestern von Großvögeln sowie an Hängen, auf dem Boden und an technischen Anlagen	Offenland, Waldrän- der, Wiesen, Gewässer	x	x										500
Seeadler	x	x		In der Regel auf großen Bäumen	Fisch- und vogelrei- che Gewässer sowie Küstengebiete	x	x	x								x	500
Fischadler	x	x		Auf großen Bäumen oder Nisthilfen	Seen mit waldreicher Umgebung, Flussauen, Fischteiche	x			x	x	x						500
Schreiadler	x	x		Bäume	Waldrandflächen, Waldlichtungen	x			x	x		x					1.500
Rotmilan	x	x		Bäume	Freie Flächen	x					x		x				500
Schwarzmilan	x	x		Bäume	Offenes Land, Gewässer	x			x	x	x	x					500
Wespenbussard	x	x		Bäume	Wiesen, Waldränder	x			x	x		x					500

Status: 1 Brutvogel, 2 Standvogel, 3 Strichvogel, 4 Zugvogel, 5 Sommervogel, 6 Durchzügler, 7 Langstreckenzieher, 8 Kurzstreckenzieher, 9 Wintergast

- bedingen, dass eine viel größere Waldfläche freigeschlagen werden muss.
- da die dadurch entstandenen Freiflächen im Wald zu mehreren Sekundäreinflüssen bei Tieren und Pflanzen führen werden. (Für eine Windkraftanlage wird bis zu 1 ha Wald gerodet (BfN 2011)).

- da der Transport von Rotorblättern auf Straßen und offener Flur zu enormen zeitweisen Veränderungen in der Landschaft führen (Abbau von Schildern, elektrischen Anlagen, Schotterung von Feldflächen, Ausbau von Straßenrädern, Beseitigen von Bäumen und Gehölzen usw.), darf auch dies hin-

terfragt werden (Transportlängen von über 70 m und Gewicht von 70 t).

Die Vorstellungen der Länderarbeitsgemeinschaft sind, dass die fachlich empfohlenen Abstände von Windkraftanlagen zu Vogellebensräumen (Europäische Vogelschutzgebiete, alle Schutzkatego-

rien nach nationalem Naturschutzrecht) und zu den Brutplätzen oder Vorkommensgebieten der betreffenden Vogelarten eingehalten werden. Mit aller Deutlichkeit sei angemerkt, dass es sich hierbei um Empfehlungen handelt, die für Entscheidungen herangezogen werden, aber keine Gesetzeskraft haben. Die Firma ABO Wind hat eine Grafik mit der Zunahme der Windkraftanlagen von 2000 bis 2013 in Deutschland sowie der Bestandsentwicklung von Uhu, Rotmilan und Schwarzstorch veröffentlicht. Daraus wird abgeleitet, dass Windkraftanlagen kaum eine Gefahr für die Vogelarten darstellen, was aber im Detail und langfristig noch zu beweisen wäre.

Es ist zu begrüßen, wenn Windkraftfirmen bei ihren Planungen direkt mit kompetenten Einrichtungen des Naturschutzes von Anfang an eng zusammenarbeiten würden. Jegliche Gefälligkeitsgutachten sind hier fehl am Platze und nicht hilfreich. Auf diese Problematik und auf die methodischen Besonderheiten bei den zu erfassenden Vogelarten, und hier besonders auf die erheblichen Defizite bei den Aussagen zu den durchziehenden Vögeln, hat KRAFT (2019) hingewiesen.

Wie ist es möglich, dass, wie inzwischen vielfach erfolgt, von geschützten Vogelarten besetzte Horste oder sogar die vollständigen Horstbäume aus Wäldern völlig und unbemerkt entfernt werden? (vgl. z. B. Der Spiegel Heft 7/2018).

Der Naturschutz hat eine spezielle artenschutzrechtliche Prüfung (saP) vorzunehmen sowie das Kollisionsrisiko, die Scheuchwirkung und die Störempfindlichkeit bei Tieren (hier besonders Vögel, Fledermäuse, Insekten) bei der Genehmigung von Windenergieanlagen einzuschätzen. Neben dem unterschiedlichen Verhalten der Tiere (z. B. Flughöhe,

Zeiträumen usw.) ist ferner zu prüfen, ob sie regelmäßig am vorgesehenen Standort der Windkraftanlage(n) oder nur zeitweise dort vorkommen.

Inzwischen wurden in den Bundesländern auch Dichtezentren von Greifvögeln und Eulen festgelegt. Sowohl die Abstandsregelungen und die für spezielle Arten erstellten Dichtezentren sollen für Planer und Behördenmitarbeiter eine Richtschnur vorgeben, die einzuhalten ist. Oft wird diese aber durch politische Entscheidungen übergangen.

Die Dynamik bei den Arten belegt eindeutig, dass sie weit größere Nahrungsreviere in den Kulturlandschaften aufsuchen und immer weitere Strecken zwischen Brutplatz und Nahrungsraum überwinden müssen, um an geeignete und ausreichende Nahrung zu gelangen. Dabei über- oder durchfliegen sie oft mehrere Bereiche mit Windkraftanlagen, wie verschiedene Beispiele belegen (Rotmilan 11 km und weiter (STUBBE mdl. Mitt.), Uhu über 9 km (GÖRNER 2016), Schwarzstörche über 10 km, Weißstorch über Wald und Offenland bis zu 13 km (BENECKE 2015)).

Nicht selten wird davon ausgegangen, dass bei vielen Vogelarten auch Gewöhnungseffekte bezüglich der Windkraftanlagen zu erwarten sind. Wenn Greifvögel oder Eulen bei abgeschalteten Anlagen gelegentlich dort beim Ansitz gesehen oder ein Brüten von Vögeln in Anlagennähe festgestellt wird, kann dies nicht als Beweis für eine Gewöhnung gesehen werden. Dies wäre erst der Fall, wenn sich das gleiche Brutpaar mehrere Jahre an solchen Stellen aufhalten oder dort brüten würde, was aber nicht belegt ist.

Grundsätzlich kann jede Vogelart durch Kollision an Windkraftanlagen,

aber auch durch Lebensraumverlust, betroffen sein.

Windenergieanlagen mit blinkenden oder ständigen Lichtquellen können Vögel in Nebelnächten geradezu anziehen.

Es muss auch der Blick von den einzelnen Windkraftanlagen im regionalen Bereich auf die Anlagen in anderen Ländern geworfen werden. Zugvögel werden nicht nur mit den örtlichen Anlagen konfrontiert. Aus internationaler Sicht ist die Barrierewirkung von Windrädern für die Vögel weit größer als bisher bekannt.

Es sei auch auf die Zugvögel hingewiesen, die jährlich in schmaler oder breiter Front über die Wälder, oft auch in großen Schwärmen, ziehen. Wie sich die Vögel über Wäldern des Flachlandes oder des Mittelgebirges bei den verschiedenen Wetterlagen verhalten, ist kaum hinreichend bekannt.

Befürworter von Windkraftanlagen in Wäldern äußern oft die Meinung, dass die Verluste von Vögeln durch den Straßenverkehr viel größer seien als durch Windkraftanlagen. Dies ist eine Annahme. So wird die fatale Summenwirkung ausgeblendet. Welche Fakten können diesbezüglich tatsächlich vorgelegt werden? Auch aus diesen Äußerungen müsste die Erkenntnis gewachsen sein und klar erkennbar werden, dass eben diese technischen Anlagen mit ihren Schallemissionen in hochsensiblen Lebensräumen wie Wäldern keinesfalls vertretbar sind.

8.7 Ungeklärte Probleme bei dem Betrieb von Windkraftanlagen im Wald

Mit jeder Bewirtschaftung (Eingriff in die jeweilige Waldstruktur) von Wäldern werden der Vegetationsaufbau sowie die Habitatstruktur verändert. Somit hat jeder Eingriff einen positiven oder negativen Einfluss auf die Tier- und Pflanzenwelt. Gesicherte Kenntnisse über diese Vorgänge, artbezogen sowie auf die Vielfalt der Arten ausgerichtet, stehen noch nicht ausreichend zur Verfügung.

- Wie kann durch gezielte Forschungen dazu nachhaltig beigetragen werden, dass das Tötungsrisiko (einschließlich Barotrauma) für Insekten, Vögel und Fledermäuse erheblich eingeschränkt wird?
- Die Errichtung von Windkraftanlagen im Wald stellt eine spezifische Gefährdungsursache für Tiere (Insekten, Vögel, Fledermäuse) im Sinne des Lebensraum- und Tierverslustes dar, deren Auswirkungen bisher völlig unbekannt sind.
- Es gilt stets die Gesamtsumme aller Individuen oder der Reviere zu betrachten, nicht die Zunahme von Arten durch Neozoen
- Abschaltungen von Windkraftanlagen zu bestimmten Zeiten im Sinne des Individuenschutzes müssen Wirksamkeit nachweisen.

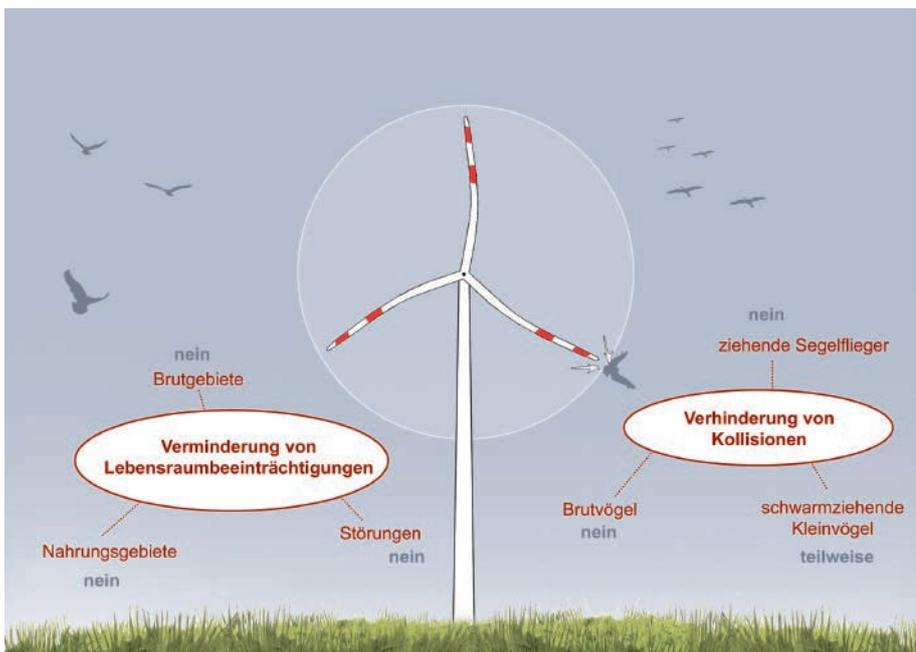


Abb. 37 Was bewirkt ein Abschalten der Windkraftanlagen für Vögel?

