

Auswirkungen natürlicher Waldentwicklung auf Kohlenstoffspeicherung und Biodiversität (natWald100)

Förderkennzeichen: 2218WK31A4

Förderprogramm: Waldklimafonds

Förderschwerpunkt: 4 „Forschung einschließlich Monitoring zur Unterstützung der in den Nummern 2.1 und 2.2 aufgeführten Förderziele“

Förderziele: 2.1 „Anpassung der Wälder an den Klimawandel“ und 2.2 „Sicherung der Kohlenstoffspeicherung und Erhöhung der CO₂-Bindung von Wäldern“

Antragsteller:

Teilprojekt 1 (Koordination, Waldstruktur und Kohlenstoffspeicherung):

Dr. Peter Meyer, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA),
Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen, Tel.: 0551/69401-180,
E-Mail: peter.meyer@nw-fva.de

Teilprojekt 2 (Biodiversität von Vegetation und Arthropoden):

Markus Blaschke, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF),
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising, Tel.: 08161/71-4930,
E-Mail: markus.blaschke@lwf.bayern.de

Auswirkungen natürlicher Waldentwicklung auf Kohlenstoffspeicherung und Biodiversität (natWald100)

I. Ziele

I.1 Gesamtziel des Projekts

Ziel des Vorhabens ist es, die Auswirkungen einer Stilllegung von Waldflächen für die Kohlenstoffspeicherung, Waldstruktur und Biodiversität abzuleiten sowie ein Monitoringverfahren für die Reaktion bewirtschafteter und unbewirtschafteter Wälder auf den Klimawandel zu entwickeln.

I.2 Wissenschaftliche und / oder technische Arbeitsziele des Vorhabens

Hinsichtlich der Auswirkungen einer natürlichen Waldentwicklung werden die Veränderungen

1. der Bio- und Nekromasse und damit des Kohlenstoffspeichers des Gehölzbestandes,
2. des Kohlenstoffvorrats des Bodens,
3. der Vielfalt der Waldstruktur und
4. der Artenvielfalt

in Abhängigkeit von der Bestandesgeschichte (Nutzungen, Baumalter), dem Standort, Naturraum und dem Waldtyp untersucht. Mit dem Vorhaben sollen empirisch fundierte und für die Naturräume und die wichtigsten natürlichen Waldgesellschaften Deutschlands repräsentative Aussagen für einen Zeitraum von 40-50 Jahren gemacht werden.

Als Untersuchungsgebiete dienen die Naturwaldreservate Deutschlands. Die Datenbasis wird aus vorhandenen Zeitreihen und gezielten Zusatzerhebungen zusammengestellt.

Mit derzeit 730 Gebieten verfügt Deutschland über ein repräsentatives System von Naturwaldreservaten (NWR, vgl. www.naturwaelder.de, s. Abb. 1). Während viele dieser Gebiete bereits in den 1960er und 1970er Jahren ausgewiesen wurden, sind andere NWR in jüngerer Zeit eingerichtet worden. Für die älteren NWR liegen häufig Zeitreihendaten oder doch zumindest Erstaufnahmen vor, die Aussagen über die Entwicklung des Derbholzbestandes (Gehölze ≥ 7 cm Brusthöhendurchmesser) sowie z. T. des Totholzes und der pflanzlichen Biodiversität über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten erlauben (Meyer et al. 2016). Die vorliegenden Datensätze und die unterschiedlich langen Zeiträume einer natürlichen Waldentwicklung bieten eine günstige Ausgangslage, um die Effekte der Dauer des nutzungsfreien Zeitraumes (= Dauer der natürlichen Waldentwicklung) auf den Kohlenstoffspeicher, die Waldstruktur und die Biodiversität zu untersuchen. Für deutschlandweit repräsentative Aussagen ist es von Vorteil, dass sich die Naturwaldreservate auf unterschiedliche Naturräume, Standorte und Waldgesellschaften verteilen (Abb. 1).

Als Ausgangsbasis für die Entwicklung eines Monitoringverfahrens dienen die bisher in Naturwaldreservaten eingesetzten Methoden für das Monitoring der Waldstruktur und Vegetation (Meyer et al. 2004, 2013), die Methodik der Bodenzustandserhebung zur Erfassung von Kohlenstoffvorräten (Wellbrock et al. 2004) sowie das Verfahren für den in der Deutschen Anpassungsstrategie eingesetzten Indikator „Veränderung der Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten“ (UBA 2015).

Die Erarbeitung des Monitoringverfahrens wird im Rahmen von drei Workshops eng mit den Initiativen zur Entwicklung eines Nationalen Biodiversitätsmonitorings (Geschke et al. 2017) koordiniert. Insbesondere mit dem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zum Ökosystem-Monitoring des Bundesamtes für Naturschutz (Auftragnehmer Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH) und der Initiative zum Aufbau eines Deutschen Zentrums für Biodiversitätsmonitoring (BioM-D) unter Koordination des Leibniz-Instituts für Biodiversität der Tiere findet eine enge Abstimmung statt.

