



Forstwirtschaft



Eberswalder Forstliche Schriftenreihe
Band 64

**„Im Auftrag“: Drittmittelforschung
am Landeskompetenzzentrum
Forst Eberswalde (LFE)**

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe
Band 64

**„Im Auftrag“: Drittmittelforschung
am Landeskompetenzzentrum
Forst Eberswalde (LFE)**

FORSTWIRTSCHAFT IN DEUTSCHLAND

Vorausschauend aus Tradition

Impressum

Herausgeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Landwirtschaft
des Landes Brandenburg

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde

Gesamtherstellung: DRUCKZONE GmbH & Co. KG

1. Auflage: 1.200 Exemplare, gedruckt auf PEFC-Papier.

Fotos: Von den Autoren der Beiträge, wenn nicht anders vermerkt.
Redaktion & Titelbild: Dr. Jan Engel

Eberswalde, im August 2017

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL) des Landes Brandenburg kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern während des Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen von Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen und Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung Brandenburgs zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Inhaltsverzeichnis

Bericht aus der Arbeit des LFE im Jahr 2016	
DR. MICHAEL EGIDIUS LUTHARDT	7
Publikationen des LFE im Jahr 2016	9
Vom Kambium zum Totholz? – Drittmittelforschung am LFE	
DR. HABIL. JENS SCHRÖDER	13
Kalkungsversuche auf brandenburgischen BZE-Inventurpunkten – Ziele, Stand und Perspektiven eines bundesweiten Projektes	
DR. JENS HANNEMANN, PROF. DR. WINFREID RIEK, ALEXANDER RUSS & MAURICE SCHWOY	25
Der kleine Unterschied macht's – Klonprüfung zur Trockenstresstoleranz von Robinien (Ergebnisse des FNR-Projektes – FastWOOD 3)	
DR. SONJA LÖFFLER, DR. C. LANGE, PROF. DR. HABIL. RALF KÄTZEL	37
Die Wälder des norddeutschen Tieflandes unter dem Einfluss aktueller und zukünftiger Risikofaktoren – Beispiele für eine Gefährdungsanalyse	
PROF. DR. HABIL. RALF KÄTZEL, STEFAN FLECK, MATTHIAS ALBERT	45
Wald(um)bau versus Kieferngefährdung – Ein Ausblick in die „nahe“ Zukunft der Waldschutzsituation in Brandenburg	
DR. RAINER HENTSCHEL, ALINE WENNING, DR. HABIL. JENS SCHRÖDER, DR. KATRIN MÖLLER UND DR. ANNETT DEGENHARDT	55
Datenfriedhof oder Schatzkammer? – Nutzungsmöglichkeiten umfassender Waldschutz-Datenbestände für ausgewählte Großschädlinge in Brandenburg	
ALINE WENNING, DR. RAINER HENTSCHEL, DR. HABIL. JENS SCHRÖDER UND DR. KATRIN MÖLLER	65
Ausgewählte Posterdarstellungen	73
Bisher erschienene Bände der Eberswalder Forstlichen Schriftenreihe	83

Bericht aus der Arbeit des LFE im Jahr 2016

MICHAEL EGIDIUS LUTHARDT

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrte Leser,

Bäume legen Rechenschaft über ein gutes oder schlechtes Wachstum anhand ihrer Jahrringbreiten ab. Die Dendrochronologen können dann ein Resümee über das Leben eines Baumes ziehen. Das Jahr 2016 war für die Bäume wieder einmal kein leichtes – der Witterungsverlauf war fast das ganze Jahr über abweichend von den langjährigen Mittelwerten. Die schon sprichwörtliche Frühjahrstrockenheit in Brandenburg war auch in diesem Jahr wieder aktuell und der Monat September war einer der wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen. Das Niederschlagsdefizit lag bei über 70%. Und weltweit war das Jahr 2016 das wärmste seit jeher. Die Zeichen stehen also weiter auf Klimawandel.

Auch für das LFE brachte der Beginn des Jahres einen Wandel in der Organisationsform. Seit 1.01.2016 ist das LFE als Abteilung 4 direkter Bestandteil des Landesbetriebes Forst Brandenburg geworden. Die vorher zugehörigen Teile wie IT und Forsteinrichtung wurden anderen Abteilungen des LFB zugeordnet. Das LFE besteht nun aus den Fachbereichen Waldressourcenmanagement, Waldökologie und Monitoring sowie Waldschutz und Wildökologie.

Ein besonderer Höhepunkt im Jahr 2016 war die Fachtagung „30 Jahre Forstliches Umweltmonitoring in Brandenburg“ am 6. und 7. Juli 2016. Hier konnte eine eindrucksvolle Bilanz der Ergebnisse von sehr langfristigen Messreihen gezogen werden. Angefangen von der Ökologischen Waldzustandskontrolle Mitte der 1980-er Jahre bis zu dem heutigen Maßnetz mit den LEVEL-II-Flächen als Herzstück können so Rückschlüsse über die Waldentwicklung gezogen werden. Dies wurde während der Tagung und dem danach erschienenen Band 63 der Eberswalder Schriftenreihe deutlich. Als Fazit kann festgehalten werden, dass der Klimawandel schon sehr deutlich in Brandenburg angekommen ist und in den Waldökosystemen auch entsprechende Veränderungen vor sich gehen.

Für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Fachbereich Waldschutz brachte das Jahr 2016 wieder einige nicht immer kalkulierbare Aufgaben. Obwohl bereits im Jahr 2015 Kiefernbuschhornblattwespen im Südwesten von Brandenburg auffällig waren, wuchsen die merklichen Fraßschäden im Juli schon auf 5.500 ha an. Danach erfolgte in den Sommermonaten eine intensive Überwachung. Angesichts der hohen Zahlen an Eiern und der Larvenentwicklung war von einer 2. Generation auszugehen. Nun musste das enge zeitliche Fenster von wenigen Wochen für die Vorbereitung und Durchführung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes genutzt werden. Ende August/Anfang September wurden 2.832 Hektar erfolgreich befliegen. In den unbehandelten Flächen ist es entsprechenden den Prognosen des Teams Waldschutz zu den erwarteten Fraßschäden gekommen. Es kann festgestellt werden, dass die Gemeine Kiefernbuschhornblattwespe zu den Klimagewinnern zählt.

Während sich von den nadelfressenden Insekten die Nonne und der Kiefernspinner in der Latenz befinden, zeigen Kiefernspinner und Forleule 2016 leicht erhöhte, aber unbedenkliche Dichten an. Aber auch die pilzlichen Schaderreger spielen immer wieder eine Rolle. So zum Beispiel das Diplodia-Triebsterben in Nadelholzbeständen. Und auch das Eschentriebsterben ist nicht abgeklungen.

Im Bereich der Wildökologie musste das Ausbreiten der Afrikanischen Schweinepest stärker in den Fokus genommen werden. Besonders die Bewirtschaftung der Schwarzwildbestände muss überdacht werden. Hierzu wird an einer Empfehlung gearbeitet.

Die weitere Auswertung der zweiten Bodenzustandserhebung (BZE) stand auch 2016 im Mittelpunkt von mehreren Fachteams. Anhand der Ergebnisse gelang eine Regionalisierung der Ergebnisse in einem Raster von 100 x 100 Metern, so dass nun flächendeckende Aussagen über den Bodenzustand in den Wäldern Brandenburgs möglich sind. An den entsprechenden waldbaulichen Empfehlungen wurde gearbeitet und erste Ergebnisse vorgestellt.

Auf einigen BZE-Punkten wurden im Jahr 2016 Kalkungsversuche durchgeführt. Hier soll die Frage geklärt werden, ob die Kalkung von Waldflächen ein probates Mittel gegen die forstschreitende Versauerung der Waldböden ist.

Die Einschätzung, Bewertung und der Umgang mit Risikofaktoren für die forstliche Bewirtschaftung der Wälder in Brandenburg spielt eine immer größere Rolle bei den Aufgaben des gesamten LFE. Es wurde im Jahr 2016 damit begonnen, verschiedene Risikofaktoren miteinander zu verschneiden und eine Prognose zu erarbeiten. Hier wird in den kommenden Jahren noch viele Erkenntnisse dazu kommen.

Wie auch in diesem vorliegenden Tagungsband ersichtlich wird, war das LFE im Bereich der sogenannte Drittmittelforschung in diesem Jahr sehr gut aufgestellt. Begonnen hat ein Projekt zur Einrichtung eines genetischen Monitorings für Buche und Fichte in Deutschland zur Bewertung der genetischen Anpassungsfähigkeit der Baumarten gegenüber Umweltveränderungen. Hier ist das LFE ein Partner im Forschungsverbund. Weiterhin errang das LFE mit Partnern aus der Praxis den Zuschlag für ein Projekt der EU und des Landes, wo es um die landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit, Selektion, Prüfung und Anzucht von wurzelechten und klimaangepassten Straßen- und Allee-bäumen für die Baumschulproduktion geht.

Die Arbeit des LFE wurde 2016 von den Medien sehr gut reflektiert. Neben der jährlichen Pressekonferenz zum Waldzustandsbericht erreichen das LFE immer wieder Anfragen verschiedener Medienvertreter und es gehen von uns Impulse für die Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums und des LFB aus.

Die gute Zusammenarbeit mit den Partnereinrichtungen in den einzelnen Bundesländern wurde fortgesetzt. Mit einigen verbindet das LFE auch langfristige Verträge, wie im Bereich Waldschutz mit Mecklenburg-Vorpommern und Berlin. Auch in den Drittmittelprojekten wird intensiv zusammen gearbeitet. Die Beziehungen zu Thüringen konnten durch Teilnahmen an verschiedenen Meetings und Tagungen gepflegt werden. Nach wie vor ist eine Arbeitsteilung der sogenannten kleineren Forstlichen Versuchsanstalten im Gespräch.

Auf internationalem Gebiet wurden besonders die Kontakte zur Republik Polen weiter gepflegt. Viele beidseitige Besuche von Kollegen verschiedener Einrichtungen der forstlichen Forschung in Polen standen auf dem Programm. Unser Kollege Stefan Panka erlangte den Doktor der Waldwissenschaften an der Universität Warschau.

Diese, sich aus den Routineaufgaben des LFE heraushebenden Leistungen, konnten nur mit einem Stamm von leistungsbereiten und motivierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erreicht werden. Dafür an dieser Stelle mein Dank für die geleistete Arbeit. Auch wenn es auf Grund des zunehmenden Durchschnittsalters oft nicht immer leicht ist. Aber immerhin konnten einige jüngere Kolleginnen und Kollegen im Rahmen der sogenannten Spezialistenstellen eingestellt werden. Die in unserem Haus erarbeiteten Ergebnisse wurden dabei in zahlreichen Fachzeitschriften veröffentlicht, wie die folgende Publikationsliste zeigt. Und ein großen Dankeschön auch an alle Kolleginnen und Kollegen des LFB für ihre oft unkomplizierte Unterstützung unserer Arbeit auf den Flächen.

Dr. Michael Egidius Luthardt

Leiter des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE)

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde Publikationen 2016

Forstpolitik, Planung und Betriebswirtschaft

ENGEL, J. (2016):

„Daten unter die Leute bringen“: Dokumentation, Datenfreigabe und zielgruppengerechte Präsentation von Ergebnissen der Forstlichen Umweltkontrolle.
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 63: 216-222.

LUTHARDT, M. E.; MÜLLER, J. (2016):

Kolloquium in Eberswalde – Waldinventur von Hartig bis heute. AFZ-Der Wald (3) 2015: 18.

Waldbau/Waldwachstum

DEGENHARDT, A. (2016):

Betriebswirtschaftliche Verluste – Schadensbewertung nach Kahlfraß.
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 41-51.

DEGENHARDT, A.; KALLWEIT, R.; BARTH, R. ET AL. (2016):
Charakterisierung der Level II – Flächen anhand waldwachstumskundlicher Parameter.
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 63: 157-161.

STÄHR, F. (2016):

Wie beeinflussen Klima- und Bodenentwicklungen die Waldbewirtschaftung im nordostdeutschen Tiefland – waldbaustrategische und waldbauliche Konsequenzen aus den Monitoringdaten.
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 63: 223-237.

Waldschutz

BARKHAUSEN, A. (2016):

Konsequenzen für den Wirtschaftler – Sekundärschädlinge, Sanitärhiebe und waldbauliche Pläne.
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 37-40.

JOHN, R., DELB, H., HIELSCHER, K., HURLING, R., LOBINGER, G., NIESAR, M., OTTO, L.-F., PETERCORD, R.; THIEL, J. (2016):

Borkenkäfer an Nadelbäumen - erkennen, vorbeugen, kontrollieren.
Aid-Heft 1015/2016, 8. überarb. Aufl., 54 S.

HENTSCHEL, R.; WENNING, A.; SCHRÖDER, J.; MÖLLER, K. (2016):
Vielfalt kontra Kahlfraß – Zum Einfluss der Bestandesstruktur auf die Fraßintensität der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Brandenburg.
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 69-76.

HEYDECK, P. (2016):

Schäden durch Krankheitserreger.
In: Prien, S. (Hrsg.): Ökologischer Waldschutz, S. 150-171. Stuttgart: Ulmer.

HEYDECK, P.; DAHMS, C.; WENK, M.; PASTOWSKI, F.; EBERT, P.; JACOB, C.; MENGE, A. (2016):
Bläuepilze und Holzentwertung – Untersuchungen zum Schadverlauf im Kahlfraßgebiet.
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 31-35.

HEYDECK, P.; DAHMS, C.; FUCHS, R. (2016):

Pilzinfektionen an Nadeln von Kiefer, Lärche, Douglasie und Fichte.
Poster zum 11. Winterkolloquium am 25.02.2016 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 91.

HEYDECK, P.; DAHMS, C. (2016):

Erstes Auftreten der Dothistroma-Nadelbräune (*Dothistroma septosporum*) im Nordostdeutschen Tiefland.
60. Deutsche Pflanzenschutztagung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 20.-23.09.2016. Vortrag, Kurzfassung in: Julius-Kühn-Archiv, Band 454: 305-306.

HEYDECK, P.; DAHMS, C. (2016):

Beträchtliche Vitalitätsminderung an Gemeiner Kiefer (*Pinus sylvestris*) nach Einwirkung extremer Witterungsfaktoren im Bundesland Brandenburg. 60. Deutsche Pflanzenschutztagung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 20.-23.09.2016. Poster, Kurzfassung in: Julius-Kühn-Archiv, Band 454: 425-426.

HEYDECK, P.; DAHMS, C.; FUCHS, R.; PFANNENSTILL, T.; JAKOBITZ, J.; ENDTMANN, H.-J. (2016):

Die Dothistroma-Nadelbräune (*Dothistroma septosporum*) – neu im Nordostdeutschen Tiefland. 57. Österreichische Pflanzenschutztagung in Wels, 29.-30.11.2016. Österreichische Arbeitsgemeinschaft für integrierten Pflanzenschutz, Poster, Kurzfassung: Tagungsband, S. 47.

MENGE, A., PASTOWSKI, F. (2016):

Kiefernaturverjüngung und Kahlfraß durch Kiefernspinner
AFZ- Der Wald (15) 2016: 35-37.

MENGE, A., PASTOWSKI, F. (2016):

Überlebt die Kiefernaturverjüngung einen Kahlfraß durch Kiefernspinnerrauen (*Dendrolimis pini*)?
Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 19-22.

MÖLLER, K.; HEYDECK, P.; HIELSCHER, K.; DAHMS, CH. (2016):
Waldschutzsituation 2015 in Brandenburg und Berlin.
AFZ-Der Wald (7) 2016: 41-44.

MÖLLER, K. (2016):

Der Fall Kiefernspinner im NSG „Lieberoser Endmoräne“: Waldschutz-Risikomanagement mit Hindernissen.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 13-18.

MÖLLER, K.; EBERT, P. (2016):

Die Gemeine Kiefernbuschhornblattwespe.

Information für Waldbesitzer. MLUL, Sonderdruck.

MÖLLER, K. (2016):

Wirkung von Parasitoiden im Wald und Möglichkeiten der Förderung.

In: PRIEN, S. (Hrsg.): Ökologischer Waldschutz. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: S. 266-272.

MÖLLER, K. (2016):

Der Eichenprozessionsspinner.

In: PRIEN, S. (Hrsg.): Ökologischer Waldschutz. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: S. 102-107.

MÖLLER, K.; HEINITZ, M. (2016):

Waldschutz in Brandenburg – das Risikomanagement erfordert die Zusammenarbeit von Forst- und Naturschutzbehörden.

Natur und Landschaftspflege in Brandenburg 1, 2: 30-39.

MÖLLER, K.; WENK, M.; PASTOWSKI, F. (2016)

Überwachung der Nonne und Waldverlust-Prognose

AFZ-Der Wald; 15/2016; 31-34.

PASTOWSKI, F.; WENK, M. (2016)

Folgen für den Betrieb – Bestandesentwicklung nach Kahlfraß mit und ohne forstlichen Eingriff.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 27-29.

RÜFFER, O. (2016):

Moderne Fernerkundungsverfahren - Nutzen für Waldschutz und Waldbau in der Praxis.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 59-68.

SCHRÖDER, J.; WENNING, A.; HENTSCHER, R.; MÖLLER, K. (2016):
Rückkehr eines Provokateurs: Was steuert die Ausbreitungsdynamik des Eichenprozessionsspinners in Brandenburg?

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 77-88.

WENK, M. (2016):

Winterkolloquium in Eberswalde – Dokumentation des Schadverlaufs nach Kahlfraß in Kiefernforsten – Einsatz von Satellitenbildern und Bügelschaber.

Eberswalder Schriftenreihe Band 62: 23 - 26.

WENK, M. (2016):

Waldschutz-Merkblatt Nr. 55 - Mäuse.

Sonderdruck, MLUV (Hrsg.). 46 S.

WENNING, A.; SCHRÖDER, J.; HENTSCHER, R.; MÖLLER, K. (2016):
Rückkehr eines Provokateurs: Was steuert die Ausbreitungsdynamik des Eichenprozessionsspinners in Brandenburg?

Poster FowiTa Sep. 2016 Freiburg.

Waldökologie

KÄTZEL, R.; KALLWEIT, R.; LÖFFLER, S.; MÖLLER, K.; BECK, W.; SCHRÖDER, J.; (2016):

Zur Klimaplastizität der Wälder in Brandenburg – Eine retrospektive Betrachtung aus Sicht des Waldmonitorings.

AFZ-Der Wald 3 (2016): 19-24.

Bodenkunde

RIEK, W., RUSS, A. (2016):

Regionalisierung: Ableitung von Flächenaussagen aus Fallstudien und BZE.

In: 30 Jahre forstliches Umweltmonitoring in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 63: 192-206.

RIEK, W., RUSS, A., HANNEMANN, J., KALLWEIT, R. (2016):
Bodenzustand und Baumernährung: Kennwerte aus BZE und Level II-Programm.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 63: 40-60.

RIEK, W., TALKNER, U., DAMMANN, I., KOHLER, M., MEIWES, K.J. (2016):

Waldernährung.

In: Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Wellbrock, N., Bolte, A., Flessa, H. (Hrsg.). Thünen Report 43. 245-291.

GÖTTLEIN, A., RIEK, W., TALKNER, U., DAMMANN, I., KOHLER, M., MEIWES, K.J. (2016):

Ableitung von Nährelementrelationen für Fichte, Kiefer, Buche, Eiche aus dem Wertebereich normaler Ernährung.

In: Forstwissenschaftliche Tagung 2016. Abstracts. Kohler, M., Csapek, G., Bauhus, J. (Hrsg.). Berichte Freiburger Forstliche Forschung 2016, Heft 100. S.309.

GRÜNEBERG, E., RIEK, W., SCHÖNING, I., EVERS, J., HARTMANN, P., ZICHE, D. (2016):

Kohlenstoffvorräte und deren zeitliche Veränderungen in Waldböden.

In: Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Wellbrock, N., Bolte, A., Flessa, H. (Hrsg.). Thünen Report 43. 181-209.

HANNEMANN, J.; RIEK, W. (2016):

Betrachtungen zu mikro- und makromorphologischen Eigenschaften von Sedimenten.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 62: 92-93.

HANNEMANN, J., RUSS, A., KALLWEIT, R., RIEK, W. (2016):

Betrachtungen zu den Stoffbilanzen von Level II-Flächen in Brandenburg.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 63: 61-75.

RUSS, A., RIEK, W., KALLWEIT, R., EINERT, P., JOCHHEIM, H., LÜTTSCHWAGER, D. HANNEMANN, J., BECKER, F. (2016):

Wasserhaushalt von Standorten des Level II-Programms in Brandenburg.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 63: 136-157.

RUSS, A., RIEK, W., WESSOLEK, G. (2016):

Entwicklung statistischer Vorhersagemodelle zur Identifizierung von Legendeneinheiten forstlicher Standortskarten – Beispiel Nordostdeutsches Tiefland.

In: Gefährdungen der Ökosystemdienstleistungen von Wäldern. Fachtagung vom 9. bis 10. Oktober 2014 in Göttingen. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 14: 133-146.

SPATHELF, P., BOLTE, A., RIEK, W. (2016):

Waldmanagement im Klimastress 2.0.

AFZ-Der Wald 3 (2016): 10-14.

TALKNER, U., RIEK, W., DAMMANN, I., KOHLER, M., MEIWES, K.J., GÖTTLEIN, A. (2016):

Der Waldernährungszustand an den Punkten der bundesweiten Bodenzustandserhebung.

Forstwissenschaftliche Tagung 2016. Abstracts. Kohler, M., Csapek, G., Bauhus, J. (Hrsg.). Berichte Freiburger Forstliche Forschung 2016, Heft 100. S.128.

WALLOR, E., RUSS, A., RIEK, W. (2016):

Validierung regionalisierter Informationen zum Waldboden anhand typischer Standorts-Leistungs-Beziehungen der Kiefer im Land Brandenburg.

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz Heft 16. 121–129.

WELLBROCK, N., LAUER, A., EICKENSCHIEDT, N., GRÜNEBERG, E., EVERS, J., AHRENDT, B., SCHIMMING, C.-G., NAGEL, H.-D., RIEK, W., MEIWES, K.J., MEESENBERG, H. (2016):

Bodenversauerung und Nährstoffverfügbarkeit.

In: Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. Wellbrock, N., Bolte, A., Flessa, H. (Hrsg.). Thünen Report 43. 75-134.

Genetik/Ökophysiologie

KÄTZEL, R.; BECKER, F.; ZANDER, M.; LEINEMANN, L.; LÖFFLER, S. (2016):

Vom genetischen und naturschutzfachlichen Wert der Alteichen der Schorfheide und über Wege zur Erhaltung ihrer genetischen Ressourcen.

Thünen Report 45: 30-45.

KÄTZEL, R.; LÖFFLER, S. (2016):

20 Jahre Biomarker als Vitalitätsindikatoren im Forstlichen Umweltmonitoring - Ergebnisse und Erfahrungen.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 58: 174-189.

KONNERT, M.; KÄTZEL, R.; LIESEBACH, M.; WURM, A. (2016):

Zur Erhaltung forstlicher Genressourcen der Winterlinde (*Tilia cordata*) in Deutschland.

AFZ-Der Wald 20 (2016): 38-41.

Wildökologie und Jagdwirtschaft

GLEICH, E. (2016):

Methodische Vorgehensweise bei der Ermittlung der Wirksamkeit von Wildabwehrgeräten mittels Ultraschall.

Beiträge zur Jagd- und Wildforschung Bd. 41(2016): 437-446

GLEICH, E. (2016):

Methoden zur Ermittlung der Wirksamkeit von mit Witterungsfiltern ausgerüsteter Kleidung.

Beiträge zur Jagd- und Wildforschung Band 41 (2016): 429-435.



Vom Kambium zum Totholz? Drittmittelforschung am LFE

JENS SCHRÖDER

1 Einführung

Seit vielen Jahren bildet die Forschung in drittmittelfinanzierten Projekten einen wichtigen Schwerpunkt in Eberswalde. Das Landeskompetenzzentrum Forst (LFE) und seine Vorläufer wurden und werden gerade auf Bundes- und internationaler Ebene hauptsächlich über die Beteiligung an Projektverbänden als regionales Zentrum anwendungsbezogener forstlicher Forschung wahrgenommen. In einer Reihe zum Teil internationaler Projekte (OakChain, INKA BB, NaLaMa-nT und ForseenPOMERANIA) war die Forschung regional durch den Bezug auf die für Brandenburg bestimmenden Standorts- und Bestandesverhältnisse und inhaltlich durch Fragen nach der Funktionserfüllung der Wälder unter sich wandelnden Umweltbedingungen geprägt (ELMER et al. 2009; LFE 2014; ALBERT et al. 2015; EICHHORN et al. 2016). Dabei konnten wichtige Fragen zur Betriebssicherheit der Hauptbaumarten, zu geeigneten Bewirtschaftungsformen und zum Einfluss des Klimawandels bearbeitet werden. Der folgende Beitrag stellt eine Auswahl der Ergebnisse im Zusammenhang über die Projekte hinweg sowie in ihrem potenziellen Nutzen für die Waldbewirtschaftung in Brandenburg vor.

2 Projektschwerpunkte und ausgewählte Ergebnisse

2.1 Drittmittelprojekte als Instrumente der forstlichen Forschung

Analog zum Kambium eines Baumes, das in einer Doppelfunktion Holzzellen und Leitgewebe hervorbringt, können Drittmittelprojekte sowohl den Interessen der externen Mittelgeber dienen als auch Bedürfnisse der Institution erfüllen, an denen sie angesiedelt sind. Neben den Schwerpunkten der Geldgeber sind in der Regel schon bei der Formulierung des Projektantrags und der inhaltlichen Definition der Vorhaben Fragen mit eingeflossen, die für die betreuende Einrichtung von Bedeutung sind. Im Fall des LFE sind das Themen, die relevant für die multifunktionale Bewirtschaftung der Brandenburger Wälder sind, aber wegen ihrer methodischen, personellen und/oder zeitlichen Ansprüche nicht mehr allein mit den aus Haushaltsmitteln finanzierten Ressourcen bearbeitet werden können. Die zeitlich befristete Beschäftigung von wissenschaftlichem und technischem „Nachwuchspersonal“ bietet dabei die Möglichkeit, neue methodische Ansätze auf dem aktuellen Stand des Wissens auf die Probleme der Brandenburger Landesforstverwaltung anzuwenden. Wenn das entsprechende Drittmittelprojekt erfolgreich war, dann sind neben Produkten, die von den Geldgebern erwartet wurden, auch Ergebnisse entstanden, die für die regionale Forstpraxis nützlich sind.

Seit 2005 sind durch das LFE, bis 2008 noch als Landesforstanstalt Eberswalde, mehr als 2,5 Millionen Euro als Drittmittel für verschiedene Projekte eingeworben worden. Geldgeber war in vielen Fällen das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), daneben auch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), die Europäische Union über das Interreg-Programm und in letzter Zeit verstärkt der „Waldklimafonds“ (WKF) als gemeinsame Förderplattform des BMEL und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU). Mindestens 20 Personen konnten seitdem über befristete Arbeitsverträge beschäftigt werden und sich beruflich weiterqualifizieren. In den meist als überregionale oder auch binationale Verbände konzipierten Projekten arbeitete das LFE mit vielfältigen Partnern aus dem Hochschulbereich, mit anderen forstlichen Versuchsanstalten, mit Bundeseinrichtungen wie auch mit Betrieben der Privatwirtschaft zusammen. Drittmittelprojekte sind für eine Einrichtung wie das LFE auch eine wichtige Chance des Austauschs und der Erweiterung des regional und funktional durch die Tagesaufgaben geprägten Sichtfeldes.

Die Arbeit am LFE profitierte von Drittmittelprojekten unter anderem dadurch, dass eine Reihe neuer oder bisher in dieser Tiefe nicht genutzter Untersuchungsverfahren zur wissenschaftlich fundierten Beantwortung komplexerer Fragen „hautnah“ erlebbar und zumindest teilweise auf parallele Themen angewandt wurden. Die davon betroffenen inhaltlichen Schwerpunkte und die in den einzelnen Vorhaben mit unterschiedlicher Gewichtung genutzten Methoden fasst Abb. 1 zusammen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

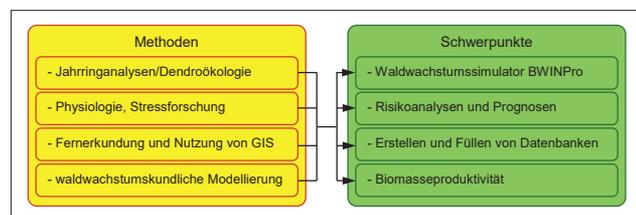


Abb. 1: Methodische und inhaltliche Schwerpunkte der Arbeit in Drittmittelprojekten am LFE

Im Folgenden wird eine Auswahl von Ergebnissen dargestellt, die auf Basis der methodischen Ansätze nach Abb. 1 erarbeitet wurden. Von zentraler Bedeutung waren die Verfahren und der theoretische Hintergrund der Jahringforschung bzw. Dendroökologie, mit deren Hilfe anhand von Bohrkernen die Zuwachsentwicklung retrospektiv analysiert werden konnte (SCHWEINGRUBER 1996; BECK 2007). Zum größten Teil sind direkte Projektergebnisse beschrieben, enthalten sind jedoch zusätzlich Auswertungen, die auf Basis der Projektmethoden für forstpraktische Fragen außerhalb der einzelnen Projekte erfolgten.

2.2 Projekt OakChain: Wirtschaftliche Aspekte in Eichen-Kiefern-Mischbeständen

Das deutsch-polnische Projekt „OakChain – Nachhaltige Bewirtschaftung von Eichen-Kiefern-Mischbeständen im subkontinentalen Nordostdeutschen Tiefland“ wurde 2005–2009 vom BMBF finanziert und verband eine Reihe von Forschungseinrichtungen bis hin zu Unternehmen und Forstverwaltungen aus Nordostdeutschland und Polen (ELMER et al. 2009). Neben Fragen zur Anpassung der Trauben-Eiche an zukünftige Klimaverhältnisse wurden am LFE in Zusammenarbeit mit der TU Dresden auch Themen bearbeitet, die wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten von Rein- und Mischbeständen dieser Baumart betrafen. Ein wichtiger Parameter in diesem Zusammenhang ist die Holzqualität im Sinne der technologischen Eignung des Stammholzes, wie sie anhand äußerer Merkmale festgestellt werden kann.

Unterschiede in den Anteilen der einzelnen Qualitätsklassen am Gesamt-Erntevolumen wirken sich auf Grund der Preisunterschiede zwischen hochwertigen und minderwertigen Sortimenten direkt auf die Erlössituation von Forstbetrieben aus. Das beeinflusst die Entscheidung für oder gegen eine Baumart oder bestimmte waldbauliche Strategien durch die betroffenen Interessenträger mit. Deshalb war es ein Anliegen des OakChain-Projekts, die Konsequenzen der unterschiedlichen Behandlung und räumlichen Wuchssituationen in Reinbeständen der Eiche mit denen in Mischbeständen mit Kiefer zu vergleichen und zu quantifizieren (BÄUCKER und BUES 2009). Dazu dienten detaillierte Aufnahmen der wertbestimmenden äußeren Holzmerkmale wie Astigkeit, Krümmung und Durchmesser, die an insgesamt 1.020 Bäumen in einer Reihe von Beständen in Ost- und Südbrandenburg sowie auf zwei Flächen in Polen erfolgten. Die Mischungsform in allen Eichen-Kiefern-Beständen lässt sich als einzelbaum- bis truppweise Durchmischung charakterisieren. In Auswertung der erfassten Daten schloss sich eine abschnittsweise Sortierung gemäß Handelsklassensortierung (HKS) an (MLUR 2001). Die Grafik in Abb. 2 fasst deren Ergebnisse für den Vergleich von vier beispielhaften Rein- und Mischbeständen zusammen.

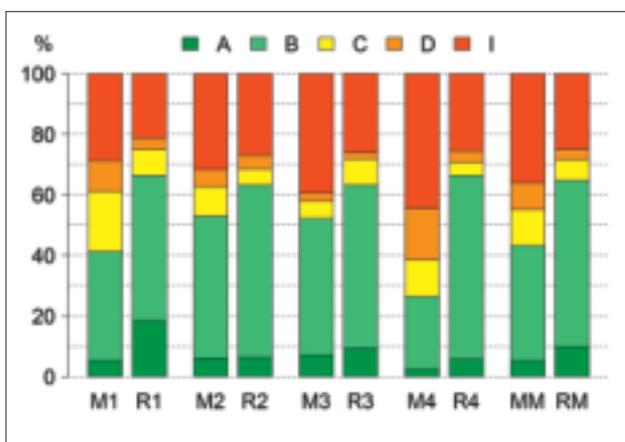


Abb. 2: Anteile der Güteklassen A bis D und des Industrieholzes („I“) nach Stehend-Sortierung in vier Mischbeständen der Trauben-Eiche mit Kiefer („M1“ bis „M4“) sowie in vier Eichen-Reinbeständen („R1“ bis „R4“). „MM“ gibt die Mittelwerte der vier Mischbestände an, „RM“ die der vier Reinbestände. Je Bestand wurden 60 Bäume angesprochen. Grafik nach BÄUCKER und BUES (2009).

Durchschnittlich waren in den Mischbeständen mehr und dickere Äste sowie Astnarben am Schaft zu beobachten, die die Holzsortierung wesentlich beeinflussten. Die potenziellen Anteile der hochwertigen Sortimente A und B lagen dadurch im Mittel der Reinbestände mit 10 bzw. 55 % deutlich höher als in den Mischbeständen mit 5 bzw. 32 %. Für die minderwertigen Güteklassen C und D waren die Verhältnisse entsprechend umgekehrt: Deren Anteile in den Reinbeständen lagen bei 7 und 3,5 %, in der Mischung dagegen bei 12 und 9 %. In Übereinstimmung mit älteren Quellen (z. B. BARTSCH et al. 1996) bestätigen so die Untersuchungen im OakChain-Projekt die schlechtere Holzqualität, die aus der kleinflächigen bis einzelbaumweisen Mischung der Lichtbaumarten Kiefer und Trauben-Eiche resultiert. Zurückgeführt werden kann dies zum einen auf die schlechtere natürliche Astreinigung bei der Eiche in Mischung mit Kiefer – in dieser Art Mischbestand ist die Lichtverfügbarkeit im unteren Stammraum höher als in Eichen-Reinbeständen. Als zweiter Grund ist zu vermuten, dass Bestände mit Eichen-Kiefern-Einzelbaummischungen oft nicht geplant begründet bzw. erzogen werden, sondern zufällig aus lückigen Verjüngungen einer der beiden Arten entstehen. Dadurch ergeben sich ungleichaltrige, ungleichmäßig strukturierte Bestockungen, die aus Mangel an waldbaulichen Referenzen auch später kaum einer stringenten, bestandespfleglichen Behandlung unterzogen werden. Derartige Flächen sind dann zwar mit ökonomischen Nachteilen behaftet, ökologisch jedoch durch die höhere Zahl von Nischen und die größere Stabilität gegenüber Störungen von besonderem Wert.