- Es liegen kaum belastbare wissenschaftliche Studien vor, die den Luftraum oberhalb der Baumkronen eingehend untersucht hätten. Befinden sich dort auch Nahrungshabitats für Tiere und wenn ja, wie werden diese genutzt?
- In welchen Höhen über dem Kronendach der Bäume jagen Vögel, Fledermäuse und Insekten?
- Erarbeitung und öffentliche Darstellung von bisher bekannten Wanderkorridoren von Vögeln, Fledermäusen und ausgewählten Insektenarten.
- Fehlende Kenntnisse über Sogwirkungen von Windkraftanlagen auf Tierarten und das Mikroklima.
- Welcher Abstand ist aus Artenschutzsicht zwischen unterer Rotorspitze und Baumkrone notwendig?
- Ermittlung der tatsächlichen Opfer von Wirbeltieren durch Windkraftan-

lagen. In Wäldern ist die Suche nach durch diese Anlagen getöteten oder verletzten Tieren aussichtslos.

- Es fehlen belegbare Fakten zu optischen und thermischen Lockwirkungen bei Insekten und Wirbeltieren durch Beleuchtung, Farbgebung und Wärme.

8.8 Schlussfolgerungen

- Die Argumentation, es sollen nur Flächen „entwerteter“ Fichtenbestände für die Errichtung von Windkraftanlagen im Wald vorgesehen werden, muss scharf hinterfragt werden. Diese Diskussion lenkt vom Hauptproblem ab.
- Windkraftanlagen im Wald sind Eingriffe in die Lebensräume zahlreicher geschützter und scheuer Tierarten, die nicht auszugleichen sind.

- Selbst wenn im Wald errichtete Windkraftanlagen nicht mehr, aus welchen Gründen auch immer, benötigt werden, bedeutet der Rückbau solcher Anlagen, der dann zu fordern ist, nicht nur hohe Kosten, sondern auch erneute Eingriffe und Störungen in die sie umgebenden Waldbereiche.
- Mit der Zunahme der Windkraftanlagen summieren sich auch die Anzahlen der Opfer pro Anlage zu höheren Werten für die jeweiligen Populationen.
- Mehrere geschützte Vogel- und Fledermausarten zeigen, wie jahrelange Beobachtungen belegen, kein deutliches Meideverhalten gegenüber Windkraftanlagen.

9. Ausblick

MARTIN GÖRNER, ROLAND IRSLINGER, HANS-DIETER PFANNENSTIEL, ERNST-DETLEF SCHULZE und HELMUT WITTICKE

Die Forstwirtschaft vermittelt ihre Leistungen auf dem Gebiet des Klima- und Artenschutzes nicht ausreichend in der Öffentlichkeit. Dabei hat der Wald bisher seinen Beitrag geleistet. Die Holzvorräte sind durch Bewirtschaftung in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Die waldspezifischen Organismen sind erhalten geblieben. Aber, mit zunehmendem Klimawandel kommt auch der Wald an seine Grenzen. Sturmereignisse und Trockenheit hinterlassen mit der Ausbreitung der Borkenkäferarten Spuren, die erst mit der neuen Bundeswaldinventur quantifizierbar werden. Es muss gleichzeitig betont werden, dass der Rückgang der Artenvielfalt im Offenland nicht durch Unterschätzung von Wäldern kompensiert werden kann. Es handelt sich um unterschiedliche Organismen, die den Wald und das Offenland besiedeln. Die Freiflächen im Wald, die im Augenblick durch die Borkenkäfer verursacht wurden, können kurzfristig durch Offenlandarten besiedelt werden, aber diese verschwinden wieder mit einem neu aufwachsenden Wald.

Der Wald ist ein Teil einer mitteleuropäischen Kulturlandschaft. Die Baumarten sind überwiegend

heimisch mit Buche, Fichte, Kiefer und Eiche als Hauptbaumarten. Die Anteile der Baumarten an der Waldfläche wurden aber nicht durch die Forstwirtschaft, sondern durch den Bedarf an Holz in der Öffentlichkeit bestimmt. Die Monokulturen von Buche, Fichte und Kiefer ergeben sich aus den Anforderungen der Nutzer an die Qualität des bereitgestellten Holzes. Astfreie Eiche und Buche und lange Fichten- und Kiefernstämme werden gefordert, und diese wurden forsttechnisch durch die Waldeigentümer nachhaltig bereitgestellt, ohne den Artenreichtum auch seltener und geschützter Waldarten zu gefährden. Die Vielfalt der Waldeigentümer, der Standortbedingungen und der waldgeschichtlichen Nutzungen ist Grundlage der Strukturvielfalt im Wald. Mit dem klimabedingten Rückgang der Hauptbaumarten ist die Sorge verbunden, dass der Wald seine Leistungen in der bisherigen Form in Zukunft nicht mehr erfüllen kann.

Dabei fehlen selbst in einem industriell hoch entwickelten Land wie Deutschland wichtige Informationen. Es gibt kein Diagramm über die Nutzung des Holzes bis hin zum Verbraucher, wie es zum Beispiel für Österreich vorliegt. In Deutschland wird Holz mit Übermaß und mit Rinde verkauft, aber ohne Rinde und mit reduzierter Länge verbucht. Die Nutzung für Brennholz wird nur geschätzt. Die Leistung des Waldes für den Verbraucher ist nach wie vor unvollständig erkennbar. Ganze Bereiche, wie z. B. die Wohlfahrtswirkungen

und der Erhalt von Arten durch Bewirtschaftung, werden überhaupt nicht bewertet. Die vorliegende Arbeit behandelt nicht die ökonomischen Aspekte bis hin zur Holznutzung, aber diese müssen in Zukunft als Einheit gesehen und behandelt werden. Der zukünftige Ersatz von Werkstoffen, die auf der Bereitstellung fossiler Energien beruhen, durch Holz, die sogenannte Substitution, kann in der vorliegenden Arbeit nicht abgeschätzt werden. Dies ist aber in Zukunft nötig, um die Nachhaltigkeit zu wahren.

Um die Leistung des Waldes im Klimaschutz zu beurteilen, ist es nötig, den Blick auch auf den Gesamt-Energieverbrauch zu weiten (Abb. 38). Der Gesamtenergieverbrauch erreichte in den 1980er Jahren ein Maximum von etwa 4.400 TWh. Dieser Energieverbrauch ist bis zum Jahr 2021 auf etwa 3.400 TWh gesunken. Der Rückgang ist aber nicht allein das Ergebnis von nationalen Einsparungen oder Steigerungen der Effizienz, sondern auch das Ergebnis von Industrieabwanderungen und zunehmenden Importen, die nicht Teil der gezeigten Energiebilanz sind. In der Bereitstellung von Energie fällt auf, dass viele Bereiche reduziert wurden (Wasserkraft, Atomenergie), ohne dass

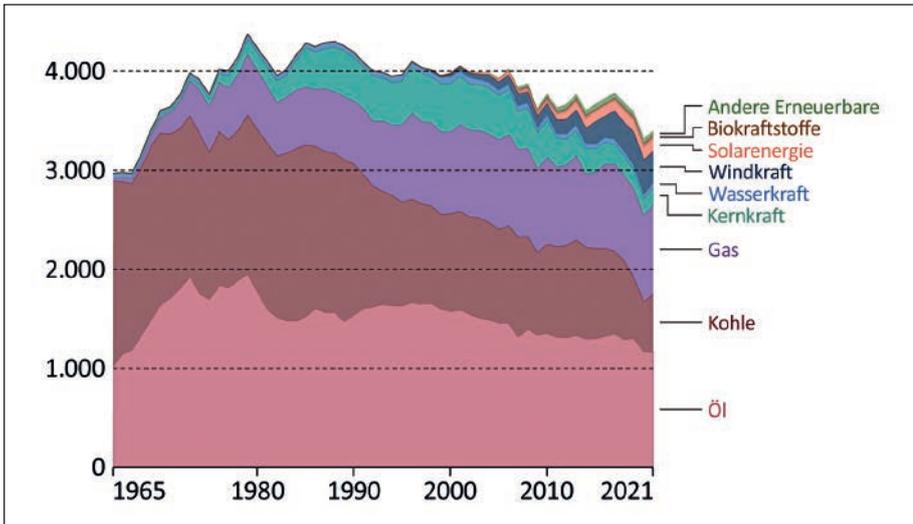


Abb. 38 Primärenergieverbrauch in Deutschland nach Energieträgern in Terrawatt-Stunden (TWh). Es wurde ein Ineffizienzfaktor (Substitutionsmethode) für fossile Brennstoffe angewandt, um für die Anteile der einzelnen Energieträger am Endenergieverbrauch einen besseren Näherungswert zu erhalten. „Andere Erneuerbare“ beinhaltet Geothermie, Biomasse und Abfallenergie (Quelle: BP Statistical Review of World Energy, OurWorldInData.org/energy • CC BY).

die neuen erneuerbaren Energien dies kompensieren. Die Bereitstellung von Biokraftstoffen ist gering, aber über die Zeit sogar gestiegen, soll aber in Zukunft ebenfalls eingeschränkt werden. Auffällig aber ist, dass auch im Jahr 2021 über 80 % der Primärenergie noch aus fossilen Quellen stammen. Andere Länder, wie z. B. Schweden, haben es geschafft, durch geschickte Nutzung vor allem der biologischen Ressourcen diesen fossilen Anteil im Energieverbrauch weit deutlicher als Deutschland zu reduzieren. D. h. bei der Substitution energieaufwendiger Produkte durch Holz steht Deutschland noch in den Anfängen. Die Energiesubstitution wird eingeschränkt. Die Bereitstellung von Energie wird in Zukunft zunehmend Entscheidungen in der Waldbewirtschaftung erfordern.