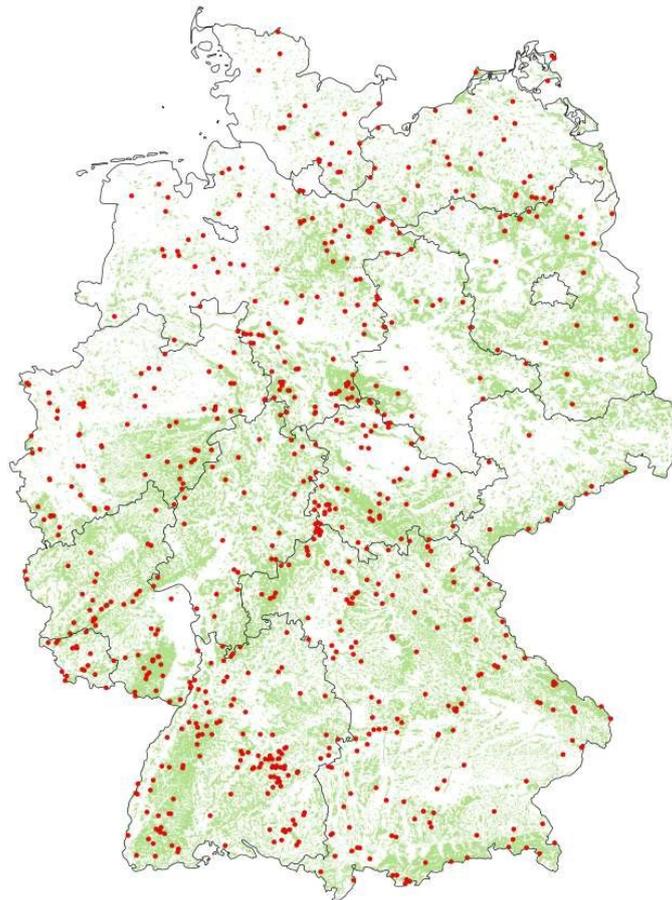


Abb. 1: Übersichtskarte der Naturwaldreservate in Deutschland (aus: www.naturwaelder.de)

II Stand der Wissenschaft und Technik

Die absolute Fläche von Wäldern mit natürlicher Entwicklung (NWE) steigt seit den 1970er Jahren in Deutschland signifikant an (Bücking 1997, Meyer et al. 2011). Bezogen auf den Flächenanteil wird allerdings der Zielwert der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (BMU 2007) von 5 % für das Jahr 2020 noch deutlich unterschritten. So weist die Untersuchung von Engel et al. (2016a) für das Jahr 2013 einen Flächenanteil von 1,9 % aus und prognostiziert bis 2020 einen Anstieg auf 2,3 %. Voraussichtlich wird auch das 2 %-Ziel der NBS für Wildnisgebiete zu einer weiteren Ausweisung von NWE-Flächen führen (Opitz et al. 2015, Spellmann et al. 2015).

Die Bundesländer orientieren sich mittlerweile zunehmend an den NWE-Zielen der NBS. Mit den Nationalparks Schwarzwald und Hunsrück-Hochwald wurden zwei neue Großschutzgebiete mit erheblichen NWE-Anteilen ausgewiesen. Die Landesregierungen in Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Bayern streben Anteile von NWE in den Landeswäldern an, die weitgehend den Richtwerten der NBS für den öffentlichen Wald entsprechen.

Wie die nachfolgende Zusammenfassung zeigt, ist trotz der ambitionierten NWE-Ziele das Wirkungsverständnis für die natürliche Waldentwicklung im Hinblick auf die Kohlenstoffspeicherung, Waldstruktur und Biodiversität noch recht fragmentarisch.

Kohlenstoffspeicherung:

Die mittel- bis langfristige Kohlenstoffbilanz von Wäldern mit natürlicher Entwicklung wird nach wie vor sehr unterschiedlich eingeschätzt. Während eine Reihe von Studien darauf hindeutet, dass ungenutzte „Old-Growth-Wälder“ eine dauerhafte Kohlenstoffsенке darstellen (Janisch & Harmon 2002, Knohl et al. 2003, Hessenmöller et al. 2008, Luysaert et al. 2008, Schulze et al. 2009), gehen Köhl et al. (2011) und Hasenauer (2011) von einer ausgeglichenen oder negativen Bilanz aus. Untersuchungen von Mund (2004) und Mund & Schulze (2006) zeigen, dass seit mehreren Jahrzehnten nicht bewirtschaftete Buchenmischwälder einen höheren Vorrat an Bodenkohlenstoff und eine höhere Biomasse als bewirtschaftete Buchenwälder aufweisen. Jacob et al. (2013) betonen die hohe Speicherleistung ungenutzter Fichtenwälder, die aber deutlich sinkt, wenn großflächige Kalamitäten (Borkenkäfer oder Sturm) auftreten (Spielvogel et al. 2006). Auf der globalen Ebene zeichnen sich eine Abnahme der Bodenrespiration und eine Zunahme des Kohlenstoffspeichers mit steigendem Waldalter ab (Pregitzer & Euskirchen 2004). In den Kalkalpen ist nachgewiesen worden, dass der organische Kohlenstoffvorrat der Waldböden bewirtschafteter Wälder geringer als derjenige unbewirtschafteter Wälder ist, die deutlich mächtigere Humusaufgaben aufweisen (Christophel et al. 2013). Für Deutschland wurde zwar auf der Grundlage der Bodenzustandserhebung die Veränderungen des Kohlenstoffvorrates der Waldböden abgeschätzt und ein allgemeiner Anstieg trotz

steigender Nutzungsintensität festgestellt (Schubert 2010, Grüneberg et al. 2014). Die Auswirkungen einer Aufgabe der forstlichen Nutzung konnten aufgrund der geringen Flächenanteile von NWE allerdings nicht betrachtet werden. Auch eine Studie von Krueger et al. (2017) zum Bodenkohlenstoff in drei genutzten bzw. ungenutzten Flächenpaaren in Bayern brachte noch keinen klaren Trend.