2.3 Projekt INKA-BB: Waldbauliche Anpassung an Klimawandelfolgen

INKA BB – das „Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin“ – wurde 2009-2014 wie OakChain vom BMBF gefördert und untersuchte Anpassungsoptionen an regionale Klimawandelfolgen in verschiedenen Landnutzungsbereichen. In Bezug auf die Forstwirtschaft konzentrierte sich die Arbeit im Projekt zum einen auf die Weiterentwicklung von Planungs- und Simulationsinstrumenten wie dem Programm BWINPro. Zum anderen ging es darum, an Beispielflächen praktische Möglichkeiten aufzuzeigen, wie unter konkreten Rahmenbedingungen (z. B. verschiedenen Eigentumsformen) die waldbauliche Bestandesbehandlung an die prognostizierten Klimaveränderungen angepasst werden kann (EICHORN et al 2016). Beispielhaft für die dabei erzielten Ergebnisse werden im Folgenden die Auswertungen zum Umgang mit Waldumbaubeständen (Forstbetrieb Sauen und Landeswald-Oberförsterei Chorin) sowie zur Bewirtschaftung von Kiefern-Jungbeständen (Landeswald-Oberförsterei Peitz) vorgestellt. Zur räumlichen Orientierung enthält Abb. 3 die Lage der genannten Beispielflächen.

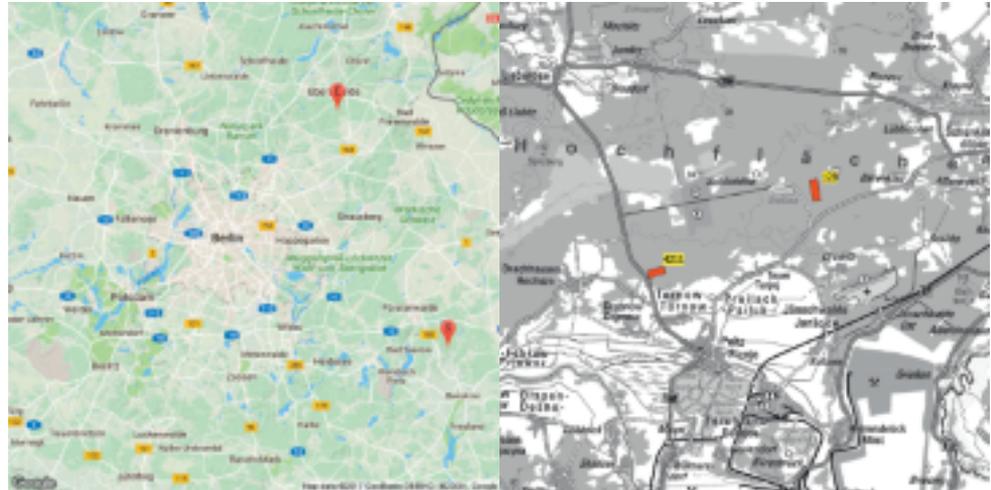


Abb. 3: Lage der Versuchsflächen Eberswalde 45 („E“, Landeswald-Oberförsterei Chorin) und Sauen 11 („S“) in Ostbrandenburg (links) sowie Preilack 4211 und Kleinsee 128 in der Landeswald-Oberförsterei Peitz in Südostbrandenburg (rechts)

2.3.1 Wie weiter nach dem Waldumbau? Die Versuchsflächen in Eberswalde und Sauen

Der ökologische Waldumbau der vergangenen Jahrzehnte hat in Brandenburg einen flächenmäßig bedeutenden und weiter wachsenden Anteil an zweischichtigen Beständen mit Kiefer in der Schirmschicht und Buche oder Eiche als zweite Schicht hervorgebracht (MÜLLER und LUTHARDT 2009). Seit 1990 sind nach Angaben des zuständigen Ministeriums bereits rund 75.000 Hektar dieser „Waldumbaubestände“ entstanden (MLUL 2015). Mit zunehmendem Alter dieser Flächen stellen sich vermehrt Fragen nach dem richtigen Zeitpunkt einer Übernahme des Laubholzes in den Hauptbestand sowie danach, wie dieser Übergang waldbaulich-technologisch am besten gestaltet werden sollte. Zwei schon vorher bestehende Versuchsflächen des LFE wurden im Rahmen des INKA-BB-Projekts dazu genutzt, Antworten auf diese Fragen zu suchen. Es handelt sich um die Flächen Eberswalde 45 (Ew45) und Sauen 3511 (Sa11), auf denen je zwei Parzellen von 0,25 ha Größe eingerichtet sind. Sie befinden sich im nordostdeutschen Tiefland auf grundwasserfernen, pleistozän überprägten Standorten im Übergang zwischen subatlantisch beeinflusstem zu subkontinentalem Klima. Nähere Angaben zum Standort enthält Tab. 1 (siehe auch SCHRÖDER et al. 2014).

Tab. 1: Standortbedingungen der Versuchsflächen Eberswalde 45 und Sauen 3511

Name	Lokalbodenform	SSFG	RW	HW	N [mm]	T [°C]
Eberswalde 45	Sonnenburger Bändersandbraunerde	T K2	418807	5489949	592	9,1
Sauen 3511	Dobritzer Bändersand-Braunerde, lehmunterlagert	T M2+	445134	5792370	567	9,3

SSFG = Stamm-Standortformengruppe (SCHWANECKE und KOPP 1994); RW / HW = Rechts- bzw. Hochwert im UTM-ETRS89-Koordinatensystem, Streifen 33U; N = Jahresniederschlagssumme, T = Jahresmitteltemperatur, beides bezogen auf den Zeitraum 1981-2010, Basis: Tagesdaten nahegelegener Waldklimastationen

Die Fläche Ew45 liegt in der Teilfläche b1 der heutigen Abteilung 45 des Reviers Schönholz der Landeswald-Oberförsterei Chorin, Sa11 in der Unterabteilung 3511 d des von der

„Stiftung August Bier für Ökologie und Medizin“ bewirtschafteten Forstbetriebes Sauen. Die waldwachstumskundlichen Haupteigenschaften der Parzellen fasst Tab. 2 zusammen.

Tab. 2: Daten des Gesamtbestands vor der Entnahme für die jeweils zwei Parzellen der Versuchsflächen Eberswalde 45 (Ew45) und Sauen 3511 (Sa11); Bezug: 01.01.2011 (Sa11) bzw. 01.01.2012 (Ew45)

Parzelle	Art	Alter	N/ha	dg [cm]	hg [m]	d100	h100	G [m²]	V [m³]
Ew45-1	GKI	107	147	44,6	33,4	49,6	35,0	23,2	332,8
Ew45-1	RBU	71	783	18,7	24,6	28,3	26,9	20,4	241,6
Ew45-2	GKI	107	164	42,0	32,1	47,7	33,5	22,7	313,2
Ew45-2	RBU	71	540	19,5	25,2	27,8	28,0	16,2	199,2
Sa11-1	GKI	146	72	45,9	31,1	46,1	31,2	11,9	161,7
Sa11-1	RBU	89	600	23,6	28,0	41,4	31,1	26,6	369,0
Sa11-2	GKI	146	76	45,9	31,5	46,0	31,8	12,6	171,0
Sa11-2	RBU	89	616	23,2	28,2	40,1	31,8	25,8	367,0

GKI = Gemeine Kiefer; RBU = Rot-Buche; N/ha = Stammzahl je Hektar, dg = BHD des Grundflächenmittelstamms, hg = Funktionswert für dg aus der Bestandeshöhenkurve (BHK), d100 = Grundflächenmitteldurchmesser der 100 stärksten Bäume je Hektar; h100 = Funktionswert für d100 aus der BHK, G = Grundfläche je Hektar, V = Derbholzvorrat je Hektar

Auf Grund ihres Alters und der erreichten Durchmesser wurden alle Kiefern in Sauen planmäßig Anfang 2012 entnommen und der Bestand dadurch zu einem Buchen-Reinbestand. Im Sinne des Projekts wurden auf beiden Flächen je eine Parzelle auf eher konventionellem Wege behandelt, das heißt in Fortführung der bisherigen Vorgehensweise (SCHRÖDER et al. 2014). Dies bedeutete in Sauen eine mäßige Hochdurchforstung ohne Festlegung auf besonders zu fördernde Ausleseebäume. In Eberswalde erfolgte in der Standardvariante eine weitere Auflichtung des Kieferschirms mit Belassen gut geformter Bäume mit Zuwachspotenzial. Zusätzlich wurde einzelnen besonders wuchskräftigen Buchen, die in die oberste Kronenschicht einwachsen, durch gezielte Entnahme von Konkurrenten und Schirmkiefern

mehr Raum zur Entfaltung gegeben. Die alternative Variante bestand in Sauen darin, Ausleseebäume in der Buche auszuwählen und ihre Entwicklung zu fördern, indem hauptsächlich starke Konkurrenten gefällt wurden. Diese Eingriffsart kommt einer starken Hochdurchforstung bzw. Auslesedurchforstung gleich. In Eberswalde erfolgte in der Alternativparzelle die Ernte aller Kiefern, um das Wachstum der Buchen maximal zu fördern. Die wie in der Standardvariante ausgewählten Z-Bäume wurden durch das Entfernen vor allem stärkerer Bedränger begünstigt.

Die aus der Versuchsführung ableitbaren Erkenntnisse stützen sich zum einen auf die Analyse des bisherigen Wachstums anhand repräsentativer Bohrkernproben auf beiden Flächen, zum anderen auf die Auswertung von Wiederholungsaufnahmen aller Parzellen nach vier (Ew45) bzw. fünf Jahren (Sa11). Die Entwicklung des Zuwachses in den zweischichtigen Beständen spiegelt sich in den Zeitreihen der mittleren Jahrringbreite bezogen jeweils auf den Grundflächenmittelstamm wider, die in Abb. 4 dargestellt ist. Es werden Unterschiede sichtbar vor allem im Wachstum der Buche, das in Sauen trotz des etwas schwächeren Standortes seit etwa 1980 auf einem um etwa 50 % höheren Niveau verläuft als in Eberswalde. Ein Grund dafür könnte in der Grundflächenhaltung im Kieferschirm liegen, die in Sauen um 17-18 m², in Eberswalde bei etwa 23 m² je Hektar im Mittel über diesen Zeitraum liegt. Für den herrschenden bis mitherrschenden Teil der Buchen waren dadurch in Sauen eher als in Eberswalde gute Bedingungen für ein optimales Wachstum gegeben.

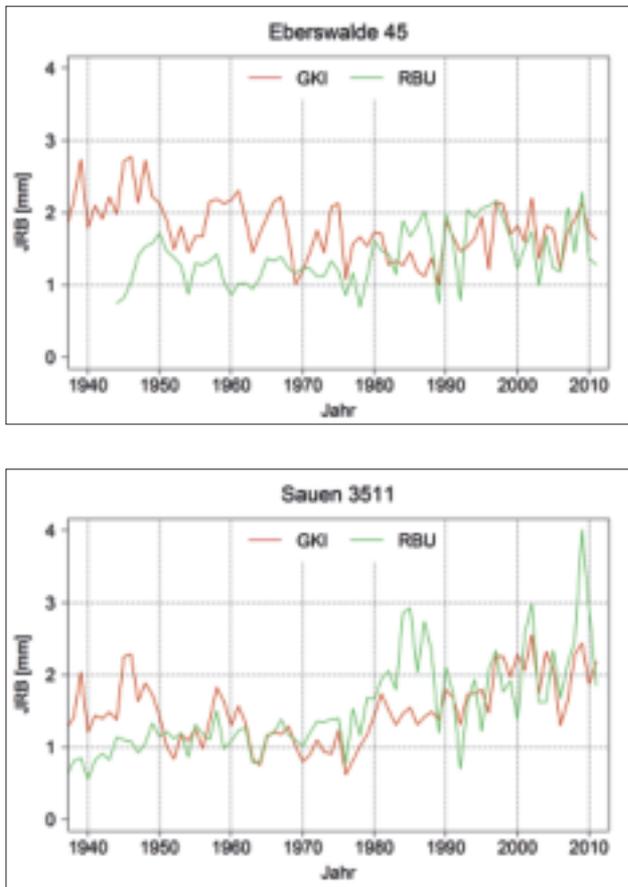


Abb. 4: Entwicklung der Jahrringbreite (JRB) bezogen auf den BHD des Grundflächenmittelstamms für Kiefer (GKI) und Rot-Buche (RBU) auf den Versuchsflächen Ew45 und Sa11

Die parzellenweise unterschiedlich gestalteten Eingriffe 2011 bzw. 2012 haben das nachfolgende Wachstum deutlich beeinflusst. Gut sichtbar wird das in den einzelbaumbezogenen Zunahmen im BHD, die durch die Aufnahmen Ende 2015 erfasst und in jährliche Durchmesserzuwächse transformiert wurden. Die Ergebnisse für die beiden Versuchsflächen vergleicht Abb. 5.

Die Auswertung zeigt für die Parzellen in Eberswalde einen Zuwachsvorsprung der Buchen in der Parzelle ohne Schirm von etwa 2,5 mm pro Jahr gegenüber der Parzelle, auf der ein Kieferschirm belassen wurde. Der Mehrzuwachs wird über das gesamte BHD-Spektrum geleistet. In Sauen ergeben sich auf der Parzelle mit dem stärkeren Eingriff („Auslesedurchforstung“) höhere BHD-Zuwächse vor allem im schwächeren Durchmesserbereich. Hier haben offenbar die zurückbleibenden Zwischen- und Unterstandsbuchen davon profitiert, dass sich der Eingriff auf starke Bedränger mit großen Kronen konzentriert hat und der Wuchsraum der Ausleseebäume so freigestellt wurde, dass auch in den kommenden Jahren keine Gefahr zu starken Kronenschlusses besteht. Diese Ergebnisse bieten gerade für die sensible Übergangsphase und die ersten Jahre im Buchen-Reinbestand interessante Anregungen für die praktische Bewirtschaftung ehemals zweischichtiger Waldumbaubestände.

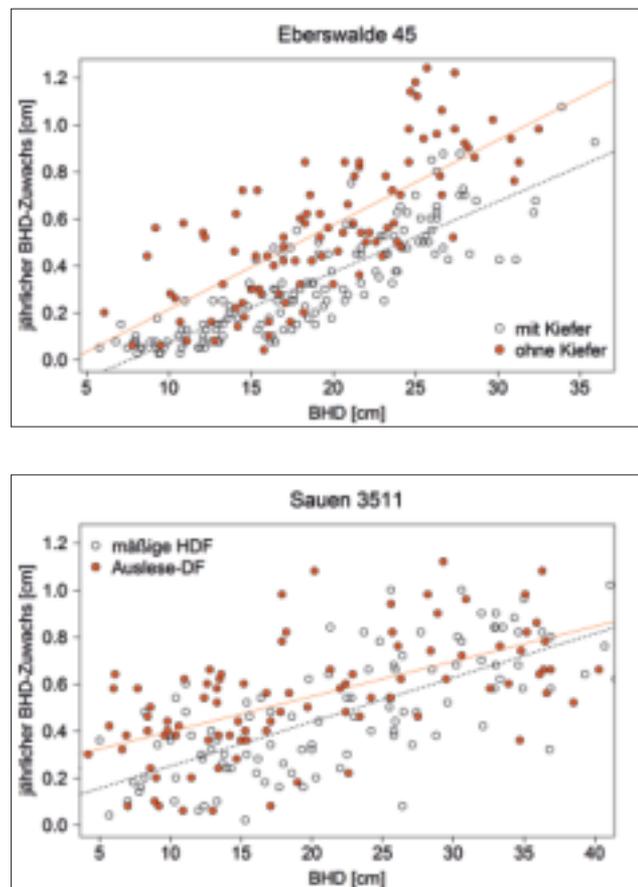


Abb. 5: Entwicklung der Jahrringbreite (JRB) bezogen auf den BHD des Grundflächenmittelstamms für Kiefer (GKI) und Rot-Buche (RBU) auf den Versuchsflächen Ew45 und Sa11

2.3.2 Freistellungseffekte in Kiefern-Jungbeständen

Das Projekt INKA BB bearbeitete unter dem Thema „Klimawandelanpassung“ auch die Frage, welche Folgen die Freistellung von Z-Bäumen in Kiefern-Jungbeständen, das heißt die weitgehende Ausschaltung der Konkurrenz durch Nachbarbäume, in Form starker Freistellungen der ausgewählten Wertzuwachsträger hat. In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner, der Landeswald-Oberförsterei Peitz in Südostbrandenburg, sollte geklärt werden, ob ein dauerhafter Zuwachsvorsprung erreicht werden kann, der langfristig eine stärkere Strukturierung der Bestände, eine zeitigere Ernte der begünstigten Stämme und den schnelleren Einstieg in eine neue Verjüngungsphase – eventuell unter Beteiligung weiterer Baumarten – ermöglicht (EICHORN et al. 2016). Für die Untersuchung wurden Anfang 2012 zwei Jungbestände ausgewählt (SCHRÖDER et al. 2014): Ein etwa 1,5 Hektar großer Bestand im Revier Preilack liegt in der Teilfläche 4211 a5, im Revier Kleinsee handelt es sich um die Teilfläche 128 a1, aus der etwa 1,3 Hektar erfasst wurden.

Tab. 3: Kennwerte der Beispielflächen in der Oberförsterei Peitz (Stand bei Beginn der Aufnahmen am 01.01.2012)

Revier, Abt., TF	Alter [a]	N/ha	Standort	dg [cm]	hg [m]	Bon.	V [m³/ha]
Kleinsee 128 a1*	31	3.200	M2	13,0	15,1	-0,5	174
Z-Bäume		25		21,5	17,9		
Preilack 4211 a5	36	4.000	Z2-A2	11,0	10,9	2,1	105
Z-Bäume		30		18,3	13,6		

* Erste Zeile: Angaben für den Gesamtbestand, zweite Zeile: Angaben nur für Z-Bäume. Bon. = relative Bonität nach Bezugsertragstafel LEMBOCKE et al. (1975); TF = Teilfläche, sonstige Abk. s. Tab. 2

In den Untersuchungsbeständen erfolgte Ende 2006 ein Eingriff, bei dem markierte und auf sechs Meter geastete Z-Bäume relativ stark freigestellt wurden (Abb. 6). Im Ergebnis betrug der mittlere Abstand zwischen den Z-Bäumen und ihrem jeweils nächsten Konkurrenten in Preilack etwa das Anderthalbfache des Z-Baum-Kronenradius, in Kleinsee lag dieser Faktor bei rund 1,25. Besonders in Preilack waren ältere Schälchäden und ungenügende Schaffformen auf Grund von länger zurückliegenden Brüchen der Stammachse zu beobachten.



Abb. 6: Z-Baum in der Teilfläche Kleinsee 128 a1 nach Beseitigung konkurrierender Nachbarn, Zustand zu Beginn des Jahres 2012 (Alter: 31, Mittelhöhe der Z-Bäume: 17,9 m)

Um die Entwicklung der Z-Bäume mit dem Wachstum ähnlich starker Bäume ohne Konkurrenzreduktion vergleichen zu können, wurden über die in Tab. 3 genannten Z-Bäume hinaus noch je 25 sogenannte „Vergleichsbäume“ ausgewählt. Je Baum wurden zwei Bohrkerne entnommen und zur Rekonstruktion der Jahringbreitenentwicklung vermessen (SCHRÖDER et al. 2014). Die auf dieser Basis ermittelten mittleren Verläufe für die beiden Kollektive je Fläche stellt Abb. 7 dar.

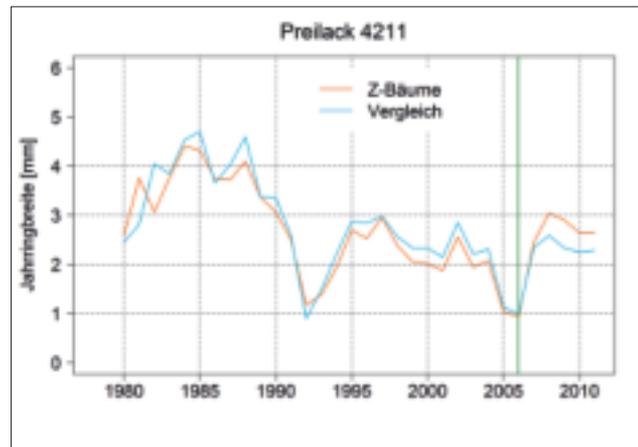
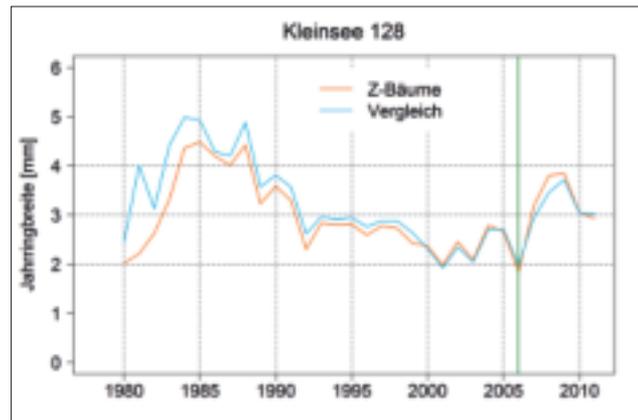


Abb. 7: Entwicklung der mittleren Jahringbreite für Kiefer im Vergleich der Z-Bäume mit nicht freigestellten Vergleichsbäumen auf den Beispielflächen Kleinsee 128 und Preilack 4211. Der Durchforstungseingriff 2006 ist durch die senkrechte grüne Linie markiert.

Die bereits in SCHRÖDER et al. (2014) ausgewertete Analyse der Jahre 2007-2011 zeigt auf den Beispielflächen einen Anstieg der mittleren Jahringbreite bei beiden untersuchten Kollektiven als Folge des Eingriffs 2006. In Preilack zeigen sich Zuwachsdifferenzen zwischen Z-Bäumen und Vergleichsbäumen, die in diesen fünf Jahren zu etwa 3,8 mm Mehrzuwachs im BHD führen. In Kleinsee dagegen bestehen keine Unterschiede zwischen den verglichenen Gruppen. Interessant war nun die Frage, ob der beobachtete Effekt auch über die nächste Fünfjahresperiode 2012-2016 anhält. Dazu wurden im Herbst 2016 die Durchmesser der bereits 2012 aufgenommenen Bäume noch einmal erfasst und die Differenz in mittlere jährliche Zuwächse sowie den relativen Zuwachs der Bäume in Bezug auf ihren Start-BHD transformiert. Die Ergebnisse der gruppenweisen Ver-

gleiche enthält Abb. 8 als „Boxplots“, die die Verteilung der Einzelwerte in den durch Bohrkerne beprobten Stichproben darstellen.

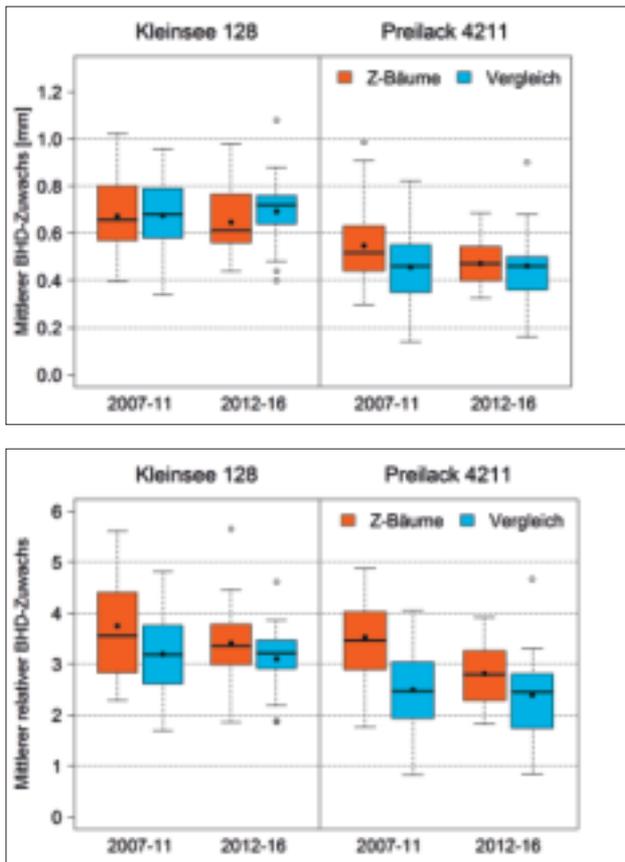


Abb. 8: Vergleich der mittleren jährlichen (links) sowie der relativen BHD-Zuwächse (bezogen auf den Ausgangs-BHD) im Vergleich der Z-Bäume mit nicht freigestellten Vergleichsbäumen auf den Beispielflächen Kleinsee 128 und Preilack 4211. Die waagerechten Linien in den Boxes stellen jeweils den Median, die Punkte den arithmetischen Mittelwert dar.

Die Auswertung belegt, dass fünf bis zehn Jahre nach dem Eingriff dessen differenzierende Wirkung nicht mehr nachzuweisen ist. Z-Bäume und Vergleichsbäume weisen in der Periode 2012-2016 die gleichen absoluten Durchmesserzuwächse auf. Der relative Zuwachs in Bezug auf den Ausgangsdurchmesser ist in der Periode bis 2011 bei den Z-Bäumen im Mittel deutlich höher gewesen als bei den Vergleichsbäumen. Dieser Unterschied ist in den vergangenen fünf Jahren geringer geworden, lässt sich aber – vor allem in Preilack – noch immer beobachten. Zum Teil kann das sicherlich auf den größeren Wuchraum der Z-Bäume zurückgeführt werden. Darüber hinaus kann aber auch angenommen werden, dass die Auswahl der Z-Bäume entsprechend der Unterteilung in a- und b-Typen (Lockow 1992) hauptsächlich a-Typen erfasste, während wir als Vergleichsbäume vor allem b-Typen wählten. Im Vergleich dieser genetisch und morphologisch unterscheidbaren Gruppen bleibt der a-Typ zwar im absoluten Durchmesserzuwachs hinter dem b-Typen zurück, weist aber eine höhere Standraumökonomie als letzterer auf und könnte mit länger gleichmäßigem Zuwachs ihn im relativen Zuwachs übertreffen (Lockow 2007).

Zur Wertung der in Preilack und Kleinsee beobachteten Zuwachsentwicklung können Versuchsanlagen des LFE in Zusammenarbeit mit den Berliner Forsten herangezogen werden (STÄHR et al. 2007; STÄHR und HAINKE 2009). In diesen Versuchen wurden in Kieferndickungen und Jungbeständen je vier Parzellen mit unterschiedlicher Bestandesdichte angelegt und über zwei fünf- bis sechsjährige Perioden beobachtet. Auf jeweils drei der Parzellen wurden die Stammzahlen auf etwa 1.000, 2.000 und 4.000 Stück je Hektar (V1000, V2000 und V4000) abgesenkt, zusätzlich gab es überall eine Kontrollparzelle ohne forstliche Eingriffe (V0). Die Auswertung nach der ersten Periode ergab eine deutliche Rangfolge im jährlichen Zuwachs des Oberdurchmessers (d100) mit den höchsten Werten von 1,1-1,6 cm bei V1000 und dem geringsten Zuwachs von 0,8-1,0 cm bei V0. Je jünger die Bäume bei der Freistellung waren, desto deutlicher waren die Zuwachsunterschiede zwischen den Dichtevarianten. In der zweiten Periode, das heißt in den Jahren 5-10 nach Versuchsanlage, verringerte sich der auf den Oberdurchmesser bezogene Zuwachsvorsprung auf 0,1 bis 0,3 cm pro Jahr. Das Nachlassen des Mehrzuwachses war am deutlichsten in der ältesten beobachteten Fläche, die bei Versuchsbeginn 29 Jahre alt war, der „Standraumeffekt“ ließ also dort nach fünf Jahren deutlich nach (STÄHR und HAINKE 2009). Bei parallelen Versuchen in 40- bis 72jährigen Baumhölzern zeigten sich nur sehr schwache Reaktionen auf Freistellungsmaßnahmen.

In Bezug auf diese Ergebnisse sind die vergleichsweise geringen Mehrleistungen im Durchmesserzuwachs der Z-Bäume gegenüber den nicht begünstigten Vergleichsbäumen in unserem Versuch wahrscheinlich auf das etwas höhere Alter der Bäume in Preilack sowie die eher zurückhaltende Freistellung in Kleinsee zurückzuführen. Da auf beiden Flächen nach dem Eingriff 2006 die Jahrringbreiten bei Vergleichs- und bei Z-Bäumen anstiegen, lässt sich dennoch eine allgemein zuwachssteigernde Wirkung der Stammzahlabsenkung als Konkurrenzentspannung vermuten. Eine noch stärkere Freistellung wäre nach den Ergebnissen von DEGENHARDT (2009) jedoch nicht zu rechtfertigen gewesen, da der vergleichsweise geringe Mehrzuwachs der begünstigten Bäume den Verlust an Stammzahl in der Wirkung auf die flächenbezogene Produktivität nicht hätte ausgleichen können.

2.4 Projekt NaLaMa-nT: Resilienzanalysen für die Hauptbaumarten

Durch den 2010-2015 vom BMBF geförderten Verbund „Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland“ (NaLaMa-nT) sollten vor dem Hintergrund sich ändernder ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen Wissens- und Entscheidungsgrundlagen für nachhaltiges Landmanagement erarbeitet sowie Handlungsstrategien für das Tiefland im Norden Deutschlands aufgezeigt werden. Das Projekt verband 21 wissenschaftliche Partner aus den Bereichen Klimatologie, Wasser-, Land-, und Forstwirtschaft sowie Sozioökonomie mit fünf Institutionen als regionale Ansprechpartner für die vier Modellregionen (ALBERT et al. 2015; NW-FVA 2017, Abb. 9).

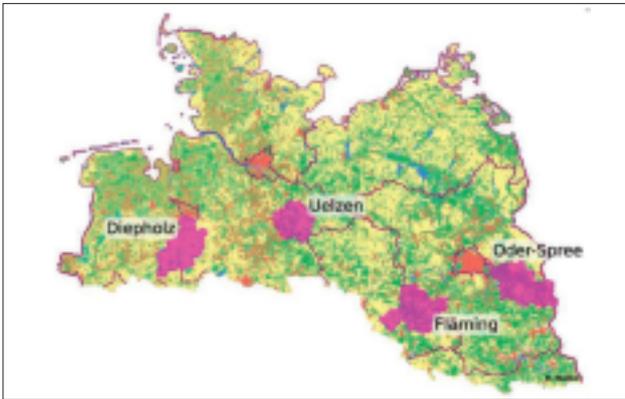


Abb. 9: Projektregionen des Verbundvorhabens „Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland“ (NaLaMa-nT) (Karte: Robert Nuske 2012)

Der Beitrag von KÄTZEL et al. in diesem Heft geht auf den Hintergrund von NaLaMa-nT und den Schwerpunkt Risikoanalysen ein. Aus dem Spektrum der am LFE bearbeiteten Teilfragen werden im Folgenden nur Themen herausgegriffen, die sich mit der Frage der Resilienz der Hauptbaumarten gegenüber dem sich vollziehenden Klimawandel beschäftigen. Die Definition von Resilienz folgt im Wesentlichen dem Ansatz von PETERSON et al. (1998), wie er in SCHRÖDER (2015) auf Waldbestände angewandt wurde. Die Bezugsebene für die entsprechenden Analysen ist das Wachstum¹ der Bäume, wie es anhand von Bohrkernauswertungen von repräsentativen Stichproben aus Beispielbeständen in den Projektregionen Diepholz, Uelzen, Fläming und Oder-Spree abgeleitet wurde. In den Regionen wurden dazu jeweils vier Flächen mit den Baumarten Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), Eiche (*Quercus robur* und *Qu. petraea*), Wald-Kiefer (*Pinus*

sylvestris) sowie Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) ausgewählt, in denen jeweils 20 Bäume beprobt wurden. Auf Grundlage der Einzelzeitreihen der Jahrringbreite erfolgte art- und regionalspezifisch die Herleitung des mittleren Jahrringindexverlaufs. Dieser gibt Aufschluss über die jährlichen Wachstumsleistungen im Verhältnis zu einem mittelfristigen Trend und ist damit ein guter Indikator für die Wirkung der wechselnden Umweltbedingungen auf das Wachstum der Bestände (SCHWEINGRUBER 1996).

Die individuenübergreifende Einheitlichkeit in der Abweichung vom Trend lässt sich als Maß dafür nutzen, wie stark die variablen externen Faktoren (und hier vor allem die Witterung) das Wachstum geprägt haben. Setzt man den Trendwert gleich 1, dann weisen Jahre mit unterdurchschnittlichem Wachstum Indexwerte von < 1, Jahre mit überdurchschnittlichem Wachstum Werte > 1 auf. Die Jahre, in denen sehr viele oder gar alle Bäume in gleicher Richtung vom Trend abgewichen sind, kann man als „Weiserjahre“ bezeichnen. Im konkreten Fall wurde nach dem Ansatz von SCHRÖDER (2015) zur Identifizierung der Weiserjahre die Verteilung der Indexwerte aller Bäume um 1,0 genutzt. Liegt die Summe des Mittelwertes und der doppelten Standardabweichung dieser Verteilung unter 1, liegt ein negatives Weiserjahr vor; ist die Differenz zwischen Mittelwert und doppelter Standardabweichung größer 1, handelt es sich um ein positives Weiserjahr. Nach diesem Verfahren ergeben sich regionale und artbezogene Weiserjahrmuster, die für weitergehende Analysen genutzt werden können. Eine generell höhere Anzahl an Weiserjahren bei einzelnen Baumarten ist an sich nicht bedenklich, da artabhängige Unterschiede in der Bindung des Wachstums an Umweltfaktoren bestehen (MATYSSEK et al. 2010). Dagegen sind auffällige

¹ Wachstum wird in diesem Beitrag wie auch in vielen anderen Publikationen (z. B. DOBBERTIN 2005) als verlässlicher Indikator nicht nur für die Biomasseproduktivität, sondern auch für die Vitalität bzw. Stabilität des untersuchten Systems, hier also des Bestandes oder des Einzelbaumes, betrachtet. Konkret müsste außerdem statt „Wachstum“ der Begriff „Zuwachs“ verwendet werden als Wachstumsdifferenz in einer bestimmten Zeiteinheit.