Aus Abb. 38 ist nicht der Anteil der Energie erkennbar, der national erzeugt

wird. Deutschland importiert Energie. Wir leben auf Kosten anderer Länder, die die von uns genutzte Energie erzeugen. Es geht über die Ausführungen der vorliegenden Arbeit hinaus, die Rolle des Waldes in diesen größeren Kontext zu stellen. Der Bioenergieatlas von Österreich oder die Energiestatistik von Schweden könnte da ein Vorbild sein, um in Zukunft die Grenzen und Möglichkeiten des Waldes besser einordnen zu können. Dennoch erlauben wir uns einige Aspekte für die Zukunft aufzulisten:

- Der Wald hat begrenzte Möglichkeiten den Konsum an Energie zu decken.
- Der Klimawandel wird auf das angestrebte 1,5°C Ziel nur begrenzt durch drastische Einschränkungen im Energieverbrauch in jeder Form (RÜTER 2023). Der Energieverbrauch auf Kosten anderer Länder ist in einer Zeit

des Klimawandels nicht akzeptabel und riskant.

- Die uneingeschränkte öffentliche Nutzung des Waldes wird in Zukunft nicht mehr möglich sein, wenn der Wald gleichzeitig auch Artenvielfalt und Produktvielfalt erhalten soll. Das Betretungsverbot in Schutzgebieten ist keine Lösung des Problems, denn es führt zu einer Umleitung der sozialen Waldnutzung auf die restliche Waldfläche.
- Die Segregation von Waldnaturschutz und Wirtschaftswald ist nicht zielführend, da ein großer Teil der „Waldarten“ auf die Bewirtschaftung angewiesen ist. Zusätzlich ergibt sich das Problem in einem dynamisch sich ändernden Klima, dass ein geographisch fixierter, statischer Schutz das Ziel des Artenschutzes nicht erreicht, wenn die betroffenen Arten wandern.
- In dieser Situation erscheint es aussichtslos durch Regularien ordnungsrechtlich einen Artenschutz durchsetzen zu wollen. Dies hat in der Vergangenheit für Wirbeltiere zwar funktioniert, in Zeiten des Klimawandels ist für die Gesamtheit der Artenvielfalt ein Erhalt nur denkbar, wenn die Eigentümer, die vor Ort wirtschaften, beteiligt werden und deren Wissen genutzt wird.

Viele Fragen der Zukunft können mit der vorliegenden Arbeit nicht beantwortet werden. Dennoch bemühen wir, uns die Optionen für künftige Generationen zu wahren. In der Vergangenheit war dies Teil einer nachhaltigen Bewirtschaftung, und hat bisher in der Forstwirtschaft funktioniert, d. h. bei der forstlich üblichen und baumarten-spezifischen Nutzung, ist eine Übereinstimmung in den Zielen über Generationen impliziert. Damit wird aber das zunehmende soziale Problem der Waldnutzung durch eine städtische Bevölkerung nicht gelöst.

Dank

Den Bildautoren Jörg Brauneis, Alfred Heyn, Tom Horak, Roland Irslinger, Harald R. Lange, Roland Müller, Christoph Robiller, Ernst-Detlef Schulze und Helmut Witticke sowie dem Verband für Angeln und Naturschutz Thüringen e.V. (VANT) sei für die Bereitstellung der Bilder vielmals gedankt. Für die textliche Mitarbeit an einem Kapitel danken wir Herrn Hans-Dieter Pfannenstiel.

Literatur

AGGESTAM, F., KONSZAL, A., SOTRIV, M. et al. (2020) Can nature conservation and wood production be recon-

ciled in managed forests? A review of driving factors for integrated forest management in Europe. – J of Environmental Management 268, 110670, 9pp.
 AHLÉN, I. (2002): Fladdermöss och fåglar dödade av vindkraftverk. – Fauna och flora 97 (3), 14-21.
 ANHUF, D. et al. (2012): Die Vegetationsentwicklung seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit. – In: Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 3: Natur und Umwelt II: Klima, Pflanzen, Tierwelt, 88-91. – Heidelberg.
 Anonymus (2015): Windkraft und Fledermäuse. – Natur NRW Nr. 2, 9.
 APEL, L. (2022): Umgang mit nachträglich festgestellten Tötungsrisiken an genehmigten Windenergieanlagen. – Naturschutz u. Landschaftsplanung 54, 32-38.
 BACH, L. (2001): Fledermäuse und Windenergienutzung – reale Probleme oder Einbildung? – Vogelkdl. Ber. Niedersachs. 33, 119-124.
 BAIER, U. (2018): Waldschutz und forstliches Umweltmonitoring. – In: WELLER, E. et al.: Forsttechnik – Die Geschichte der Wälder und der Forstwirtschaft in Thüringen. – Hrsg. ThüringenForst Erfurt, 359-368.

BAUMGÄRTNER, M. (2018): Das Kettensägen-Massaker. – Der Spiegel H. 7, 104-105.
 BEHRINGER, W. (2012): Kulturgeschichte des Klimas. (3. Aufl.) – München.
 BEMMANN, A., IRSLINGER, R. & A. KENNETH (Hrsg.; 2022): Vom Glück der Ressource. – München.
 BENECKE, H.-G. (2015): Bis zu 13 km lange Nahrungsflechte des Weißstorchs (*Ciconia ciconia*). – Acta ornithocol. 8, H. 2, 113-120.
 BERND, D. (2019): Windindustrie versus Artenvielfalt. – Heppenheim.
 BETHGE, P. (2022): Grün-grünes Dilemma. – Spiegel Nr. 4, 104-105.
 BfN (2015): Artenschutzreport 2015. Tiere und Pflanzen in Deutschland. 64pp.
 BIEDERMANN, P. H. W. & M. H. KÄRCHER (2009): Wetterabhängigkeit der Aktivität und Flughöhe von Rauchschwalben *Hirundo rustica* Linnaeus 1758 und Mehlschwalben *Delichon urbicum* (Linnaeus 1758). – Egretta 50, 76-81.
 BIEHL, J., BULLING, L., GARTMANN, V., WEBER, J., DAHMEN, M., GEISSLER, G. & J. KÖPPEL (2017): Ver-