Infolge der Substitutionswirkung von Holzprodukten im Wirtschaftssystem erbringen genutzte Wälder langfristig eine höhere Mitigationsleistung als ungenutzte Wälder (Köhl et al. 2011, Klein et al. 2013, Herbst et al. 2015, Gustavsson et al. 2017, WBAEV & WBW 2016, Pukkala 2017). Allerdings können aus der Nutzung entlassene Wälder bewirtschafteten Wäldern zunächst überlegen sein (Köhl et al. 2011, Klein et al. 2013, Mund et al. 2015, Gustavsson et al. 2017, Pukkala 2017), da ihr Kohlenstoffspeicher in den ersten Jahrzehnten stark ansteigt. Zwischen den verschiedenen Studien variiert der Zeitpunkt sehr stark, ab dem die Waldnutzung zu einer höheren Mitigationsleistung führt. Während nach WBAEV & WBW (2016) ungenutzte Wälder unmittelbar eine geringere Mitigationsleistung als bewirtschaftete Wälder erbringen, zeigen andere Studien eine Überlegenheit für mehrere Jahrzehnte (Köhl et al. 2011, Klein et al. 2013, Herbst et al. 2015) oder für mehr als 100 Jahre (Pukkala 2017). Die große Schwankungsbreite der bisherigen Abschätzungen hat ihre Ursache auch darin, dass die Modellannahmen für die Veränderung des Kohlenstoffspeichers in ungenutzten Wäldern einer großen Unsicherheit unterliegen. Sie beruhen entweder auf Untersuchungen in Wirtschaftswäldern oder auf einer geringen Datenbasis unbewirtschafteter Wälder. Empirische Daten aus nicht genutzten Wäldern, die für den Bodenspeicher in der NWE-Flächenkulisse repräsentativ sind, fehlen weitgehend. Entscheidend für die Kohlenstoffbilanz ungenutzter Wälder sind natürliche Störungen, deren Art und Ausmaß auch im Vergleich zur genutzten Waldlandschaft Mitteleuropas bisher schwer abzuschätzen sind.

Waldstruktur:

Auch die eigendynamische Entwicklung der Waldstruktur ist stark vom natürlichen Störungsregime abhängig. Dies zeigt der Kontrast zwischen einer deutlichen Zunahme der lebenden Biomasse in Laubbaum-dominierten Naturwaldreservaten (Oheimb 2003, Willig 2003, Meyer 2013) und den häufig großflächigen Absterbeprozessen in Fichten-Naturwaldreservaten (Meyer et al. 2006, 2015). Störungen erhöhen i. d. R. die räumliche Heterogenität der Waldstruktur. Selbst auf großflächige Sturmereignisse und Borkenkäferbefall folgt häufig eine räumlich differenzierte und gemischte Waldverjüngung (Heurich 2008, Keidel et al. 2008, Blaschke et al. 2016). Die Totholzmenge und die Anzahl an Sonderstrukturen wie Wurzelteller, Wurfböden oder Mikrohabitate an lebenden Bäumen steigen stark an. Die bisherigen Untersuchungen stimmen darin überein, dass in nutzungsfreien Wäldern eine erhebliche Totholzakкумуляtion stattfindet, deren Ausmaß allerdings einer hohen Variation unterliegt (Vandekerkhove et al. 2005, Meyer & Schmidt 2011, Paillet et al. 2015). Die Vergleichsstudien von Winter (2006) und

Müller et al. (2007) belegen eine Erhöhung der Struktur- und Habitatvielfalt mit abnehmender Nutzungsintensität. Insgesamt bilden sich nach der Aufgabe der forstlichen Nutzung die verschiedenen Merkmale von Old-Growth-Wäldern allerdings vermutlich in sehr unterschiedlicher Geschwindigkeit heraus (Meyer 2013). Die Dauer und die relevanten Einflussfaktoren dieses Wiederherstellungsprozesses können bisher nur ansatzweise abgeschätzt werden (Paillet et al. 2015). Baumartenzusammensetzung und Baumdimension dürften einen starken Einfluss auf die Entwicklung von denjenigen Mikrohabitaten haben, die für die walddtypische Biodiversität bedeutsam sind (Larrieu & Cabanettes 2012).

Natürliche Old-Growth-Wälder zeichnen sich unter anderem durch den engen räumlichen Zusammenhang mehrerer Baumkohorten (Baumgenerationen) aus (Bauhus et al. 2009). Auch natürliche Buchen-Urwälder entsprechen diesem Modell eines Mehr-Generationen-Waldes, was an einer starken Differenzierung der Waldentwicklungsphasen und Baumdimensionen deutlich wird (Korpel 1995, Tabaku 1999) und als Ergebnis eines überwiegend kleinräumigen Störungsregimes interpretiert wird (Hobi et al. 2015). Die hohe kleinräumige Variabilität der Baumdimensionen drückt sich in einer negativ exponentiellen oder bimodalen Durchmesser-Verteilung (Westphal et al. 2006, Kucbel et al. 2012) aus. Der Übergang von gleichaltrigen Buchen-Wirtschaftswäldern zu einer natürlichen Populationsstruktur nach der Aufgabe der Nutzung benötigt offenbar lange Zeiträume von vielen Jahrzehnten bis Jahrhunderten (Rademacher et al. 2001, Meyer 2013). Über die Dauer und die Faktoren, von denen diese Entwicklung abhängt, ist bisher wenig bekannt. Hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit an Klimaänderungen ist diese Frage sehr relevant, da davon auszugehen ist, dass Mehr-Generationen-Wälder eine besonders hohe Resilienz besitzen. Vor allem durch natürliche Störungen mittlerer Stärke dürfte die Diversifizierung des Populationsaufbaus beschleunigt werden.