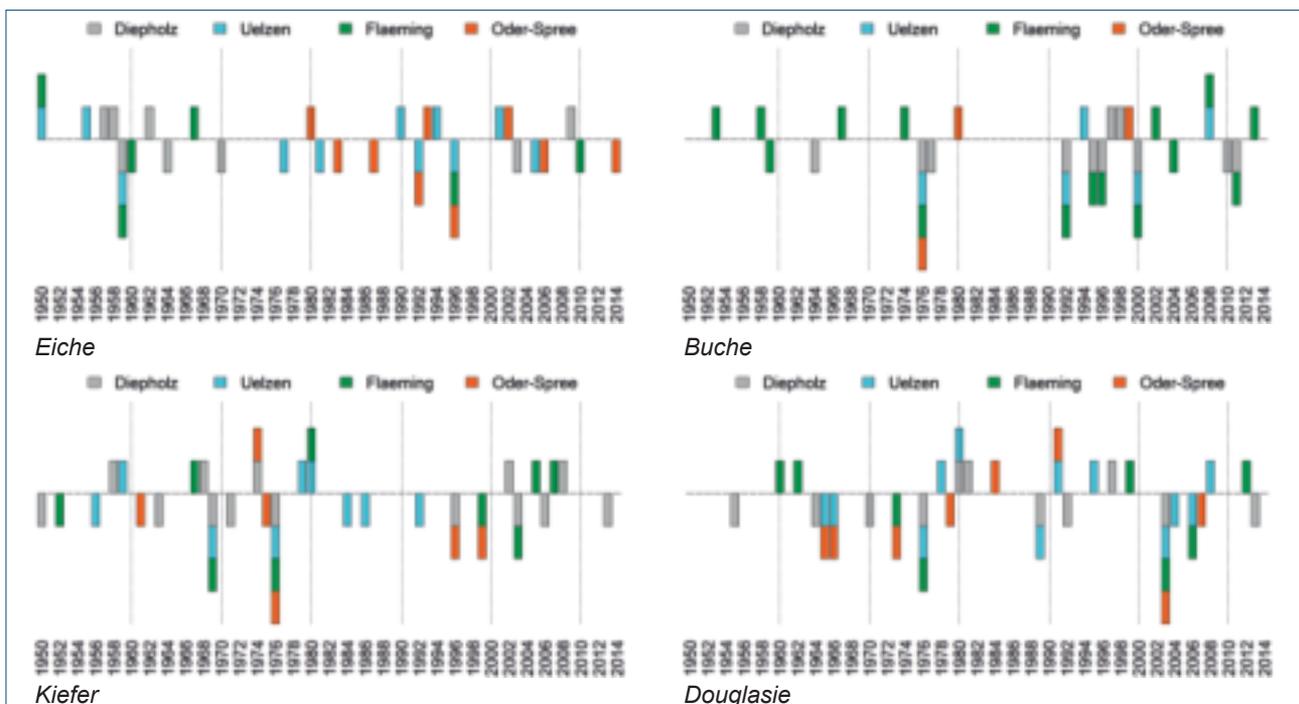


Abb. 10: Weiserjahre in Untersuchungsbeständen der vier Projektregionen des NaLaMa-nT-Projekts für vier Baumarten auf Basis der Jahrringindex-Zeitreihen der Einzelbäume (nach KÄTZEL et al. 2015)

Häufungen oder tendenzielle Zunahmen von Weiserjahren Hinweise auf Resilienzänderungen, da sie anzeigen, dass die Reaktionsvielfalt in der Population (das heißt dem Bestand) abnimmt und stattdessen externe Einflüsse an Wirkmächtigkeit zunehmen. Die Ergebnisse des beschriebenen Vorgehens in Bezug auf die in NaLaMa-nT untersuchten Bestände zeigt Abb. 10.

Die meisten der in den Diagrammen auffälligen Jahre sind durch Weiserjahre auf nur einer Fläche oder auf zwei Flächen gekennzeichnet. In manchen Jahren treten jedoch auch Weiserjahre in mehreren Regionen auf. Alle vier Projektgebiete zeigen 1976 (Buche, Kiefer) und 2003 (Douglasie) einheitlich ein schlechteres Wachstum. Keine der Baumarten und keine der Regionen weisen auffällige Veränderungen im Muster über die Zeit oder extrem hohe Anteile an den Weiserjahren insgesamt auf, so dass man von einem relativ stabil eingeregelt Gleichgewicht im Zusammenhang zwischen den Wuchsleistung und den Umweltbedingungen sprechen kann (ALBERT et al. 2015, KÄTZEL et al. 2015).

Eine zweite Ebene zur Untersuchung möglicher Resilienzveränderungen besteht darin, den Zuwachs in Jahren mit extremer Witterung und in den Jahren unmittelbar danach im Vergleich zum Zuwachs in Jahren mit durchschnittlichen Bedingungen bzw. unmittelbar vor dem Extremjahr zu analysieren. Auf dieser Ebene definiert sich der Begriff der Resilienz nach LLORET et al. (2011) als Relation (Quotient) des Mittelwertes der Jahrringindizes der drei Jahre nach einem Extremjahr zum Mittelwert der Jahrringindizes der drei Jahre vor diesem Jahr. Zur Analyse wurden für alle Baumarten die Jahre 1976 und 2003 ausgewählt, die dendroökologisch und witterungsbezogen als extreme „Trockenjahre“ mit überregionalen Zuwachsverlusten auffällig waren (SCHRÖDER 2015). Die Werte für die Resilienz nach der oben beschriebenen Formel in Bezug auf diese Jahre wurden für die mittlere Jahrringindex-Zeitreihe über alle untersuchten Bäume je Art und je Region ermittelt. In der Zusammenfassung der vier Regionen ergeben sich die in Abb. 11 dargestellten Verhältnisse. Die Höhe der Säulen ist die mittlere Resilienz über die Bestände hinweg, die Fehlerbalken bilden die Abweichungen der Einzelbestände vom Mittelwert ab. Bei idealer Resilienz, das heißt einem vollständigen „Zurückschwingen“ des Zuwachses auf das Niveau vor dem Extremjahr, würde sich ein Resilienzwert von 1,0 einstellen.

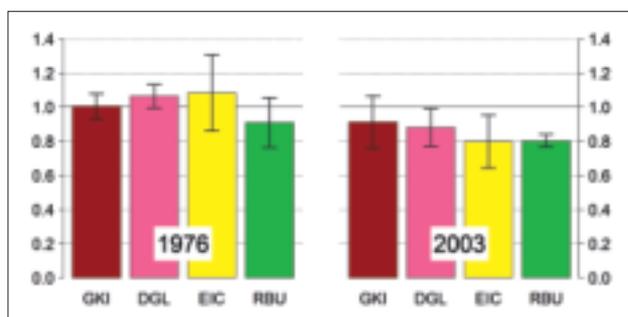


Abb. 11: Resilienz des Zuwachses anhand der mittleren Jahrringindizes für die Baumarten Kiefer (GKI), Douglasie (DGL), Eiche (EIC) und Rot-Buche (RBU) in Bezug auf die Jahre 1976 und 2003 mit extremer Trockenheit in der Vegetationsperiode

In Auswertung der Abb. 11 ergeben sich in Bezug auf das Extremjahr 2003 für Kiefer und Douglasie Resilienzwerte zwischen 0,8 und 1,0 (1,0), für Eiche zwischen 0,65 und 0,95 sowie für Rot-Buche zwischen 0,75 und 0,85. In Bezug auf 1976 streuten die Resilienzwerte noch mehr oder weniger um 1, wobei auch damals schon die Buche die niedrigsten Werte aufwies. Der Unterschied zwischen beiden Jahren liegt darin, dass sich 1976 in allen vier Untersuchungsregionen als negatives Weiserjahr niederschlug, während die Buche 2003 auf keiner Fläche so einheitliche Zuwachsrückgänge zeigte, dass die zu einem Weiserjahr geführt hätte.

Alternativ zur Betrachtung der Wachstumsreaktionen in einzelnen Jahren beschäftigt sich die Dendroökologie auch mit zeitreihenbezogenen Parametern, die Rückschlüsse auf die Anteile äußerer und innerer Faktoren an den Zuwachsschwankungen über längere Zeiträume erlauben. Dazu gehört das Verhältnis zwischen den Kenngrößen „Autokorrelation“ und „Sensitivität“ (SCHWEINGRUBER 1996). Nach BECK (2009) kann Autokorrelation auch als Maß für die interne „Pufferung“ verstanden werden – hohe Autokorrelationskoeffizienten deuten demnach auf eine geringe Wirkung äußerer Einflüsse auf die Ausprägung der Jahrringbreite hin. Komplementär dazu verhält sich die Sensitivität: Dieser Parameter steigt mit der Wechselhaftigkeit in der Jahrringbreite, das heißt mit den Jahr-zu-Jahr-Differenzen im Zuwachs, und zeigt damit die „Empfindlichkeit“ der Jahrringbildung bzw. die Wirkungsstärke von Umwelteinflüssen an. Um Zufallseffekte auszuschließen, werden Autokorrelation und Sensitivität in der Regel auf längere Intervalle von mindestens 20 Jahren bezogen. Vergleicht man die Mittelwerte verschiedener Perioden, dann lassen sich Aussagen zu trendhaften Unterschieden in der Resilienz im Sinne eines stabilen Verhältnisses zwischen Pufferung und Empfindlichkeit ableiten. Auf diese Weise sind auch die Zeitreihen der mittleren Jahrringbreite der NaLaMa-nT-Flächen vergleichend für zwei 30-Jahres-Zeiträume ausgewertet worden. Von besonderem Interesse ist dabei die Rot-Buche, die in Abb. 11 Anzeichen für eine Veränderung in der für Weiserjahre berechneten Resilienz zeigt. Die periodenbezogenen Werte der Zeitreihenparameter Autokorrelation und Sensitivität für diese Baumart sind in Abb. 12 separat für die Projektregionen dargestellt.

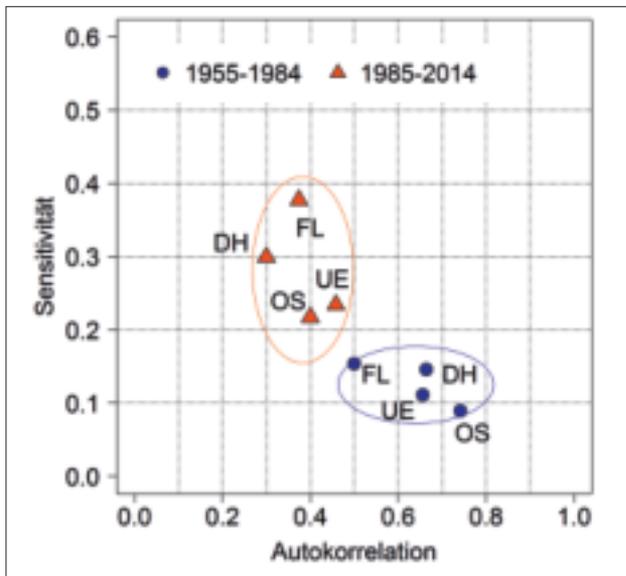


Abb. 12: Vergleich von mittlerer Sensitivität und Autokorrelation nach SCHWEINGRUBER (1996) in den Perioden 1955-1984 und 1985-2014 für die Jahrringbreiten-Zeitreihen der Rot-Buche in den vier Beispielregionen des NaLaMa-nT-Projekts (DH = Diepholz, UE = Uelzen, FL = Fläming, OS = Oder-Spree). Die Ellipsen dienen zur Veranschaulichung der jeweils abgedeckten Kombinationsbereiche.

Im Vergleich der beiden Perioden zeigt sich in der jüngeren Vergangenheit eine deutlich höhere Sensitivität bei geringerer Pufferung bzw. Autokorrelation als im ersten betrachteten Zeitraum. Ähnliche Veränderungen in der Umweltreaktion fand z. B. BECK (2009) in umfangreichen Untersuchungen von 29 Rot-Buchen-Beständen – auch dort nahm in den meisten Fällen die Empfindlichkeit auf vor allem klimatische Einflüsse in der Jahrringbreitenbildung seit 1990 deutlich zu, während sich die mittlere Autokorrelation verringerte. ZIMMERMANN et al. (2015) fanden im Vergleich von fünf Laubholzarten in drei Beständen im südlichen Harzvorland bei Rot-Buche eine zunehmende Zahl negativer Weiserjahre und zurückgehende Jahrringbreiten seit ungefähr 1980. Seit dieser Zeit hat in der Region auch der Stress für die Bäume durch zunehmende Temperaturen und häufigere Trockenperioden zugenommen. Aus den Untersuchungen kann zusammen mit unseren Ergebnissen eine zunehmende Gefährdung der Rot-Buche in Gebieten abgeleitet werden, die bereits an der standörtlichen „Trockengrenze“ der Baumart liegen (). In Zukunft wird der fortschreitende Klimawandel die potenziell für die Buche nachteiligen Bedingungen noch verschärfen (RENNENBERG et al. 2004), was durch die waldbauliche Planung z. B. bei der Baumartenwahl oder der Konkurrenzsteuerung in gemischten Beständen stärker als bisher berücksichtigt werden sollte.

2.5 Wachstumsreaktionen von Eichenbeständen auf verschiedene Eingriffsstärken

Für die Bewirtschaftung der Eiche in Nordostdeutschland ist lange Zeit das Ertragstafelmodell nach ERTELD (1963) maßgeblich gewesen. Die in den letzten Jahrzehnten beobachteten Vitalitätsprobleme und Absterbeerscheinungen in vielen Eichenbeständen unterschiedlichen Alters haben u. a. dazu geführt, dass häufig von den in der Ertragstafel vorgegebenen Grundflächen abgewichen werden musste. Eine

Frage im Zusammenhang mit den oft nötigen Sanitärhiebsen lautet, welche Effekte auf die verbleibenden Bäume damit verbunden sind, zum einen hinsichtlich der Kronenentwicklung, zum anderen aber auch, wie hoch der Zuwachs ist, der als Folge der verringerten Konkurrenz zu erwarten ist. Auch für diese Fragestellung konnten Methoden der Jahrringforschung angewandt werden, um den Zusammenhang zwischen Standraum und Radial- bzw. Grundflächenzuwachs zu analysieren.

Als Versuchsflächen dienten die Abteilungen 67 (Teilfläche b0) und 68 (Teilfläche b1) im Revier Michen der Landeswald-Oberförsterei Groß Schönebeck nördlich von Eberswalde (Abb. 13). Sie sind mit etwa gleichaltrigen Stiel-Eichen (*Quercus robur*) bestockt, die in großen Bereichen mit Rot-Buche und zum Teil Hainbuche unterbaut wurden. Um 1990 waren viele Alt-Bäume durch Feinreisigverluste, absterbende Äste und Kronenteile und nachfolgende Mortalität geschädigt. Als Reaktion erfolgte 1992 ein Sanitärhieb, der in Abteilung 67 hauptsächlich tote und schwer geschädigte Bäume entnahm, in Abteilung 68 dagegen alle Bäume betraf, die von Schäden betroffen waren. Entsprechend kann der Eingriff in Abt. 67 als mäßige, in Abt. 68 als starke Altdurchforstung bezeichnet werden. Obwohl die Entnahmen in Reaktion auf die unregelmäßige Verteilung der Schäden unterschiedliche Dichtebereiche nach sich zog, kann man näherungsweise verbleibende Grundflächen von etwa 0.7 in 67 und 0.5 in 68 annehmen. Die Eichen wiesen zum Zeitpunkt der Durchforstung ein mittleres Alter von 105 Jahren auf.



Abb. 13: Lage der Versuchsabteilungen 67 und 68 im rot markierten Revier Michen der Landeswald-Oberförsterei Groß Schönebeck

Um den Effekt der unterschiedlichen Eingriffsstärke quantifizieren zu können, wurden in beiden Abteilungen Bohrkern an je zwölf repräsentativen Bäumen entnommen, präpariert und ausgewertet. Aus den Einzelverläufen der Jahrringbreite bzw. des Radialzuwachses wurden dann die Zeitreihen der mittleren Jahrringbreite abgeleitet. Die Ergebnisse dieser Analysen zeigen Abb. 14 und Abb. 15.

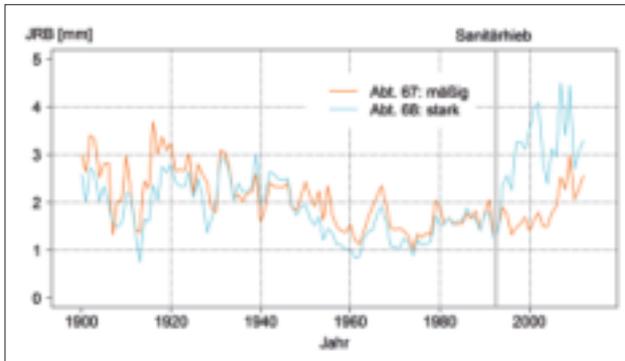


Abb. 14: Mittlerer Verlauf der Jahrringbreite (JRB) für repräsentative Stichproben an Eichen aus den 1992 unterschiedlich stark aufgelichteten Abteilungen 67 und 68 des Reviers Michen

Die mittlere Jahrringbreite in der stark durchforsteten Fläche (68) steigt nach dem Eingriff 1992 deutlich stärker an als in der nur mäßig durchforsteten Fläche (67). Eine genauere Charakterisierung der Eingriffsstärke ist rückblickend nicht mehr möglich; die genauen Bestandesdaten sind 1992 nicht erfasst worden und lassen sich heute nicht mehr mit erforderlicher Genauigkeit rekonstruieren. Dennoch ist der Befund eindeutig: Die Eichen waren in der Lage, den vergrößerten Wuchsraum bzw. die erhöhte Ressourcenverfügbarkeit nach dem Eingriff 1992 in höhere Jahrringbreiten umzusetzen. Ein direkter Einfluss unterschiedlicher Kronenvitalität auf das Ergebnis der Stichprobenauswertung ist nicht anzunehmen, da nach detaillierten Aufnahmen 2013 durch F. BECKER (LFE) keine Unterschiede in dieser Hinsicht zwischen den beiden Flächen bestehen. Der nach dieser Erhebung höhere durchschnittliche BHD in Abt. 68 kann durch die Zuwächse seit 1992 erklärt werden, die im Mittel der letzten 25 Jahre fast doppelt so hoch waren wie bei den beprobten Bäumen der Abt. 67 (Abb. 15). Die Vitalitätswerte für die Krone im Winterzustand betragen in beiden Flächen Anfang 2013 durchschnittlich 4,7 ($\pm 0,9$) im Schema von 1 (optimal) bis 8 (abgestorben) nach KÖRVER et al. (1999) (BECKER, pers. Mitt. 2013). Damit ist der Kronenzustand durchschnittlich zwar nicht völlig befriedigend, aber auf einem Niveau, das auf eine mittelfristige Stabilisierung der verbliebenen Eichen nach den Eingriffen 1992 und danach hinweist.

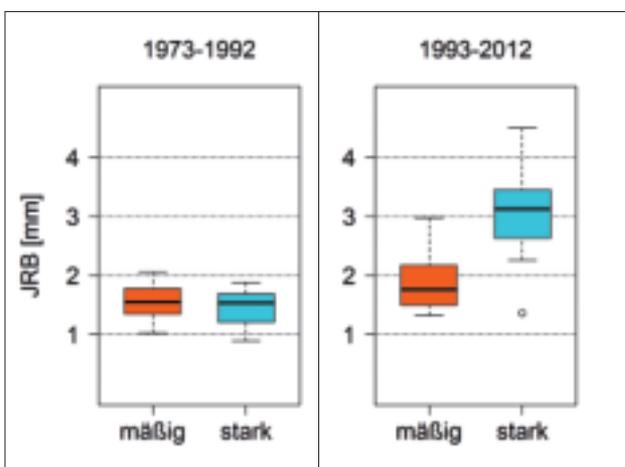


Abb. 15: Verteilung der Jahrringbreite (JRB) in den Zeiträumen 20 Jahre vor und 20 Jahre nach der Durchforstung 1992 für repräsentative Stichproben an Eichen aus den Abteilungen 67 („mäßig“) und 68 („stark“) des Reviers Michen.

3 Fazit

Die vorgestellte Auswahl an Projektergebnissen verdeutlicht die besondere Position von Forschung an der Schnittstelle zwischen wissenschaftlich-theoretisch geprägten Methoden und anwendungsbezogenen Fragen bzw. Umsetzungsinteressen. Diese Position ist charakteristisch für die Arbeit an Einrichtungen wie dem Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde als „Versuchsanstalt“ in der Tradition der Hauptstation für das preußische forstliche Versuchswesen, als die das LFE einmal gegründet wurde (HÖPPNER et al. 2011). Auch nach über 140 Jahren noch besteht ein großer Bedarf an wissenschaftlich fundiertem Vorlauf und anwendungsfähig aufbereitetem Wissen für die praktische Forstwirtschaft, der durch keine andere Institution in dieser Weise abgedeckt werden kann. Universitäten und Fachhochschulen, aber auch die außeruniversitäre Forschung z. B. durch die Helmholtz- oder Max-Planck-Gesellschaft setzen häufig stärker wissenschaftlich orientierte, zeitlich begrenzte und überregionale Schwerpunkte. Die regionalen, langfristigen und eher praktisch relevanten Fragen lassen sich aber mit der gegebenen Personalausstattung auch nicht mehr allein durch Landeseinrichtungen wie das LFE bearbeiten und beantworten. Drittmittelprojekte können die entstehende Lücke füllen, wenn sie sich an den Voraussetzungen und dem Bedarf orientieren, der für den Landesbetrieb spezifisch ist.

Der Projektcharakter der beschriebenen Forschungsverbünde hat einige Vorteile. Sie liegen vor allem in der Bündelung verschiedener theoretisch-methodischer Ansätze und der multidisziplinären Arbeit in Richtung auf gemeinsam festgelegte, in definierter Zeit zu erreichender Ziele. In Projekten kann aktuelles Fachwissen in die Praxis eingebracht werden, außerdem findet wissenschaftliches Nachwuchspersonal erste Bewährungsfelder und hat die Chance, sich weiter zu qualifizieren. Wie zu Beginn bereits dargestellt sind am LFE auf diese Weise seit 2005 20 (jeweils zeitlich begrenzte) Stellen durch Drittmittel geschaffen worden, über 2,5 Mio. Euro an Zuwendungen wurden bei nationalen und internationalen Geldgebern eingeworben.

Die Nachteile von Projekten liegen vor allem im hohen Aufwand für die Einwerbung und Verwaltung sowie in der Befristung von Förderung, Stellenbesetzung und Aufmerksamkeit, die häufig weder den komplexen Fragen und der Langfristigkeit forstlicher Themen noch dem kontinuierlichen Bedarf der Forstwirtschaft an Vorlaufforschung gerecht wird. In den wenigen Jahren, die der Projektarbeit meist nur zur Verfügung stehen, können in den seltensten Fällen tragfähige Erkenntnisse gewonnen werden; oft reicht die Zeit nur aus, um Versuchsanlagen einzurichten, Entwicklungen anzustoßen oder Hypothesen ersten Tests zu unterziehen. Hochqualifizierte und mit den regionalen Bedingungen vertraute Fachleute müssen häufig mit Ende der Projektlaufzeit die Einrichtung wieder verlassen und nehmen Wissen und Erfahrungen mit, die es in neuen Projekten mühsam wieder aufzubauen gilt. Treffende Beispiele für dieses Dilemma sind die im Abschnitt 2.3 beschriebenen Ergebnisse. Die zugrundeliegenden Daten konnten nur gewonnen werden, weil die notwendigen Zweitaufnahmen nach Ende des eigentlichen Projekts in „Eigeninitiative“ erfolgten. Indirekt konnte dadurch zwar der Ansatz des entsprechenden Projekts „INKA BB“ bestätigt werden, das auf die Schaffung

nachhaltig funktionierender Netzwerke zwischen Praxis und Wissenschaft orientierte, die nach Projektende dessen Ziele weiter tragen (EICHORN et al. 2016). Im Grunde handelt es sich aber um einen Glücksfall, der als „Kollateralnutzen“ einer erfolgreichen Einwerbung neuer Projektmittel mit anderem Schwerpunkt möglich wurde. Auch die Ergebnisse zur Jahrringentwicklung nach Altdurchforstung bei Eiche (2.5) konnten nur auf Basis von Methoden erzielt werden, die in den Projekten INKA BB und OakChain erprobt worden waren. Der seltene Fall einer personellen Kontinuität ermöglichte es, sie auf diese praxisnahe Fragestellung anzuwenden; bei „normalem“ Gang der Dinge wäre das nötige Fachwissen aber bereits mit dem entsprechenden Kollegen in anderen Zusammenhängen unterwegs.

Betrachtet man den optimalen Fall, dann erfüllen Drittmittel-Forschungsprojekte sowohl die überregionalen Ziele der Geldgeber und der Projektpartner wie auch die Ziele des LFE bzw. der praxisorientierten Forschung vor Ort. Damit diese Ziele umgesetzt werden, bedarf es aber nicht nur einer effektiven Projektstruktur und guter wissenschaftlicher Arbeit, sondern auch des Interesses und der Bereitschaft, geeignete Ergebnisse in die praktische Bewirtschaftung der Wälder zu übernehmen. Die Überführung letzterer in die tatsächliche Anwendung kann allerdings nicht mehr Aufgabe der Projekte sein, sondern ist nur von den dauerhaft im Bereich Forschung und Dienstleistung beschäftigten Kolleginnen und Kollegen zu leisten. Diese sind ihrerseits auf Unterstützung und Nachfrage durch übergeordnete Verantwortliche aus Forstbetrieb und Verwaltung angewiesen, um sich neben den Aufgaben ihres „Tagesgeschäfts“ auch der Vorbereitung, Betreuung und Ergebnisintegration der Drittmittelprojekte widmen zu können. Die personellen wie strukturellen Bedingungen dafür haben sich in Brandenburg in der Vergangenheit nicht zum Positiven entwickelt. Trotzdem ist durch hohes persönliches Engagement und die Nutzung der institutionellen Kooperation am Standort Eberswalde in den letzten Jahren Einiges erreicht worden, wie in den vorangegangenen Abschnitten sichtbar geworden sein sollte. Für die vielfältige Unterstützung in allen Projektphasen und bei den praktischen Arbeiten möchte sich der Autor, stellvertretend für viele, die in ähnlichen Positionen befristet am LFE tätig waren und sind, an dieser Stelle bei den Kolleginnen und Kollegen hier in Eberswalde wie auch in den Oberförstereien und Revieren bedanken.

Angesichts der zunehmenden Ökonomisierung der Forschung, der sektoralen Aufgliederung der Interessen am Wald und des Personalabbaus in der praxisnahen Forschung wie in der Forstpraxis selbst wären viele der hier vorgestellten Ergebnisse auf anderem Wege als durch von außen finanzierte Projekte nicht zustande gekommen. Zukünftig werden die Umwelteinflüsse noch variabler, der institutionelle Rahmen noch unsicherer und die gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald noch intensiver werden. Drittmittelprojekte als praxis- und regionalbezogene Grundlagenforschung vor Ort sind unter diesen Bedingungen unverzichtbar, um über das kurzfristige Tagesgeschäft hinaus die Zukunft der nachhaltigen Waldnutzung zu sichern. Ob ihre Rolle als „Kambium“ eher zur Produktion weiteren wertvollen Wissens und zu praktischem Erfahrungszuwachs führt oder über kurz oder lang aus Mangel an Einbindung und Interesse nur „Totholz“ in den sprichwörtlichen Schubladen produziert, darüber werden die nächsten Jahre entscheiden.

Literatur

- ALBERT, M.; HANSEN, J.; NAGEL, J.; SCHMIDT, M.; SPELLMANN, H. 2015: Assessing risks and uncertainties in forest dynamics under different management scenarios and climate change. *Forest Ecosystems* (2) 14.
- BARTSCH, N., PETERCORD, R. & VON LÜPKE, B. 1996: Wachstum von Traubeneiche in Mischung mit Kiefer. *Forst und Holz* 51 (7): 198-200.
- BÄUCKER, E.; BUES, C.-T. 2009: Holzqualität von Traubeneichen-Kiefern-Mischbeständen und Traubeneichen-Reinbeständen. *Forst und Holz* 64 (3): 25–29.
- BECK, W. 2007: Analyse des Wachstumsverhaltens von Kiefern-Beständen auf unterschiedlichen zeitlichen Skalenebenen. In: LANDESFORSTANSTALT EBERSWALDE (Hrsg.): Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft mbH, Potsdam, S. 341–362.
- BECK, W. 2009: Growth patterns of forest stands – the response towards pollutants and climatic impact. *iForest* 2: 4–6.
- DEGENHARDT, A. 2009: Wieviel Platz braucht ein Kiefernstamm? Ergebnisse aus Untersuchungen solitär erwachsener Kiefern in Brandenburg. *Ebersw. Forstl. Schriftenreihe* 40: 39–49.
- DITTMAR, O. 1991: Zur Z-Baum-Entwicklung in langfristigen Kiefern-Durchforstungsflächen des nordostdeutschen Tieflands. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 162 (7): 121-124.
- DOBBERTIN, M. 2005: Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research* 124 (4): 319–333.
- EICHORN, J.; GUERICKE, M.; EISENHAEUER, D.-R. (Hrsg.) 2016: *Waldbauliche Anpassung im regionalen Fokus*. oekom-Verlag, München.
- ELMER, M.; KÄTZEL, M.; BENS, O. et al. (Hrsg.) 2009: *Nachhaltige Bewirtschaftung von Eichen-Kiefern-Mischbeständen*. oekom-Verlag, München.
- ERTELD, W. 1963: *Ertragstafelauszüge für den Gebrauch in der Praxis*. Neumann, Radebeul.
- HÖPPNER, K.; KÄTZEL, R.; DEGENHARDT, A. et al. 2011: 140 Jahre forstliches Versuchswesen in Eberswalde – Rückblicke und Perspektiven. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 45 (2): 49-72.
- KÄTZEL, R.; LÖFFLER, S.; SCHRÖDER, J. 2015: Risikobewertung und Anpassungspotenziale von Wirtschaftsbaumarten in vier Modellregionen. Projektabschlussbericht Teilvorhaben F2 im BMBF-Verbund „Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland (NaLaMa-nT)“. 101 S., unveröffentlicht.
- KÖRVER, F.; PAAR, U.; KIRCHHOFF, A.; GAWEHN, P.; EICHORN, J. 1999: Winteransprache zur Erfassung der Kronenstruktur bei Alteichen. *AFZ – Der Wald* 54 (7): 357–360.

- LEMBCKE, G.; DITTMAR, O.; KNAPP, E. 1975: DDR-Kiefern-Ertragstafel 1975. Forschungsbericht, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde.
- LFE – LANDESKOMPETENZZENTRUM FORST EBERSWALDE (Hrsg.) 2014: Biomasseschätzung für Wälder mittels Fernerkundung und Modellierung. Ebersw. Forstl. Schriftenreihe 56
- LLORET, F.; KEELING, E. G.; SALA, A. 2011: Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120 (12): 1909–1920.
- LOCKOW, K.-W. 1992: Kiefern Typen und Bestandesbehandlung. Zum Wachstumsablauf und zur Wuchsdynamik der Kiefer mit einigen Schlussfolgerungen für die Bestandesbehandlung. *Der Wald* 42 (5): 170–173.
- LOCKOW, K.-W. 2007: Wachstum und Entwicklung, Bestandesbehandlung und Ertragsleistung der Kiefer im Reinbestand. In: LANDESFORSTANSTALT EBERSWALDE (Hrsg.): Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft mbH, Potsdam, S. 311–334.
- MATYSSEK, R.; FROMM, J.; RENNENBERG, H.; ROLOFF, A. 2010: Biologie der Bäume. Von der Zelle zur globalen Ebene. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- MLUL - MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, LANDWIRTSCHAFT UND UMWELTSCHUTZ 2015: Brandenburger Bilanz zur ersten „Generation Waldumbau“. Online verfügbar unter <https://www.forstpraxis.de/brandenburger-bilanz-zur-ersten-generation-waldumbau> (03.03.17).
- MLUR - MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG (Hrsg.) 2001: Kommentar zu „Rohholzaushaltung Rohholzverkauf“ (HKS Brandenburg). Hendrik Bäßler Verlag, Berlin
- MÜLLER, J.; LUTHARDT, M. E. 2009: Wald- und Kiefernland Brandenburg. *AFZ – Der Wald* 64 (12): 635–637.
- NW-FVA - NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT 2017: Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland. Web-Auftritt des Verbundprojekts unter <http://www.nalama-nt.de/projekt.html> (13.03.2017).
- PETERSON, G.; ALLEN, C. R.; HOLLING, C. S. 1998: Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale. *Ecosystems* 1: 6–18.
- RENNENBERG, H.; SEILER, W.; MATYSSEK, R.; GESSLER, A.; KREUZWIESER, J. 2004: Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) – ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa? *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 175 (10/11): 210-224.
- SCHRÖDER, J. 2015: Zum Einfluss der Witterung auf Wuchsverhalten und Vitalität der Trauben-Eiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). Stuttgart/Dresden (Ulmer), 269 S. (Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt 34).
- SCHRÖDER, J.; LINKE, N.; GUERICKE, M. 2014: Klimawandelanpassung der Waldbewirtschaftung in Brandenburg – (k)ein Problem unter vielen? *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 55: 31-48.
- SCHWANECKE, W.; KOPP, D. 1994: Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- SCHWEINGRUBER, F. H. 1996: Tree Rings and Environment. Dendroecology. Bern, Stuttgart, Wien: Paul Haupt.
- STÄHR, F.; BERGMANN, J.-H.; HAINKE, K. 2007: Entwicklung ertragskundlicher Kennwerte in weitständigen Kiefern-dickungen. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 41: 97-104.
- STÄHR, F.; HAINKE, K. 2009: Kronen- und Zuwachsentwicklung der Kiefer in Abhängigkeit von Soziologie und Standort am Beispiel der Versuchsanlage Berliner Forsten. *Ebersw. Forstl. Schriftenreihe* 40: 30-38.
- ZIESCHE, T.; KÄTZEL, R., SCHMIDT, S. 2015: Biodiversität in Eichenwirtschaftswäldern. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Reihe Naturschutz und Biologische Vielfalt 114, Bonn – Bad Godesberg.
- ZIMMERMANN, J.; HAUCK, M.; DULAMSUREN, C.; LEUSCHNER, C. 2015: Climate Warming-Related Growth Decline Affects *Fagus sylvatica*, But Not Other Broad-Leaved Tree Species in Central European Mixed Forests. *Ecosystems* 18 (4): 560–572.

Kalkungsversuche auf brandenburgischen BZE-Inventurpunkten – Ziele, Stand und Perspektiven eines bundesweiten Projektes

JENS HANNEMANN, WINFRIED RIEK, ALEXANDER RUSS & MAURICE SCHWOY

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund intensiver Untersuchungen zum Wald- und Bodenzustand, der gewonnenen Erkenntnisse auch aus zurückliegenden großflächig aufgetretenen Waldschäden sowie der sich aus den Prognosemodellen zur künftigen Waldentwicklung ableitbaren Tendenzen ist die Bündelung von Erfahrungen zur Konditionierung der Wälder Deutschlands für sich ändernde Umweltbedingungen sinnvoll. Zudem bestimmt die Stabilität der Wälder u. a. das Bindungsvermögen für schädliche Treibhausgase und leistet damit einen enorm wichtigen Beitrag für die Erreichung der Ziele im Rahmen des Kyoto-Protokolls.