- meidungsmaßnahmen bei Planung, Bau und Betrieb von Windkraftanlagen. – Naturschutz u. Landschaftsplanung 49, H. 2, 63-72.
- BladeCleaning (2018): BladeCleaning – Limpezia de Palas, Quick Facts. Webseite aufgerufen 04.06.2019, http://www.blade-cleaning.com/problematika_EN.htm
- BLOHM, T., HEISE, G., HERMANN, U., MATTHES, H., POMMERANZ, H. & A. SCHMIDT (2001): Position zur Broschüre „Fledermäuse im Wald – Informationen und Empfehlungen für den Waldbewirtschaftler“. – Nyctalus (N. F.) Bd. 8, H. 1.
- BLUME, D. (1990): Die Bedeutung des Alt- und Totholzes für heimische Spechte – Folgerungen für die Forstwirtschaft. – In: Ökologische Bedeutung von Alt- und Totholz in Wald und Feldflur. – NZ NRW – Seminarberichte, H. 10, 4. Jg., 48-50.
- BMEI (2015): The forests in Germany. Selected results of the third national forest inventory. – Bonn 52pp
- BML (2015): Entdecke den Wald. – Bonn, 81.
- BOLDT, A. & S. HUMMEL (2013): Windenergieanlagen und Landschaft. Literaturübersicht und Situation in der Schweiz. – Bericht (unveröff.), Bern.
- BOLTE, A., EICHHORN, J. & J. BLOCK (2016): Nachhaltige Nutzung und Schutz von Wäldern und Waldböden. – In: WELLBROCK, N., BOLTE, A. & H. FLESSA (Hrsg.): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. – Thünen Rep. 43, 457-464.
- BOURIAUD, O., DON, A., JANSSENS, I. A., MARIN, G. & E.-D. SCHULZE (2019): Effects of forest management on biomass stocks in Romanian beech forests. – Forst Ecosystems DOI.org/10.1186/s40663-019-9180-4.
- BOURIAUD, O., MARIN, G., BOURIAUD, L., HESSEN-MÖLLER, D. & E.-D. SCHULZE (2016): Romanian legal management rules limit wood production in Norway spruce and beech forests. – Forst Ecosystems 3, 20.
- BRECHTEL, F. (1990): Zur Lebensweise und Bestandssituation holzbewohnender Wespenarten in Mitteleuropa und Konsequenzen für ihren Schutz. – In: Ökologische Bedeutung von Alt- und Totholz in Wald und Feldflur. – NZ NRW – Seminarberichte, H. 10, 4. Jg., 26-31.
- BRINKMANN, R. (2004): Welchen Einfluss haben Windkraftanlagen auf jagende und wandernde Fledermäuse in Baden-Württemberg? – Tagungsreihe der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg, Heft 15, „Windkraftanlagen – eine Bedrohung für Vögel und Fledermäuse?“. – Beitr. Naturk. Niedersachsens 65, 4-17.
- BÜCHNER, S., LANG, J., DIETZ, M., SCHULZ, B., EHLERS, S. & S. TEMPELWALD (2017): Berücksichtigung der Haselmaus (*Muscivora avellanaria*) beim Bau von Windenergieanlagen. – Natur u. Landschaft 92, H. 8, 365-374.
- BUER, F. (2012): Windräder töten Vögel und Fledermäuse, bringen Unfrieden ins Land, machen den Strom teuer und schaden der Wirtschaft. – Beitr. Naturk. Niedersachsens 65, 4-17.
- BULLING, L. & J. KÖPPEL (2017): „Adaptive Management“ in der Windenergieplanung. – Naturschutz u. Landschaftsplanung 49, H. 2, 73-79.
- Bundesamt für Naturschutz, BfN (2011): Windkraft über Wald. Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz. – Bonn. Bundesrepublik Deutschland (2003): Nationalatlas der Bundesrepublik Deutschland, Bd. 3: Natur und Umwelt II: Klima, Pflanzen, Tierwelt – Heidelberg.
- BURSE, K. (2018): 90 Jahre forstliche Standorterkundung in Thüringen (1927-2017). – Mitteilungsheft 36, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha.
- CHMARA, I. et al. (2001): Forstliches Umweltmonitoring in Thüringen. – Mitt. der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft H. 19, Gotha.
- CHURKIN, G., ORGANSCHI, A., REYER, C. P. O., RUFF, A., VINKE, K., LIU, Z., RECK, B. K., GRAEDEL, T. E. & H. J. SCHELLNHUBER (2020): Buildings as a global carbon sink. – In: Nature Sustainability 3, 269-276.
- CZYBULKA, D. & W. KÖCK (Hrsg.; 2022): Forstwirtschaft und Biodiversitätsschutz im Wald. – Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden.
- DANELZIK, M. & A. PLANK (2019): Fachdialog (Konsultationsphase) zur Qualitätssicherung von Fledermausgutachten für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen. – BfN-Skripten 533, Bonn-Bad Godesberg.
- DERKS, J., GIESSEN, L. & G. WINKEL (2020) COVID-19-induced visitor boom reveals the importance of forests as critical infrastructure. – Forest Policy and Economics 118, 102253, 1-5.
- DEUTZ, A. & V. GRÜNSCHACHNER-BERGER (2006): Birkhahnverluste im Bereich einer Windkraftanlage. – Anblick H. 1, 16-17.
- DIETZ, M. (2007): Ergebnisse fledermauskundlicher Untersuchungen in hessischen Naturwaldreservaten. – Mitt. Hess. Landesforstverwaltung Bd. 43.
- DIETZ, M. (2010): Fledermäuse als Leit- und Zielarten für Naturwald orientierte Waldbaukonzepte. – Forstarchiv 81, H. 2, 69-75.
- DÖRFLER, D. (2008): Windenergie und Vögel – Nahrungsflächenmonitoring des Fehrer Weißstorchbrutpaares im zweiten Jahr nach Errichtung der Windkraftanlagen. – In: KAAZ, C. & M. KAAZT (Hrsg.): 3. Jubiläumsband Weißstorch. – Loburg, 278-283.
- DORKA, V., STRAUB, F. & J. TRAUTNER (2014): Windkraft über Wald – kritisch für die Waldschneepfenbalz? Erkenntnisse aus einer Fallstudie in Baden-Württemberg (Nordschwarzwald). – Naturschutz Landschaftsplanung 46, 69-78.
- DÜRR, T. & T. LANGGEMACH (2006): Greifvögel als Opfer von Windkraftanlagen. – Populationsökologie Greifvögel und Eulenarten 5, 483-490.
- DÜRR, T. (2002): Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. – Nyctalus (N. F.) Bd. 8, H. 2, 115-118.
- DÜRR, T. (2009): Zur Gefährdung des Rotmilans *Milvus milvus* durch Windenergieanlagen in Deutschland. – Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen (29) 3, 185-191.
- DÜRR, T. (2011): Vogelverluste an Windradmasten. – Falke 58, 499-501.
- EDELMANN, P., AMBARLI, D., GOSSNER, M. M., SCHALL, P., AMMER, C., WENDE, B., SCHULZE, E.-D., WEISSER, W. W. & S. SEIBOLD (2022): Forest management affects saproxylic beetles through tree species composition and canopy cover. – Forest Ecology and Management 524, 120532.
- EDELMANN, P., WEISSER, W. W., AMBARLI, D., BÄSSLER, C., BUSCOT, F., HOFRICHTER, M., HOPPE, B., KELLNER, H., MINNICH, C., MOLL, J., PERSO, D., DEIBOLD, S., SEILWINDER, C., SCHULZE, E.-D., WÖLLAUER, S. & W. BORKEN (2023) Regional variation in deadwood decay of 13 tree species: Effects of climate, soil and forest structure. – Forest ecology and Management 541, 121094.
- ELLERBROK, J. S., DELUS, A., PETER, F., FARWIG, N. & C. C. VOIGT (2022): Activity of forest specialist bats decreases towards wind turbines at forest sites. – J. Appl. Ecol. 001-10.
- EPPEL, W. (2021): Windkraftindustrie und Naturschutz. – Nordstedt.
- ETSCHERT, G. (Hrsg.; 2016): Geopferte Landschaften. – München.
- European Parliament (2021): EU Biodiversity strategy for 2030: Bringing nature back to lives. – EU-Document P9_TA (2021) 0277, 43pp.
- FABBENDER, K. & A. BRADE (2022): Die jüngsten Rechtssetzungsaktivitäten auf EU- und Bundesebene zur Beschleunigung des Ausbaus der Windenergie an Land. – Nu R 44, 813-817.
- FEIL, P., NEITZEL, C., SEINTSCH, B. & M. DIETER (2018) Privateigentümer und gesellschaftliche Ansprüche. – AFZ-Der Wald 5/2018, 24-27.
- FIRBAS, F. (1949): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte nördlich der Alpen, 1. Band: Allgemeine Waldgeschichte. – Jena.
- FLADE, M. (2012): Von der Energiewende zum Biodiversitäts-Desaster – zur Lage des Vogelschutzes in Deutschland. – Vogelwelt 133, 149-158.
- FLECKENSTEIN, K. (Hrsg.; 1996): Aktuelle Probleme der Wirtschaft in Deutschland. – Essen.
- Forest Europe (2015): State of Europe's Forests. – Madrid.
- FRANK, R. & M. DIETZ (1999): Fledermäuse im Lebensraum Wald. – Schr. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Merkblatt 37.
- FRITZE, M., LEHNERT, L. S., HEIM, O., LINDECKE, O., ROEHLKE, M. & C. C. VOIGT (2019): Fledermausschutz im Schatten der Windenergie – Naturschutz u. Landschaftsplanung 51, H. 1, 20-27.
- GÄTTER, W. (1981): Insektenwanderungen. – Greven.
- GERKEN, B. & M. GÖRNER (2012): Naturschutz und Landschaftsentwicklung. Über große Weideterie, Biodiversität, Naturschutzpraxis und Naturverständnis. – Artenschutzreport 28, 1-42.
- GLASER, R. (2013): Klimageschichte Mitteleuropas. (3. Aufl.) – Darmstadt.
- GLUTZ von BLOTZHEIM, U. N. (Hrsg.; 1980): Handbuch der Vögel Mitteleuropas (Bd. 9). – Wiesbaden.
- GÖRNER, M. (2008): Uhu (*Bubo bubo*) und Windkraftanlage. – Acta ornithologica 6, H. 2/3, 157-159.
- GÖRNER, M. (2016): Zur Ökologie des Uhus (*Bubo bubo*) in Thüringen. Eine Langzeitstudie. – Acta ornithologica 8, H. 3-4, 146-320.
- GÖRNER, M. (2023): Historische und juristische Leistungen der Jagd und des Naturschutzes in Deutschland. – Artenschutzreport 48, 39-48.
- GÖRNER, M. & H.-D. PFANNENSTIEL (2022): Windkraft- und Photovoltaikanlagen aus der Sicht des Artenschutzes auf dem Prüfstand. – Artenschutzreport 47, 59-64.
- GOSSNER, M. M., WENDE, B., LEVICK, S., SCHALL, P., FLOREN, A., LINSSENMAIR, K. E., STEFFAN-DEWENTER, I., SCHULZE, E.-D. & W. WEISSER (2016): Deadwood enrichment in European forests. Which tree species should be used to promote saproxylic beetle diversity? – Biological Conservation 201, 92-102.
- GRANDE, C. (2018): Unterscheidet sich das Kollisionsrisiko von Rohrweihen an Windenergieanlagen zwischen Männchen und Weibchen? – Vogelwarte 56, H. 4, 398-399.
- GRIMM, J. & W. GRIMM (ohne Jahr): Deutsches Wörterbuch, Bd. 16, Sp. 1540: Sommerlatte.
- GRÜNKORN, T. & J. WELCKER (2018): Flugweise des Uhus an Windkraftanlagen. – Vogelwarte 56, H. 4, 390.
- GRÜNKORN, T., DIEDERICHS, A., POSZIG, D., DIEDERICHS, B. & G. NEHLS (2009): Wie viele Vögel kollidieren mit Windenergieanlagen? – Natur u. Landschaft 84, H. 7, 309-314.
- GRÜNSCHACHNER-BERGER, V. & M. KAINER (2011): Birkhühner *Tetrao tetrix* (Linnaeus 1758): Ein Leben zwischen Windrädern und Schilfen. – Egretta 52, 46-54.
- GRUTTKE, H., LUDWIG, G., SCHNITTLER, M., BINOT-HAFKE, M., FRITZLAR, F., KUHN, J., ASSMANN, T., BRUNKEN, H., DENZ, O., DETZEL, P., HENLE, K., KUHLMANN, M., LAUFER, H., MATERN, A., MEINIG, H., MÜLLER-MOTZFELD, G., SCHÜTZ, P., VOITH, J. & E. WELK (2004): Memorandum: Verantwortlichkeit Deutschlands für die weltweite Erhaltung von Arten. – In: GRUTTKE, H. (Bearb.): Ermittlung der Verantwortlichkeit für die Erhaltung mitteleuropäischer Arten. – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 8, 273-280.
- GÜNTHER, A., SCHULZE, E.-D., PURAHONG, W., GMINDER, A., TANUNCHAI, B., SCHNEIDER, H., GOSSNER, M. M. & F. BUSCOT (2022) Artenvielfalt und Schutz der Großpilze: Die Bedeutung stadtnaher Wälder für den Artenschutz. – Artenschutzreport 46/2022, 1-11
- GÜTTINGER, R. (1997): Jagdhabitate des Grossen Mausohrs (*Myotis myotis*) in der modernen Kulturlandschaft. – Schriftenreihe Umwelt Nr. 288 (BUWAL). – Bern.
- HAENSEL, J. (2005): Fledermauskundliches Gutachten zur Errichtung von Windkraftanlagen im geplanten Windpark Hillmersdorf.
- HAFNER, A. & S. SCHÄFER (2017): Comparative LCA study of different timber and mineral buildings and calculation method for substitution factors on building level. – In: Journal of Cleaner Production 167, 630-642.
- HAGEN, H.-H. von & H. WOLF (2002): Droht uns eine Bestäubungskrise? – Inform. Naturschutz Niedersachs. 22, Nr. 3, 1-5.
- HANDKE, K. (2000): Vögel und Windkraft im Nordwesten Deutschlands. – LÖBF-Mitt. 2, 47-55.
- HANDKE, K., ADENA, J., HANDKE, P. & M. SPRÖTGE (2004a): Räumliche Verteilung ausgewählter Brut- und Rastvogelarten in Bezug auf vorhandene Windenergieanlagen in einem Bereich der küstennahen Krummhörn (Groothusen/Ostfriesland). – Bremer Beitr. Naturkunde Naturschutz 7, 11-46.
- HANDKE, K., ADENA, J., HANDKE, P. & M. SPRÖTGE (2004b): Einfluss von Windenergieanlagen auf die Verteilung ausgewählter Brut- und Rastvogelarten in einem Bereich der Krummhörn (Jennelt/Ostfriesland). – Bremer Beitr. Naturkunde Naturschutz 7, 47-59.
- HEINRICHS, S., AMMER, C., MUND, M., BOCH, S., BUDE, S., FISCHER, M., MÜLLER, J., SCHÖNING, I., SCHULZE, E.-D., SCHMIDT, W., WECKESSER, M. & P. SCHALL (2019): Landscape-scale mixtures of tree species are more effective than stand-scale mixtures for biodiversity of vascular plants, bryophytes and lichens. – Forests 10, 73 DOI 10.3390/f10010073.
- HEISE, G. & T. BLOHM (2004): Zum Migrationsverhalten uckermärkischer Abendsegler (*Nyctalus noctula*). – Nyctalus 9, H. 3, 249-258.
- HEIß, G. (1990): Notwendigkeiten und Bedeutung von Waldschutzgebieten für Arten- und Ökosystemschutz unter besonderer Berücksichtigung von Altholz- und Totholzökosystemen. – In: Ökologische Bedeutung von Alt- und Totholz in Wald und Feldflur. – NZ NRW – Seminarberichte, H. 10, 4. Jg., 62-67.
- HENNIG, F. (2021): Klima-Dämmung. – München.
- HENNING, F.-W. (1994): Deutsche Agrargeschichte des Mittelalters – 9.-15. Jahrhundert. – Stuttgart.
- HENSEN, F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. – Nyctalus (N. F.) Bd. 9, H. 5, 427-435.
- HERMES, B. (1995): Untersuchungen über Jagdgebiete und potentielle Quartiere von Fledermäusen im Forstbezirk Rumbeck als Beitrag zum Fledermausschutz. – Diplomarb. FH Hildesheim / Holzminnen (unveröff.).
- HIEKEL, W. et al. (2004): Die Naturräume Thüringens. Naturschutzreport, H. 21. – Jena.
- HOFMANN, G. (1990): Zur Ökologie der thüringischen Waldner. – Mitt. Thür. Forstverein 1/1990.
- HOFMANN, R. R. (2012): Über Wechselwirkungen von Wald und Wild – eine uralte Geschichte der Ko-Evolution. – Artenschutzreport 28, 42-50.
- HÖGBERG, P. (2021): Sustainable boreal forest management. – IBFRA, Swedish Forest Agency, ISBN 978-91-986197-3-6, 59 pp.
- HOLTSMARK, B. (2012): Harvesting in boreal forest and the biofuel carbon debt. – Climate Change 112, 415-428.
- Holz-Zentralblatt (2023): Müssen uns auf ein höheres Brandrisiko einstellen. – Ausgabe vom 17. März 2023, 166.
- HÖTKER, H., KRONE, O. & G. NEHLS (2013): Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge. – Schlussbericht Gutachten (unveröff.). – Bergenhusen, Husum, Berlin.
- HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORST, W. & R. BRINKMANN (Hrsg.; 2016): Fledermaus und Windkraft im Wald. – Naturschutz u. Biol. Vielfalt H. 153. – Bonn-Bad Godesberg.
- HUTH, E. & J. THIELE (2018): Windenergieanlagen als Teil unserer heutigen Kulturlandschaft. – Naturschutz u. Landschaftsplanung 50, H. 6, 192-199.
- IPCC-SRREN (2011): Special report on renewable energy. – 246 pp.
- IRSLINGER, R. (2022a): Waldlandschaften für Klimaschutz: Fossile Emissionen vermeiden, anstatt sie in Wäldern zu speichern. – In: BEMMANN, A., IRSLINGER, R. & K. ANDERS (Hrsg.): Vom Glück der Ressource: Wald und Forstwirtschaft im 21. Jahrhundert. – München, 174-191. <https://www.oekom.de/files/media/titel/leseproben/9783962383626.pdf>; zuletzt aufgerufen am 29.6.2023].
- IRSLINGER, R. (2022b): Waldlandschaften in der Klimakrise: Risikopatient und Problemlöser zugleich. – Artenschutzreport 46, 26-52.
- JAEHNE, S. (2018): Vogelschutz und Windenergie im Wald. – Landschaftspfl. Naturschutz Thür. 55, H. 4, 171-174.
- JOHNSON, C. G. (1969): Migration and dispersal of insects by flight. – London.
- JONSCHER, R. (1993): Kleine thüringische Geschichte. – Jena.
- JÜDES, U. (1989): Erfassung von Fledermäusen im Freiland mittels Ultraschall-Detektor. – Myotis 27.
- JÜDES, U. (1990): Habitatgefüge und Habitatwahl der Wald-fledermäuse – Folgerungen für die Forstwirtschaft. – In:

- Ökologische Bedeutung von Alt- und Totholz in Wald und Feldflur. – NZ NRW – Seminarberichte, H. 10, 4. Jg., 54-56.
- KAHL, T., ARNSTADT, T., BABER, K., BÄSSLER, C., BAUHUS, J., BORKEN, W., BUSCOT, F., FLOREN, A., HEIBL, C., HESSENMÖLLER, D., HOFRICHTER, M., HOPPE, B., KELLNER, H., KRÜGER, D., LINSSENMAIR, K. E., MATZNER, E., OTTO, P., PURAHONG, W., SEILWINDER, C., SCHULZE, E.-D., WENDE, B., WEISSER, W. W. & M. M. GOSSNER (2017): Wood decay rates of 13 temperate tree species in relation to wood properties, enzyme activities and organismic diversity. – *Forest Ecology and Management* 391, 86-95.
- KAISER, M., KIEL, E.-F. & P. FEST (2014): Leitfaden hilft Windenergieanlagen artenschutzgerecht zu planen. – *Natur NRW* Nr. 2, 23-26.
- KAUPPI, P. E., STAAL, G., ARNESSON-CEDER, L., HALLBERG SRAMEK, I., HOEN, H. F., SVENSSON, A., WENICK, I. K., HÖGBERG, P., LUNDMARK, T. & A. NORDIN (2022): Managing existing forests can mitigate climate change. – *Forest Ecology and Management* 513, 120186.
- KAYSER, R. (2017): Windkraft und Greifvögel – eine Übersicht zu aktuellen Problemen. – *Orn. Mitt.* 69, Nr. 7/8, 205-230.
- KEITH, H., MACKAY, B.G. & D. B. LINDENMAYER (2009): Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(28), 11635-11640.
- KNAUF, M. (2022) Wildnis in Deutschland? Eine Frage der Ethik – nicht des Arten- und Klimaschutzes. – In: BEMMANN, A., IRSLINGER, R. & K. ANDERS (Hrsg.): Vom Glück der Ressource: Wald und Forstwirtschaft im 21. Jahrhundert. – München, 307-316.
- KNE (2022): Synopse – Detektionssysteme zur ereignisbezogenen Abschaltung von Windenergieanlagen zum Schutz von tagaktiven Brutvögeln. 3. Fortschreibung. – Berlin.
- KÖNIG, H. & W. KÖNIG: Funde beringter Abendsegler (*Nyctalus noctula* Schreber, 1774) in der Pfalz (Mammalia: Chiroptera). – *Fauna u. Flora Rheinland-Pfalz* 13, H. 3, 549-558.
- KÖPPEL, J., BIEHL, J., SPRONDEL, N., BITTNER, A. & V. WACHENDÖRFER (2018): Umwelt- und sozialverträgliche Windenergieentwicklung. – *Naturschutz u. Landschaftsplanung* 50, H. 9, 330-339.
- KÖRNER, C. (2017): Carbon sequestration: a matter of tree longevity. – *Science* 355, 130-131.
- KORPEL, S. (1995): Die Urwälder der Westkarpaten. – Stuttgart.
- KRAFT, M. (2017): Mitten durch, und dann peng! – *Vögel* H. 1, Nr. 44, 50-53.
- KRAFT, M. (2019): Fehlerhafte Methodik. – *Vögel* H. 1, 78-79.
- KÜSTER, H. (2008): Geschichte des Waldes. (2. Aufl.) – München.
- KUWECZKA, L. F., MITTERWALLNER, V., AUDORFF, V. & M. G. STEIGBAUER (2023): Ecological impacts of (electrically assisted) Mountainbiking. – *Global Ecology and Conservation* 44:e02475.
- Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW) (2014): Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu den bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten. – *Ber. Vogelschutz* H. 51, 15-42.
- LANGER, G., BUSSKAMP, J. & E. J. LANGER (2020): Absterbeerscheinungen bei Rotbuche durch Trockenheit und Wärme. – *AFZ-DerWald* 75(4), 24-27.
- LARCHER, W. (2003): *Physiological Plant Ecology*. – Heidelberg 513 pp.
- LEHNERT, L. S., KRAMER-SCHADT, S., SCHÖNBORN, S., LINDECKE, O., NIERMANN, I. & C. VOIGT (2014): Wind farm facilities in Germany kill noctule bats from near and far. – *PLoS One* 9: e103106.
- LENGEFELD, C. C. v. (1745): Den Verlohrnen = Werth derer Jagd- und Forst-Wissenschaften Anno M.D.C.C.VL: Thüringisches Staatsarchiv Rudolstadt, Akte A VIII 4d, Nr. 20.
- LESSENICH, S. (2018): Neben uns die Sintflut: Wie wir auf Kosten anderer leben. – München.
- LINDEINER, A. VON (2012): Windkraft. Nachhaltige Energiegewinnung – unter Berücksichtigung des Artenschutzes. – *Vogelschutz* H. 3, 8-11.
- LINDEMANN, C., RUNKEL, V., KIEFER, A., LUKAS, A. & M. VEITH (2018): Abschaltalgorithmen für Fledermäuse an Windenergieanlagen. – *Naturschutz u. Landschaftsplanung* 50, H. 11, 418-425.
- LUHMANN, H. J. (2006): Kohlenstoffsenken: Alibi oder realer Beitrag zum Klimaschutz? – Vortrag, Michael Otto Stiftung, Hamburger Gespräche für Naturschutz.
- LÜNING, J. et al. (1997): Deutsche Agrargeschichte. Vor- und Frühgeschichte. – Stuttgart.
- MANTEL, K. (1990): Wald und Forst in der Geschichte. – Alfeld – Hannover.
- MCDOWELL, N. G. & C. D. ALLEN (2015): Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. – *Nature Climate Change* 5, 669-672.
- MCGINLAY, J., GKOUMAS, V., HOLTVOETH, J. et al. (2020): The Impact of COVID-19 on the management of European protected areas and policy implications. – *Forests* 11, 1214, 15pp.
- MEINIG, T. (2015): Phänologie und Verhalten flugaktiver Großer Abendsegler *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774) im südlichen Niedersachsen in den Jahren 2000 bis 2014. – *Säugetierkd. Informationen* 9, H. 49, 403-428.
- MELBER, M., HERMANN, U. & C. C. VOIGT (2023): Fledermausschutz an Windkraftanlagen. – *Naturschutz u. Landschaftsplanung* 55, H. 3, 30-37.
- MESCHÉDE, A. & K.-G. HELLER (2000): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern. – *Schriften: Landschaftspflege u. Naturschutz* 66.
- MESCHÉDE, A., SCHORCHT, W., KARST, J., BIEDERMANN, M., FUCHS, D. & F. BONTADINA (2017): Wanderrouten der Fledermäuse. – *BfN-Skripten* 453, Bonn-Bad Godesberg.
- MILLAR, C. I. & N. L. STEPHENSON (2015): Temperate forest health in an era of emerging megadisturbance. – *Science* 349, 823-826.
- MILNIK, A. & V. HEYDE (1998): In Verantwortung für den Wald. – Potsdam. Brandenburgisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- MIOGSA, O., BÄUMER, S., GERDES, S., KRÄMER, D., LUDESCHER, F.-B. & R. VOHWINKEL (2019): Telemetriestudien am Uhu. – *Natur NRW* 44, Nr. 1, 36-40.
- MÖCKEL, R. & T. WIESNER (2007): Zur Wirkung von Windkraftanlagen auf Brut- und Gastvögel in der Niederlausitz (Land Brandenburg). – *Otis* 15 (Sonderheft), 1-133.
- MORSE, J. W., GLADKIKH, T. M., HACKENBURG, D. M. & R. K. GOULD (2020) COVID-19 and human-nature relationships: Vermonters' activities in nature and associated nonmaterial values during the pandemic. – *PLoS One* December 11, 2020, 1-23.
- NABUURS, G. J., DELACOTE, P., ELLISON, D., HANEWINKEL, M., HETEMÄKI, L. & M. LINDNER (2017): By 2050 the Mitigation Effects of EU Forests Could Nearly Double through Climate Smart Forestry. – *Forests* 8, 484-498.
- NACHTIGALL, W., STUBBE, M. & S. HERRMANN (2010): Aktionsraum und Habitatnutzung des Rotmilans (*Milvus milvus*) während der Brutzeit – eine telemetrische Studie im Nordharzvorland. – *Vogel u. Umwelt* 18, 25-61.
- NAGEL, R., MEYER, P., BLASCHKE, M. & E. FELDMANN (2023) Smart forest protection: A meaningful contribution to Climate-smart Forestry? An evaluation of temporal trends in the carbon balance of unmanaged forests in Germany. – *Frontiers in Forests and Global Change*. DOI 1203389/ffgc.2023.1099558.
- Naturkapital Deutschland (2008): Werte der Natur aufzeigen und in Entscheidungen integrieren – eine Synthese. – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, UFZ Leipzig, 134pp.
- NICOLAI, B. (2017): Kolkrahe *Corvus corax* brütet unter Windenergieanlagen. – *Apus* 22, 75-80.
- NIEMEYER-LÜLLWITZ, A. & B. KÖNIGS (2012): Artenschutz beim Ausbau der Windenergie berücksichtigen. – *Natur NRW* Nr. 4, 13-14.
- Norddeutsche Naturschutzakademie (Hrsg.; 1990): Biologisch-ökologische Begleituntersuchungen zum Bau und Betrieb von Windkraftanlagen. – *NNA-Ber.* 3. Jg., Sonderheft.
- NORD-LARSEN, T., VESTERDA, L., BENTSEN, N. S. & J. B. LARSEN (2019): Ecosystem carbon stocks and their temporal resilience in a semi-natural beech-dominated forest. – *Forest Ecology and Management*, 447, 67-76.