Biodiversität:

In vielen deutschen Naturwaldreservaten nimmt der Buchenanteil auf Kosten der Mischbaumarten und insbesondere der einheimischen Eichenarten zu (Straußberger 1999, 2001, Kölling 2003, Meyer et al. 2000, 2006, 2009). Diese Verringerung der Baumartendiversität verläuft allerdings überraschend langsam (Rohner et al. 2012, 2013, Meyer et al. 2016) und ist nicht nur ein Konkurrenzphänomen, sondern lässt sich auch auf natürliche Störungen zurückzuführen (Meyer et al. 2006, 2015, 2017). Bisher ist unklar, ob Störungen dazu führen können, dass in der Konkurrenz mit Schattbaumarten unterlegene Halblicht- oder Lichtbaumarten ihre Population in ungenutzten Wäldern aufrechterhalten oder gar ausdehnen können.

Verschiedene Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Vielfalt auf Bestandesebene (alpha-Diversität) bei denjenigen Artengruppen, die eng an Altbäume, Totholz und Habitatkontinuität gebunden sind, in ungenutzten Wäldern höher als in genutzten Wäldern ist (Winter et

al. 2005, Müller et al. 2007, 2010, Bradtka et al. 2010, Paillet et al. 2010). Lichtbedürftige Gefäßpflanzenarten und Störzeiger werden hingegen meist durch die forstliche Nutzung gefördert (Härdtle et al. 2001, Schmidt & Schmidt 2007), sodass sich in Wirtschaftswäldern häufig zwar artenreichere, aber weniger typische Krautschichten als in ungenutzten Wäldern ausbilden.

Dass eine natürliche Waldentwicklung generell einen positiven Effekt auf die walddtypische Artenvielfalt hat, wird durchaus kritisch hinterfragt (Halme et al. 2010, Schulze & Ammer 2015, Ammer et al. 2017). Robuste Abschätzungen für die Naturräume und natürlichen Waldgesellschaften Deutschlands sind bisher nicht möglich, weil sich die vorliegenden Studien auf bestimmte Waldgesellschaften (v. a. Buchenwälder) und Regionen beschränken. Zudem erscheint eine stärkere Einbeziehung der Nutzungs- und Störungsgeschichte für die Erklärung der vorhandenen Artenvielfalt notwendig (Flensted et al. 2016).

Trotz des in naher Zukunft zu erwartenden zusätzlichen Flächenumfangs von mehreren 100.000 Hektar NWE kann eine differenzierte Folgenabschätzung natürlicher Waldentwicklung bisher nicht stattfinden, da der Kenntnisstand über die Auswirkungen für repräsentative Aussagen derzeit nicht ausreicht. Dadurch wird es auch erschwert, Synergien zwischen den Strategien der Bundesregierung im Hinblick auf den Schutz der biologischen Vielfalt (NBS) auf der einen Seite und der Nutzung sowie Adaptation des Waldes (Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Waldstrategie 2020, Charta für Holz 2.0) auf der anderen Seite zu erschließen, indem die am besten geeigneten Gebiete für eine natürliche Waldentwicklung ausgewählt werden.

Insbesondere das Wirkungsverständnis anthropogener (Nutzungsgeschichte der Bestände) und natürlicher Störungen muss deutlich verbessert werden, um die Auswirkungen einer natürlichen Waldentwicklung belastbar abzuschätzen. Dies gilt in verstärktem Maße unter den Rahmenbedingungen des Klimawandels, da von einer Änderung des Störungsregimes und einer Zunahme starker Störungen auszugehen ist (Rahmsdorf & Comou 2011, Thom & Seidl 2016).

Zudem fehlt es an einem einheitlichen Monitoringsystem, um die Reaktionen von bewirtschafteten und unbewirtschafteten Wäldern auf den Klimawandel zu beobachten und zu erforschen. Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, ein wissenschaftliches Monitoringzentrum zur Biodiversität unter Einbeziehung des Bundesumwelt- sowie des Bundeslandwirtschaftsministeriums aufzubauen. Das Monitoring der Biodiversität in bewirtschafteten und sich natürlich entwickelnden Wäldern unter Klimawandel ist vermutlich eine wichtige zukünftige Aufgabe dieses Zentrums. Das zu entwickelnde Verfahren hat daher das Potenzial zu einem Bestandteil des künftigen Nationalen Biodiversitätsmonitorings (Geschke et al. 2017) zu werden.