Sowohl der momentane Boden- als auch der Ernährungszustand der Wälder in Deutschland (vgl. MEESENBURG et al., 2017, WELLBROCK et al., 2016, VON WILPERT & HARTMANN, 2016, ASCHE, 2016, EVERS, 2016 u. a.) geben Anlass dazu regional adaptierte Maßnahmen zur Erhaltung der Waldvitalität in Erwägung zu ziehen, zu erforschen oder bereits auch umzusetzen. Nach AID 1985 (zit. in WELLBROCK et al., 2004) sollen mit einer Kompensationskalkung Wirkungen saurer Niederschläge in den Böden vermieden oder bereits entstandene Nährelementverluste wieder ausgeglichen werden. Schutzgut ist sowohl der Boden als auch die Bestockung. Betont wird, dass Kalkungsmaßnahmen jedoch nicht die notwendigen Luftreinhaltmaßnahmen ersetzen. Auf eine differenzierte Vorgehensweise bei der Auswahl potenziell zu kalkender Flächen wird verwiesen (vgl. auch STETTER, 2010).

Das bundesweite Projekt „Modellvorhaben zur Förderung von Maßnahmen zur nachhaltigen Nährstoffversorgung und Gesunderhaltung von Wäldern“ wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) ins Leben gerufen. Gefördert werden Praxis- und Versuchskalkungen in einer Laufzeit von 2015 bis 2017. Koordiniert wird das Vorhaben durch die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) in Göttingen. Neben den Ländern Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Saarland, in denen Waldkalkungen seit vielen Jahren gängige Praxis sind, ist auch das Land Brandenburg an diesem Verbundvorhaben mit Versuchskalkungen beteiligt. Die folgenden Ausführungen beziehen sich vorrangig auf die Einrichtung der Versuchflächen in Brandenburg, das Versuchskonzept und erste Ergebnisse.

1.1 Situation in Brandenburg

In Brandenburg wurde im Rahmen des o.g. Projektes eine Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und dem Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (BMEL & MLUL-BB, 2014) getroffen in der der Gegenstand der Maßnahme, sowie Grundsätze der Mittelbereitstellung und -verwendung geregelt sind. In §1 Absatz 1 wird besonders auf die angespannte Nährstoff-

situation, verursacht durch die nach wie vor hohen Stickstoffeinträge und den dadurch induzierten Nähr- und Spurenelementmangel sowie die vermehrte Nutzung schwächeren Holzes für energetische Zwecke, verwiesen.

Die Spezifik der historischen und rezenten Eintragungssituation in Brandenburg, die in Abhängigkeit von der räumlichen und zeitlichen Einwirkungsintensität die Boden- und Pflanzernährungschemie beeinflusst, beschreibt EINERT (2015, 2016). Der Zustand der Waldböden in Brandenburg wird ausführlich von RIEK et al. (2015) analysiert. Mit dem Waldbodenbericht Brandenburg liegt auch eine Bewertungsbasis für die Kalkungsbedürftigkeit anhand der BZE-Stichproben vor. Danach ergibt sich **keine akute Kalkungsnotwendigkeit** für den brandenburgischen Wald, wenngleich die durch die Bodenversauerung beeinträchtigte **Magnesiumversorgung** auf zahlreichen Standorten der flächenrepräsentativen BZE-Stichprobe nach gängigen Bewertungsrahmen **angespannt** erscheint. Eine standortbezogene Abschätzung der Effekte einer Zu- bzw. Rückführung von Nährstoffen fehlt zudem, so dass Untersuchungen hierzu im Rahmen eines Monitorings erforderlich sind. Die Partizipation des Landes Brandenburg am o.g. Modellvorhaben gründet sich demnach vorrangig auf dem wissenschaftlichen Interesse auf eine zunehmende Bodenversauerung resp. eine abnehmende Nährstoffverfügbarkeit vorbereitet zu sein.

Bei den Versuchskalkungen in Brandenburg geht es primär um die Schaffung von Kalkungsreferenzflächen zur Untersuchung der Kalkungswirkung. Dabei stehen Untersuchungen sowohl zur Nährstoffversorgung und -verfügbarkeit für die Wirtschaftsbaumarten als auch zur Entwicklung der Humusdynamik und der Baum- und Bodenvegetation unter den spezifischen brandenburgischen Tieflandstands- und Bestockungsbedingungen im Fokus. Die Untersuchungsergebnisse dienen der Ableitung verallgemeinerbarer, vorsorglicher Handlungsempfehlungen. Diese wiederum bilden die Entscheidungsgrundlage für eine rechtzeitige Maßnahmeneinleitung bei einer sich weiter zuspitzenden Ernährungssituation.

1.2 Ziele von Wald- und Versuchskalkungen

- Die Ziele einer Waldkalkung und einer Versuchskalkung unterscheiden sich. Soll eine Waldkalkung durchgeführt werden, sind die erforderlichen Voruntersuchungen zur Begründung der Kalkungsnotwendigkeit, einschließlich der Ausweisung einer Flächenkulisse und der Klärung des Einverständnisses der Flächeneigentümer i.d.R. abgeschlossen. Die Kalkungsmaßnahmen werden durch wissenschaftliche Untersuchungen begleitet. Als allgemeine **Ziele der Waldkalkung** sind zu nennen (vgl. auch VON WILPERT & HARTMANN, 2016, ASCHE, 2016, GEHRMANN 2016 u. a.):

- Pufferung der Versauerung
- Erhöhung der Basensättigung
- Beitrag zur Normalisierung der Stoffkreisläufe
- Verbesserung der Nährstoffversorgung und -verfügbarkeit
- Verminderung von Nährstoffungleichgewichten bei der Pflanzenernährung
- Verbesserung der Humusformen (günstige C/N- und C/P-Verhältnisse)
- Kompensation der historischen Übernutzung und der atmosphären Stoffeinträge
- Erhöhung der Stresstoleranz und Anpassungsfähigkeit
- Aufrechterhaltung von Ökosystemdienstleistungen

Bei der Versuchskalkung hingegen wird die Notwendigkeit einer Kalkung unter Berücksichtigung der diversen Standorts- und Bestockungsbedingungen durch ein längerfristiges Monitoring untersucht. Hier steht die wissenschaftliche Untersuchung der Kalkungswirkung im Mittelpunkt. Dabei sollte das Spektrum der zu untersuchenden Flächen, die potenziell für eine Kalkung in Frage kommen, möglichst groß sein, da auch nach Anwendung der Kriterien (s. folgenden Abschnitt) eine Merkmalsdiversität „übrig“ bleibt, die die Effekte der Kalkungswirkung in unterschiedlichem Maße beeinflussen kann. Es können hauptsächlich folgende spezielle **Ziele der Versuchskalkung** benannt werden:

- Erfassung der zeitlichen und räumlichen Stoffdynamik incl. der C- und N-Dynamik (Bodenfestphase, Sickerwasser, Nadeln)
- Änderung der Humusformen und der Artenzusammensetzung
- Untersuchung der Pufferungswirkung
- Stützstellen für die Beurteilung der Kalkungswirkung im Rahmen der BZE-Auswertungen
- Einwertung in ernährungsphysiologische Rahmenbefunde (Göttlein, 2016)

1.3 Kriterien für die Kalkungswürdigkeit

Die Kriterien für die Einschätzung der Kalkungswürdigkeit können von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich sein (vgl. Russ et al., 2014). Dabei existiert inzwischen eine Vielzahl von Kriterien die abgeprüft werden müssen. Dieses Kriterienset, das durchaus erweitert werden kann, erlaubt eine sensitive Bewertung, die dem Anspruch einer differenzierten Herangehensweise im Sinne von STETTER (2010) u. a. (s.o.) entspricht. Für die Kalkungswürdigkeit von Standorten in Brandenburg sind von RIEK et al. (2015) Kriterien benannt worden, die auch für die Auswahl der Flächen für die Versuchskalkung anhand der landesspezifischen BZE-II-Stichprobe herangezogen wurden. Diese Kriterien werden im Folgenden herausgestellt. Sie können in sach- und raumbezogene Kriterien / Bedingungen unterteilt werden. Zu den sachbezogenen Kriterien zählen **Boden- und Standortmerkmale, sowie bodenchemische Parameter**, z. B.:

- Hydromorphie (Grundwasserferne)
- Stammnährkraftstufe $\neq A$, Ausschluss oligotropher und dystropher Standorte
- geringer pH-Wert (pH < 3.5 in mindestens einer Tiefenstufe)
- geringe Basensättigung (BS < 15 % in jeder Tiefenstufe)

- Ausschluss von C/N-Verhältnissen von < 20 in der Auflage und im mineralischen Oberboden in den Tiefenstufen 0-5 cm und 5-10 cm
- Kumulierter Kationsäurevorrat (die für die Neutralisierung des Vorrats an sauren Kationen (Ma) in 60-140 cm Tiefe notwendige Kalkungsmenge muss rechnerisch mindestens 3 t/ha ergeben)

Einen weiteren, ebenso wichtigen Teil im Komplex für die Beurteilung der Kalkungswürdigkeit bilden die Kriterien der **Baumernährung**.

- Vorliegen von Mangelerkrankungen nach Göttlein (2016)

Daneben existieren raumbezogene Kriterien, die u. a. **Nutzungs- und Naturschutzaspekte** berücksichtigen und wie folgt zu benennen sind:

- Kiefernbestand, der für den Waldumbau vorgesehen ist
- Schutzstatus (Ausschluss: Fauna-Flora-Habitate, Naturschutzgebiete, tw. Landschaftsschutzgebiete)
- Gewässer- und Siedlungsferne
- Entfernung zu Naturwäldern und Mooren
- Ausschluss anthropogen stark überprägter Böden
- Klärung der Eigentumsverhältnisse, Einverständnis der Waldbesitzer, -bewirtschafter
- weitere Standorteigenschaften, geologische Verhältnisse, Reliefsituation
- Zertifizierung (FSC®, PEFC™)

Mathematisch betrachtet handelt es sich dabei insgesamt um einen Komplex notwendiger und gleichzeitig hinreichender, also äquivalenter Bedingungen. Für sich genommen ist der erste Kriterienkomplex notwendig, der zweite, also die Baumernährung, hinreichend. Damit wird angenommen, dass der zweite Kriterienkomplex kausal mit dem ersten zusammenhängt. Die Kriterien, die darüber hinaus gewichtet in die Gesamtanalyse eingehen können, werden auf die abzurufenden Datensätze (hier: BZE-II-Stichprobe) in der Form *WENN* Bedingung = *wahr DANN* Kalkung empfohlen (Ja/Nein/erneute Prüfung) angewendet. Bei der Abprüfung der Bedingungen können auch weichere Bedingungen in Form von Fuzzy-Funktionen (vgl. auch TRAEGER, 1993) angewendet werden. Das harte Kriterium z. B. einer Basensättigung von unter 15 % kann durch die in Abbildung 1.1a dargestellte Fuzzy-Funktion aufgeweicht werden. Dabei wird die harte Bedingung von < 15 % bedient, jedoch auch Werte, die noch etwas über oder unter dieser Marke liegen, allerdings dann mit einer geringeren Zugehörigkeit. Die Funktion wird in Anlehnung von SCHÖPF (2006) durch die Gleichung

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(a \times (x - b))}$$

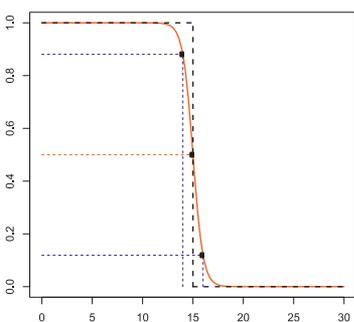
beschrieben. Dabei kann b z. B. den Wert 15 für die Basensättigung annehmen. Der Angleichungsgrad a bestimmt die Steilheit der Kurve. Sehr kleine Werte führen zu einer flachen Kurve. Im Beispiel in Abbildung 1.1a ist $a = 2$. Die berechneten Erfüllungsgrade entsprechend der dargestellten Fuzzy-Funktionen für die einzelnen Kriterien ermöglichen dann über die o.g. Regeln die Einstufung der Kalkungswürdigkeit.

Dabei werden drei Sachverhalte deutlich: Es gibt potenziell mehr Fälle, die der Bedingung genügen, die Wahl der Zugehörigkeitsfunktion hat einen großen Einfluss auf das Ergebnis und bei der Kombination einer Vielzahl von Bedingungen werden flexiblere Entscheidungen möglich.

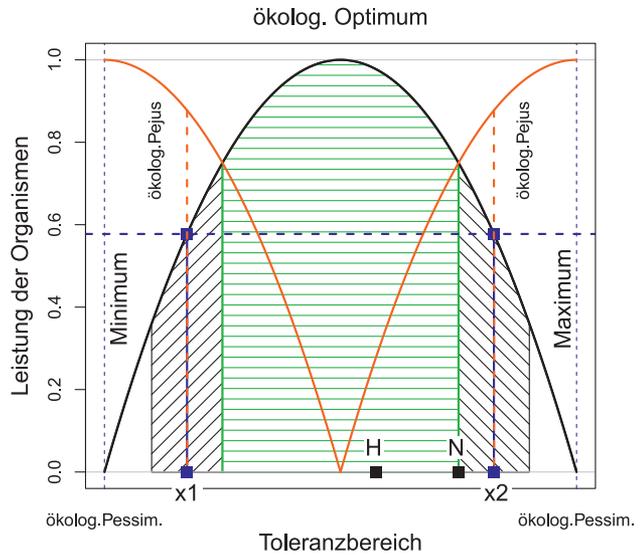
Die Auswahl der Kalkungsversuchsflächen für Brandenburg erfolgte nach einem 3-stufigen, kaskadierten Verfahren bei dem für sensible, raumbezogene Kriterien (FFH, NSG etc.) konzentrische Pufferzonen um die BZE-Punkte gelegt und die Flächenanteile der abstandsrelevanten Flächen in den Pufferzonen bestimmt wurden. Danach erfolgte eine Rangskalierung für die jeweiligen Pufferzonen für alle Punkte und die Ermittlung eines Pufferzonen gewichteten Scores für jeden Punkt. Die innen liegenden Pufferzonen wurden dabei entsprechend höher gewichtet als die äußeren.

1.4 Ökologischer Pejus

Die Leistungsfähigkeit eines Organismus ist in entscheidendem Maße davon abhängig in welchem Maße der ökophysiologische Optimalbereich durch die Umweltbedingungen erfüllt werden kann (vgl. ZIERDT, 1997). Im Kontext des Ursachen-Wirkungs-Gefüges bilden die Umweltbedingungen die Ursachen der durch die verschiedensten Indikatoren angezeigten Wirkungen. Das Beziehungsgeflecht ist dabei multikausal, d.h. eine Ursache kann sich in mehreren Wirkungen zeigen und eine Wirkung wiederum kann auf mehrere Ursachen zurückgeführt werden. Der ökologische Pejus, d.h. der Bereich zwischen Optimalbereich und Minimum bzw. zwischen Optimalbereich und Maximum, kann bezogen auf die Ernährungssituation durch eine Mangel- oder Überangebotssituation gekennzeichnet sein. In der Abbildung 1.1b ist ersichtlich, dass beide Situationen durchaus zu gleichen Leistungsmerkmalen (z. B. Jahringbreiten, Durchmesser- und Höhenzuwachs) führen können. Die Schwierigkeit besteht besonders darin einen Bereich zu identifizieren und zu benennen, der sämtliche Wirkfaktoren einschließt, die die optimale Leistungsfähigkeit bestimmen. Hier sind auch die verschiedenen Indikatoren, benannt in der Wald-Monitoring-Konzeption und dem Wald-Monitoring-Bericht des Landes Brandenburg (vgl. KALLWEIT, 2014, 2017) von entscheidender Bedeutung. Auf die Ambivalenz der Wirkungssymptome sei auch im Hinblick auf die Betrachtungen zu den Bedingungen (Ursachen) im vorigen Abschnitt verwiesen. Eine Nährstoffzufuhr im Mangelbereich führt entsprechend der Abbildung 1.1b zu einer erheblichen Leistungssteigerung, die im Bereich des Optimums jedoch abnimmt und weiter sogar in einer deutlichen Leistungsabnahme mündet (vgl. ZIERDT, 1997). Aus diesem Grund ist die mit einer Kalkung verbundene Nährstoffzufuhr gesondert zu betrachten.



(a) Beispiel für eine Fuzzy-Funktion der Basensättigung von < 15 % (rot) mit unterschiedlichen Zugehörigkeitsgraden; gestrichelt: "binäre Funktion"



(b) Pejus nach SCHUBERT, 1984 (zit. in ZIERDT, 1997), verändert. N = Intensität eines Faktors, H = Hintergrundwert. Mangel- bzw. Überernährung wird durch die rotmarkierten Zugehörigkeitsfunktionen (hier: quadratisch) beschrieben.

Abb. 1.1: Zugehörigkeitsfunktionen für leistungsbestimmende Parameter

2 Versuchskonzept

2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

Die Größe der Versuchsfläche beträgt 250×250 m (6.25 ha). Als Bestand dominieren Kiefern mittleren Alters. Auf Grund einzuhaltender technischer Rahmenbedingungen wurde von dem Vorhaben alle 16 ausgewählten Flächen, die um ausgewählte BZE-II-Punkte liegen, mit dem Hubschrauber zu kalken, abgerückt. Dies mündete auch in einer Änderung des Versuchsdesigns in der Art, dass neben noch zwei aviotechnisch zu bedienenden Flächen pro Versuchsfläche lediglich zwei Teilflächen à 20×20 m gekalkt werden sollen. Parallel dazu werden zwei gleich große Nullflächen untersucht. Des Weiteren wurden Teilareale der Level-II-Fläche Weitzgrund gekalkt, so dass hier u. a. auch auf Sickerwasserwerte eines längeren Zeitraums vor der Kalkung zurückgegriffen werden kann. Insgesamt sind also 17 Flächen, davon 15, manuell gekalkt worden. Das Ausbringungsschema ist in der Abbildung 2.1a, das Versuchsflächendesign in der Abbildung 2.1b dargestellt.

Beim ausgebrachten Material handelt es sich um dolomitisches Kalk (60 % CaCO₃, 25 % MgCO₃, 50 % BST_b (basische Bestandteile)) mit einer Dosierung von 3 t/ha und um ein Kalk-Holzasche-Gemisch (54 % CaCO₃, 21 % MgCO₃, 44 % BST_b, 1 % K₂O; 30 % Holzasche) mit einer Dosierung von 4 t/ha. Das Kalk-Holzasche-Gemisch wurde auf 5 Flächen, die im Landeswald liegen, ausgebracht. „Zu beachten ist, dass nicht 100 % der ausgebrachten Kalkmenge wirksam wird, sondern ein Teil mit dem Sickerwasser ausgewaschen wird.“ (vgl. WELLBROCK et al., 2004)

Die folgende Tabelle zeigt einige Zahlen zu den Flächen und zu den Proben:

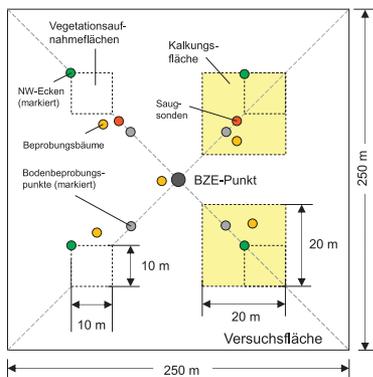
Tabelle 1: Anzahl der Untersuchungsflächen und Proben

Versuchsflächen	Material	Teilflächen	Nullflächen	¹ VA -Flächen	Bodenprofile	Bodenproben	Humusproben	Probenahmebäume
2	Kalk	vollflächig	-	8	8	40	8	20
10	Kalk	20 (3x3) ²	20 (3x3)	40	40	200	40	100
4	KHG ³	8 (3x3)	8 (3x3)	16	16	80	16	40
1 (LII) ⁴	KHG	4 (1x7)		2	1	7	1	4
gesamt (ohne LII)		28 (18)	28 (18)	64	64	320	64	160
¹ Vegetationsaufnahme, ² davon Flächen mit (Anzahl) Saugkerzen, ³ Kalk-Holzasche-Gemisch, ⁴ Level-II-Fläche								

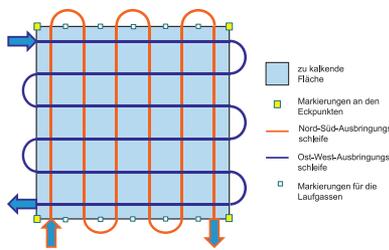
Die entsprechende Ausbringungsmenge für die Kalk-Teilflächen beträgt 120 kg (0,3 kg/m²), für die Kalk-Holzasche-Gemisch-Teilflächen 160 kg (0,4 kg/m²).

Neben einer Bodeninventur (Bodenansprache nach KA5, AD-HOC AG BODEN, 2005) und -beprobung an vier Punkten der Versuchsfläche, bilden die chemische Analytik der Bodenfestphase (Mineralboden und Humusaufgabe), des Sickerwassers und der Nadeln nach dem Handbuch für forstliche Analytik (GAFA, 2014) sowie die Vegetationsaufnahme nach dem Methodenkatalog zum Monitoring-Programm der Ökosystemaren Umweltbeobachtung von WOLFF et al. (2007) die Hauptblöcke des Untersuchungsprogramms. Die Beprobung des Mineralbodens und der Humusaufgabe orientierte sich an den Vorgaben, einschließlich der benannten Tiefenbereiche, wie sie bezüglich der Methodik in der vom BMELV herausgegebenen Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen zur II. Bodenzustandserhebung im Wald gemacht wurden (vgl. WELLBROCK et al., 2006).

tember 2015 beendet (KOMPA, 2015). Die Erstbeprobung der Nadeln erfolgte von November/Dezember 2015 bis Januar 2016 durch die Zapfenpflücker des Landesbetriebes Forst Brandenburg. In 2016 wurden auf 6 ausgewählten Flächen Saugsonden zur Sickerwassergewinnung in den Tiefen 10, 30 und 60 cm installiert (s. Abbildung 3.5). Mit der erfolgten Installation im September 2016 läuft die Sickerwasserbeprobung in einem 2-3-wöchigen Turnus. Die manuelle Ausbringung des Kalkes (s. Abbildung 2.2) für alle 15 der dafür vorgesehenen Flächen konnte innerhalb von 2 Wochen im November 2016 mit der personellen Unterstützung der beteiligten Oberförstereien realisiert werden.



(a) Versuchsflächendesign mit Beprobungspunkten und gekalkten Teilflächen (gelb)



b) Schema für die sich kreuzende und schleifenartige Kalkausbringung per Hand

Abb. 2.1: Versuchsflächendesign und Ausbringungsschema

Die Boden- und Auflagenbeprobungen konnten wie die Arbeiten zu den Markierungen für die Flächen und die Probenahmeplätze Ende des Jahres 2015 abgeschlossen werden. Der Auftrag für die Vegetationsaufnahme wurde an Herrn Dr. KOMPA aus Stendal vergeben und wurde im Sep-



(a) Ausbringen des Kalkes mit der Hand bei Spreeau (KVF 19) durch Waldarbeiter der Oberförsterei Erkner



(b) Gekalkte Fläche (KVF 23) bei Jethe
Abb. 2.2: Manuelle Kalkausbringung

Die Behandlung der zwei Flächen mit dem Hubschrauber erfolgte nach witterungsbedingter Verschiebung des ursprünglich auf den 21.11.2016 angesetzten Termins schließlich am 26.11.2016 durch die beauftragte Deutsche Heli Forst GmbH.



(a) Aufnahme des befüllten Kübels durch den Hubschrauber



(b) Niedergang des Materials auf der Fläche bei Zeuden

Abb. 2.3: Kalkausbringung mit dem Hubschrauber

Für die Bestimmung der Menge des niedergegangenen Materials wurden in der Nähe der Vegetationsaufnahmepunkte und im Zentrum der Fläche Auffangschalen (umgedrehte Regentonnendeckel, s. Abbildung 2.4) aufgestellt. Die Auffangmengen (s. Tabelle 2.2) betragen auf der Fläche 1 nur ca. 74 % der geforderten 300 g. Auf der Fläche 23 wurden ca. 94 % erreicht. Die Gründe für das Defizit auf der Fläche 1 sind möglicherweise darin zu suchen, dass der hier sehr junge Bestand durch seinen hohen Verästelungsgrad eine für die Kalkpartikel große adhäsive Oberfläche bildet und dadurch den Niedergang auf den Boden behindert. Ein Großteil der Partikel dürfte dennoch durch den Niederschlag mit zeitlicher Verzögerung in den Boden gelangen.



Abb. 2.4: Auffangschale $\varnothing = 0,99 \text{ m}$; $A = 0,77 \text{ m}^2$

Tabelle 2.2: Auffangmengen des mit dem Hubschrauber ausgebrachten Materials

Auffangpunkt	Menge in g	Menge in g auf 1 × 1 m	%
1 NW	169,08	219,76	
1 NE	144,77	188,16	
1 M (Mitte)	105,42	137,02	
1 SW	195,70	254,36	
1 SE	235,74	306,40	
		221,14 (Soll = 300)	73,71
23 NW	250,17	325,16	
23 NE	229,43	298,20	
23 M (Mitte)	216,52	281,42	
23 SW	202,50	263,20	
23 SE	187,83	244,13	
		282,42 (Soll = 300)	94,14

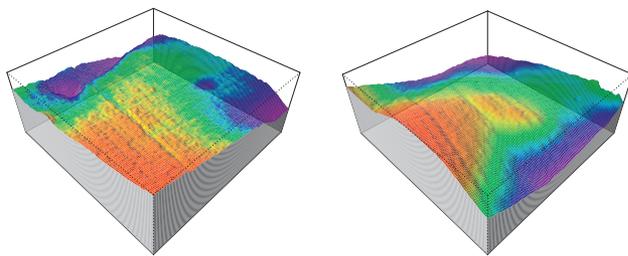
2.2 Lage der Versuchsflächen

Die folgende Abbildung 2.5 zeigt die räumliche Lage der Kalkungsversuchsflächen im Land Brandenburg. Die relativ gleichmäßige Verteilung ermöglicht zum Einen die Berücksichtigung unterschiedlicher geologischer Ausgangsbedingungen und zum Anderen die Beurteilung der Ergebnisse bezogen auf die Wuchsbezirke Brandenburgs.



Abb. 2.5: Lage und Art der Versuchsflächen mit ausgewählten geologischen Bildungen und eizeitlichen Gürteln; Kartendarstellung auf Basis der GÜK300 von LIPPSTREU et al. (1996) und des DGM25 (LGB BRANDENBURG)

Neben der geographischen Lage besitzt die Ausprägung des Reliefs einen sehr wichtigen Einfluss auf das Prozessgeschehen im Ökosystem (vgl. HANNEMANN et al., 2016). Es steuert zu einem bedeutenden Teil die Stoff- und Wasserflüsse gerade auch im grossmaßstäbigen Bereich. Für die Modellierung bzw. Quantifizierung dieser sind für jede Kalkungsfläche die Geländeoberflächenhöhen aus dem DGM2-Datensatz extrahiert worden. Die Auflösung des DGM2 ist so gut, dass auch sehr kleinräumige Strukturen, wie Bearbeitungsspuren, Wege und Rückegassen (s. Abbildung 2.6), erkennbar sind. Da diese in hohem Maße die Verweildauer und das Fließverhalten des Oberflächenwassers (lateral und vertikal präferenzierter Fluss) und damit der mit dem Kalk eingetragenen Nährelemente beeinflussen, bildet die Auswertung des Reliefs in Zukunft eine hohe Bedeutung für eine differenzierte Nährstoffbilanzierung. Die Analyse von Mikro Einzugsgebieten (hydrologische Untereinheiten, Patches) in Kombination mit Standortseinheiten sowie Bestandesparametern (Dichte, Höhe, Durchmesser etc.) erlaubt eine stärkere Auflösung in Richtung Einzelbaum.



a) KVF 3

b) KVF 8

Abb. 2.6: Digitales Geländemodell (DGM2) von Kalkungsversuchsflächen (Ausschnitte 250x250 m, stark überhöht, Norden oben links)

3 Erste Untersuchungsergebnisse

3.1 Bodenanalytik

3.1.1 Festphase

Die folgenden Ausführungen greifen die im Waldbodenbericht Brandenburg (RIEK et al. 2015) gemachten Aussagen auf und werden bezogen auf die ausgewählten Kalkungsflächen behandelt. Die Ergebnisse der chemischen Analytik der Festphase dienen dabei der Untersetzung der für eine Waldkalkung herangezogenen Kriterien mit den im Waldbodenbericht benannten Schwellenwerten für ausgewählte Intensitäts- und Kapazitätsparameter. Zu den Intensitätsparametern gehören dabei der pH-Wert, das C/N-Verhältnis und die Basensättigung, zu den Kapazitätsparametern der kumulierte Kationsäurevorrat. Diese stellen notwendige Bedingungen für die Kalkungswürdigkeit dar. Die folgenden Auswertungen und Darstellungen beziehen sich auf die Analyse der Boden- und Humusproben, die im Rahmen des Projektes vor der Kalkungsmaßnahme entnommen worden. Die farbigen Quadrate (RGB-abgestuft für die jeweilige Stichprobe; rot: ungünstig, blau: günstig) stellen die Medianwerte, die „Whisker25er- bzw.- 75. Quartil dar. Teilweise lag für die regulär 4 Proben pro Tiefenstufe und Fläche bislang nur eine analysierte Probe vor. Die auf der x-Achse

bezeichneten Flächennummern entsprechen nicht den realen Flächennummern, sondern sie sind entsprechend fortlaufend nummeriert.

3.1.1.1 pH-Wert

Im Waldbodenbericht Brandenburg wird der kritische pH-Wert für eine Kalkungsempfehlung mit 3,5 für mindestens eine Tiefenstufe des Mineralbodens angegeben. In der Abbildung 3.1 ist die Erfüllung dieses Kriteriums für alle Flächen in der Tiefenstufe 0-5 cm angegeben, sowie die Pufferbereiche für den Mineralboden nach Ulrich (1981, 1982; zit. in AK STANDORTSKARTIERUNG, 2016, S. 176)

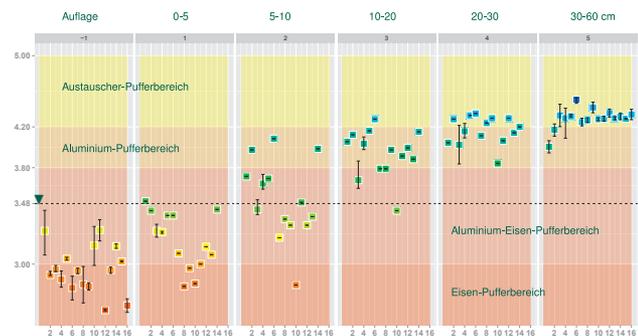


Abb. 3.1: pH-Werte und Pufferbereiche

3.1.1.2 Basensättigung

Die Basensättigung charakterisiert den prozentualen Anteil der basischen Kationen (M_B : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) bezogen auf die Gesamtheit der am Austauscher gebundenen Ionen (AK). Damit wird zudem eine Abschätzung des sauer und potenziell toxisch wirkenden, freien Al^{3+} -Ionen möglich. Als Voraussetzung für eine Waldkalkung wird eine Basensättigung von <15 % im Tiefenbereich von 0-140 cm angegeben.

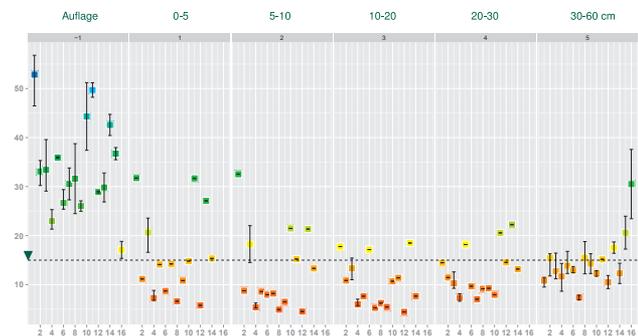


Abb. 3.2: Basensättigung

3.1.1.3 C/N-Verhältnis

Das C/N-Verhältnis ist zum einen ein Maß für die Humusqualität und zum anderen ein Indikator für die Humusentwicklung. Ein C/N-Verhältnis von >20 zeigt nährstoffarme Bedingungen und schlecht zersetzbar bzw. schlecht zersetzte Humussubstanz an. Verhältnisse von <20 zeugen von einer hohen biologischen Aktivität und einem hohen

Mineralisierungsumsatz von C und N und damit einer günstigen Pflanzenverfügbarkeit. Bei engen C/N-Verhältnissen besteht bei einer Kalkung allerdings die Gefahr einer N-Freisetzung, so dass diese ein Ausschlusskriterium bilden. Weiterhin muss die anhaltend hohe N-Belastung auch regional resp. bei der Erstellung einer Kalkungskulisse berücksichtigt werden.

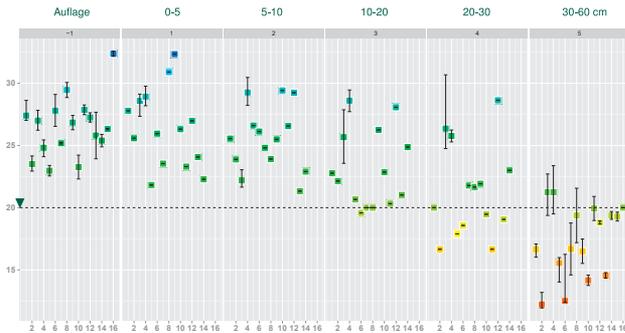


Abb. 3.3: C/N-Verhältnis

3.1.1.4 Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität wird in entscheidendem Maße durch den Anteil von Ton und humosen Material im Substrat, sowie den pH-Wert bestimmt. Eine Kalkungsmaßnahme auf armen, sandigen Böden ist demnach wenig sinnvoll, da die Nährstoffionen nicht an Austauscher gebunden bzw. substituiert werden können. Eine Verbesserung der Nährstoffsituation und eine pH-Wert-Anhebung wären nur von sehr kurzer Dauer. Die Kationenaustauschkapazität (Ak) ist die Bezugsgröße für die Berechnung der Sättigungsgrade (Austauscherbelegung) und wird ihrerseits als Kriterium herangezogen, da sie in Kombination mit den anderen Kriterien entscheidungsunterstützend wirkt. Böden mit einer hohen AK und einer geringen Basensättigung sind beispielsweise ungünstiger zu bewerten als Böden mit geringer bis mittlerer AK aber hoher Basensättigung (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2013).