- OPIITZ, S., REPPIN, N., SCHOOF, N., DROBNIK, J., FINCK, P., RIECKEN, U., MENGEL, A., REIF, A. & G. ROSENTHAL (2015) Wilderness in Germany. – *Natur und Landschaft* 90, 406-412.
- PATZE, H. & W. SCHLESINGER (1973/1974): Geschichte Thüringens – Hohes und spätes Mittelalter. – Köln Wien.
- PATZE, H. (1962): Die Entstehung der Landesherrschaft in Thüringen. – Köln Graz.
- PAUL, T., KIMBERLEY, M. O. & P. N. BEETS (2021) Natural forests in New Zealand – a large terrestrial carbon pool in a national state of equilibrium. – *Forest Ecosystems* 8, 34.
- PFALZER, G. (2017): Der Kleine Abendsegler (*Nyctalus leisleri* KUHL., 1817) in der Pfalz – ein Opfer der Windenergie? (Mammalia: Chiroptera). – *Fauna Flora Rheinland-Pfalz* 13, H. 3, 761-777.
- PORSTENDÖRFER, D. (1994): Aktionsraum und Habitatnutzung beim Rotmilan *Milvus milvus* in Süd-Niedersachsen. – *Vogelwelt* 115, 293-298.
- PRESSLER, M. R. (1858/1885): Der rationelle Waldwirth und sein Waldbau des höchsten Ertrages. – *Schriftenreihe Dresden*. Bei Tuerk.
- PRETZSCH, H. (2022) Sie wächst und wächst und wächst. Fakten zum Wachstum der Buche. – *LWF-Wissen*. Beiträge zur Rotbuche. Berichte der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 25-35.
- PRÖBSTL, U., WIRTH, V., ELANDS, B. & S. BELL (2010) Management of recreation and nature-based tourism in European forests. – Heidelberg, 336 pp.
- PROFFIT, I., MUND, M., WEBER, G.-E., WELLER, E. & E.-D. SCHULZE (2009): Forest management and carbon sequestration in woody products. – *Eur. J. Forest Res.* 128, 399-413.
- PURAHONG, W., WUBELT, T., LENTENDU, G., HOPPE, B., JARIYAVIDYANONT, K., ARNSTADT, T., BABER, K., OTTO, P., KELLNER, H., HOFRICHTER, M., BAUHUS, J., WEISSER, W. W., KRÜGER, D., SCHULZE, E.-D., KAHL, T. F. BUSCOT (2018) Determinants of deadwood-inhabiting fungal communities in temperate forests: Molecular evidence from a largescale deadwood decomposition experiment. – *Frontiers in Microbiology* 9, article 2120.
- RABANSER, N. (2009): Windkraft im Wald: Rücken- oder Gegenwind? – *Unser Wald* H. 4, 21-22.
- REICHENBACH, M. & H. STEINBORN (2006): Windkraft, Vögel, Lebensräume – Ergebnisse einer fünfjährigen BACI-Studie zum Einfluss von Windkraftanlagen und Habitatparametern auf Wiesenvögel. – *Osnabrücker Naturwiss. Mitt.* 32, 243-259.
- REICHENBACH, M., HANDKE, K. & F. SINNING (2004): Der Stand des Wissens zur Empfindlichkeit von Vogelarten gegenüber Störungswirkungen von Windenergieanlagen. – *Bremer Beitr. Naturkunde Naturschutz* 7, 229-243.
- REINHARDT, K. (2018): Sind aktuelle Zahlen zur Abnahme der Biomasse fliegender Insekten falsch? – *Entomol. Nachrichten* u. Ber. 62, 33-36.
- RICE, W. L., MATEER, T. J., REIGNER, N., NEWMAN, P., LAWHON, B. & B. D. TAFF (2020) Changes in recreational behavior of outdoor enthusiasts during COVID-19 pandemic: analysis across urban and rural communities. – *J. of Urban Ecology*, 2020, 1-7.
- RICHARZ, K. (2014): *Energiewende und Naturschutz*. Windenergie im Lebensraum Wald. – Deutsche Wildtier Stiftung. – Hamburg.
- RICHERT, A. (2019): Ein Beitrag zum Thema „Insekten-schwund“: Anflugzahlen ausgewählter häufiger und allgemein verbreiteter Nachtfalterarten (Lepidoptera) bei regelmäßigen Hauslichtfängen im Eberswalder Tal (Nordostbrandenburg) in verschiedenen Zeiträumen (1963-1972 und 2009-2018) – *Entomol. Nachrichten* u. Ber. 63, 23-28.
- RÜTER, S. (2023): Abschätzung von Substitutionspotentialen der Holznutzung und ihre Bedeutung im Kontext der Treibhausgas-Berichterstattung. – Thünen Working Paper 214.
- SCHABER, R. & F. HASELHUHN (1944): Kurzer Überblick über die forstlichen Verhältnisse Thüringens. – *Manuskript-Nachdruck*. – *Mitt. Thür. Forstverein*. Sonderdruck 1997.
- SCHALL, P., GOSSNER, M. M., HEINRICHS, S., FISCHER, M., BOCH, S., PRATI, D., JUNG, K., BAUMGARTNER, V., BLASER, S., BÖHM, S., BUSCOT, F., DANIEL, R., GOLDMANN, K., KAISER, K., KAHL, T., LANGE, M., MÜLLER, J., OVERMANN, J., RENNER, S. C., SCHULZE, E.-D., SIKORSKI, J., TSCHAPKA, M., TÜRKE, M., WEISSER, W. W., WERNHEUER, B., WUBET, T. & C. AMMER (2018): The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. – *J Applied Ecology* 55, 267-278.
- SCHELHAAS, M. J., NABUURS, G. J. & A. SCHUCK (2003) Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. – *Global Change Biology* 9, 1620-1633.
- SHELLER, W. (2007): Standortwahl von Windenergieanlagen und Auswirkungen auf die Schreiadlerbrutplätze in Mecklenburg-Vorpommern. – *Naturschutzarb. Mecklenburg-Vorp.* 50 (2), 12-22.
- SHELLER, W. & F. VÖKLER (2007): Zur Brutplatzwahl von Kranich *Grus grus* und Rohrweihe *Circus aeruginosus* in Abhängigkeit von Windenergieanlagen. – *Ornithol. Rundbr. Meckl.-Vorp.* 46, 1-24.
- SCHERBER, C., EISENHAUER, N., WEISSER, W., SCHMID, B., VOIGT, W., FISCHER, M., SCHULZE, E.-D., ROSCHER, C., WEIGELT, A., ALLAN, E., BESSLER, H., BONKOWSKI, M., BUCHMANN, N., BUSCOT, C., CLEMENT, L. W., EBELING, A., ENGELS, C., HALLE, S., KERTSCHER, I., KLEIN, A. M., KOLLER, R., KOENIG, S., KOWALSKI, E., KUMMER, V., KUU, A., LANGE, M., LAUTERBACH, D., MITTELHOFF, C., MIGUNOVA, V. D., MILCU, A., MUELLER, R., PARTSCH, S., PETERMANN, J. S., RENKER, C., ROTTSTOCK, T., SABAI, A., SCHEU, S., SCHUMACHER, J., TEMPERTON, V. M. & T. TSCHARNE (2010a): Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. – *Nature* 468, 553-556.
- SCHERBER, C., MWANGI, P. N., SCHMITZ, M., SCHERRER-LORENZEN, M., BESSLER, H., ENGELS, C., EISENHAUER, N., MIGUNOVA, V. D., SCHEU, S., WEISSER, W., SCHULZE, E.-D. & B. SCHMID (2010b) Biodiversity and belowground interactions mediate community invasion resistance against a tall herb invader. *J Plant Ecology* DOI: 10.1093/jpe/rtq003.
- SCHERZINGER, W. (1996): *Naturschutz im Wald*. – Stuttgart.
- SCHLESINGER, W. H., PALMER WINKLER, J. & J. P. MEGONIGAL (2009): Soils and the Global Carbon Cycle. – In: WIGLEY, T. M. L. & D. S. SCHIMMEL (eds.). *The carbon cycle*. – Cambridge University Press. [https://doi.org/10.1017/CBO9780511573095; zuletzt aufgerufen am 29.6.2023].
- SCHMAL, G. (2015): Empfindlichkeit von Waldschnepfen gegenüber Windkraftanlagen. – *Naturschutz Landschaftsplanung* 47, 43-48.
- SCHNEIDER, H. (2013): Der Stand der palynologischen Forschung in Thüringen vor dem Hintergrund der Buchenausbreitung und deren Ursachen. – *Artenschutzreport* H. 32, 44-48.
- SCHÖLLER, J. (2023): Waldschnepfen und die Windkraft. – *Falke* 70, H. 1, 7-11.
- SCHOLZ, C., IITERMANN, L., BRUNKOW, N. & C. C. VOIGT (2023): Fledermausschutz – Fehlende Betriebssteuerungen können an alten Windenergieanlagen hohe Schlagopferzahlen bei Fledermäusen verursachen. – *Naturschutz u. Landschaftsplanung* 55, H. 8, 28-33.
- SCHOPPENHORST, A. (2004): Graureiher und Windkraftanlagen. Ergebnisse einer Fallstudie in der Ochtumniederung bei Delmenhorst. – *Bremer Beitr. Naturkunde Naturschutz* 7, 151-156.
- SCHREIBER, M. (2017): Abschaltzeiten für Windkraftanlagen zur Reduzierung von Vogelkollisionen. – *Naturschutz u. Landschaftsplanung* 49, H. 3, 101-109.
- SCHREIBER, A., ELMER, W. & G. ERLBECK (1996): Die Orkankatastrophe und die Borkenkäferkalamität im Thüringer Wald 1946-1954. – *Mitt. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft* Gotha. Sonderdruck.
- SCHRETZENMAYER, M. et al. (1973): *Der Wald*. – Leipzig Jena Berlin.
- SCHRÖDER, W. (1979): Die Tiere des Waldes – Glieder im Ökosystem. – In: *Rettet den Wald*. – München.
- SCHUBERT, R. und Mitarbeiter (Hrsg.; 1984): *Lehrbuch der Ökologie*. – Jena.