Kooperationspartner:

AIM - Advanced Identification Methods GmbH, Zenettistr. 37 RGB, 80337 München,
Tel.: 089/51308989, E-Mail: info@aimethods-lab.com

Dr. Patricia Balcar (FAWF), Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Hauptstraße 16 (Schloss). 67705 Trippstadt, Tel.: 06306/911-119,
E-Mail: Patricia.Balcar@wald-rlp.de

Dr. Veronika Braunisch (FVA), Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestraße 4, 79100 Freiburg, Tel.: 0761/4018-0,
E-Mail: Veronika.Braunisch@forst.bwl.de

Prof. Dr. Jörg Ewald, Institut für Ökologie und Landschaft, Fakultät Wald und Forstwirtschaft, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 3, 85354 Freising,
Tel.: 08161-715909, E-Mail: joerg.ewald@hswt.de

Uwe Gehlhar, Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, BT Forstplanung, Versuchswesen, Informationssysteme, Zeppelinstraße 3, 19061 Schwerin, Tel.: 0385/6700-174
E-Mail: Uwe.Gehlhar@lfoa-mv.de

Prof. Dr. Ralf Kätzel (LFB Brandenburg), Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde, Tel.: 03334/2759 213,
E-Mail: Ralf.Kaetzel@LFB.Brandenburg.de

Jerome Moriniere, Zoologische Staatssammlung München (SNSB, ZSM), Münchhausenstraße 21, 81247 München, Tel. (089) 8107 0, E-Mail: moriniere@snsb.de

Prof. Dr. Jörg Müller, Julius-Maximilian-Universität Würzburg, Ökologische Station Fabrik-schleichach, Glashüttenstraße 5, 96181 Rauhenebrach, Tel.: 0931/31-83378,
E-Mail: joerg.mueller@uni-wuerzburg.de

Ingolf Profft, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha, Forschungs-koordination, Zentrale Dienste, Jägerstraße 1, 99867 Gotha,
Tel.: 03621/225-152, E-Mail: Ingolf.Profft@forst.thueringen.de

Michael Elmer, Wald und Holz NRW, FB IV, Waldnaturschutz, Kurt-Schumacher-Str. 50 b, 59759 Arnsberg, Telefon: 0251-91797-291, E-Mail: michael.elmer@wald-und-holz.nrw.de

Dr. Sven Rannow, Nationalparkamt Müritz, Dezernat Grundlagen und Planung, Schloßplatz 3, 17237 Hohenzieritz, Tel.: 039824-25220, E-Mail: s.rannow@npa-mueritz.mvnet

III Verwendete und weiterführende Quellen

- Ammer, C., Schall, P., Goßner, M.M., Fischer, M., 2017. Waldbewirtschaftung und Biodiversität: Vielfalt ist gefragt! AFZ-Der Wald 72, 20–25.
- Bauhus, J., Puetmann, K., Messier, C., 2009. Silviculture for old-growth attributes. *Forest Ecology and Management* 258, 525–537.
- Blaschke, M., Schmuderer, D., Thiele, N., Ritter, N., Förster, B., 2016. Waldentwicklung in den NWR des bayerischen Waldes. *AFZ-DerWald* 71, 51–54.
- BMU (Hrsg.), 2008. Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel - beschlossen vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 - Kurzzusammenfassung.
- Bradtka, J., Bässler, C., Müller, J., 2010. Baumbewohnende Flechten als Zeiger für Prozessschutz und ökologische Kontinuität im Nationalpark Bayerischer Wald.
- Bücking, W., 1993. Zur Arbeit der Projektgruppe "Naturwaldreservate." *Forst und Holz* 48, 378.
- Bücking, W., 1997. Naturwald, Naturwaldreservate, Wildnis in Deutschland und Europa. *Forst und Holz* 52, 515–522.
- Bundesministerium für Umwelt, N., Reaktorsicherheit (Hrsg.), 2007. Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Paderborn.
- Christophel, D., Spengler, S., Schmidt, B., Ewald, J., Prietzel, J., 2013. Customary selective harvesting has considerably decreased organic carbon and nitrogen stocks in forest soils of the Bavarian Limestone Alps. *Forest Ecology and Management* 305, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.054>
- Engel, F., Bauhus, J., Gärtner, S., Kühn, A., Meyer, P., Reif, A., Schmidt, M., Schultze, J., Späth, V., Stübner, S., Wildmann, S., Spellmann, H. 2016a: Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung und Bewertung. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 145: 1-221.
- Engel, F., Meyer, P., Bauhus, J., Gärtner, S., Reif, A., Schmidt, M., Schultze, J., Wildmann, S., Spellmann, H., 2016b. Wald mit natürlicher Entwicklung – ist das 5%-Ziel erreicht? *AFZ-DerWald* 71, 46–48.