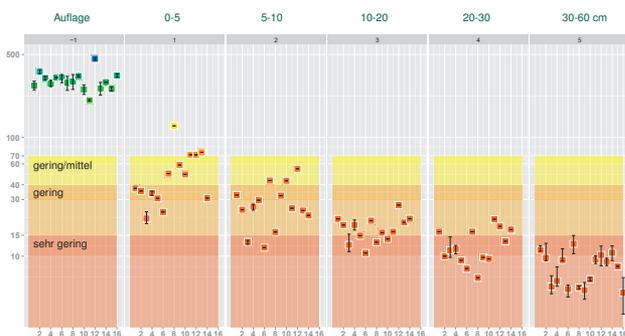


Abb. 3.4 : Kationenaustauschkapazität (AK_e) in $cmol_c/kg$ mit Bewertungsstufen nach AK STANDORTSKARTIERUNG, 2016, S. 181 (heller Farbton: B/C-Horizonte, dunklerer Farbton: A-Horizonte)

3.2 Sickerwasser

Die Beprobung und Analyse der Sickerwässer auf den Kalkungsversuchsflächen bildet einen zentralen Bestandteil der laufenden Untersuchungen. Ihnen kommt bei der Quantifizierung der Kalkungswirkung eine besondere Bedeutung zu, da sich hier die Effekte einer Neutralisierung und Verbesserung des Nährstoffangebotes am ehesten beobachten lassen.



(a) Einschlämmen der Saugkerzen mit einer Suspension des autochtonen Bodens bei angelegtem Unterdruck und Einbaurohr



(b) Galerieartige Sickerwassergewinnungsanlage mit den Entnahmetiefen 10, 30 und 60 cm

Abb. 3.5: Sickerwassergewinnung auf den Kalkungsversuchsflächen

Die folgende Abbildung 3.6 zeigt erste Ergebnisse zu den Analysen der Sickerwässer auf den 6 Versuchsflächen. Dabei sind die anfänglich generell höheren Werte möglicherweise darauf zurückzuführen, dass das chemische Gleichgewicht, das mit dem Einbau der Saugkerzen gestört wurde, sich erst langsam wieder einstellt. Mittlerweile dürfte es erreicht sein. Eine Wirkung der Kalkung zeichnet sich bislang, zumindest im gewählten Aggregierungsgrad (alle Flächen und Tiefen), nicht ab. Betrachtungen mit einer höheren räumlichen Auflösung werden dabei künftig angestellt.

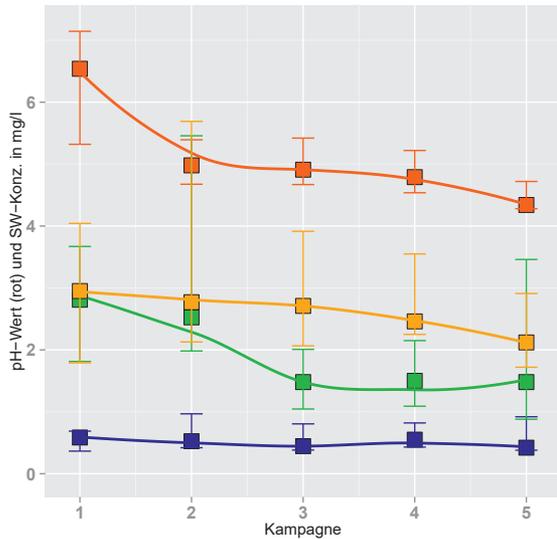
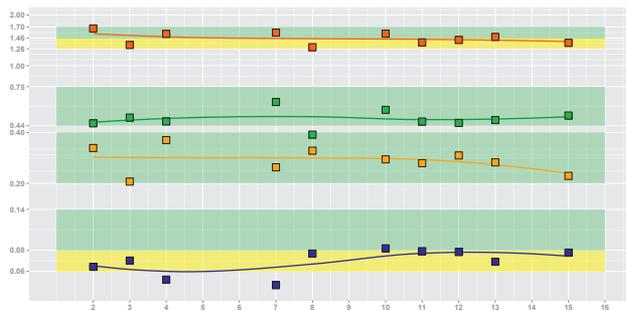


Abb. 3.6: pH-Werte und Sickerwasserkonzentrationen (in mg/l) in 5 Messkampagnen (1: 9/2016; 2: 10/2016; 3: 11/2016; 4: 12/2016; 5: 1/2017) für alle Flächen und Tiefen: ■ pH-Wert ■ Ca ■ Mg ■ K

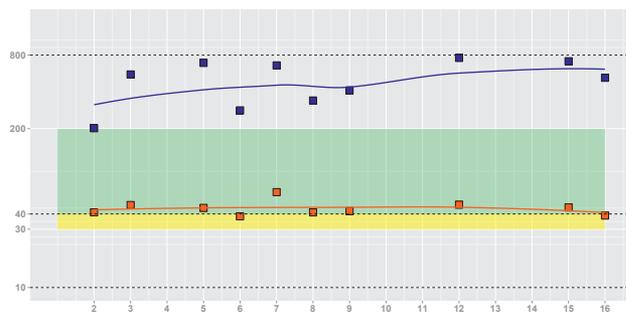
3.3 Nadeluntersuchungen

Generell ist bei der Beurteilung der Kalkungswürdigkeit der Waldzustand im Allgemeinen und die Ernährungssituation im Besonderen zu betrachten, d.h. gibt es Anhaltspunkte für erniedrigte Nährelementgehalte (Ursache) oder gar Mangelerscheinungen (Wirkung). Demnach kommt der Integration der Ergebnisse zur chemischen Analytik der Nadeln gegenüber der des Bodens eine hohe Bedeutung zu (hinreichende Bedingungen).

Die Werte für die Hauptnährelemente liegen im Wesentlichen in den von GÖTTLEIN (2016) und RIEK et al. (2016) angegebenen Normbereichen, lediglich bei Mg wird der Symptombereich deutlich belegt (s. Abbildungen 3.7a und 3.7b).



(a) Hauptnährelemente für die Baumart Kiefer: (■ N ■ K ■ Ca ■ Mg in %)



(b) Hauptnährelemente für die Baumart Kiefer: (■ Mn ■ Fe in mg/kg)

Abb. 3.7: Nadelspiegelwerte mit Grenzwertbereichen (grün: normal; gelb: symptomatisch; für Mn gestrichelt) nach GÖTTLEIN (2016), aus AK STANDORTSKARTIERUNG, (2016), S.184

Die Kalkungsflächen sind den Abbildungen 3.7 und 3.8 (s. x-Achse) bezüglich ihrer geologischen Position (Lage in den eiszeitlichen Gürteln; s. Abbildung 2.5) von NW-licher nach SW-licher Richtung sortiert worden um so einen möglichen, geologisch determinierten Trend zu erkennen. Zu beachten ist die logarithmische Skalierung der y-Achsen. Unter Nutzung des Paketes „loess“ ist in der Statistiksoftware R eine Linienanpassung vorgenommen worden. Allerdings können nur vage Vermutungen angestellt werden, da der Stickprobenumfang hierfür zu gering sein dürfte. Auffallend ist lediglich der leicht abfallende Trend von Ca. Dies deckt sich mit der zunehmenden Entkalkung in Verbindung mit der Wirkungsdauer periglazärer Prozesse und einer damit verringerten Verfügbarkeit von Ca. Demgegenüber ist ein recht deutlich ansteigender Trend von Mn erkennbar. Ähnlich verläuft der Trend von Fe. Möglicherweise korrespondieren diese Entwicklungen mit einem in SW-licher Richtung steigenden Podsolierungsgrad (vgl. Wald-Monitoring-Bericht, KALLWEIT, 2017), der eine erhöhte Verfügbarkeit von Fe und Mn induziert.

Die höheren Schwermetallgehalte der Nadeln der Flächen mit den höheren Rangnummern liegen möglicherweise auf den Einfluss der südöstlich und südwestlich gelegenen Emittenten (z. B. Kraftwerke mit Braunkohlenverbrennung) begründet, die zu einer depositionsbedingten Akkumulation sowohl im Boden als auch in der Nadelsubstanz führen können.

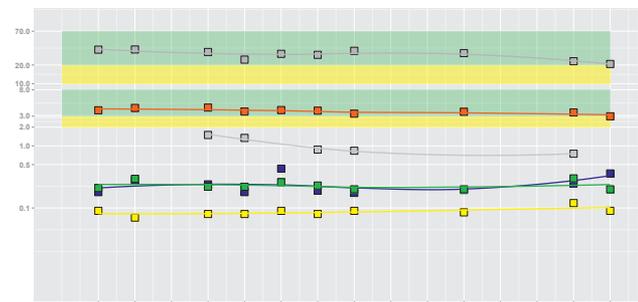


Abb. 3.8: Nadelspiegelwerte einer Auswahl von Mikronährelementen: (■ Zn ■ Cu) und Schwermetallen für die Baumart Kiefer: (■ Ni ■ Cr ■ Pb ■ Cd in mg/kg) mit Grenzwertbereichen (grün: normal; gelb: symptomatisch) nach GÖTTLEIN (2016), aus AK STANDORTSKARTIERUNG (2016), S.184

3.4 Vegetationsaufnahme

Die Methodik für die Aufnahme der Vegetation richtet sich nach dem Methodenkatalog ÖÜB-Wald nach WOLFF et al. (2007). Danach sind die obere Baumschicht B1 (verholzende Pflanzen mit einer Höhe > 5 m, wenn zwei Schichten zum Oberstand gehörig), die untere Baumschicht B2 (anzugeben nur wenn zwei Schichten vorhanden sind; verholzende Pflanzen mit einer Höhe > 5 m zum Unterstand gehörig), die Strauchschicht S (verholzende Pflanzen mit einer Höhe 0,5-5 m), die Krautschicht K (Kraut-/Grasarten bis 1,5 m, verholzende Pflanzen < 0,5 m) und die Mooschicht M (Moosarten) mit den jeweiligen wissenschaftlichen Artennahmen anzusprechen, sowie der Deckungsgrad (in %) der Einzelart je Schicht und der Gesamtdeckungsgrad der Schicht anzugeben. Die folgenden Darstellungen basieren auf den Ergebnissen der Vegetationsaufnahme von KOMPA (2015). In der Abbildung 3.9 sind die **Deckungsgrade der Arten** in sog. „Tree Maps“ für die 4 Vegetationsaufnahme-flächen der Kalkungsversuchsfläche (KVF) 1 dargestellt.

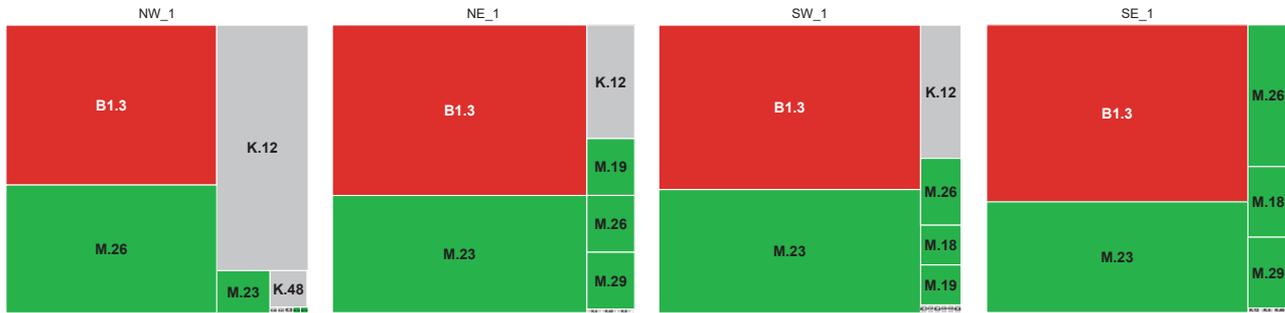


Abb. 3.9: „Tree Maps“ der Vegetationsaufnahmeflächen der KVF 1 (■ Baumschicht 1 und 2, ■ Krautschicht, ■ Mooschicht; s.a. Tabelle 3.4)

Die Rechtecke repräsentieren dabei die Deckungsgrade proportional zur Größe der Aufnahmefläche. Dies ermöglicht einen synoptischen Vergleich der Artenzusammensetzungen bzw. -anteile vor und nach der Kalkungsmaßnahme. Die Codierungen der Arten in den entsprechenden Schichten sind in Tabelle 3.4 aufgeschlüsselt in der sämtliche Arten der Kalkungsversuchsflächen verzeichnet sind.

Tabelle 3.4: Vegetationsarten

B1.1	Betula pendula	K.1	Agrostis capillaris	K.30	Moehringia trinervia	M.1	Atrichum undulatum
B1.2	Fagus sylvatica	K.2	Anthoxantum odoratum	K.31	Molinia caerulea	M.2	Aulacomium androgynum
B1.3	Pinus sylvestris	K.3	Betula pendula	K.32	Mycelis muralis	M.3	Brachythecium oedipodium
B1.4	Quercus rubra	K.4	Calamagrostis epigejos	K.33	Picea abies	M.4	Brachythecium rutabulum
B1.5	Viscum laxum	K.5	Calluna vulgaris	K.34	Pinus sylvestris	M.5	Brachythecium spec.
		K.6	Carex arenaria	K.35	Polygonatum multiflorum	M.6	Brachythecium velutinum
B2.1	Betula pendula	K.7	Carex brizoides	K.36	Polypodium vulgare	M.7	Campylopus flexuosus
B2.2	Fagus sylvatica	K.8	Carex pilulifera	K.37	Prunus serotina	M.8	Campylopus introflexus
B2.3	Picea abies	K.9	Convallaria majalis	K.38	Pteridium aquilinum	M.9	Cladonia cervicornis
B2.4	Pinus sylvestris	K.10	Danthonia decumbens	K.39	Quercus petraea	M.10	Cladonia furcata
B2.5	Prunus serotina	K.11	Deschampsia cespitosa	K.40	Quercus robur	M.11	Cladonia glauca
B2.6	Quercus petraea	K.12	Deschampsia flexuosa	K.41	Quercus rubra	M.12	Cladonia macilenta
B2.7	Quercus robur	K.13	Dryopteris carthusiana	K.42	Rubus fruticosus agg.	M.13	Cladonia mitis
		K.14	Dryopteris dilatata	K.43	Rubus idaeus	M.14	Cladonia pyxidata
S.1	Betula pendula	K.15	Dryopteris filix-mas	K.44	Rumex acetosella	M.15	Cladonia spec.
S.2	Fagus sylvatica	K.16	Epilobium angustifolium	K.45	Sorbus aucuparia	M.16	Cladonia uncialis
S.3	Frangula alnus	K.17	Euphorbia cyparissias	K.46	Stellaria media	M.17	Dicranella heteromalla
S.4	Pinus sylvestris	K.18	Fagus sylvatica	K.47	Taraxacum officinale agg.	M.18	Dicranum polysetum
S.5	Prunus serotina	K.19	Festuca ovina agg.	K.48	Vaccinium myrtillus	M.19	Dicranum scoparium
S.6	Quercus petraea	K.20	Frangula alnus	K.49	Vaccinium vitis-idea	M.20	Dicranum spurium
S.7	Quercus robur	K.21	Galeopsis tetrahit agg.	K.50	Veronica officinalis	M.21	Eurhynchium praelongum
S.8	Rhamnus cathartica	K.22	Hieracium lachenalii	K.51	Vincetoxicum hirundinaria	M.22	Herzogiella seligeri
S.9	Sorbus aucuparia	K.23	Hieracium pilosella			M.23	Hypnum cupressiforme
		K.24	Holcus lanatus				(inklusive H. jutlandicum)
		K.25	Holcus mollis			M.24	Leucobryum glaucum
		K.26	Hypericum perforatum			M.25	Lophocolea heterophylla
		K.27	Impatiens parviflora			M.26	Pleurozium schreberi
		K.28	Larix decidua			M.27	Pohlia nutans
		K.29	Luzula pilosa			M.28	Polytrichum formosum
		rena	rena			M.29	Scleropodium purum

Die Einstufungen der erfassten Arten gemäß den ökologischen Artengruppen (Ökogramme der Zeigerarten nach AK STANDORTSKARTIERUNG, 2016) vor und nach der Kalkung erlaubt die sensitive Beurteilung der durch die Kalkung veränderten Waldbodenvegetation und Humusformen.

4 Weitere Versuchsplanung

Neben den im Projekt zwischen den beteiligten Bundesländern abgestimmten Beprobungen und Aufnahmen vor und nach der Kalkung sind auf einigen der Flächen intensivere Untersuchungen geplant, die insbesondere der differenzierten Charakterisierung einer gegenüber den unbehandelten Flächen veränderten Stoffdynamik Rechnung tragen sollen. Dazu gehören zum einen die **Untersuchung des Streufalls** und zum anderen die **fotografische Dokumentation der Teilflächen**. In geeigneten Zeitinterfallen (z. B. einmal pro Monat) und bei festgelegter Höhe (z. B. 5 m) werden horizontale Aufnahmen gemacht. Als Passpunkte dienen dabei die Eckmarkierungen der Teilflächen. Ziel ist die Erfassung von Veränderungen der Muster in der Bodenvegetation.

Der mit der Kalkung verbundene **Humusabbau in der Auflage** und im Mineralboden (vgl. HILDEBRAND, 1996) soll erfasst werden. Die Veränderungen in der Auflage werden dabei punktuell durch Messungen der Mächtigkeit bestimmt. Diese Messungen können dabei durch Oberflächenmessungen (incl. des vorhandenen **Totholzes**) mit Hilfe geeigneter technischer Verfahren (Laser, Photogrammetrie) für die Flächen (Kalkungs- und Nullfläche) qualifiziert werden. Die Referenzierung zum Mineralboden erfolgt dabei anhand der konventionellen Mächtigkeitsmessungen.

Weiterhin soll eine Bestimmung des zeitlichen und tiefenmäßigen **Humus- und Holzabbaus im Mineralboden** über in den Boden geschlagene Holzpfähle, die mit definierten Schlitzern (ggf. Bohrungen) versehen sind, erfolgen. Dabei werden mehrere derartig präparierte Pfähle in den Boden der Kalkungs- und Nullflächen getrieben. Jedes Jahr (ggf. an einem Tag im Herbst oder auch öfter) wird ein Pfahl gezogen. Die Veränderungen der Oberflächen in und an den Bohrungen und Schlitzern sind durch mikromesstechnische Methoden zu erfassen. Die Veränderung der Innen-Oberflächen (Größe, Art, Struktur) ist ein Maß für den Abbau der organischen Substanz. Es wird davon ausgegangen, dass die Außen-Oberflächen der Holzleisten nicht analysiert werden können, da beim Einschlagen Riefen und Schrammen entstehen. Ziel der Untersuchungen sind neben der Erlangung von (Oberflächen-)Merkmalen, Rückschlüsse auf den Zusammenhang von Humus-/Holzabbau und bodenchemischem/-hydrologischem Milieu, sowie der Kohlenstoffdynamik. Bei der Holzmaterialauswahl ist darauf zu achten, dass möglichst Holz von Splintholzbäumen für alle Untersuchungsflächen verwendet wird um eine gleichbleibende Qualität (Dichte, Festigkeit, Feuchtigkeit) des Holzes sicherzustellen. Für die Charakterisierung des Bodenmilieus werden Temperatur- und Feuchtelogger installiert.

Zur Verifizierung der Sickerwassermengen und -qualitäten soll der (Bestandes-) **Niederschlag** (Menge, Chemie) zumindest auf den Kalkungsversuchsfläche mit einer Sickerwasseranalge bestimmt werden. Dazu werden Hellmann-Niederschlagsmesser installiert. Die Probennahme

erfolgt zu den Sickerwasserbeprobungsterminen. Die Bestimmungen der Niederschlagsmengen ist dabei ohne hohen Aufwand möglich.

Weiterhin sind turnusmäßig **wachstumskundliche Untersuchungen** vorgesehen. Dazu werden momentan die Durchmesser und Höhen der Bäume (inklusive der Nadelbeprobungsbäume) je einer Kalkungsteilfläche und je einer Nullfläche ermittelt, sowie Stammlagepläne erstellt. Dendrologische Untersuchungen sind ebenfalls geplant.

5 Ausblick

Insgesamt kann konstatiert werden, dass im Hinblick auf möglicherweise in Frage kommende Kalkungsmaßnahmen die Absicherung einer langfristigen Weiterführung der intensiven Beobachtung und Beprobung auf den Kalkungs- und Kalkungsvergleichsflächen, auch über die Projektlaufzeit hinaus gewährleistet sein muss. Dabei ist eine standort- und biotopdifferenzierte Betrachtungsweise unerlässlich.

Da bereits in der Vergangenheit umfangreiche Kalkungsversuche in Brandenburg durchgeführt wurden (vgl. HEINSDORF 1999, 2011) kann eine Nachauswertung dieser gerade unter dem Aspekt der relativ hohen zeitlichen Distanz und der daraus zu erwartenden Veränderungen im Boden- und Ernährungsstatus bzw. Waldzustand als erforderlich betrachtet werden. Derzeit laufen Untersuchungen zum „Alt-Kalkungsversuch“ Spechthausen u. a. auf der Grundlage der Befunde von KRAUSS (1992).

In diesem Zusammenhang stellt auch die Beobachtung der Entwicklung des Bodenzustandes und der Baumernährung auf Intensivmessflächen (Level II) einen weiteren Schlüssel für die Klärung der Reaktionen des Ökosystems Wald auf sich ändernde Umweltbedingungen dar.

Von hoher Bedeutung für die Ableitung maßnahmenrelevanter Schlussfolgerungen aus den Kalkungsversuchen wird es sein, wie sich die Vorher-Nachher-Situationen darstellen und welche Effekte sich auf Boden, Humusaufgabe, Sickerwasser, Bodenvegetation und Baumernährung auf den Kalk behandelten und den Kalk unbehandelten Flächen zukünftig einstellen werden. Daneben spielt die Entwicklung des Trends, wie er sich von der BZE1 zur BZE2 ergibt, durch die dritte Bodenzustandserhebung BZE3 (voraussichtlich 2022) eine wichtige Rolle.

6 Danksagung

Wir danken denjenigen, die das Projekt maßgeblich unterstützt haben. Dazu zählen in erster Linie die Waldbesitzer, die ihr Einverständnis für die Einrichtung der Versuchsflächen gegeben haben, sowie die Leiter der Oberförstereien Jüterbog, Luckau, Lieberose, Neustadt (Dosse), Erkner, Brieselang, Briesen, Neuendorf, Neuruppin, Dippmisdorf, Drebkau und der Landeswaldoberförstereien Lübben, Hammer, Chorin und Hangelsberg. Der Dank gilt selbstverständlich auch den Waldarbeitern die den Kalk auf die Flächen gebracht haben und den Revier- und Funktionsförstern, die die reibungslose Kalkausbringung sichergestellt haben. Für die ausgezeichnete Hilfsbereitschaft und Kommunikation sei an dieser Stelle besonders gedankt.

Große Unterstützung haben wir vom Leiter des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE) Herrn Dr. M.E. LUTHARDT, dem Leiter des Fachbereiches Waldökologie/Monitoring Herrn Prof. R. KÄTZEL und Herrn Dr. G. BILKE von der Betriebsleitung des Landesbetriebes Forst Brandenburg (LFB) erhalten. Den Kollegen Prof. F. GUTWASSER vom Ökologischen Labor der Hochschule für nachhaltige Entwicklung (HNE) Eberswalde, sowie Dr. R. KALLWEIT, P. WOLFGGRAMM, M. GRÜLL, O. RÜFFER, TH. KINDERMANN, Dr. A. DEGENHARDT, B. EISERMANN, H. FRITZSCHE, M. POHL, TH. LOEST, Dr. S. PANKA, F. BECKER, Dr. P. HEYDECK, R. BARTH, L. FRÜH, A. KONOPATZKY, I. HÖHNE, M. LABENZ UND U. FINGER danken wir ebenfalls für Ihre Hilfe bei der Durchführung des Projektes.

Literatur

- Ad – hoc AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). 5. Aufl. Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- AID (1985): Forstliche Düngung. Tech. rept. Auswertung und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bonn.
- AK Standortkartierung (2016): Forstliche Standortaufnahme. 7. Aufl. IHW-Verlag München.
- ASCHE, N. (2016): Schiefe Ebene Bodenversauerung. Bodenschutzkalkung, Waldvitalität. 1. Waldbodensymposium Soest am 19.04.2016.
- BMEL & MLUL-BB (2014): Verwaltungsvereinbarung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Brandenburg über die Durchführung eines "Modellvorhabens zur Förderung von Maßnahmen zur nachhaltigen Nährstoffversorgung und Gesunderhaltung von Wäldern". VV Modellvorhaben Nährstoffversorgung von Wäldern BB. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft / Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. unveröffentlicht.
- DGM25 (2000): Digitales Geländemodell (Rasterweite 25m). Landvermessung und Geobasisinformation Brandenburg.
- EINERT, P. (2015): Deposition. Kap. 1.3, In: Wald-Monitoring-Bericht 2015, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL) des Landes Brandenburg. unveröffentlicht.
- EINERT, P. (2016): Luftverunreinigungen als Belastungsfaktor. Seite 27–38, In: 30 Jahre forstliches Umweltmonitoring in Brandenburg - Beiträge zur Fachtagung am 6. und 7. Juli 2016 in Eberswalde, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 63. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL) des Landes Brandenburg.
- EVERS, J. (2016): Einfluss der Waldkalkung auf den C-Speicher und Neues zur Basensättigung - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) Niedersachsen, Hessen und Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. 1. Waldbodensymposium Soest am 19.04.2016.
- Gafa (2014): Handbuch forstliche Analytik (HFA) - Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Gutachterausschuss forstliche Analytik, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.
- GEHRMANN, J. (2016): Der Bodenzustand in den Wäldern von Nordrhein-Westfalen auf Basis der Stichprobeninventur BZE. Konzeption, Säure/Basen-Status, Schwermetalle, Stickstoff. 1. Waldbodensymposium Soest am 19.04.2016.
- GÖTTLEIN, A. (2016): Grenzwertbereiche für die ernährungsdiagnostische Einwertung der Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Eiche, Buche. AFJZ, 186 (5/6), 110–116.
- HANNEMANN, J., RUSS, A., KALLWEIT, R. & RIEK, W. (2016): Betrachtungen zu den Stoffbilanzen von Level-II-Flächen im Land Brandenburg. 30 Jahre forstliches Umweltmonitoring in Brandenburg - Beiträge zur Fachtagung am 6. und 7. Juli 2016 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 63. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL) des Landes Brandenburg.
- HEINSDORF, D. (1999): Düngung von Forststrukturen auf Lausitzer Kippen. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse der Düngeversuche zu Forstkulturen auf den Kipp-Rohböden der Lausitz und ihre praktische Anwendung auf der Grundlage von Boden- und Blatt-/Nadelanalysen unter Berücksichtigung eines optimalen Düngeinsatzes, Antworten der Wissenschaft auf Fragen der Praxis, LAUBAG.
- HEINSDORF, D., UEBEL, E. & CHRZON, S. (2011): Begründung und Entwicklung stabiler Forstökosysteme auf ehemals ackerbaulich genutzten degradierten Sandböden. Verlagsgesellschaft für Ackerbau mbH Kassel.
- HILDEBRAND, E. E. (1996): Warum müssen wir Waldböden kalken? Agrarforschung in Baden-Württemberg, 26, 53–65.
- KALLWEIT, R. (2014): Wald-Monitoring-Konzeption des Landes Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 57. Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde.
- KALLWEIT, R. (2017): Wald-Monitoring-Bericht 2017. Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde. unveröffentlicht.
- KOMPA, Th. (2015): Daten zur Vegetationsaufnahme auf den Kalkungsflächen Brandenburgs. Ergebnis zum Auftrag im BMEL-Verbundprojekt "Modellvorhaben zur Förderung von Maßnahmen zur nachhaltigen Nährstoffversorgung und Gesunderhaltung von Wäldern", Landesbetrieb Forst Brandenburg, unveröffentlicht.
- KRAUSS, H. (1992): Bodenuntersuchungsergebnisse eines Versuchs mit gesteigerten Gaben an Hochofenschlacke und Karbonatkalk auf einem mit Kiefern bestockten Sandboden mäßiger Trophie im nordostdeutschen Tiefland nach 38jähriger Beobachtungszeit. Ph.D. thesis.

- LIPPSTREU, L., HERMSDORF, N. & SONNTAG, A. (1997): Digitale Daten der Geologischen Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1 : 300 000 (GÜK300). Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg (LGRB).
- MEESENBURG, H., WELLBROCK, N., LAUER, A., EICKENSCHIEDT, N., HÖHLE, J., GRÜNEBERG, E., EVERS, J., AHRENDTS, B., SCHIMMING, C.-G., NAGEL, H.-D., RIEK, W. & MEIWES, K. J. (2017): Entwicklung der Versauerung von Waldböden in Deutschland. AFZ-DerWald, 2.
- R (2013): R-Statistiksoftware. Version 2.15.3. The R Foundation for Statistical Computing.
- RIEK, W., RUSS, A. & KÜHN, D. (2015): Waldbodenbericht Brandenburg. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 60(1).
- RIEK, W., TALKNER, U., DAMANN, J., KOHLER, M., MEIWES, K.J. & GÖTTLEIN, A. (2016): Waldernährung. Kap. 8. In: Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008, Bd. 43. Thünen-Report.
- RUSS, A., RIEK, W. & MARTIN, J. (2014): Vergleich verschiedener Kalkungskonzeptionen hinsichtlich der Beurteilung der Kalkungsbedürftigkeit mecklenburgischer Waldböden anhand von Bodendaten der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE-2). Forstarchiv, 85(2). URL <http://dx.doi.org/10.4432/0300-4112-85-55>.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2013): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Aufl. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- SCHÖPF, F. (2006): Erzeugen von Entscheidungsbäumen mit Soft-Splitting. FGBU, Medizinische Universität Innsbruck.
- SCHUBERT, R. (1984): Lehrbuch der Ökologie. VEB Gustav Fischer Verlag Jena.
- STETTER, U. (2010): Bodenschutzkalkung? Fraget die Bäume - Umfangreiche Daten zur Wäldernährung eröffnen einen anderen Blickwinkel auf das Thema Kalkung. LWF aktuell, 78, 25–27.
- TRAGER, D.H. (1993): Einführung in die Fuzzy-Logik. Teubner-Verlag-Stuttgart.
- ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. - Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 144, 289-305, Weinheim.
- ULRICH, B. (1983): Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluß des „sauren Regens“. - AFZ, 26/27, 670-676, München.
- von WILPERT, K. & HARTMANN, P. (2016): Ökologische Wirkungen und strategische Ansätze zur Bodenschutzkalkung. 1. Waldbodensymposium Soest am 19.04.2016.
- WELLBROCK, N. & Autorenkollektiv (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) - Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. (Hrsg.): Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 2. Aufl., Berlin.
- WELLBROCK, N., KIES, U., RIEK, W. & WOLFF, B. (2004): Methodenentwicklung zur Ableitung von Maßnahmenempfehlungen für Waldzustandstypen. Abschlussbericht zum Forschungsauftrag: Maßnahmenempfehlungen für Waldzustandstypen unter variierenden Umweltbedingungen - Modellrechnungen und Szenarien auf der Grundlage des bundesweiten Forstlichen Monitorings. Fachhochschule Eberswalde und Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg.
- WELLBROCK, N., LAUER, A., EICKENSCHIEDT, N., GRÜNEBERG, E., EVERS, J., AHRENDTS, B., SCHIMMING, C.-G., NAGEL, H.-D., RIEK, W., MEIWES, K. J. &
- MEESENBURG, H. (2016): Bodenversauerung und Nährstoffverfügbarkeit. Kap. 4. In: Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland-Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008, Bd. 43., Thünen-Report.
- WOLFF, B., RIEK, W., HORNSCHUCH, F. & BIELEFELDT, J. (2007): Methodenkatalog zum Monitoring-Programm der Ökosystemaren Umweltbeobachtung (ÖUB) in den Biosphärenreservaten Brandenburgs für Waldökosystemtypen. Selbstverlag FH-Eberswalde.
- ZIERDT, M. (1997): Umweltmonitoring mit natürlichen Indikatoren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Der kleine Unterschied macht's – Klonprüfung zur Trockenstresstoleranz von Robinien (Ergebnisse des FNR-Projektes – FastWOOD 3)

SONJA LÖFFLER¹, CHRISTIAN LANGE², RALF KÄTZEL¹

1 Einleitung

Im Gegensatz zu Wäldern mit ihrer reichen genetischen Vielfalt sind Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Hochleistungsklone ausgerichtet, die in kurzer Zeit möglichst viel Biomasse akkumulieren. Gleichzeitig sollen diese Klone auch eine hinreichend große Anpassungsfähigkeit an abiotische Stressfaktoren besitzen und widerstandsfähig gegenüber biotischen Schaderregern sein. Dies setzt eine umfassende, häufig langwierige Selektion im Rahmen von Klonprüfungen voraus.

Das im Jahre 2008 begonnene Verbundprojekt FastWOOD „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ verfolgt diese Zielstellung für den Anbau von Pappeln, Weiden und Robinien. Es sollen geprüfte, in ihrer Leistungsfähigkeit und Widerstandskraft verbesserte Klone, Klonmischungen und Nachkommenschaften für diese drei Gattungen entwickelt werden (www.fastwood.org).

Im Rahmen des Forschungsverbundes bearbeiten das *Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)* und das *Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB)* die Baumart Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). In den Projektphasen I und II waren die Forschungsschwerpunkte auf die Entwicklung einer ertragsoptimierten Bestandesführung von Robinien-Modellbeständen ausgerichtet. Die Ergebnisse aus den Waldbeständen lassen auch erste Ertragsprognosen für den noch wenig praktizierten Agrarholzanbau der Robinie zu. Gleichfalls erfolgten genetische Analysen einiger Plusbäume und die Werbung von aussichtsreichem Vermehrungsgut als Ausgangsmaterial für die pflanzenbauliche Prüfung sowie für eine künftige züchterische Bearbeitung (ENGEL und KNOCHE 2011).

Seit 2015 wird in einer 3. Projektphase gemeinsam mit dem FIB² das Teilprojekt „Frühdiagnose der ökophysiologischen Leistungsfähigkeit von Robinien heimischer Bestände“ bearbeitet. Ziel ist es, auf der Basis geeigneter Leitindikatoren des pflanzlichen Stoffwechsels spezifische Reaktionsmuster bzw. Indices zu identifizieren, die bezüglich der individuellen Anpassungsfähigkeit an Umweltfaktoren eine Klassifikation von Robinienklonen ermöglicht. Dazu wurden Phänotypen, die sich unter verschiedenen Standorteigenschaften als besonders wuchskräftig und vital erwiesen und somit an die bisherigen Umweltbedingungen als am besten adaptiert herausgestellt haben, ausgewählt (KNOCHE und ENGEL 2012b / LIESEBACH 2012).

2 Die Robinie als Zukunftsbaumart zur Holzproduktion

Die nordamerikanische Robinie nimmt bundesweit etwa 34.000 ha Holzbodenfläche ein. Davon entfallen allein auf *Brandenburg* 2/3 der Anbaufläche. Zwar bestockt die Pionierbaumart weniger als 1-2 % des hiesigen Holzbodens, angesichts weiterer Klimaänderungen gewinnt sie aber an Bedeutung (ROLOFF und GRUNDMANN 2008, KNOCHE und ENGEL 2012a, b, KNOCHE et al. 2014).