- SCHULIN, R., MEYER, C. & P. LÜSCHER (2013): Bodenverdichtung und Bodenstruktur. – WSL Ber., Forum Wissen H. 6, 45-46. – Birmensdorf.
- SCHULZE, E.-D. (2022): Biologische Vielfalt und Naturschutz im Wald. – In: BEMMANN, A., IRSLINGER, R. & K. ANDERS (Hrsg.): Vom Glück der Ressource: Wald und Forstwirtschaft im 21. Jahrhundert. – München, 243-256.
- SCHULZE, E.-D. & C. AMMER (2015) Konflikte um eine nachhaltige Entwicklung der Biodiversität: Spannungsfeld Naturschutz und Forstwirtschaft. – BIUZ 45, 304-314.
- SCHULZE, E.-D. & G. W. GRIMM (2022): Alles Bastarde: Die Buche, ein eurasisches Art-Mosaik. – BIUZ DOI 10.11576/biuz-5864.
- SCHULZE, E.-D., LUYSSAERT, S., CIAIS, P., FREIBAUER, A., JANNSENS, I. A., SOUSSANA, J. F., GRACE, J., LEVIN, I., THIRUCHITTAMPALAM, B., HEIMANN, M., DOLMAN, A. J., VALENTINI, R., BOUSQUET, P., PEYLIN, P., PETERS, W., RÖDENBECK, C., ETIOPE, G., VUICHARD, N., WÄTTENBACH, M., NABUURS, G. J., POUSSI, Z., NIESCHULZE, J. & J. H. GACH (2009): Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance. – Nature Geoscience 2, 842-850.
- SCHULZE, E.-D., AAS, G., GRIMM, G. W., GOSSNER, M. M., WALENTOWSKI, H., AMMER, C., KÜHN, I., BOURIAUD, O. & K. v. GADOW (2015): A review on plant diversity and forest management of European beech forest. – European Journal of Forest 135, 51-67.
- SCHULZE, E.-D., BOURIAUD, L. & D. HESSENMOELLER (2016): Wald vor Wild oder Wild vor Wald. Problematik der Wildschäden. – Bündener Wald 69, 5-11.
- SCHULZE, E.-D., STUPAK, I. & D. HESSENMÖLLER (2019a): The climate mitigation potential of managed versus unmanaged spruce and beech forest in Central Europe. – In: PIREZ, J. (ed.): Bioenergy with Carbon Capture and Storage. – Elsevier, Amsterdam, in press.
- SCHULZE, E.-D., BECK, E., BUCHMANN, N., CLEMENS, S., MÜLLER-HOHENSTEIN, K. & M. SCHERER-LORENZEN (2019b): Plant Ecology, 2nd edition. – Heidelberg 926pp.
- SCHULZE, E.-D., CRAVEN, D., DURSO, A., REIF, J., GUDERLE, M., KROIHER, F., HENNIG, P., WEISERBS, A., SCHALL, P., AMMER, C. & N. EISENHAUER (2019c): Positive association between forest management, environmental change, and bird abundance. – Forst Ecosystems DOI: 10.1186/s40663-019-0160-8.
- SCHULZE, E.-D., ROCK, J., KROIHER, F., EGENOLF, V., WELLBROCK, N., IRSLINGER, R., BOLTE, A. & H. SPELLMANN (2021): Klimaschutz mit Wald: Speicherung von Kohlenstoff im Ökosystem und Substitution fossiler Brennstoffe. – Biol. Unserer Zeit 51(1), 46-54.
- SCHULZE, E.-D., BOURIAUD, O., IRSLINGER, R. & R. VALENTINI (2022): The role of wood-harvest from sustainably managed forests in the carbon cycle. – In: Annals of Forest Science 79(17), 13 pp. [https://annfor.sciencedirect.com/articles/10.1186/s13595-022-01127-x; zuletzt aufgerufen am 29.6.2023].
- SCHWARZ, A. (2005): Wald in Gefahr: Der ländliche Raum im Spannungsfeld zwischen Stadtbewohnern und Waldbesitzern. – In: RIEGLER, J., POPP, H. W. & H. KROLL-SCHLÜTER: Land in Gefahr. – Graz-Stuttgart, 207-213.
- SEDLAG, U. (1981): Über das Aussterben von Tieren unter besonderer Berücksichtigung der Insekten. – Entomol. Nachr. 25, H. 1, 2-14.
- SERBES, H. (2012): Rechtliche Anforderungen an die Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen. – Recht der Natur, Sonderheft Nr. 67. – Frankfurt / M.
- SEUSER, K. U., KOCH, W., OCKENGA, J. & R. MÜLLER (2018): Kommunikation, Beteiligung und Naturschutz als Einflussfaktoren auf die Akzeptanz von Windenergieanlagen. – Natur u. Landschaft 93, H. 11, 501-509.
- SIMON, H.-R. (1999): Diversität der Insekten in Kulturlandschaften. – Collurio Zeitschr. Vogel- u. Naturschutz Hessen 17, 135-149.
- SINN, H.-W. (2019): Die Ökonomie der Klimapolitik. – Handelsblatt 4. Juli 2019 Nr. 126, 48.
- SITKEWITZ, M. (2005): Telemetrische Untersuchung zur Raum- und Habitatnutzung des Uhus *Bubo bubo* im Landkreis Weißenburg-Gunzenhausen. – Ornithol. Anzeiger 44, 163-170.
- SITKEWITZ, M. (2007): Telemetrische Untersuchungen zur Raum- und Habitatnutzung des Uhus (*Bubo bubo*) in den Revieren Thüningersheim und Retzdorf im Landkreis Würzburg und Main-Spessart – mit Konfliktanalyse bezüglich des Windparks Steinhöhe. – Endbericht im Auftrag des LBV.
- SOGA, M., EVANS, M. J., TSUCHIYA, K. & Y. FUKANO (2020): A room with a green view: the importance of nearby nature for mental health during the COVID-19 pandemic. – Ecological Applications 31:e2248, 10pp.
- SPELLMANN, H. (2019): Waldsterben reloaded? – Vortrag 69. Jahrestagung des Deutschen Forstvereins Dresden.
- SPATZ, T., FARWIG, N., RÖSNER, S. & D. G. SCHABO (2022): Hohes Kollisionsrisiko von Rotmilanen über die gesamte Spanne der auftretenden Windgeschwindigkeiten. – Vogelwarte 60, 305.
- SPRÖTGE, M., SELLMANN, E. & M. REICHENBACH (2018): Windkraft Vögel Artenschutz. – Norderstedt.
- Statistisches Bundesamt (2018): Umweltnutzung und Wirtschaft, Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Teil 2 Energie, Tabelle 3.3.4 „Primärenergieverbrauch im Inland – Kraftwerksverluste und Eigenverbrauch beim Energieerzeuger“. – https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Publikationen/Umweltnutzung-Wirtschaft/umweltnutzung-und-wirtschaft-energie-xlsx-5850014.html
- STEINBORN, H. & M. REICHENBACH (2012): Einfluss von Windenergieanlagen auf den Ortolan *Emberiza hortulana* in Relation zu weiteren Habitatparametern. – Vogelwelt 133, 59-75.
- STEINBORN, H., REICHENBACH, M. & H. TIMMERMANN (2011): Windkraft – Vögel – Lebensräume. Books on Demand GmbH, Norderstedt.
- STILLHARD, J., HOBI, M. L., BRANG, P., BRÄNDLI, U.-B., KOROL, M., POKYNCHEREDA, V. & M. ABEGG (2022): Structural changes in a primeval beech forest at the landscape scale. – Forest Ecology and Management 504: 512-522/119836.
- STRAUB, F., TRAUTNER, J. & U. DORKA (2015): Die Waldschnefpe ist „windkraftsensibel“ und artenschutzrechtlich relevant. – Naturschutz Landschaftsplanung 47, 49-58.
- STÜBING, S. & M. KORN (2018): Verhalten von Schwarzstörchen (*Ciconia nigra*) im Brutplatzumfeld gegenüber Windenergieanlagen – zwei Beispiele aus Hessen. – Vogel u. Umwelt 23, 107-114.
- STÜBING, S. (2011): Vögel und Windenergieanlagen im Mittelgebirge. – Falke 58, 495-498.
- THOMASIU, H. (1999): Waldbauverfahren im Wandel – Lehren aus der Geschichte. – In: Deutscher Forstverein, 59. Jahrestagung in Schwerin: 100 Jahre Deutscher Forstverein. – Kongressbericht, 249-308.
- Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, TLUG (Hrsg.; 2012): Fledermäuse in Thüringen. – Naturschutzreport H. 27.
- Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft, TMIL (Hrsg.; 2022): Waldzustandsbericht 2022. Forstliches Umweltmonitoring in Thüringen. – Erfurt.
- TISCHLER, P. (2013): Seeadler *Haliaeetus albicilla* – Kollisionsopfer an einer Windenergieanlage. – Apus 18, H. 2, 133-137.
- TLUBN (2023): https://natura2000.thueringen.de/schutzgebietssystem/natura2000-gebiete-th
- TMUEN (2019): Bericht zur Lage der Natur in Thüringen 2019. – Erfurt, 129 pp.
- TRIEB, F. & M. HAUS (2019): Wechselwirkungen von Fluginsekten und Windparks. – Power Point Präsentation Berlin, 06.03.2019.
- TRIEB, F. (2018): Interference of Flying Insects and Wind Parks. – Study Report, Stuttgart 30.10.2018.
- TRIEB, F., GERZ, T. & M. GEIGER (2022): Modellanalyse liefert Hinweise auf Verluste von Fluginsekten in Windparks. – Beitr. Jagd- und Wildforsch. 47, 115-122.
- TRUSCH, R., FALKENBERG, M. & R. MÖRTTER (2021): Anlockwirkung von Windenergieanlagen auf nachtaktive Insekten. – Carolea 78, 73-128.
- URBAHN, E. (1973): Beobachtungen über den Häufigkeitswechsel bei Schmetterlingen in Norddeutschland seit 1895. – Faun. Abh. Staatl. Mus. Tierkunde Dresden 4, 45-60.
- VASENKOV, D., DESMET, J.-F., POPOV, I. & N. SIDORCHUK (2022): Bats can migrate farther than it was previously known: a new longest migration record by *Nathusius* pipistrelle *Pipistrellus nathusii* (Chiroptera: Vespertilionidae) – Nyctalus 20, H. 1/2, 176.
- VOIGT, C. C. (Hrsg.; 2020): Evidenzbasierter Fledermauschutz in Windkraftvorhaben. – Berlin.
- VOIGT, C., SÖRGEL, C. & D. K. N. DECHMANN (2010): Refueling while flying: Foraging bats combust food rapidly and directly to power flight. – Ecology 91, 2908-2917.
- VOIGT, C. C., POPA-LISSEANU, A. G., NIEMANN, I. & S. KRAMER-SCHADT (2012): The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations. – Biological Conservation 153, 80-86.
- VOIGT, C. C., REHNIG, K., LINDECKE, O. & G. PÉTERSSENS (2018): Migratory bats are attracted by red light but not by warmwhite light: Implications for the protection of nocturnal. – Ecol. Evolution 00, 1-9.
- VOITH, J. & B. HOIB (2019): Lichtverschmutzung – Ursache des Insektenrückgangs? – Anlagen Natur 41 (1), 57-60.
- WAGENKNECHT, E., SCAMONI, A., RICHTER, A. & J. LEHMANN (1956): Eberswalde 1953 – Wege zu standortgerechter Forstwirtschaft. – Radebeul und Berlin.
- WEBER, H. & H. WEIDNER (1974): Grundriß der Insektenkunde. – Stuttgart.
- WEBER, J. & J. KÖPPEL (2017): Auswirkungen der Windenergie auf Tierarten. – Naturschutz u. Landschaftsplanung 49, H. 2, 37-49.
- WEIDEL, H. (2008): Die Verteilung des Aeroplanktons über Schleswig-Holstein. – Diss. Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- WEIMANN, J. (2018): Energieverbrauch – friedliche und umweltfreundliche Energie oder Flatterstrom und Kostenexplosion. – Einführung zur Chiemsee-Konferenz Info Schnellendienst 18/2018, 35-37.
- WELLER, E. et al. (2018): Forstchronik – Die Geschichte der Wälder und der Forstwirtschaft in Thüringen. – Thüringen-Forst (Hrsg.), Erfurt.
- WERMELINGER, B. (2017): Insekten im Wald. – Bern, Stuttgart, Wien.
- WERNER, M. (2004): Die Ersterwähnung Arnstadts im Jahre 704. – Frankfurt/M.
- WESTHUS, W. et al. (1993): Die Pflanzengesellschaften Thüringens. Gefährdung und Schutz. – Naturschutzreport, H. 6.
- WILKENS-ALLEMANN, J., LUDVIG, A. & K. HOGL (2020): Innovation development in ecosystem services: A comparative mountain bike trail study from Austria and Switzerland. – Forest Policy and Economics 115: 102115B.
- WITTICKE, H. (2004): Zur Geschichte des Forstwesens im Fürstentum Schwarzburg-Sondershausen. – Sondershäuser Beiträge – Püstrich. H. 8, 81-108.
- WITTICKE, H. (2013): Die Riesentannen auf dem Wurzelberg – Waldzustand und erste Naturschutzmaßnahmen um 1750 im Fürstentum Schwarzburg-Rudolstadt. – Artenschutzreport H. 31, 1-8.
- WITTICKE, H. (2015): Thüringens Wälder – ihr Werden, ihr Waschen und ihre Nutzungsgeschichte. – In: GÖRNER, M. (Hrsg.): Thüringen – Wald und Wild, Gewässer und Fische, Landschaften und Arten. – Jena, 8-101.
- WITTICKE, H. (2017a): Beitrag zur Forstgeschichte der Beichlinger Schmücke sowie der Schrecke und Finne in Nordthüringen. – Artenschutzreport H. 37, 41-72.
- WITTICKE, H. (2017b): Zur Entwicklung und Nutzung von Buchenwäldern in der Triaslandschaft von Thüringen. – Artenschutzreport H. 37, 12-27.
- WITTICKE, H. & H. BIEHL (2009): Hainichwälder 1785 und einige Aspekte ihrer weiteren Entwicklung. – Artenschutzreport H. 23, 32-55.
- ZAHN, C. (2005): Wirken sich Windkraftanlagen auf unser Wild aus? – Unsere Jagd 56, H. 3, 11-13.
- ZÄHNER, V. (1993): Höhlenbäume und Forstwirtschaft. – AFZ 11.
- ZIESEMER, F. (1997): Raumnutzung und Verhalten von Wespenbussarden (*Pernis apivorus*) während der Jungenaufzucht und zu Beginn des Wegzugs – eine telemetrische Untersuchung. – Corax 17, 19-34.
- ZUB, P., FIEDLER, K. & W. A. NÄSSIG (1997): Zur Artenschutz-Problematik bei Insekten. – Natur u. Museum 127, H. 5, 147-152.