- Flensted, K.K., Bruun, H.H., Ejrnæs, R., Eskildsen, A., Thomsen, P.F., Heilmann-Clausen, J., 2016. Red-listed species and forest continuity – A multi-taxon approach to conservation in temperate forests. *Forest Ecology and Management* 378, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.029>
- Geschke, J., Schliep, R., Richter, A., Vohland, K., 2017. Nationales Biodiversitätsmonitoring – Revisited. Download am 02.10.2018 unter <http://www.biodiversity.de/search/node/Fachgespr%C3%A4ch%20Biodiversit%C3%A4tsmonitoring>
- Grüneberg, E., Ziche, D., Wellbrock, N., 2014. Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Global Change Biology* 20, 2644–2662. <https://doi.org/10.1111/gcb.12558>
- Gustavsson, L., Haus, S., Lundblad, M., Lundström, A., Ortiz, C.A., Sathre, R., Truong, N.L., Wikberg, P.-E., 2017. Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67, 612–624. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.056>
- Halme, P., Toivanen, T., Honkanen, M., Kotiaho, J.S., Mönkkönen, M., Timonen, J., 2010. Flawed Meta-Analysis of Biodiversity Effects of Forest Management. *Conservation Biology* 24, 1154–1156. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01542.x>
- Hasenauer, H (2011) Überlegungen zur CO2-Bilanz von Waldökosystemen. *Austrian Journal for Forestry Science* 128: 33-52
- Härdtle, W., Oheimb v., G., Westphal, C., 2001. Vergleichende Untersuchungen zur Struktur und Vegetation von Natur- und Wirtschaftswäldern des Tieflandes auf Grundlage räumlich expliziter Vegetationsmodelle. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 13, 183–196.
- Hausmann, A. (2017). Das Projekt Barcoding Fauna Bavarica: Monitoring von Bestandsveränderungen und Einwanderungen von Insekten in Bayern.
- Hausmann, A., G. Haszprunar, A. H. Segerer, W. Speidel, G. Behounek & P. D. N. Hebert. 2011. Now DNA-barcoded: the butterflies and larger moths of Germany (Lepidoptera: Rhopalocera, Macroheterocera). – *Spixiana* 34 (1): 47-58, Appendices unter www.pfeil-verlag.de/publikationen/spixianazeitung-fuer-zoologie-inhalt-band-34/ [zuletzt aufgerufen am 26.10.17].
- Haszprunar, G. 2009. Barcoding Fauna Bavarica – eine Chance für die Entomologie. – *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen*, 58 (1/2): 45-47.
- Hebert, P. D. N., A. Cywinska, S. L. Ball & J. R. deWaard. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. – *Proceedings of the Royal Society B*, 270 (1512): 313-321.
- Hendrich, L., Morinière, J., Haszprunar, G., Hebert, P. D., Hausmann, A., Köhler, F., & Balke, M. (2015). A comprehensive DNA barcode database for Central European beetles with a focus on Germany: adding more than 3500 identified species to BOLD. *Molecular Ecology Resources*, 15(4), 795-818.
- Herbst, M., Mund, M., Tamrakar, R., Knohl, A., 2015. Differences in carbon uptake and water use between a managed and an unmanaged beech forest in central Germany. *Forest Ecology and Management* 355, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.034>
- Hessenmöller, D., Schulze, E.-D., Großmann, M., 2008. Bestandesentwicklung und Kohlenstoffspeicherung des Naturwaldes "Schönstedter Holz" im Nationalpark Hainich. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 179, 209–219.
- Heurich, M., 2008. Waldentwicklung und Nationalparkplanung im Nationalpark Bayerischer Wald. *Forst und Holz* 63, 34–39.
- Hobi, M.L., Commarmot, B., Bugmann, H., 2015. Pattern and process in the largest primeval beech forest of Europe (Ukrainian Carpathians). *Journal of Vegetation Science* 26, 323–336. <https://doi.org/10.1111/jvs.12234>
- Jacob, M., Bade, C., Calvete, H., Dittrich, S., Leuschner, C., and Hauck, M. 2013. Significance of Over-Mature and Decaying Trees for Carbon Stocks in a Central European Natural Spruce Forest. *Ecosystems* 16, 336–346.
- Janisch, J.E., Harmon, M.E., 2002. Successional changes in live and dead wood carbon stores: implications for net ecosystem productivity. *Tree Physiology* 22, 77–89.