Vorteilhaft für den Robinienanbau ist das rasche Jugendwachstum und die relativ hohe Trockenheits- und Hitzetoleranz. Während heimische Laubholzbaumarten in trocken-heißen Sommern, wie in den Jahren 2003 oder 2006, an Vitalität und letztlich Ertrag einbüßten, erwies sich die Robinie als besser angepasst. Ihre Konkurrenzstärke und Anteilsfläche nimmt seit Jahrzehnten spürbar zu (KLEINBAUER et al. 2010). Vegetativ und generativ verjüngungsfreudig, dringt sie in den Unter- bis Zwischenstand von Kiefern und Laubgehölzen ein und dominiert nach dessen Abnutzung mit zunehmendem Lichtgenuss. Mit zahlreichen Stockausschlägen und reger Wurzelbrutbildung entwickelt die Baumart oft stammzahlreiche, bisweilen kaum mehr begehbare Aufwüchse. Bis zur frühen Kulmination des durchschnittlichen Gesamtwachses an Derbholz (dGZ_D) mit etwa 40 bis 50 Jahren ist die Robinie dann allen anderen Waldbaumarten überlegen (Lockow und Lockow 2013). Selbst auf sandigen Rekultivierungsflächen des Lausitzer Braunkohlenbergbaus sind so anfängliche Biomasse-Zuwächse um $7 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ (dGZ_D) möglich, im standörtlichen Optimum kräftiger Böden sogar beachtliche $10 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ (KNOCHE und ENGEL 2012a, b).

Dennoch findet eine Kultivierung speziell für den zuwachs-kräftigen Energieholzanbau trotz der betriebswirtschaftlich optimistischen Prognosen kaum statt. Denn die individuellen Unterschiede dieser, für KUP allgemein günstigen Eigenschaften, sind enorm, so dass für eine stabile und ertragsreiche Produktion eine Selektion in Klonprüfungen erfolgen muss. Im Gegensatz zu Pappel und Weide steht die züchterische Bearbeitung der Robinie noch am Anfang. Es mangelt an standortangepasstem Vermehrungsgut. Geprüfte Baumschulware mit nachweislich überlegener Wuchsleistung ist trotz der starken Nachfrage auf absehbare Zeit nicht verfügbar. Daher wird beispielsweise auf Sortenempfehlungen im Energieholzanbau verzichtet.

Gleichzeitig fehlen bislang genetische und gehölzphysiologische Marker zur Prüfung der gewünschten phänotypischen Merkmalskomplexe für den Robinienanbau (Wuchskraft, Anpassung, Widerstandsfähigkeit usw.). So lässt sich beispielsweise die Wuchspotenz verschiedener Pappel- und Weidenklone anhand ihrer Chlorophyllfluoreszenz-Charakteristik prognostizieren. Durch Frühindikatoren, wie z. B. Biomarker könnten aufwändige Selektionszüchtungsprogramme mit langwierigen Nachkommenschafts- und

1 Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, FB 42

2 Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften (FIB) e.V.

Klonprüfungen verkürzt und durch physiologische Kriterien in ihrer Bewertung objektiviert werden. Gleiches gilt für die Auswahl geeigneter Saatguterntebestände, lässt sich doch gerade bei der Robinie angesichts der beschriebenen Pflege-defizite nicht auf das tatsächliche genetische Potenzial schließen.

Die Voraussetzung für die Anwendung solcher Biomarker ist allerdings, dass (1) zunächst die zur Leistungsausprägung maßgeblichen physiologischen Prozesse und ihrer genetischen Kontrolle verstanden werden und (2) die Ableitung eindeutiger Parameter bzw. Muster erfolgt, welche mit ertragsbestimmenden Leistungsattributen korrespondieren. Gerade angesichts der starken Nachfrage an leistungsfähigem Vermehrungsgut und im Hinblick auf das ökonomische Potenzial der Baumart ist dieser „genetisch-physiologische“ Ansatz daher nicht nur von wissenschaftlichem, sondern auch von praktischem Interesse.

Mit einem kombinierten Untersuchungsansatz, der sowohl Gefäß- als auch Freilandversuche verbindet, sollten vor-ausgewählte Robinienklone bzw. –herkünfte auf der Grundlage von physiologischen Markern bezüglich ihrer Anpassungsfähigkeit gegenüber Wasser- und Nährstoffmangel sowie gegenüber Spätfrösten bewertet werden. Nachfolgend werden erste Ergebnisse zur Trockenstresstoleranz unter Berücksichtigung ihres Wuchsverhaltens vorgestellt.

3 Untersuchungsansatz

3.1 Gefäßversuch/Freilanduntersuchungen

Das ökophysiologische Screening und die Ertragsschätzung erfolgt an vier ausgewählten Klonen aus Deutschland bzw. zwei Absaaten aus Ungarn und Rumänien (Tab. 1) sowohl anhand eines Biomonitoringverfahren auf einer Freilandfläche als auch durch einen Gefäßversuch unter kontrollierbaren Bedingungen. Durch die Simulation potenzieller Belastungssituationen (u. a. Trockenheit, Frost, Nährstoffmangel) ist es möglich, verschiedene Klone bzw. Herkünfte hinsichtlich ihrer individuellen physiologischen Anpassungsfähigkeit zu vergleichen. Bekanntlich zeigt die Robinie ein hohes Anpassungsvermögen an Hitze und Trockenheit, allerdings sind diese Eigenschaften stark sorten- bzw. herkunftsabhängig und bisher noch kein Züchtungskriterium. Dabei ermöglicht die Kombination von Gefäß- mit Freilanduntersuchungen Aussagen darüber, ob und in wie weit die ermittelten individuellen biochemischen und physiologischen Muster auf Freilandbedingungen übertragbar sind.

Tab. 1: Ausgewählte Klone bzw. Herkünfte

Klon-Nr.	Name	Zuchtnummer	Herkunft
5	Fra3	NW 8-819 Z	Frankfurt/Main
6	Langen	NW 11-461 X	Hann. Münden
11	Rowena		Waldsieversdorf
12	Roy		Waldsieversdorf
15	Kiskunsagi	NW 13-0448 X	Ungarn (Kontrolle)
23	Cuci	ROB5-10	Rumänien

Im Folgenden sollen ausschließlich die Ergebnisse eines Trockenstressversuches 2015 vorgestellt werden. Hierzu

erfolgte die Anlage eines Gefäßversuches mit den ausgewählten Robinienklonen bzw. –herkünften im Technikum vom FIB in Finsterwalde (Abb. 1). Jeweils 20 Pflanzen jedes Klones bzw. der beiden Absaaten wurden am 16. bzw. 17.04.2015 gepflanzt und zurückgeschnitten. Die Etablierung der Pflanzen bei optimaler Bewässerung dauerte bis zum 08.07.2015 (Abb. 2). Zu Beginn des Trockenstressversuches ab **09.07.** wurden jeweils 12 Pflanzen pro Klon als bewässerte Kontrolle weitergeführt und 8 Pflanzen nicht mehr bewässert. Zum Versuchsbeginn wurden von allen Pflanzen (jeweils 20 Pflanzen von 4 Klonen bzw. den beiden Absaaten) Blattproben entnommen. Im weiteren Versuchsverlauf erfolgten am **16.07.** und am **22.07.** – unmittelbar vor Beginn der Wiederbewässerung zwei weitere Probenahmen. Die beiden den Versuch abschließenden Probenahmetermine **27.07.** und **08.08.2015** beschreiben dabei den physiologischen Zustand der Untersuchungspflanzen 3 bzw. 11 Tage nach Wiederbewässerung.



Abb. 1: Anlage des Gefäßversuches in Finsterwalde (Foto: Ch. Lange, 2015)



Abb. 2: Versuchspflanzen zu Beginn des Trockenstressversuches im Juli 2015 (Foto: Ch. Lange, 2015)

Ergänzend zum Trockenstressversuch wurden zeitgleich auf einer *Klonprüfungsfläche* Freilanduntersuchungen an einjährigen Testpflanzen der gleichen Klone bzw. Herkünfte durchgeführt. Diese etwa 1 ha umfassende Anlage wurde im März 2014 vom Thünen-Institut für Forstgenetik (TI) angelegt. Sie befindet sich auf einer jungen Rekultivierungsfläche des Braunkohlentagebaues Welzow-Süd (Abb. 3).



Abb. 3: Klonprüfungsfläche in Welzow-Süd (Foto: Ch. Lange, 2015)

Von den insgesamt zur Verfügung stehenden 12 Versuchsböcken im Verband von 1,5 x 1,5 m wurden 4 Versuchspartzellen (B,F,G und L) ausgewählt und von den 9 Pflanzen pro Parzelle jeweils 5 Testpflanzen (1,3,5,7 und 9) am **12.08.2015** einmalig beprobt (Abb. 4).

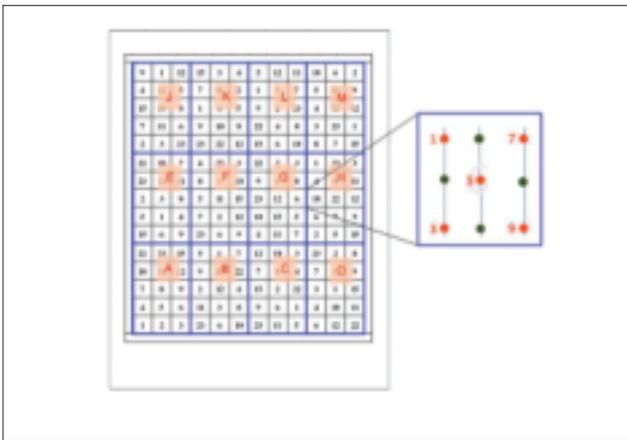


Abb. 4: Versuchsplan der Robinienklonprüfungsfläche Welzow und Anordnung der Versuchspflanzen pro Prüfvariante

2.2 Methoden

Zur Bewertung der Trockenstress- bzw. Anpassungsreaktionen wurden ausgewählte Biomarker, die die Aktivität bestimmter Stoffwechselbereiche (Energie-, Primär- und Sekundärstoffwechsel) und gegebene Belastungszustände angemessen widerspiegeln, untersucht. Neben der Beurteilung der Trockenstresstoleranz ermöglicht die Bestimmung der phenolischen Blatinhaltsstoffe Aussagen zum Abwehrstoffwechsel der Robinienklone bzw. -herkünfte. Die Biomarker-Untersuchungen wurden durch ertragskundliche Messungen an allen Versuchspflanzen durch das FIB ergänzt (Tab. 2). Die Analysemethoden sind bei Kätzel (2003) beschrieben.

Durch Korrelationsanalysen und eine multivariate statistische Auswertung (Hauptkomponentenmethode) werden Beziehungen zwischen den einzelnen Blatinhaltsstoffen (= Biomarker) dargestellt. Zur besseren Ergebnisinterpretation erfolgt eine Gruppierung dieser Indikatoren nach „Biomarkermustern“ (KÄTZEL 2003). Anhand der Biomarkermuster der Einzelbäume der Klone bzw. Absaaten erfolgt eine integrative Bewertung der Trockenstresstoleranz bzw.

des Abwehrstoffwechsels, die neben den ertragskundlichen Parametern in eine Anbauempfehlung für Brandenburger Standortbedingungen mündet.

Tab. 2: Untersuchungsparameter und verantwortlicher Projektpartner

Parameter	Größe	Partner
Wachstum/Biomasseertrag	Pflanzenhöhe	FIB
	Wurzelhalsdurchmesser	
	Trockenmasseertrag	
	Wurzelmasse	
Biomarker der Blätter zur Trockenstresstoleranz	Osmolalität	LFE
	Kohlenhydrate, Stärke	
	Lösliche Aminosäuren, Prolin	
Biomarker der Blätter zum Abwehrstoffwechsel	Blattwassergerhalt, Chlorophylle, Carotinoide	
	Einfache und kondensierte Phenole	LFE

3 Ergebnisse

3.1 Gefäßversuch

Biomasseertrag

Als wüchsigster Klon innerhalb der 6 untersuchten Prüfglieder mit einer mittleren Pflanzenhöhe von 200 cm und einem Wurzelhalsdurchmesser (WHD) von 13,6 mm erwies sich der Klon Fra3 (Tab. 3). Daraus resultiert auch der höchste Trockenmasseertrag. Jedoch ist die Ertragseinbuße im Vergleich zur optimal bewässerten Kontrolle mit 19 % relativ hoch. Dagegen ist die ungarische Absaat Kiskunsagi durch einen leicht höheren oberirdischen Ertrag infolge der Trockenheit gekennzeichnet und auch die Wurzelmasse der trockengestressten Pflanzen ist höher als die der Vergleichspflanzen. Die höchsten Ertragseinbußen mit 31,3 % gegenüber den bewässerten Kontrollen hatten die Robinien des Klons Langen. Rowena und Roy – die beiden Brandenburger Klone – lagen im oberen Mittelfeld, wobei vor allem beim Klon Roy die geringen Ertragsverluste der oberirdischen Pflanzenteile nach Trockenheit von Vorteil waren. Anhand der ertragskundlichen Ergebnisse belegen die 3 deutschen Klone Fra 3, Rowena und Roy die ersten drei Plätze.

Tab. 3: Wachstumskundliche Ergebnisse des Gefäßversuches 2015: Mittelwerte der 20 Pflanzen (= Mittel) und relativer Bezug der 8 trockengestressten Pflanzen zu den 12 Kontrollpflanzen (= rel. [%]) sowie die daraus abgeleiteten Rangfolgen (= Rang); Messung nach Versuchsende am 19.11.15

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskun-sagi	Cuci
Pflanzenhöhe [cm]	Mittel	149	149	200	134	138	159
	Rang	3	3	1	6	5	2
	rel. [%]	-8,8	0,2	-10,3	-12,3	-6,2	-20,0
	Rang	3	1	4	5	2	6
WHD [mm]	Mittel	11,1	11,3	13,6	10,7	9,8	11,5
	Rang	4	3	1	5	6	2
	rel. [%]	-10,5	-8,7	-7,3	-13,4	3,6	-12,7
	Rang	4	3	2	6	1	5
TM-Ertrag [g]	Mittel	53,9	57,1	89,6	48,2	40,6	59,2
	Rang	4	3	1	5	6	2
	rel. [%]	-25,2	-14,7	-19,0	-31,3	12,3	-28,8
	Rang	4	2	3	6	1	5
Wurzelmasse [g]	Mittel	303	260	253	233	175	206
	Rang	1	2	3	4	6	5
	rel. [%]	-25,7	-30,9	-15,1	-29,4	11,9	-48,0
	Rang	3	5	2	4	1	6
Durchschnittlicher Rang		3	2	1	6	3	5

Biomarker zur Trockenstresstoleranz

Nachfolgend sollen typische Biomarkerreaktionen für „Trockenstress“ dargestellt werden, die sich in unterschiedlicher Intensität nicht nur bei allen 6 untersuchten Robinienherkünften, sondern auch bei anderen Baumarten nachweisen lassen (Abb. 5). Unter Wasserdefizitbedingungen (hier nach 7 bzw. 13 Tage ohne Bewässerung) steigt in den Blättern zunächst die Osmolalität des Zellsaftes. Sie ist eine integrative Größe, die neben dem Wassergehalt in der Zelle auch ein Maß für die Konzentration osmotisch wirksamer Substanzen im Zellsaft darstellt. Für die Osmoregulation in der Pflanzenzelle sind neben Sacchariden und anorganische Ionen (z.B. Kalium) organische Säuren verantwortlich. So kann z.B. die Spaltung von Saccharose in Glukose und Fruktose zu einer Verdoppelung des osmotischen Druckes bei geringem physiologischem Aufwand führen. Derartige relativ kurzfristig realisierbare Reaktionen sind dabei Teil einer aktiven Anpassungsstrategie vitaler Pflanzen an Wassermangelbedingungen. Im weiteren Verlauf wird Stärke abgebaut und lösliche Kohlenhydrate in den Blättern akkumuliert. Vor allem bei länger andauernden Stressbelastungen wird Stärke weiter abgebaut und die Aminosäure Prolin um ein Vielfaches akkumuliert. Bereits 3 Tage nach Wiederbewässerung ist die Osmolalität verringert, der Stärkegehalt angestiegen und die Gehalte an freien Aminosäuren gesunken. 11 Tage nach Wiederbewässerung ist der „Erholungsprozess“ anhand der Biomarker bereits deutlich

nachweisbar. Überraschenderweise ist der Gesamtchlorophyllgehalt der Testpflanzen nach Trockenstress erhöht. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den Untersuchungen der Mitarbeiter des FIB, die anhand von Photosynthese-Effizienzmessungen eine Stimulation der Photosynthese nach Stress nachweisen konnten, (LANGE 2016).

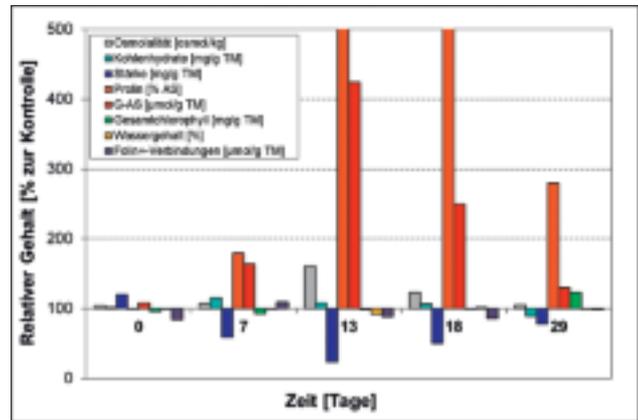


Abb. 5: Relative Konzentrationsänderungen von Biomarkern bei zunehmender Trockenstressdauer und anschließender Wiederbewässerung am Beispiel des Klons Fra 3 (n = 12 Kontrollpflanzen = 100 % in Bezug zu n = 8 Trockenstresspflanzen)

Die Einzelbetrachtung der Biomarker zeigt eine Reihe von interkorrelativen Beziehungen zwischen den einzelnen Parametern. Daher wird eine Faktorenanalyse durchgeführt, um die wechselseitig korrelierenden Variablen auf wenige, voneinander unabhängige Variablengruppen (Faktoren) zu reduzieren. Im Ergebnis der Faktorenanalyse wurden 4 Faktoren extrahiert, die 78 % der Gesamtvarianz erklären. In einem der beiden wichtigsten Faktoren sind die Biomarker Osmolalität, Gesamt-Aminosäuregehalt und freies Prolin (bezogen auf Aminosäuren) positiv geladen und der Stärkegehalt negativ geladen enthalten. Alle vier Parameter kennzeichnen den Wasserhaushalt der Pflanze. Die Einzelladungen sind so ausgerichtet, dass hohe Faktorwerte Wassermangelsituationen der Pflanzen beschreiben (= **Trockenstressfaktor**). Mittels dieses Faktors ist es möglich, nicht nur die komplexen Reaktionen innerhalb der frühen Phase des Trockenstresses der einzelnen Klone zu vergleichen, sondern auch die Erholung nach Wiederbewässerung. Dabei sind solche Klone gegenüber Trockenstress relativ unempfindlich, die zu Beginn des Trockenstresses nur geringe bzw. keine physiologischen Reaktionen zeigen bzw. die sich nach Wiederbewässerung schnell erholen können.

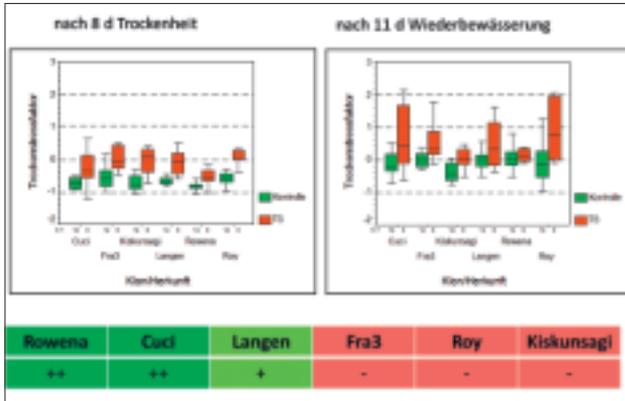


Abb. 6: Klonvergleich bezüglich der Trockenstresstoleranz anhand des Trockenstressfaktors 8 Tage nach Beginn der Trockenheit bzw. des Erholungsvermögens 11 Tage nach Wiederbewässerung

Während 8 Tage nach Versuchsbeginn hinsichtlich des Trockenstressfaktors der Kontrollpflanzen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Klonen bzw. Herkünften nachweisbar sind, zeigen die Pflanzen ohne Bewässerung einen deutlichen Anstieg in diesem Parameter (Duncan-Test, $\alpha = 0,05$). Signifikante Unterschiede gibt es zwischen dem Klon Rowena und allen anderen Klonen bzw. Herkünften. Eine Ausnahme bildet die rumänische Absaat Cuci, die statistisch keine Unterschiede zu allen anderen Herkünften zeigt. 11 Tage nach Wiederbewässerung bestehen noch immer signifikante Unterschiede zwischen den Kontroll- und Trockenstresspflanzen bei den beiden Herkünften Fra3 und Kiskunsagi. Vor allem Rowena, aber auch Cuci und Langen zeigen im Rahmen dieser Untersuchungen physiologisch die beste Erholung. Anhand dieser Ergebnisse erweisen sich die beiden Herkünfte Rowena und Cuci von den 6 untersuchten Versuchsgliedern am trockenstresstolerantesten.

Biomarker zum Abwehrstoffwechsel

Mit einer unüberschaubaren strukturellen Vielfalt sind die phenolischen Blattinhaltsstoffe wesentliche Komponenten des pflanzlichen Sekundärstoffwechsels. In ihren Funktionen u.a. im unspezifischen Abwehrstoffwechsel sind sie von fundamentaler Bedeutung für den Überlebenserfolg von Pflanzen. In den vorliegenden Untersuchungen wurden sowohl die einfachen phenolischen Verbindungen als Folin-positive Verbindungen bzw. ortho-Dihydroxyphenole als auch die höher kondensierten Verbindungen als Vanillin-positive Verbindungen bzw. Procyanidine bestimmt (Tab. 4).

Tab. 4: Phenolgehalte der Robinienblätter der 6 Klone/ Absaaten des Gefäßversuches 2015: Mittelwerte der 12 Kontrollpflanzen (= Mittel) aller 5 Probenahmeterminale und relativer Bezug der 8 trockengestressten Pflanzen (= rel. [%]) sowie die daraus abgeleiteten Rangfolgen (= Rang)

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskunsagi	Cuci
Folin+Verb. [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	169	139	125	122	146	147
	Rang	1	4	5	6	3	2
	rel. [%]	+7,3	-11,4	-7,5	-17,3	-8,6	-7,6

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskunsagi	Cuci
	Rang	1	5	2	6	4	2
Vanillin+Verb. [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	165	168	132	147	178	188
	Rang	4	3	6	5	2	1
	rel. [%]	+13,6	-11,2	-12,2	-26,1	-11,2	-22,8
	Rang	1	2	4	6	2	5
Procyanidine [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	152	163	91	146	166	175
	Rang	4	3	6	5	2	1
	rel. [%]	+4,0	-20,5	-6,5	-31,4	-11,6	-28,6
	Rang	1	4	2	6	3	5
ortho-Dihydroxyphenole [$\mu\text{mol/g TM}$]	Mittel	82	73	58	62	75	85
	Rang	2	4	6	5	3	1
	rel. [%]	+10,9	-17,8	-8,0	-29,1	-9,4	-21,9
	Rang	1	4	2	6	3	5
Durchschnittlicher Rang		1	4	5	6	2	2

Rowena und die rumänische Absaat Cuci haben die höchsten Phenolgehalte innerhalb der sechs untersuchten Herkünfte. Während sich bei fünf Klonen durch den Trockenstress die Phenolgehalte in den Pflanzen verringerten, war in den Blättern des Klons Rowena eine Erhöhung dieser Inhaltsstoffe um ca. 10 % nachweisbar. Dies bedeutet, dass auch unter Wassermangelbedingungen das Abwehrvermögen der Pflanzen – im Gegensatz zu den anderen untersuchten Herkünften – über längere Zeit erhalten bleibt. Kennzeichnend für den Klon Langen mit ohnehin geringen Phenolgehalten ist eine zusätzliche starke Abnahme dieser Verbindungen in den trockengestressten Pflanzen. Der als besonders wüchsig aufgefallene Klon Fra3 besitzt ebenfalls eher geringe Phenolgehalte, so dass diese beiden Herkünfte in diesem Merkmal die hinteren Ränge belegen.

3.2 Klonprüfung Welzow

Biomasseertrag

Analog zum Gefäßversuch überzeugt der Klon Fra3 auch bei den Freilanduntersuchungen auf der *Klonprüfungsfläche Welzow* durch einen hohen Biomasseertrag. Er ist allen anderen Robinien-Klonen und –Herkünften wuchsüberlegen, was ihn besonders für den Energiepflanzenanbau empfiehlt (Tab. 5). Allerdings neigt er zum „Zwieselwuchs“, bisweilen auch mit mehreren Haupttrieben, was einer hochwertigen stofflichen Verwendung entgegensteht. Den zweiten Rang belegt der brandenburgische Genotyp Rowena. Im Gegensatz dazu sind nach diesen Kriterien die Herkünfte Langen und Cuci nicht zu empfehlen. Diese vorläufigen Ergebnisse werden durch weitere Untersuchungen 2016 ergänzt.

Tab. 5: Wachstumskundliche Ergebnisse des Klonprüfungsversuches Welzow 2015: Mittelwerte von n = 20 Pflanzen (= Mittel) und die daraus abgeleitete Rangfolgen (= Rang)

	Klon	Rowena	Roy	Fra3	Langen	Kiskunsagi	Cuci
Pflanzenhöhe [cm]	Mittel	293	227	327	222	257	239
	Rang	2	5	1	6	3	4
Höhenzuwachs 2015 [cm]	Mittel	128	118	135	108	134	119
	Rang	3	5	1	6	2	4
WHD [mm]	Mittel	36,8	30,1	41,5	30,9	33,1	30,2
	Rang	2	6	1	4	3	5
TM [kg]	Mittel	1,53	0,96	1,95	0,95	1,22	0,95
	Rang	2	4	1	5	3	5
Biomassezuwachs 2015 [kg]	Mittel	1,35	0,92	1,67	0,84	1,18	0,82
	Rang	2	4	1	5	3	6
Anteil der Pflanzen mit Zwieseln [%]	Mittel	40	15	65	25	30	10
	Rang	2	5	1	4	3	6
Durchschnittlicher Rang		2	4	1	5	3	5

Biomarker zur Trockenstresstoleranz

Zum Zeitpunkt der Blattprobenahme des Klonprüfungsversuches Welzow im August 2015 war eine sehr trockene und heiße Witterungsperiode. Dadurch war es möglich, die physiologischen Reaktionen der einzelnen Klone unter realen Freilandbedingungen zu untersuchen. Die Faktorenanalyse ergab für diesen Versuchsansatz 3 Faktoren, die 67 % der Gesamtvarianz erklären. Im Unterschied zum Gefäßversuch hatte hier der Wasserfaktor mit den Parametern des Wasserhaushaltes (prozentuales Prolin, Osmolalität und Gesamtaminosäuregehalt [positiv geladen] und Stärke- und Blattwasserergehalt [negativ geladen]) die höchste Wertigkeit. Den signifikant höchsten Wasserstressfaktor und damit auch die stärksten physiologischen Stressreaktionen waren bei der ungarischen Herkunft Kiskunsagi nachweisbar (Abb. 7).

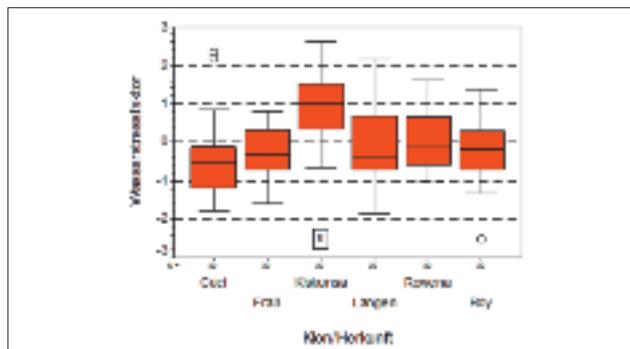


Abb. 7: Boxplots des Wasserstressfaktors aller 6 untersuchten Herkünfte mit Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede (ANOVA, $\alpha = 0,05$)

Biomarker zum Abwehrstoffwechsel

Im Ergebnis der Faktorenanalyse konnten alle ermittelten phenolischen Blattinhaltsstoffe zu einem Faktor zusammengefasst werden. Da alle Verbindungen positiv in diesem Faktor enthalten sind, repräsentieren hohe Werte hohe Phenolgehalte. Die beiden Brandenburger Klone Rowena und Roy hatten den signifikant höchsten Phenolfaktor und somit die günstigsten biochemischen Voraussetzungen im Abwehrstoffwechsel (Abb. 8). Im Gegensatz wurden bei den beiden Klone Fra3 und Langen die signifikant geringsten Werte nachgewiesen.

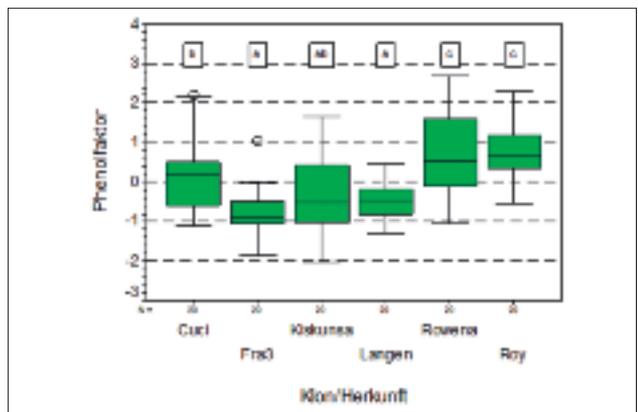


Abb. 8: Boxplots des Phenolfaktors aller 6 untersuchten Herkünfte mit Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede (ANOVA, $\alpha = 0,05$)

4 (Vorläufige) Bewertung der Klone

Die vorläufige Bewertung der Klone anhand beider Versuchsansätze zeigt eine sehr gute Übereinstimmung, wobei der Brandenburgische **Klon Rowena** nicht nur durch seine guten physiologischen Parameter empfehlenswert ist, sondern auch eine ausreichende Wuchsleistung aufweist. Der **Klon Fra3** ist allen anderen untersuchten Klone bzw. Absaaten wuchsüberlegen und lediglich seine Neigung zur Zwieselbildung könnte einer höherwertigen Nutzung des Holzes entgegenwirken. Die Photosynthese-Effizienzmessungen (FIB) weisen für ihn von den sechs untersuchten Klone/Herkünften die besten Ergebnisse nach (LANGE 2016). Nachteilig bei diesem Klon wirken sich möglicherweise die geringen Phenolgehalte (Abwehrstoffwechsel) aus. Somit können diese beiden Klone zum Anbau empfohlen werden.

Die Herkunft aus Hann. Münden, der **Klon Langen** empfiehlt sich nicht für den Anbau in Brandenburg, da er in beiden Versuchsansätzen nicht nur eine geringe Wuchsleistung, sondern auch geringe Phenolgehalte aufwies.

Die beiden geprüften ausländischen **Absaaten Cuci** und **Kiskunsagi** hatten unter den Brandenburgischen Verhältnissen eine mittlere bis geringe Wuchsleistung, wobei nur für Cuci eine gute Trockenstresstoleranz zu verzeichnen ist.

Der zweite Brandenburger **Klon Roy** liegt mit allen Daten im Mittelfeld. Abb. 9 enthält eine Zusammenstellung aller Ergebnisse.

Gefäßversuch 2015				KP Welzow 2015			
Klon	Wachstum	TS-Toleranz	Abwehr	Klon	Wachstum	TS-Toleranz	Abwehr
Fra3	++	-	-	Fra3	++	+	--
Längen	--	+	--	Längen	--	+	--
Rowena	+/-	++	++	Rowena	+	+	++
Roy	+	-	+/-	Roy	-	+	++
Kiskunsagi	+/-	-	+	Kiskunsagi	+/-	--	-
Cuci	-	++	+	Cuci	--	+	+/-

Abb. 9: Zusammenfassende Bewertung des Gefäß- und Freilandversuches

5 Zusammenfassung

Im Vergleich zu anderen Laubbaumarten (Eiche, Buche) reagiert die Robinie im *Gefäßversuch* sehr schnell auf beginnende (8 Tage) und sich weiter verschärfende Trockenheit. Neben sichtbaren Symptomen, wie z.B. Blattvergilbung und Blattabwurf zeigen die hier dargestellten Ergebnisse bereits nach 8 Tagen Trockenheit signifikante blattbiochemische Veränderungen.

Zeitgleich zum Trockenstressversuch unter kontrollierten Bedingungen wurden im *Klonprüfungsversuch Welzow* Freilanduntersuchungen an Testpflanzen des gleichen Robinien-Genotyps bzw. derselben Herkunft durchgeführt. Aufgrund des Witterungsverlaufes im Sommer 2015 (Juli bis Anfang August: heiß und trocken) war es möglich, die Reaktionen der Pflanzen auf Wassermangel unter natürlichen Standortbedingungen zu untersuchen.

Die hier vorgestellten Ergebnisse führen den Nachweis, dass mittels stressphysiologischer Untersuchungen sowohl in Gefäßversuchen als auch im Freiland die Anbaueignung von Robinien-Klonen bzw. -Herkünften bewertet werden kann. Damit steht ein praktikables, analytisch standardisiertes Routineverfahren zur physiologischen Frühdiagnose in der Forstpflanzenzüchtung zur Verfügung, das für weitere Baumarten genutzt werden kann.

Danksagung

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) unter den Förderkennzeichen 22000914 (LFE) und 22001014 (FIB) gefördert.

Literatur

ENGEL, J. UND KNOCHE, D. (2011): Energie aus dem Stock – Zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 47: 26-36.

Kätzel, R. (2003): Biomarker als Indikatoren zur Bewertung des Vitalitätszustandes der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im nordostdeutschen Tiefland. Habilitationsschrift an der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden, 244 Seiten.

KLEINBAUER, I., DULLINGER, S., PETERSEIL, J., ESSL, F. (2010): Climate change might drive the invasive tree *Robinia pseudoacacia* into nature reserves and endangered habitats. In: *Biological Conservation*, 143 (2): 382-390.

KNOCHE, D. und ENGEL, J. (2012a): Robinie: Lichtbaumart beendet ihr Schattendasein - Brandenburg erprobt Schnellwuchsbetrieb als nachfrageorientierte Bewirtschaftungsstrategie für die Robinie. *Holz-Zentralblatt* 1: 16-17.

KNOCHE, D. und ENGEL, J. (2012b): Verbundvorhaben. Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD), Teilvorhaben 7 & 8: Modellprojekt zu Begründungsverfahren der Robinie. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8: 143-164.

KNOCHE, D., ENGEL, J., LANGE, CH. (2014): Bewirtschaftung von Robinien-Beständen in Brandenburg - Ergebnisse aus dem FNR-Projekt FastWOOD. Informationen für den Waldbesitzer, 12 S.