Gesetze, Richtlinien

- Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.
- Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz, BWaldG) vom 2. Mai 1975.

Autorenadressen

Forst-Ing. Martin Görner
Arbeitsgruppe Artenschutz
Thüringen e.V.
Thymianweg 25
D - 07745 Jena

E-Mail: ag-artenschutz@freenet.de

Prof. a. D. Roland Irlinger
Hauffstraße 11/1
D - 72074 Tübingen
E-Mail: irslinger@gmx.de

Prof. Dr. Hans-Dieter Pfannenstiel
Lindenallee 27 A
D - 14532 Stahnsdorf
E-Mail: h.d.pfannenstiel@t-online.de

Prof. Dr. Dr. h. c. Ernst-Detlef Schulze
Max-Planck Institut für Biogeochemie
Hans-Knoell-Straße 10
D - 07745 Jena
E-Mail: dschulze@bgc-jena.mpg.de

Prof. Helmut Witticke
Burkersdorfer Straße 42
D - 07427 Schwarzburg
E-Mail: helmut.witticke@t-online.de

Titelbild: Blick über ein geschlossenes Waldgebiet in Mittelgebirgslage (Aufn.: R. MÜLLER).

Rückseitenbild: Mit der Installation von Windkraftanlagen auf Waldflächen werden die Bestände baubedingt meist negativ in ihren Strukturen verändert (Aufn.: J. BRAUNEIS).