- Keidel, S., Meyer, P., Bartsch, N., 2008. Regeneration eines naturnahen Fichtenwaldökosystems nach großflächiger Störung. *forstarchiv* 79, 187–196.
- Klein, D., Höllerl, S., Blaschke, M., Schulz, C., 2013. The Contribution of Managed and Unmanaged Forests to Climate Change Mitigation—A Model Approach at Stand Level for the Main Tree Species in Bavaria. *Forests* 4, 43–69. <https://doi.org/10.3390/f4010043>
- Knohl, A., Schulze, E.D., Kollé, O., Buchmann, N., 2003. Large carbon uptake by an unmanaged 250 year old deciduous forest in Central Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 118(3), 151–167.
- Köhl, M., Kenter, B., Hildebrand, R., Olschofsky, K., Köhler, R., Rötzer, T., Mette, T., Pretzsch, H., Rüter, S., Köthke, M., Dieter, M., Abiy, M., Makeschin, F., 2011. Nutzungsverzicht oder Holznutzung? - Auswirkungen auf die CO₂-Bilanz im langfristigen Vergleich. *AFZ-DerWald* 66, 25–27.
- Kölling, C., 2003. Turnierplatz der Baumarten: Naturwaldreservate als Belegexemplare natürlicher Waldgesellschaften. *LWF aktuell* 40, 24–25.
- Korpel, S., 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag.
- Kraus, D., Büttler, R., Krumm, F., Lachat, T., Larrieu, L., Mergner, U., Paillet, Y., Rydkvist, T., Schuck, A., Winter, S., 2016. Catalogue of tree microhabitats - Reference field list. Integrate + Technical Paper, European Forest Institute Freiburg.
- Krueger, I., Schulz, C., Borken, W., 2017. Stocks and dynamics of soil organic carbon and coarse woody debris in three managed and unmanaged temperate forests. *European Journal of Forest Research* 136, 123–137. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1013-4>
- Kucbel, S., Saniga, M., Jaloviari, P., Vernkuric, J., 2012. Stand structure and temporal variability in old-growth beech-dominated forests of the northwestern Carpathians: A 40-years perspective. *Forest Ecology and Management* 264, 125–133.
- Larrieu, L., Cabanettes, A., 2012. Species, live status, and diameter are important tree features for diversity and abundance of tree microhabitats in subnatural montane beech fir forests. NRC Research Press.
- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213–215. <https://doi.org/10.1038/nature07276>
- Meyer, P., 2013. Wie schnell werden Wirtschaftswälder zu Urwäldern? *AFZ-DerWald* 24, 11–13.
- Meyer, P., Bücking, W., Schmidt, S., Schulte, U. & Willig, J. (2004). Stand und Perspektiven der Untersuchung von Naturwald-Vergleichsflächen. *Forstarchiv* 75, 167–179.
- Meyer, P., Wevell von Krüger, A., Balcar, P., Blaschke, M., Braunisch, V., Schmidt, M., Schute, U., 2017. Anpassung standortheimischer Baumarten an den Klimawandel. *AFZ-DerWald* 16/2017, 21-23
- Meyer, P., Ackermann, J., Balcar, P., Boddenberg, J., Detsch, R., Förster, B., Fuchs, H., Hoffmann, B., Keitel, W., Kölbl, M., Köthke, C., Koss, H., Unkrig, W., Weber, J., Willig, J., 2001. Untersuchungen der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten. IHW - Verlag.
- Meyer, P.; Brössling, S.; Bedarff & Schmidt, M. (2013): Monitoring von Waldstrukturen und Vegetation in hessischen Naturwaldreservaten. Aufnahmeanweisung der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. 63 S. download am 26.11.2018 unter: <https://www.nw-fva.de/index.php?id=229>
- Meyer, P., Demant, L., Prinz, J., 2016. Landnutzung und biologische Vielfalt in Deutschland – Welchen Beitrag zur Nachhaltigkeit können Großschutzgebiete leisten? *Raumforschung und Raumordnung* 74, 495–508. <https://doi.org/10.1007/s13147-016-0427-2>
- Meyer, P., Lorenz, K., Engel, F., Spellmann, H., Boele-Keimer, C., 2015. Wälder mit natürlicher Entwicklung und Hotspots der Biodiversität - Elemente einer systematischen Schutzgebietsplanung am Beispiel Niedersachsen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47, 275–282.
- Meyer, P., Menke, N., Nagel, J., Hansen, J., Kawaletz, H., Paar, U., Evers, J., 2009. Entwicklung eines Managementmoduls für Totholz im Forstbetrieb. Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes, URL: <http://www.nw-fva.de/?id=234>.
- Meyer, P., Mölder, A., 2017. Mortalität von Buchen und Eichen in niedersächsischen Naturwäldern. *Forstarchiv* 88, 127–130.
- Meyer, P., Petersen, R., 2003. Regeneration naturnaher Fichtenwälder nach großflächigen Störungen. Beispiele aus dem Harz. *Forst und Holz* 58, 401–406.
- Meyer, P., Schmidt, M., 2011. Accumulation of dead wood in abandoned beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in northwestern Germany. *Forest Ecology and Management* 261, 342-352.
- Meyer, P., Schmidt, M., Spellmann, H., Bedarff, U., Bauhus, J., Reif, A., Späth, V., 2011. Aufbau eines Systems nutzungsfreier Wälder in Deutschland. *Natur und Landschaft* 86, 243–249.
- Meyer, P., Wevell von Krüger, A., Steffens, R., Unkrig, W., 2006. Naturwälder in Niedersachsen - Schutz und Forschung. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt Göttingen, Göttingen, Braunschweig.
- Morinière, J., de Araujo, B. C., Lam, A. W., Hausmann, A., Balke, M., Schmidt, S., ... & Haszprunar, G. (2016). Species identification in malaise trap samples by DNA barcoding based on NGS technologies and a scoring matrix. *PloS one*, 11(5), e0155497.
- Müller, J., Bußler, H., Utschick, H., 2007. Wie viel Totholz braucht der Wald? - Ein wissenschaftsbasiertes Konzept gegen den Artenschwund der Totholzzönosen. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 39, 165–170.
- Müller, J., Noss, R.F., Bussler, H., Brandl, R., 2010. Learning from a "benign neglect strategy" in a national park: Response of saproxylic beetles to dead wood accumulation. *Biological Conservation* 143, 2559–2569.
- Mund, M., 2004. Carbon pools of European beech forests (*Fagus sylvatica*) under different silvicultural management. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme A*, 189, 256.
- Mund, M., Schulze, E.-D., 2006. Impacts of forest management on the carbon budget of European beech (*Fagus sylvatica*) forests. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 177, 47–63.
- Oheimb v., G., 2003. Einfluss forstlicher Nutzung auf die Artenvielfalt und Zusammensetzung der Gefäßpflanzen in norddeutschen Laubwäldern. *Naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse*, Verlag Dr. Kovac, Hamburg.