LANGE, CH. (2016): Zwischenbericht zum Verbundvorhaben Züchtung schnell wachsender Baumarten der Gattungen *Populus*, *Robinia* und *Salix* für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD III); Teilvorhaben 7: Frühdiagnose der ökophysiologischen Leistungsfähigkeit von Robinien (*Robinia pseudoacacia* L.) heimischer Bestände. FIB, 25 S.

LIESEBACH, H. (2012): Genetische Charakterisierung von Robinienbeständen (*Robinia pseudoacacia* L.) in Deutschland mit nuklearen Mikrosatelliten-Markern: Erkenntnisse zu ihrer Bestandesbegründung. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8: 275-293.

LOCKOW, K.-W. und LOCKOW, J. (2013): Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) eine schnellwachsende Baumart mit wertvollen Holzeigenschaften. Mitt. d. Ges. zur Förderung schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland e.V., 1: 1-7.

ROLOFF, A. und GRUNDMANN, B. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol. 42: 97-109.

Die Wälder des norddeutschen Tieflandes unter dem Einfluss aktueller und zukünftiger Risikofaktoren – Beispiele für eine Gefährdungsanalyse

RALF KÄTZEL, STEFAN FLECK, MATTHIAS ALBERT

Die langfristigen Risiken des globalen Wandels, einschließlich der weltweiten Klimaerwärmung, sind heute kaum pauschal einzuschätzen. Zu zahlreich sind die Einflussfaktoren, die sie auslösenden Wirkungen und noch unbestimmter die Vielzahl der Wechselwirkungen – und dies auf ganz verschiedenen Wirkungsebenen. Dennoch ist der Wunsch nach Prognosen oder zumindest Szenarien, die einen Blick in die Zukunft wagen, u. a. um richtungsweisende Entscheidungen zu erleichtern, nur allzu verständlich. Eine Teillösung des Dilemmas liegt in der Beschränkung des betrachteten Raumes, des anvisierten Zeithorizontes, der berücksichtigten Risikofaktoren und der betroffenen Schutzgüter.

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts *„Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland“ (NaLaMa-nT, 2010-2015)* wurde der Versuch unternommen, die potenzielle Schadenswirkung einer begrenzten Anzahl von abiotischen und biotischen Einflussfaktoren für einen Zeitraum bis zum Jahr 2070 nach derzeitigem Wissensstand für vier ausgewählte Modellregionen in Norddeutschland quantitativ abzuschätzen und damit vergleichbar zu machen. Die vier Modellregionen sind die Landkreise Diepholz und Uelzen, der Fläming als länderübergreifende Region zwischen Sachsen-Anhalt und Brandenburg sowie der Landkreis Oder-Spree (LOS), die entlang eines ca. 500 km langen West-Ost-Gradienten quer durch das norddeutsche Tiefland liegen. Die Regionen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer historischen Entwicklung, ihrer naturalen und wirtschaftlichen Ressourcen, der Betroffenheit durch den Klimawandel, ihrer bisherigen wirtschaftlichen Schwerpunkte der Landnutzung sowie einer Reihe sozio-ökonomischer Faktoren.

Diese unterschiedlichen Rahmenbedingungen führen zu einer differenzierten, regionalen Betroffenheit. Dies gilt insbesondere für die drei untersuchten Wirtschaftsbereiche Wasser-, Forst- und Landwirtschaft, die in offenen Systemen stattfinden und deren Produktivität maßgeblich von Klima- und Standortfaktoren sowie einem darauf ausgerichteten Management abhängig ist.

Bereits das auf Hans Carl von CARLOWITZ aus dem Jahre 1713 zurückgeführte Prinzip der Nachhaltigkeit hat seinen Ursprung in der Sorge um den Verlust der materiellen Lebensgrundlagen der Bevölkerung in einer vom Bergbau geprägten Region. Mit der Übernutzung der Wälder und dem drohenden Holzangel bestand das reale Risiko den Bergbau in Sachsen aufgeben zu müssen. Dies wäre mit gravierenden Folgewirkungen für die Entwicklung in der Region und ihrer Bewohner verbunden gewesen. Mit einer planmäßigen, auf Regeln beruhenden Waldbewirtschaftung konnte diesen Risiken dauerhaft erfolgreich begegnet werden.

Die durch den globalen Wandel ausgelösten Risiken sind jedoch weitaus schwieriger zu beurteilen als lokale, monokausale Schadensereignisse. Um künftige Handlungsoptionen vergleichend werten zu können, wurden vor dem Hintergrund des Klimaszenariums „RCP 8.5“ (IPCC 2013) drei alternative handlungsleitende Entwicklungspfade (Referenz-, Biodiversität-, Klimaschutzszenarien, s. NW-FVA, 2016 a und b) definiert. Aus dem Blickwinkel der Risikoanalyse war daher zu untersuchen, wie sich die Risiken für die einzelnen Schutzgüter in Abhängigkeit von den drei unterschiedlichen Entwicklungspfaden in den vier Modellregionen ändern würden. Die folgenden Ausführungen fokussieren auf die Risikoanalyse der beiden östlichen Modellregionen Fläming und Landkreis Oder-Spree (LOS) unter Berücksichtigung des forstlichen Referenzszenariums („naturnaher Waldbau“ in Anlehnung an das niedersächsische Regierungsprogramm „LÖWE“, NDS 1991; vgl. auch das Brandenburger Waldprogramm, MLUR 2004).

Klimaentwicklung und Risikofaktoren in den Modellregionen

Die Modellregionen Fläming und LOS gehören bereits heute zu den trockensten Regionen Deutschlands. Die derzeitige durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge (1991-2010) von 572 mm (Fläming) und 585 mm (LOS) würde bei Annahme des durchaus realistischen RCP 8.5 – Szenarios, projiziert mit dem Globalmodell ECHAM6 (STEVENS et al. 2013) und für Deutschland mit dem regionalen Klimamodell STARS (ORLOWSKY et al. 2008) regionalisiert, um weitere 10 % zurückgehen (528 mm). Die Sommermonate (Juni-August) wären von dem Niederschlagsrückgang besonders betroffen. Dagegen nehmen im Winter die Niederschläge weiter zu. Das für das Pflanzenwachstum notwendige Bodenwasser wird aber auch durch den Verdunstungsanspruch der Atmosphäre bestimmt, der bei höheren Temperaturen ansteigt. Durch die infolgedessen ansteigende Evaporation und Transpiration nimmt die klimatische Wasserbilanz zusätzlich ab.

Von 1951 bis 2010 nahmen die Jahresmitteltemperaturen um 1,1 °C zu. Bis zum Jahr 2070 wird eine weitere Zunahme bis zu 2,3 °C erwartet (Abb. 1). Die Anzahl der „Heißen Tage“ wird im Fläming von 13 auf 24 Tage (LOS: 11 auf 21 Tage) zum Ende des 21. Jahrhunderts (Anstieg um 88 %) zunehmen. Die größte Temperaturänderung ist allerdings in den Wintermonaten mit durchschnittlich 2,6 °C (Vgl. Sommer: 1,9 °C) zu erwarten. Trotz des Rückganges der winterlichen Frosttage um 43 % bleibt dennoch die Spätfrostgefahr erhalten (NW-FVA, 2016 a und b). Überraschenderweise hat trotz steigender Temperaturen in den zurückliegenden Jahrzehnten die Sturmhäufigkeit im Osten Deutschlands nicht zugenommen (KALLWEIT 2016).

Aus dem Blickwinkel der Risikoabschätzung sind daher unter den klimatischen Einflussfaktoren Wassermangel und Hitzewellen in der Vegetationsperiode, Spätfröste sowie warme Wintertage als die wichtigsten abiotischen Stressfaktoren zu berücksichtigen. Die Klimafaktoren wirken nicht nur auf Pflanzen, sondern beeinflussen auch die Populationsdynamik von Pflanzenfressern und Phytopathogenen mit indirekten Folgewirkungen auf den Baumbestand.

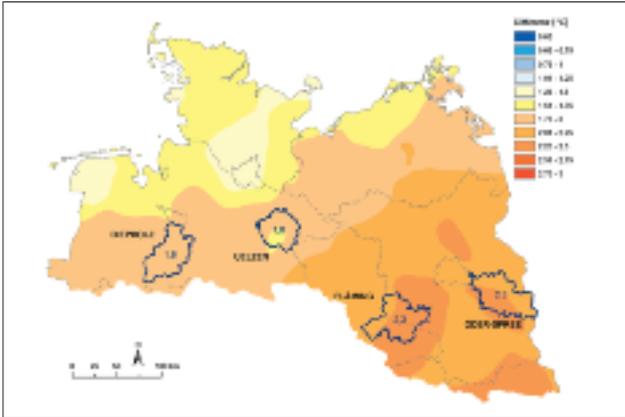


Abb. 1: Änderung der mittleren Jahresmitteltemperatur von 1991 bis 2010 bis zu einer Periode von 2051-2070 (Grundlage IPCC-Szenario „RCP 8.5“) für die vier norddeutschen Modellregionen (Quelle: NW-FVA 2016 a)

Wie kann man Risiken besser einschätzen?

Eine objektive Bedrohung durch ein künftiges Schadereignis bezeichnet man in der Regel als *Gefahr* (SCHERZBERG 1993). Wenn Gefahren erkannt und bewertet worden sind, spricht LUHMANN (1993) von *Risiken*.

Methodische Grundlagen

Die Risikoanalyse umfasst als Voraussetzung für ein Risikomanagementkonzept folgende Teilziele und Arbeitsschritte:

1. Erfassung und Rangreihung der Risikofaktoren für ein bestimmtes Gebiet
2. Identifizierung betroffener Schutzgüter und ihrer bedrohten (z. B. monetären) Werte und Funktionen
3. Schadensbewertung auf der Grundlage z. B. von Grenzwerten, Verlustkalkulationen (Schadensausmaß=A)
4. Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit (W) von Schadwirkungen
5. Berechnung (A x W) und Bewertung der Risiken (aktuell und künftig) auf der Grundlage von Risikowerten (RW) und Risikobereichen (s. Tab. 1)
6. Zuordnung zu Risikotypen (Grundlage z. B. WBGU 1999)
7. Analyse und Bewertung von Wechselwirkungen mit anderen Risikofaktoren

Mathematisch kann die Höhe des Risikos als Funktion der Eintrittswahrscheinlichkeit (W) und des Schadensausmaßes (A) eines Ereignisses beschrieben werden. Sowohl Eintrittswahrscheinlichkeit als auch Schadensausmaß lassen sich in einem Bereich zwischen 0 und 1 abschätzen. Die multiplikative Verknüpfung von Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit ergibt einen „*Risikowert*“ für ein bestimmtes Ereignis, das ein gewähltes „*Schutzgut*“ schädigen könnte. Je größer das Wirkungsmaß und je höher die Eintrittswahrscheinlichkeit ist, desto bedeutsamer ist der resultierende Risikowert mit einem theoretischen Maximalwert von 1 (Abb. 2b). In Abhängigkeit von der Auflösung in der Beschreibung von A und W ist der stufenrepräsentative Maximalwert dieser Größen geringer als 1, z. B. 0,95 im Falle von 10%-Stufen, so dass dann ein Risiko-Maximalwert von $0,95 \times 0,95 = 0,9025$ resultiert. Die Verwendung stufenrepräsentativer Mittelwerte berücksichtigt die Ungenauigkeit bei der Einschätzung von A und W.

Der *Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung zu Globalen Umweltveränderungen* (WBGU 1999) empfiehlt die Gruppierung der Risikowerte in drei *Risikobereiche* (Normbereich, Grenzbereich, Hochrisiko- bzw. Verbotsbereich). In Anlehnung an diese Empfehlung unterscheiden sich die drei Bereiche hinsichtlich der in Tabelle 1 angegebenen Risikowerte und Kriterien (Abb. 2a).

Tab. 1: Risikowerte und Kriterien zur Unterscheidung der Risikobereiche (in Anlehnung an WBGU 1999, S. 6-9)

	Normbereich	Grenzbereich	Hochrisikobereich
Risikowert	$AxW < 0,1$	$AxW = 0,1$ bis $0,3$	$AxW > 0,3$
Risiko	gering	mittel	hoch
Ungewissheit	gering	hoch	gering
Schaden (A)	gering	mittel bis hoch	sehr hoch
Wahrscheinlichkeit (W)	gering bis mittel	mittel bis hoch	sehr hoch
Reversibilität	ja	meist ja	nein
Persistenz	gering	hoch	hoch
Ubiquität	gering	hoch	hoch

Je nach Lage der Risiken innerhalb des Diagramms (Abb. 2b) differenziert der WBGU sechs verschiedene *Risikotypen*, deren Bezeichnungen der griechischen Mythologie entliehen wurden (Damokles, Pythia, Zyklop, Pandora, Cassandra, Medusa) (WBGU 1999). So würden z. B. Ereignisse, die zwar mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit eintreten werden, aber in diesem Fall enorme Schäden verursachen würden, dem „*Damokles-Typ*“ zugeordnet werden. Dagegen würden Ereignisse mit nur mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit und geringerem Schadensausmaß aber hoher Unsicherheit dem „*Pythia*“-Risikotyp entsprechen, für das die blinde Seherin des Orakels von Delphi namensgebend war. Dramatischer ist der Risikotyp „*Kassandra*“, der Ereignisse mit großem Schadenspotenzial und hoher Eintrittswahrscheinlichkeit repräsentiert. Da deren Schäden aber erst in ferner Zukunft auftreten werden, entfalten die Risiken kaum Betroffenheit in der Gegenwart, so dass Gegenmaßnahmen häufig zu spät einsetzen. Der globale Klimawandel scheint diesem Typ zu entsprechen, da Warnungen, wie im Falle der trojanischen

Seherin Cassandra kein Gehör bei den wichtigsten Akteuren finden (WBGU 1999). Entsprechend der Zuordnung des jeweiligen Risikotyps werden spezifische Handlungsstrategien und Instrumente des Risikomanagements entwickelt.

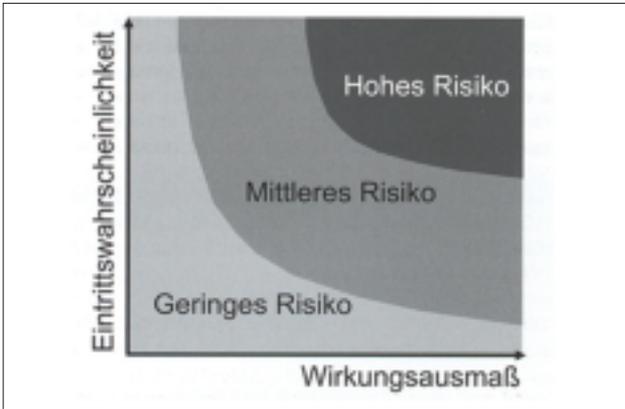


Abb. 2a: Abgrenzung von Risikobereichen als Funktion von Eintrittswahrscheinlichkeit und Wirkungsausmaß eines Schadens (Quelle: WBGU 1999)

W	1	0,05	0,14	0,24	0,33	0,43	0,52	0,62	0,71	0,81	0,90	
	0,9	0,04	0,13	0,23	0,32	0,38	0,47	0,55	0,64	0,72	0,81	
	0,8	0,04	0,11	0,19	0,28	0,34	0,41	0,48	0,55	0,64	0,71	
	0,7	0,03	0,10	0,16	0,23	0,28	0,35	0,42	0,48	0,55	0,62	
	0,6	0,03	0,08	0,14	0,21	0,25	0,30	0,35	0,41	0,47	0,52	
	0,5	0,02	0,07	0,11	0,16	0,20	0,23	0,26	0,31	0,35	0,41	
	0,4	0,02	0,05	0,08	0,12	0,15	0,18	0,22	0,25	0,30	0,33	
	0,3	0,01	0,04	0,06	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	
	0,2	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,14	
	0,1	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
		Schadensausmaß A										

Abb. 2b: Ermittlung von Risikowerten (RW) in einer Matrix, die Eintrittswahrscheinlichkeit (W) und Schadensausmaß (A) auf einer normierten Skala von 0 bis 1 verknüpft (Anm.: Die Berechnung von RW erfolgte durch Multiplikation der jeweiligen Stufenmittelwerte, z. B.: 0,25 x 0,45 ≈ 0,11).

Identifizierung von Schutzgütern

Unter Schäden versteht man zunächst die Zerstörung oder Beschädigung, d. h. die (möglichst messbare) Veränderung einer konkreten Sache. Die Bewertung von Risiken muss sich daher immer auf definierte, betroffene Schutzgüter beziehen, die zuvor identifiziert wurden. Die allgemeine Risikoabschätzung des „Brandenburger Waldes“ (als allgemeines Schutzgut) z. B. gegenüber Trockenheit ist daher wenig sinnvoll. Vielmehr geht es um die konkrete Beschreibung des avisierten Schutzgutes, z. B. 80jähriger Kiefernreinbestand unter bekannten Standortbedingungen am Forstort „X, Y“ mit der möglicherweise gefährdeten Waldfunktion „Z“.

Die Wahl des zu bewertenden Schutzgutes schlägt sich direkt auf den Risikowert nieder. So ist z. B. die Absterbewahrscheinlichkeit eines Einzelbaumes als Schutzgut durch einen Risikofaktor in einem bestimmten Zeitfenster wesentlich größer (bei Tod=1) als für eine genetisch vielfältige (anpassungsfähigere) Baumpopulation, die bei einer Dauerwaldbewirtschaftung zumindest mittelfristig „unsterblich“ sein könnte.

Da der Mensch als „Bewerter“ von Schäden auftritt, sind die Begriffe subjektiv und anthropozentrisch angelegt. So kann der Wert des Schutzgutes von selbigem Kiefernbestand zwischen unterschiedlichen Betrachtern durchaus differieren, was sich auch in später zu wählenden Maßnahmen des Risikomanagement niederschlagen kann.

Ebenso unterschiedlich sind die Risikowerte bezüglich des betrachteten Schadensausmaßes, das von Wachstums-, Wert- und Erlösminderungen bis zum Totalverlust (Tod) des Schutzgutes reichen kann. So sind z. B. die Risikowerte für Wachstumsminierungen bereits bei moderater Trockenheit in der Vegetationsperiode hoch, für den Totalverlust dagegen gering.

Die Risikoanalyse verlangt daher im Vorfeld eine konkrete Bestimmung des zu untersuchenden Schadensausmaßes für ein definiertes Schutzgut in einem definierten Zeitraum. Entsprechend der Zielstellung des Projektes bezogen sich alle Risikoanalysen (für einzelne Risikofaktoren) auf die Wahrscheinlichkeit des Totalverlustes (Schadensausmaß) eines bestimmten Baumbestandes, resp. des Bestandesvorrates (Schutzgut) innerhalb eines Zeitraumes von 10 Jahren (z. B. 2030 bis 2040) bei einem bestimmten Zukunftsszenario.

Risikofaktoren

In der Realität sind Wälder zeitgleich vielfältigen Einflussfaktoren ausgesetzt, die auch wechselseitig wirken und die derzeit weder in der Gänze ihres Auftretens noch in ihren Wirkungen erfassbar sind. Zudem wird die Anpassungskapazität eines lebenden Schutzgutes u. a. durch Vorschäden, Konditionierungen (Lerneffekte nach Stressereignissen) und das Alter mitbestimmt. Um Risikoanalysen dennoch für Waldbestände erproben zu können, wurden für einzelne abiotische (Windwurf, Waldbrand, Trockenheit, N-Eutrophierung) und biotische (div. Kiefern-schadinsekten, Nonne, Kiefern-wurzelschwamm, Borkenkäfer, Prachtkäfer) Risikofaktoren die Risikowerte und ihre (Un)sicherheitsspannen berechnet. Nachfolgend sollen die Ergebnisse für Windwurf, Waldbrand, Trockenheit und Nonnengradationen exemplarisch für die beiden östlichen Modellregionen dargestellt werden.

Ergebnisse

Windwurf

Der Risikofaktor „Sturm“ wurde bezüglich des Schadensausmaßes und der Eintrittswahrscheinlichkeit in jeder Modellregion für die Dekaden bis 2010 (2000-2010), 2040 (2030-2040) und 2070 (2060-2070) unter dem waldbaulichen Entwicklungspfad „Referenz“ eingeschätzt. ALBERT et al. (2016) beschreiben dazu detailliert die Waldentwicklung, speziell die Veränderung der Baumartenverteilung und der Altersstruktur.

Das Schadensausmaß wurde mit Hilfe des binären additiven Regressionsmodells mit explizit räumlicher Komponente von SCHMIDT et al. (2010) geschätzt. Dieses Sturmmodell schätzt die Wahrscheinlichkeit eines Windwurfes für einen Einzelbaum auf Basis der Variablen Baumart, Höhe, BHD, eines gegenüber dem Original von SCOTT UND MITCHELL (2005) modifizierten Topex-to-distance-Index, drei Kategorien der Bodenvernässung und der räumlichen Lage als Stellvertretervariable zur Repräsentation des Windfeldes (Windgeschwindigkeit). Das Modell ist parametrisiert für die Baumartengruppen Buche-Eiche, andere Laubholzarten, Fichte, Kiefer-Lärche, Weißtanne-Douglasie. Die Schätzung der Windwurfwahrscheinlichkeiten erfolgte in dieser Untersuchung auf der Grundlage der aktuellen Modellbestände und ihrer zeitlichen Entwicklung. Die spezifische Geländeexposition und -exponiertheit wird für jeden Modellbestand im Zentrum des zugrundeliegenden Stichprobenpunktes bestimmt. Es wird ein Wintersturm mit Orkanstärke aus südwestlicher Richtung unterstellt, der alle Bestände einer Region gleichermaßen trifft. Ferner wird das erste und dritte Quartil der Wahrscheinlichkeitswerte als Spreitung des Schadensausmaßes angenommen.

Die *Eintrittswahrscheinlichkeit* eines Sturmereignisses wird auf Grundlage der beobachteten Ereignisse im Zeitraum 1961 bis 2014 eingeschätzt (Datenquelle DWD). Ein Ereignis ist definiert als das Auftreten von mittleren Windgeschwindigkeiten ≥ 10 nach BEAUFORT in den letzten 10 Minuten einer Stunde (=Messperiode). Die Beobachtungen an den DWD-Wetterstationen wurden mit einem Schätzmodell auf die Stichprobenpunkte in den Modellregionen übertragen. Für jede Region wird das erste und dritte Quartil der Häufigkeitswerte als Spreitung für die Anzahl von Ereignissen in einer 10-Jahresperiode angenommen. Es wird unterstellt, dass sich die Sturmhäufigkeiten im Projektionszeitraum nicht ändern (vgl. auch KALLWEIT 2016). Insgesamt nimmt die geschätzte Eintrittswahrscheinlichkeit eines Sturmereignisses von Orkanstärke deutlich von West nach Ost ab. In Diepholz würde im Mittel ein Sturm alle 20 Jahre auftreten, in Uelzen beträgt die Zeitspanne für ein Orkanereignis bereits ca. 40 Jahre und in den beiden östlichen Regionen Fläming und Oder-Spree liegt die Eintrittswahrscheinlichkeit bei unter 10 %. Die Höhe des Schadensausmaßes in einer Region ist stark von der Baumartenzusammensetzung und dem Altersaufbau abhängig. Bei der Interpretation des projizierten Windwurftrisikos ist deshalb auch zu beachten, dass der skizzierte zeitliche Verlauf im Schadensausmaß voraussetzt, dass die Wälder in vorhergehenden Perioden keinen Schaden erlitten haben. Des Weiteren wird bei der Aggregation des Kalamitätsholzes auf die Regionsebene angenommen, dass der Sturm alle Bestände der entsprechenden Region gleichermaßen treffen würde.

Die beiden kieferndominierten Modellregionen Fläming und LOS haben bei Eintritt eines Sturmereignisses fast ausschließlich Verluste in den Kiefernbeständen zu befürchten. Allerdings würde es bei den hier seltenen Baumarten Fichte, Lärche und Douglasie häufig zu Totalverlusten kommen. Das potenzielle aktuelle Schadensausmaß beträgt im Fläming gegenwärtig bis zu 50 %, wobei 94 % des Kalamitätsholzes auf Grund ihrer großen Dominanz in der Baumartenverteilung von der Kiefer kommen würden. Noch etwas geringer fällt das Schadensausmaß laut Sturmschadensmodell für die Region LOS aus und liegt gegenwärtig zwischen 30 und 50 %. Hierbei ist vor allem die Kiefer mit 97 % des Kalamitätsholzes gefährdet. Weiterhin sind die gesamten Lärchen- und Fichtenvorräte bedroht, die jedoch nur jeweils 1 % zum Sturmholz beitragen würden.

Die Unsicherheit bei der Schätzung des Schadensausmaßes für die Zeitscheibe bis 2040 weist im Fläming eine Spreitung von 10 bis 60 % auf. Der Anteil des Kiefernvorraates am Kalamitätsholz steigt gegenüber heute auf 97 % an. Dies entspricht 76 % des gesamten Kiefernvorraates. Für die Region LOS wird der maximale Verlust auf 50 % des stehenden Vorrates geschätzt. Der Anteil der Kiefer ist mit 96 % am Kalamitätsholz nahezu unverändert und neben den Lärchen- und Fichtenbeständen steuert die Douglasie ebenfalls 1 % zum potenziellen Sturmholz bei.

Für die Dekade bis 2070 wird ein Rückgang des Schadensausmaßes auf maximal 40 % des stehenden Vorrates projiziert. Entsprechend der Waldentwicklungsdynamik unter dem Referenzszenario reduziert sich der Kiefernanteil am Kalamitätsholz auf 89 %, während der komplette Douglasienvorrat sturmwurfgefährdet ist und 8 % beitragen würde. Im LOS sinkt das Schadensausmaß in der Dekade bis 2070 auf maximal 40 %, wobei sich der Anteil der Lärche und Douglasie auf jeweils 2 % erhöht und der Kiefernanteil bei 95 % liegt.

Die Risikowerte (RW) sind für beide ostdeutschen Regionen sehr gering und liegen je nach Dekade zwischen 0,012 und 0,020. Grund hierfür ist trotz des potenziell relativ hohen Schadens die geringe Eintrittswahrscheinlichkeit von Stürmen in einer Dekade. Weiterhin muss beachtet werden, dass bei einem Sturmereignis wahrscheinlich nicht die ganze betrachtete Region gleichermaßen betroffen wäre, d. h. der „wahre“ Wert des Schadensausmaßes würde sicherlich in einer Region noch niedriger ausfallen.

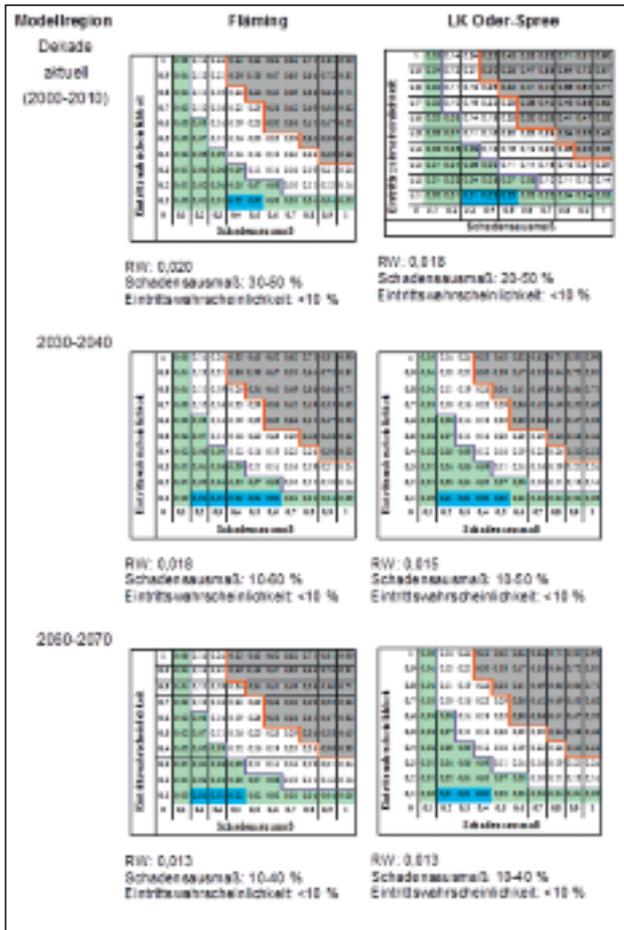


Abb. 3 (a-f): Risikodiagramme für Windwurf in den Regionen Fläming und Landkreis Oder-Spree für die drei Dekaden bis 2010, 2040 und 2070 (RW=Risikowert, Bezugsebene: Bestand, Schutzgut: Bestandesvorrat)

Waldbrand

Für die vollständige Vernichtung eines Waldbestandes durch Feuer besteht derzeit das höchste Risiko mit weitreichenden Folgewirkungen für das gesamte Ökosystem (Biodiversität, Wasserspeicherfähigkeit, Nährstoffvorrat u.v.a.). Es wären nicht nur das materielle Schutzgut „Waldbestand“ sondern auch seine Waldfunktionen gefährdet.

Zur Abschätzung des Waldbrandrisikos wurden der international weit verbreitete *Forest Fire Weather Index* (FWI, VAN WAGNER 1987) und der M68-Waldbrandindex (KÄSE 1969) berechnet. Der FWI ermittelt das Brandrisiko tageweise aus den Klimabedingungen um 13.00 Uhr und der Materialfeuchte von Streu, Humus und oberster Bodenschicht unter Verwendung unterschiedlicher Gleichgewichtsfeuchten für Austrocknung und Befeuchtung des Materials. Die Anwendbarkeit des FWI auf die Verhältnisse im norddeutschen Tiefland wurde zuvor anhand von Monitoringdaten überprüft. Für den M68-Waldbrandindex wurde erhöhtes Waldbrandrisiko bei Überschreitung eines berechneten Waldbrandkennzifferwerts von 4000 unterstellt (KÄSE 1969). Für den Zeitraum von 1991 bis 2010 wurden beide Waldbrandindices für das gesamte Projektgebiet berechnet, um die regionale Verteilung des Waldbrandrisikos zu quantifizieren.

Hinsichtlich der absoluten Zahl von Risikotagen ergeben sich mit dem M68-Index weniger extreme Werte als beim FWI, so dass in den Hauptrisikogebieten etwas niedrigere und in den ungefährdeten Bereichen etwas höhere Werte resultieren. Demzufolge wird die regionale Verteilung der Waldbrandgefährdung durch den FWI stärker kontrastierend dargestellt. Mit 20-25 Risikotagen/Jahr sind die beiden westlichen Modellregionen nur gering bis mittelmäßig waldbrandgefährdet. Dagegen befindet sich der Landkreis Oder-Spree in einem Gebiet sehr hohen Waldbrandrisikos (40-45 Risikotage nach FWI bzw. 35-40 Tage/Jahr nach M68-Index). Die Modellregion mit der größten Waldbrandgefährdung ist der Fläming und zwar insbesondere die östliche Hälfte der Region, die nach Berechnungen mit dem FWI zu den am stärksten gefährdeten Gebieten im Norddeutschen Tiefland zählt (45-50 Risikotage pro Jahr) und auch bei Verwendung des M68 teilweise Werte aus der höchsten Gefährdungskategorie (40-45 Tage) aufweist.

Für die Ermittlung der Risikowerte für Waldbrände ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Berechnungen der Waldbrandindices nur um das klimatische Waldbrandrisiko handelt. Das Zusammenwirken mit menschlichen Aktivitäten als dem eigentlichem Auslöser von Bränden in den klimatisch prädisponierten Wäldern kann hier nur mittelbar zur Geltung kommen, ebenso kann der fehlende Zusammenhang zwischen der Anzahl der Brände und der Größe der Brandfläche und die Tatsache, dass nur ein Drittel der Waldbrände Vollbrände sind, nicht allein durch die Index-Berechnungen abgebildet werden. Die überwiegend geringe Waldbrandfläche ist auch deshalb so gering, weil die Waldbrandüberwachung und Brandbekämpfung so gut funktionieren. Aus diesen Gründen wurde aufbauend auf den Berechnungen des Waldbrandindex FWI auch das tatsächliche Auftreten von Waldbränden einbezogen. Die für einen 10-Jahreszeitraum in Sachsen-Anhalt empirisch ermittelte Beziehung zwischen dem Waldbrandindex FWI und den tatsächlich aufgetretenen Waldbränden (als Flächenanteil an der Gesamtwaldfläche einer Region) wurde zu dem Zweck auf die Modellregionen im Norddeutschen Tiefland übertragen.

Das Waldbrandrisiko ist in den beiden östlichen Modellregionen schon heute relativ hoch. Gemäß den Ergebnissen der Modellrechnungen sind heute im Fläming 0,027 % der Waldfläche (ca. 25 ha) (LOS: 20 ha = 0,02 %) jährlich durch Waldbrände stark gefährdet. Nach einer leichten Abnahme das Waldbrandrisiko in der näheren Zukunft (bis 2030) wird das Risiko bis zum Ende des Beobachtungszeitraums (2070) deutlich ansteigen. Bei Fortführung der bisher üblichen Wirtschaftsweise (Referenz) errechnet sich zu diesem Zeitpunkt ein durchschnittlicher Verlust von rund 69 ha im Fläming (LOS: 60 ha/Jahr). Somit würde sich das klimabedingten Waldbrandrisiko bis 2070 mindestens verdoppeln. Bezogen auf die gesamte Modellregion bleiben die Eintrittswahrscheinlichkeiten aber insgesamt auf einem niedrigen Niveau. Da das Schadensausmaß bereits heute bei 100 % bei einem Vollbrand und bei ca. 40 % bei einem Bodenbrand liegt, ändern sich die Risikowerte zwischen den Regionen und Dekaden kaum (Abb. 4 a-f, Risikobereiche blau markiert).