- Opitz, S., Reppin, N., Schoof, N., Drobniak, J., Finck, P., Riecken, U., Mengel, A., Reif, A., Rosenthal, G., 2015. Wildnis in Deutschland - Nationale Ziele, Status Quo und Potenziale. *Natur und Landschaft* 90, 406–412.
- Paillet, Y., Bergès, L., Hjäältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R.J., de Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U., Kanka, R., Lundin, L., Luque, S., Magura, T., Matesanz, S., Mészáros, I., Sebastià, M.T., Schmidt, W., Standovár, T., Tóthmérész, B., Uotila, A., Valladares, F., Vellak, K., Virtanen, R., 2010. Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. *Conservation Biology* 24 (1), 101–112.
- Paillet, Y., Pernot, C., Boulanger, V., Debaive, N., Fuhr, M., Gilg, O., Gosselin, F., 2015. Quantifying the recovery of old-growth attributes in forest reserves: A first reference for France. *Forest Ecology and Management* 346, 51–64.
- Pregitzer, K.S., Euskirchen, E.S., 2004. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology* 10, 2052–2077. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00866.x>
- Projektgruppe Naturwaldreservate des Arbeitskreises Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, 1993. Empfehlungen für die Einrichtung und Betreuung von Naturwaldreservaten in Deutschland. *forstarchiv* 64, 122–129.
- Pukkala, T., 2017. Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry* 90, 125–135. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw043>
- Rademacher, C., Neuert, C., Grundmann, V., Wissel, C., Grimm, V., 2001. Was charakterisiert Buchenurwälder? Untersuchungen der Altersstruktur des Kronendachs und der räumlichen Verteilung der Baumriesen in einem Modellwald mit Hilfe des Simulationsmodells BEFORE. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 120, 288–302.
- Rahmstorf, S., Coumou, D., 2011. Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, 17905–17909. <https://doi.org/10.1073/pnas.1101766108>
- Rohner, B., Bigler, C., Wunder, J., Brang, P., Bugmann, H., 2012. Fifty years of natural succession in Swiss forest reserves: changes in stand structure and mortality rates of oak and beech. *Journal of Vegetation Science* 23, 892–905.
- Rohner, B., Bugmann, H., Bigler, C., 2013. Estimating the age-diameter relationship of oak species in Switzerland using nonlinear mixed-effects models. *European Journal of Forest Research* 132, 751–764.
- Schmidt, M., Schmidt, W., 2007. Vegetationsökologisches Monitoring in Naturwaldreservaten. *Forstarchiv* 78, 205–214.
- Schubert, A., 2010. Organisch gebundener Kohlenstoff im Waldboden. *LWF-aktuell* (72), S.11-14.
- Schulze, E.-D., Ammer, C., 2015. Konflikte um eine nachhaltige Entwicklung der Biodiversität: Spannungsfeld Forstwirtschaft und Naturschutz. *Biologie in unserer Zeit* 5, 304–315.
- Schulze, I.-M., Bolte, A., Schmidt, W., Eichhorn, J., 2009. Phytomass, Litter and Net Primary Production of Herbaceous Layer. *Spellmann, H., Engel, F., Meyer, P., 2015. Natürliche Waldentwicklung auf 5% der Waldfläche - Aktuelle Bilanzen und Beitrag zum 2%-Wildnisziel. Natur und Landschaft* 90, 413–416.
- Spielvogel, S., Prietzel, J., Auerswald, K., Kögel-Knabner, I., 2008. Langfristige Auswirkungen einer Borkenkäferkalamität auf die Humusausstattung von Böden in den Hochlagen des Bayerischen Waldes.
- Straußberger, R., 2001. Altes und Neues über die Buchen der Oberpfalz. *LWF aktuell* 31, 30–31.
- Straußberger, R., 1999. Untersuchungen zur Entwicklung bayerischer Kiefern-Naturwaldreservate auf nährstoffarmen Sanden. *Naturwaldreservate in Bayern* 4.
- Tabaku, V., 1999. Struktur von Buchen-Urwäldern in Albanien im Vergleich mit deutschen Buchen-Naturwaldreservaten und -Wirtschaftswäldern. Cuvillier Verlag.
- Thom, D., Seidl, R., 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests: Disturbance impacts on biodiversity and services. *Biological Reviews* 91, 760–781. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>
- Umweltbundesamt (UBA), 2015. Monitoringbericht 2015 - zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. *KompPass*.
- Vandekerckhove, K., De Keersmaecker, L., Baete, H., Walley, R., 2005. Spontaneous re-establishment of natural structure and related biodiversity in a previously managed beech forest in Belgium after 20 years of non intervention. *Forest Snow and Landscape Research* 79 (1/2), 145–156.
- WBAEV & WBW (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL 2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten, Berlin, download am 26.11.2018 unter <https://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/TexteAgrVeroeffentlichungen.html>.
- Wellbrock, N., Aydin, C. T., Block, J., Bussian, B., Deckert, M., Dieckmann, O. et al. 2006. Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.), Berlin, 413 S.
- Westphal, C., Tremer, N., Oheimb v., G., Hansen, J., Gadov v., K., Härdtle, W., 2006. Is the reserve J-shaped diameter distribution universally applicable in European virgin beech forests? *Forest Ecology and Management* 223, 75–83.
- Willig, J., 2003. Biodiversität in hessischen Naturwaldreservaten. *Forst und Holz* 58, 445–449.
- Winter, K., Bogenschütz, H., Dorda, D., Dorow, W.H.O., Flechtner, G., Graefe, U., Köhler, F., Menke, N., Schauer, J., Schubert, H., Schulz, U., Tauchert, J., 1999. Programm zur Untersuchung der Fauna in Naturwäldern - Projektgruppe Fauna des Arbeitskreises Naturwälder. Eching (IHW-Verlag), München?
- Winter, S., 2006. Naturnähe-Indikatoren für Tiefland-Buchenwälder. *forstarchiv* 77, 94–101.
- Winter, S., Flade, M., Schumacher, H., Kerstan, E., Möller, G., 2005. The importance of near-natural stand structures for the biocoenosis of lowland beech forests. *Forest Snow and Landscape Research* 79, 127–144.