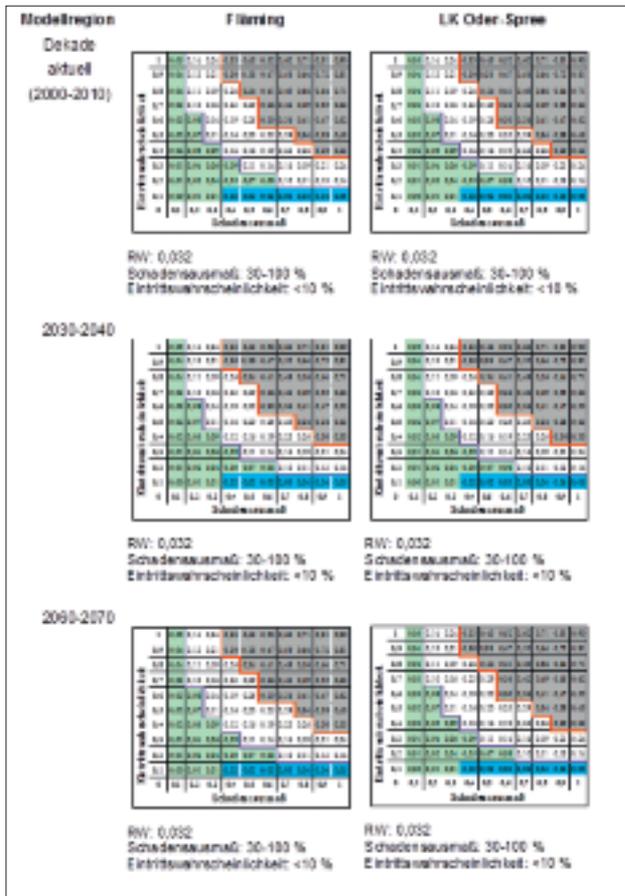


Abb. 4 (a-f): Risikodiagramme für Entzündungsempfindlichkeit von Oberboden und Streu in Abhängigkeit von der Dauer von Hitzeperioden und Trockenheitsperioden in den Regionen Fläming und Landkreis Oder-Spree für die drei Dekaden bis 2010, 2040 und 2070 (RW=Risikowert, Bezugsebene: Bestand, Schutzgut: Waldbestand in allen seinen Funktionen (Holzproduktion und a. Ökosystemdienstleistungen))

Wassermangel während der Vegetationsperiode in Eichen- und Buchenbeständen

Bei Pflanzen entsteht Trockenstress durch verringertes Wasserangebot, durch höheren Wasserverbrauch oder durch eine Kombination von beidem. Ob dieser Belastungszustand eintritt, ist jedoch von einer Vielzahl von Begleitfaktoren (z. B. Alter, Akklimatisation, Vorschädigungen, Verhältnis Gesamt-Blattoberfläche zur Aufnahmekapazität der Wurzel, Oberflächen-Volumen-Verhältnis u. v. a.) und nicht zuletzt vom Genotyp abhängig. So unterscheiden sich Individuen, Populationen und Ökotypen unterhalb der Artebene teilweise erheblich. Trockenstressexperimente zeigen, dass die Resilienz von Buche und Eiche gegenüber Wassermangel in der Vegetationsperiode weitaus geringer ist als die der untersuchten Nadelbaumarten (Kiefer, Douglasie) (CHOAT et al. 2012, KÄTZEL et al. 2015). Gleichzeitig werden die Laubbaumarten seit mehr als zwei Jahrzehnten durch die Waldumbauprogramme der Länder gefördert, so dass ihr Anteil weiter zunehmen wird. Es lohnt daher die Wirkung des Risikofaktors „Wassermangel“ auf die beiden Laubbaumarten näher zu betrachten.

Durch die große Variabilität zwischen den beiden Arten resp. Artengruppen Rot-Buche und Trauben-/bzw. Stiel-Eiche,

innerhalb der Arten und der durch sie besiedelten Lebensräume in den Modellregionen ist ein breites Spektrum der Reaktionsmöglichkeiten gegeben. Dies ist der Grund dafür, dass auch durch Stresstests keine genauen Grenzen der Anpassung auf Artebene bestimmt werden können, wie dies bei standardisierten technischen Geräten im Zuge von Qualitätskontrollen, Crashtests usw. üblich ist (KÄTZEL et al. 2015).

Die nachfolgenden Abschätzungen können daher nur generalisierte Aussagen mit Bezug auf die häufigsten Standorte und regionalen Gegebenheiten berücksichtigen. Grundlage für die Abschätzung der Risikowerte für die aktuelle Dekade waren neben den klimatischen Entwicklungen die Kronenzustände von fünf Untersuchungsjahren (2010-2014), die Kreisflächenzuwächse der Jahrringanalysen, insbesondere die Resistenz-, Resilienz- und Recoveryindices der genauer analysierten Trockenstressjahre 1947, 1976 und 2003, stressrelevante Biomarker der Blattanalysen der Untersuchungsjahre 2010-2014 sowie bekannte sekundäre Stressfaktoren (z. B. Stickstoffbelastung) (LLORET et al. 2011, KÄTZEL et al. 2016).

Das Schadensausmaß wurde nach dem prozentualen Anteil der von den Vitalitätsminderungen (Kronenverlichtung, Zuwachsverluste, erhöhte Prädisposition) betroffenen Bestandteile abgeschätzt. Trockenstressexperimente zeigen, dass 10-20 % der Bäume einer Population eine (ggf. genetisch determinierte) überdurchschnittlich hohe Anpassungsfähigkeit besitzen. Das maximale Schadensausmaß wurde daher auf 0,8 begrenzt. (Annahme: Schadensausmaß 1,0 würde allen Individuen eines Bestandes nach einem Trockenstressereignis innerhalb von einen Zeitraum von 10 Jahren entsprechen.) Da die Trockenstresstoleranz von Nadelbäumen deutlich höher ist, und das aktuelle Schadensausmaß auf eine Untergrenze des Schadensausmaßes von 0,2 geschätzt wurde, ordnen sich die räumlichen und zeitlichen Varianten in diesen Grenzen ein.

Die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde ebenfalls jeweils auf einen Zeitraum von zehn Jahren auf der Grundlage der Klimaszenarien und der Sensitivität resp. Anpassungskapazität der Baumarten geschätzt. Sekundäre Einflussfaktoren, z. B. Bestandesalter, Stickstoffbelastungen, können sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit als auch das Schadensausmaß erhöhen.

Für die walddreiche Region Fläming besteht ein deutlich erhöhtes Trockenstressrisiko. Daher wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit für Trockenstressereignisse höher eingeschätzt, als in den beiden westlichen Modellregionen, mit stetig steigender Tendenz für die nächsten Jahrzehnte. Im Fläming erreichen die beiden Laubbaumarten einen Anteil von nahezu 19 %.

Der mittlere Kronenverlichtungsgrad der Rot-Buche (14 %) und der Trauben-Eiche (30 %) war hier am geringsten von allen Modellregionen. Der radiale Kreisflächenzuwachs der Rot-Buche unterliegt seit dem Trockenstressweiserjahr 1974 erheblichen Schwankungen (hohe Sensitivität, ggf. in Kombination mit Durchforstungsmaßnahmen). Allerdings waren gleichfalls die Resilienz- und Recovery-Indices nach den Trockenstressereignissen der Jahre 1974 und 2003 von allen Regionen am höchsten. D. h. die Rot-Buche zeigte hier eine hohe Anpassungsfähigkeit.

Dagegen sind die Resilienz- und Resistenz-Indices der Trauben-Eiche für beide Weiserjahre am geringsten, verglichen mit den Eichenbeständen der anderen Regionen. Dennoch wächst die Eiche hier stetig auf niedrigem Niveau zu und hat in den letzten Jahren höhere Zuwachsraten als in anderen Regionen erreicht. Eine Ursache hierfür könnte in der Zunahme der Stickstoffeinträge liegen. Die Arginin- und Stickstoffgehalte der Blätter sind deutlich erhöht. Stressindikatoren wie die Ascorbatgehalte der Blätter waren in den Untersuchungsjahren nur leicht erhöht und lagen unterhalb der beiden westlichen Modellregionen.

Die unterschiedlichen Anpassungsmuster beider Baumarten führen zu einer größeren Prognoseunsicherheit, was sich in einer größeren Spreitung der Risikowerte widerspiegelt.

Für die östlichste und waldreichste Modellregion LOS ist die Eintrittswahrscheinlichkeit von Trockenstressereignissen am größten. Die Region wird durch die Kiefer dominiert. Die Laubwaldanteile sind hier am geringsten und konzentrieren sich auf besser wasser- und nährstoffversorgte Standorte, wie z. B. im Schlaubetal. Selbst in witterungsbedingt günstigen Jahren, zeigen beide Laubbaumarten auf physiologischer Ebene bereits Anpassungsreaktionen an Wassermangelbedingungen. Trotz der hohen Anpassungsfähigkeit werden beide Gehölzarten langfristig nur auf wasserbegünstigten Standorten mit hoher Vitalität und Wuchsleistung überleben können.

Dies bestätigen auch Szenariorechnungen und multivariat-statistische Regionalisierungsmodelle von RIEK UND RUSS (2014) am Beispiel der Buche für drei Dekaden (2005, 2055, 2095). Während die Buchenareale zwischen den Dekaden 2005 und 2055 regional noch ansteigen könnten, würden sie dann aber bis zur Dekade 2095 insgesamt sehr deutlich abnehmen. Trockenheitsbedingt ist von der Abnahme insbesondere der Südosten Brandenburgs betroffen.

Bereits jetzt waren die durchschnittlichen Kronenverlichtungsgrade der Untersuchungsbestände mit 35 % (Trauben-Eiche) und 26 % (Rot-Buche) überdurchschnittlich hoch. Die Buchenbestände erreichen auf den besseren Standorten und in niederschlagsreichen Jahren erhebliche Zuwächse mit ebenso großen Schwankungen. Die Trauben-Eiche wächst auch hier stetig auf niedrigem Niveau zu. Dies spiegelt sich auch in mittleren Werten für die Resilienz- und Resistenz-Indizes wider. Eine Stickstoffbelastung besteht für beide Baumarten nicht. Stressindikatoren wie die Ascorbatgehalte der Blätter waren in den Untersuchungsjahren nur leicht erhöht und lagen auf ähnlichem Niveau wie im Fläming. Beide Baumarten hatten in allen Untersuchungsjahren die höchsten Osmolalitätswerte, was sowohl den angespannten Wasserhaushalt selbst in Jahren mit überdurchschnittlichen Sommerniederschlägen als auch die hohe Anpassungsfähigkeit belegt. Die Unsicherheit der Risikoprognose wird noch verstärkt, da es sich hier eher um trockenheitstolerante Populationen handelt, die unter Wassermangelbedingungen weniger sensitiv reagieren als bisher gut wasserversorgte Bestände. Die Amplitude der Faktoränderung könnte sich hier stärker auswirken als das tatsächliche Wasserangebot.

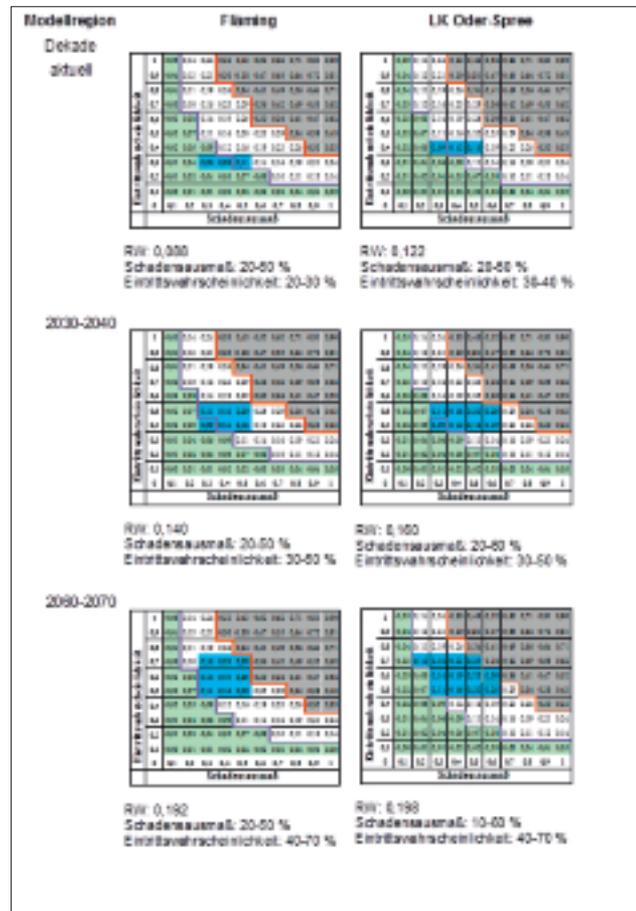


Abb. 5 (a-f): Risikodiagramme für Trockenstress von mittelalten Laubholzreinbeständen in den Regionen Fläming und Landkreis Oder-Spree für die drei Dekaden 2005, 2040 und 2076 (RW=Risikowert, Bezugsebene Bestand, Schutzgut: Vitalität, Zuwachs)

Kalamitäten durch den Fraß der Nonne

Kiefernwälder des Norddeutschen Tieflandes, häufig in strukturarmen Reinbeständen bewirtschaftet, gelten regionalspezifisch als anfällig für phyllophage Insekten mit wiederkehrenden Massengradationen. Diese Gradationen können über den Nadelverlust zu Zuwachsverlusten mit ökonomischen Folgewirkungen und bei ungünstigen klimatischen Bedingungen nach starkem oder wiederholtem Fraß zu erhöhter Mortalität und Bestandesverlust führen. Das Risiko für die Entstehung einer Massenvermehrung, sowie die Einordnung der Einflussstärke – über den Faktor „Populationsdichte“ – wurden aus den Ergebnissen der retrospektiven Analyse und der aktuell zu beobachtenden Entwicklungen und Erfahrungen für die Kiefern großschädlinge berechnet (GRÄBER et al. 2012, RAY et al. 2016).

gegenüber dem Norden verzeichnet. Dieser Trend könnte mit zunehmenden Temperaturen anhalten. Die modellierte Eintrittswahrscheinlichkeit für eine Massengradation steigt in der Dekade bis 2040 im Fläming an. Eine Abnahme der Populationen bei heiß-trockenen Bedingungen, wie es für die dritte Zeitscheibe bis 2060 prognostiziert wird, kann aufgrund der artspezifischen Ansprüche regional erwartet werden. Der unter dem Referenzszenario angestrebte Waldumbau mit zunehmend gemischten Beständen und einem ansteigendem Laubholzanteil (vgl. ALBERT et al. 2016) könnte langfristig ebenfalls zu einer Abschwächung des Kamalitätsrisikos führen.

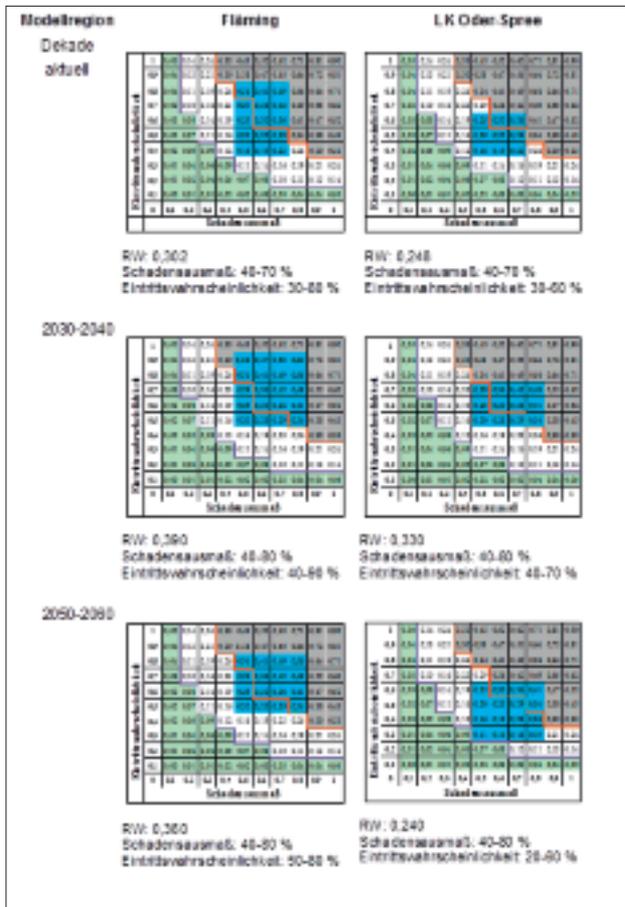


Abb. 6 (a-f): Risikodiagramme für fraßbedingte Schäden ausgelöst durch die Nonne (*Lymantria monacha*) in den Regionen Fläming und Landkreis Oder-Spree für die drei Dekaden bis 2010, 2040 und 2070 (RW=Risikowert, Bezugsebene Bestand)

Zusammenfassung

Im Rahmen des BMBF-Forschungsverbundes "Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland" (NaLaMa-nT) wurden in den Jahren 2010 bis 2015 u. a. die Grundlagen für eine Risikoabschätzung von norddeutschen Wäldern erarbeitet. Das Projekt befasste sich zunächst mit den theoretischen Verfahren der Risikoanalyse als Voraussetzung für konkrete Anwendungen z. B. in Modellen über Zukunftsszenarien für ein hiervon abgeleitetes Risikomanagement. Ein vom Wissenschaftlichen Beirat für Globale Umweltveränderungen (WBGU 1999) vorgeschlagener Ansatz zur Ermittlung von Risikowerten auf der Grundlage zuvor abgeschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten

und Schadenswirkungen für konkrete monokausale Risikofaktor-Schutzgut-Beziehungen wurde beispielhaft für ausgewählte abiotische und biotische Risikofaktoren in vier Modellregionen (LK Diepholz, Uelzen, Oder-Spree und Fläming) erprobt. Dabei werden Risikowerte (RW) durch die Multiplikation von abgeschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten von Risikofaktoren und deren Schadensausmaß in einer Dekade für einen definierten Modellbestand in einem Variablenbereich zwischen 0 und 1 errechnet. Risikowerte >0,3 lassen ein hohes Risiko erwarten.

Die in einem ca. 500 km langen West-Ost-Gradienten angeordneten Modellregionen unterscheiden sich sowohl in ihrer Exposition bzgl. möglicher Witterungsextreme als auch in ihrer Verwundbarkeit durch unterschiedliche Wald- und Baumartenanteile sowie Waldstrukturen. So sinkt z. B. das Sturmrisiko von West nach Ost, während das Trockenstress- und Waldbrandrisiko in gleicher Richtung ansteigt. Die dynamische Veränderung von Risiken wurde dekadeweise bis zum Jahr 2070 vor dem Hintergrund dreier waldbaulicher Entwicklungsszenarien (Referenz-, Biodiversitäts- und Klimaschutzszenario) unter Annahme des Emissionsszenarios RCP 8.5 geschätzt. Die vorliegenden Ausführungen beschränken sich auf die Risikoentwicklung in den beiden östlichen Modellregionen Fläming und den Landkreis Oder-Spree (LOS) für das Referenzszenario. Hierbei wird unterstellt, dass die naturnahe Waldbewirtschaftung in ihren aktuellen Schwerpunktsetzungen beibehalten wird. Vorge stellt wird die Entwicklung der Risikowerte für die Gefährdung der Wälder durch Sturm, Waldbrand, Wassermangel und Massengradationen der Nonne (*Lymantria monacha*).

Mit Risikowerten zwischen 0,012 (LOS in der Dekade 2060-2070) und 0,02 (Fläming in der Dekade 2000-2010) ist die Sturmgefährdung der Bestände generell sehr gering. Dagegen bewirkt u. a. der hohe Kiefernanteil in Verbindung mit Hitzeextremen und Trockenheit eine zunehmend hohe Waldbrandgefährdung im Sommer. Die Modellregion mit der größten Waldbrandgefährdung ist der Fläming und zwar insbesondere die östliche Hälfte der Region, die nach Berechnungen mit dem *Forest Fire Weather Index* (FWI) zu den am stärksten gefährdeten Gebieten im Norddeutschen Tiefland zählt (45-50 Risikotage pro Jahr).

Der hohe Kiefernanteil bewirkt andererseits eine hohe Trockenstresstoleranz, die mit zunehmendem Laubholzanteil sinken wird. Für die betrachteten Laubholzbestände (Trauben-Stiel-Eiche, Rot-Buche) steigt das Trockenstressrisiko in LOS von aktuell RW=0,12 auf 0,198 am Ende des Betrachtungszeitraumes bis 2070. Deutlich höher sind jedoch die Risiken für die Nonnengradationen, die im Fläming am höchsten sind (RW aktuell =0,30) und in der Mitte des 21. Jahrhunderts auf 0,39 ansteigen werden.

Die auf Bestandesebene ermittelten Risikowerte entsprechen für die nächsten fünf Jahrzehnte überwiegend den Norm- und Grenzbereichen (RW<0,3). Die meisten monokausal betrachteten Schadenswirkungen erwiesen sich für die betrachtete Zeitspanne als langfristig reversibel im Sinne des Schutzgutes (Einzelbestand).

So erscheinen die für den Forstbereich anstehenden und von globalem Wandel ausgelösten Probleme in dem betrachteten Zeithorizont bis 2070 grundsätzlich lösbar. Al-

lerdings darf nicht übersehen werden, dass es sich in der Realität um komplexe Ursache-Wirkungs-Beziehungen mit vielen Unbekannten handelt. Die gleichzeitige oder eng aufeinanderfolgende Wirkung multipler Risikofaktoren ist noch weitgehend unverstanden. Ebenso sind die modellierten Zeiträume für ein strategisches, forstliches Handeln im Rahmen eines nachhaltigen Risikomanagements noch zu kurz. Die Weiterentwicklung von Risikomodelle auf der Grundlage eines soliden Waldmonitorings und repräsentativer Forschungsergebnisse bleibt eine Herausforderung.

Literatur

ALBERT, M., LEEFKEN, G., NUSKE, R., AHRENDTS, B., SUTMÖLLER, J., SPELLMANN, H., 2016: Auswirkungen von klimatischer Unsicherheit auf die Forstplanung am Beispiel von vier Regionen im norddeutschen Tiefland. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 12/2016; 187(9/10).

CHOAT, B.; JANSEN, S.; BRODRIBB, T.J.; COCHARD, H.; DELZON, S.; BHASKAR, R.; BUCCI, S.J.; FEILD, T.S.; GLEASON, S.M.; HACKE, U.G.; JACOBSEN, A.L.; LENS, F.; MAHERALI, H.; MARTÍNEZ-VILALTA, J.; MAYR, S.; MENCUCCINI, M.; MITCHELL, P.J.; NARDINI, A.; PITTERMANN, J.; PRATT, R.B.; SPERRY, J.S.; WESTOBY, M.; WRIGHT, I.J.; ZANNE, A.E. (2012): Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature* 491 (7426): 752–755.

GRÄBER, J.; ZIESCHE, T.; MÖLLER, K.; KÄTZEL, R. (2012): Gradationsverlauf der Kiefern-schadinsekten im Norddeutschen Tiefland. *AFZ-Der Wald* 9: 35-38.

IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 1535 S.

KALLWEIT, R. (2016): Klimaänderung und Witterungsdynamik in Brandenburg. *AFZ-Der Wald* 3: 15-18.

KÄSE, H. (1969): Ein Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern. *Abhandlungen des meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik* 94 (13).

KÄTZEL, R.; KALLWEIT, R.; LÖFFLER, S.; MÖLLER, K.; BECK, W.; SCHRÖDER, J. (2016): Zur Klimaplastizität der Wälder in Brandenburg – Eine retrospektive Betrachtung aus Sicht des Waldmonitorings. *AFZ-Der Wald* 3/2016: 19-24.

KÄTZEL, R.; ZANDER, M.; LÖFFLER, S. (2015): Wenn der Durst kommt – Eiche, Buche, Kiefer, Douglasie im Trockenstresstest. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, Band 55: 40-54.

LLORET, F.; KEELING E. G.; SALA A. (2011): Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. *Oikos* 120 (12): 1909–1920.

LUHMANN, N. (1993): Risiko und Gefahr. In: KROHN, W. und KRÜCKEN, G. (Hrsg.): *Risikante Technologien: Reflexion und Regulation*. Frankfurt/M., Suhrkamp: 138-185.

MLUR (Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung, Hrsg.) (2004): *Brandenburger Waldprogramm*, 20 S.

NW-FVA (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hrsg.) (2016a): *Nachhaltiges Landmanagement Modellregion Oder-Spree - Entwicklung der Landnutzung, Schlussfolgerungen*. 39 S.

NW-FVA (Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hrsg.) (2016b): *Nachhaltiges Landmanagement Modellregion Fläming - Entwicklung der Landnutzung, Schlussfolgerungen*. 39 S.

ORLOWSKY, B., GERSTENGARBE, F-W UND WERNER, PC (2008): A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theor. Appl. Climatol.* 92(3-4): 209-223.

RAY, D.; PEACE, A.; MOORE, R.; PETR, M.; GRIEVE, Y.; CONVERY, C.; ZIESCHE, T. (2016) Improved prediction of the climate-driven outbreaks of *Dendrolimus pini* in *Pinus sylvestris* forests. *Forestry* 1-15 (doi:10.1093/forestry/cpw007)

RIEK, W., RUSS, A. (2014): Regionalisierung des Bodenwasserhaushalts für Klimaszenarien als Grundlage für die forstliche Planung. In: *Wissenstransfer in die Praxis - Beiträge zum 9. Winterkolloquium am 27. Februar 2014 in Eberswalde*, Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 55. Landesbetrieb Forst Brandenburg - Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), S. 20–30. URL <http://www.mil.brandenburg.de/sixcms/detail.php/bb1.c.231253.de>.

SCHERZBERG, A. (1993): Risiko als Rechtsproblem. *Verwaltungs-Archiv* Bd. 84: 484-513.

SCHMIDT, M. ; HANEWINKEL, M.; KÄNDLER, G.; KUBLIN, E.; KOHNLE, U. (2010): An inventory-based approach for modeling single-tree storm damage – experiences with the winter storm of 1999 in southwestern Germany. *Can J For Res* 40: 1636-1652. doi: 10.1139/X10-099.

SCOTT, R.E., MITCHELL, S. J. (2005): Empirical modelling of windthrow risk in partially harvested stands using tree neighbourhood and stand attributes. *For Ecol Manage* 218: 193-209. Doi: 10.1016/j.foreco.2005.07.012.

STEVENS, B. M. GIORGETTA, M. ESCH, T. MAURITSEN, T. CRUEGER, S. RAST, M. SALZMANN, H. SCHMIDT, J. BADER, K. BLOCK, R. BROKOPF, I. FAST, S. KINNE, L. KORNBLUEH, U. LOHMANN, R. PINCUS, T. REICHLER UND E. ROECKNER (2013): Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6, *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 5: 146–172, doi:10.1002/jame.20015.

Wald(um)bau versus Kieferngefährdung – Ein Ausblick in die „nahe“ Zukunft der Waldschutzsituation in Brandenburg

RAINER HENTSCHEL, ALINE WENNING, JENS SCHRÖDER, KATRIN MÖLLER UND ANNETT DEGENHARDT

1 Einleitung

Anhand der derzeit verfügbaren Klimaprojektionen (IPCC 2014) lassen sich bedeutende Veränderungen von Wuchsbedingungen ablesen. Weltweit ist mit einem Anstieg klimawandelbedingter Risiken für Wälder zu rechnen, wobei die Wechselwirkungen zwischen zunehmender Trockenheit, physiologischer Grenzen der Bäume, Mortalitätsmechanismen und biotischer Folgeschäden vielen Unsicherheiten unterliegen (ALLEN ET AL. 2010). Unsere Reaktionen hierauf sind von sehr langfristiger Wirkung und daher besonders zu bedenken. Managementpläne, insbesondere die Entscheidungen über Zielbestockung, Durchforstungsintensität und Nutzungsstrategien, entscheiden über die zukünftige Produktivität der verschiedenen Waldtypen im Sinne ihrer Multifunktionalität (LINDNER ET AL. 2010, 2014).

Am Beispiel des biotischen Risikos einer Massenvermehrung der Nonne (*Lymantria monacha* L.) stellt dieser Beitrag einen methodischen Ansatz vor, um das Gefährdungspotential eines Forstschädlings auf Landschaftsebene darzustellen. Des Weiteren wird beispielhaft aufgezeigt, wie waldbaulichen Maßnahmen das zu erwartende Risiko beeinflussen. Abbildung 1 zeigt die drei Einflussgrößen bzw. –komplexe, die auf Waldökosystemfunktionen wirken können und in dieser Arbeit berücksichtigt wurden.

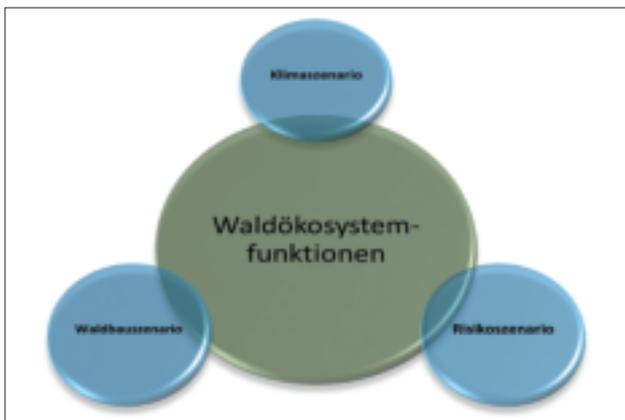


Abbildung 1: Schematische Darstellung der auf unterschiedlichste Waldökosystemfunktionen (grün) wirkenden in Komplexe zusammengefassten Einflussgrößen (blau).

Als Klimaszenario wurden die klimatischen Bedingungen des Trockenjahres 2003 angenommen. Der teilweise flächendeckende Kahlfraß von Kiefernbeständen bestätigte die wärmeliebende Natur der Nonne und das mit den projizierten Klimatrends zunehmende Risiko bestandensbedrohender Fraßereignisse (VANHANEN ET AL. 2007). Als Waldbauszenario wurden drei unterschiedliche Behandlungspfade parametrisiert und mit Hilfe des *WaldPlaners* (HANSEN UND NAGEL 2014) simuliert. Das Risikoszenario wird schließlich durch ein regressionsbasiertes Risikomodell (s. FAHRMEIR ET AL. 2009) der Eintrittswahrscheinlichkeit

von Nonnen-Fraßschäden auf Abteilungsebene abgebildet. Hierbei fließen sowohl Kenngrößen des Klimaszenarios als auch der jeweiligen Waldbauszenarien als Kovariablen ein.

Zum Abschluss der Untersuchungen wird eine stark vereinfachte Szenarienanalyse durchgeführt, die den Einfluss waldbaulichen Handelns auf das Risikopotential der Nonne darstellt. Bezugsgröße ist die Modellregion im Südosten Brandenburgs mit insgesamt ca. 41.000 ha Waldboden.

2 Datengrundlage

Als Grundlage für die Risikomodellierung dient eine umfangreiche Datenbanksammlung bestehend aus Forsteinrichtungsdaten des DSW 1+2 (LFB UND LFMV 2015), aus Erhebungen der BZE-Punkte regionalisierten Bodenkennwerten (RIEK UND RUSS 2014; RUSS 2015) und aus Messungen des DWD regionalisierten Klimaparametern (KÖHLER ET AL. 2015).

Die Zielgröße (y) der Untersuchung ist der Nadelfraß der Nonne. Zur Verfügung standen die auf Abteilungsebene erhobenen Daten terrestrischer Fraßkartierungen der Landesforstverwaltung Brandenburg aus den Jahren 2002 bis 2015. Entsprechend der stattgefundenen Intensität wurde der Fraß als *merklich* (Nadelverlust von 30–50 %), *stark* (Nadelverlust von 51–90 %), oder *kahl* (Nadelverlust von über 90 %) klassifiziert.

In dieser Untersuchung und dem folgenden Modellierungsansatz wird lediglich zwischen „Kein Fraß“ und „Fraß“ unterschieden und die Zielvariable entsprechend binär codiert ($y \in \{0,1\}$). Eine Besonderheit stellen die mit Pflanzenschutzmitteln (PSM) behandelten Flächen dar, die aufgrund der Prognose Kahlfraß ebenfalls als Fraß deklariert und in der Zielvariablen berücksichtigt wurden.

In Abbildung 2 ist die räumliche Verteilung der „Fraßabteilungen“ in Brandenburg auf Grundlage der Forstübersichtskarte von 2014 abgebildet. Abbildung 3 zeigt die Anzahl der „Fraßabteilungen“ für den Zeitraum 2002 bis 2015. Deutlich sichtbar sind der generelle Gradationsverlauf der Nonne, die etwa alle zehn Jahre zu einer Massenvermehrung neigt, und das extrem hohe Schadausmaß der Jahre 2003 und 2004.

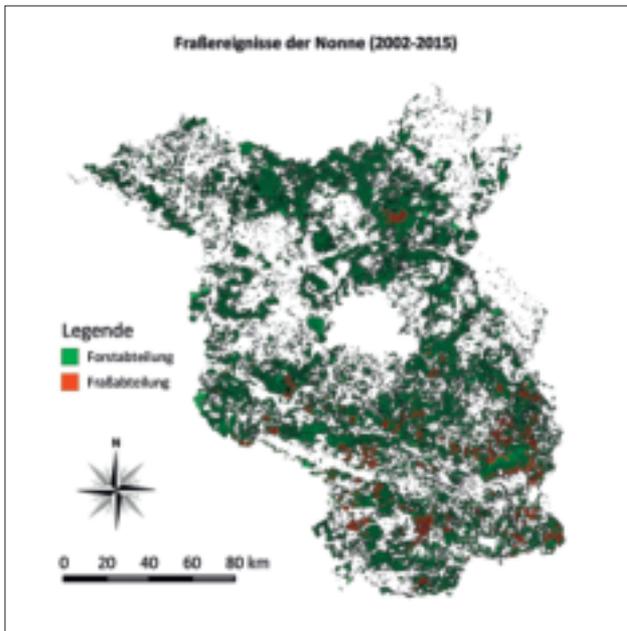


Abbildung 2: Forstabteilungen in Brandenburg (grün) und die im Zeitrahmen von 2002 bis 2015 von der Nonne befallenen Abteilungen (rot).

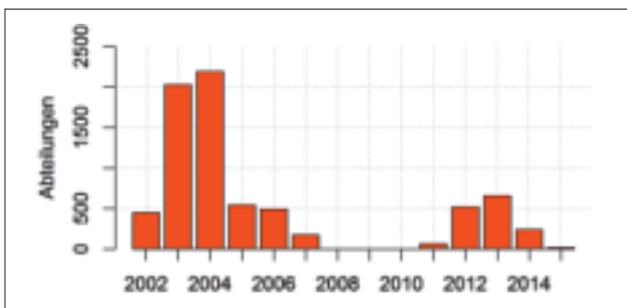


Abbildung 3: Anzahl der Forstabteilungen, in denen Fraß durch die Nonne registriert wurde (2002-2015).

Für die Erstellung der drei unterschiedlichen Waldbauszenarien wurde sich auf eine Region im Südosten Brandenburgs konzentriert, welche im Norden an Müllrose und im Süden an Peitz grenzt. In dieser Modellregion befinden sich 15.723 forstwirtschaftliche Behandlungseinheiten von denen etwa 80 % mit der Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.) als führende Hauptbaumart bestockt sind. In Vergangeneit kam es hier zu wiederholten Fraßereignissen der Nonne, weshalb diese Region für den Waldschutz und ein entsprechendes Risikomanagement von Bedeutung ist.

Neben den (durch die Nonne) potentiell gefährdeten Kiefernbeständen, befinden sich in der Modellregion zudem Gebiete anderer Waldgesellschaften. Anhand der in Abbildung 4 abgebildeten Bestandestypen zeigt sich im Südosten der Naturraum „Tauersche Eichen“ mit seinen namengebenden Hauptbaumart (*Quercus* spp.), sowie das im Nordwesten befindliche „Schlaubetal“ welches sich unter anderen durch ein vermehrtes Auftreten der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) charakterisiert ist. Die für die Waldwachstumsmodellierung benötigten Bestandescharakterisierung erfolgte über die Datenabfrage des DSW2 (LFB und LFMV 2015).

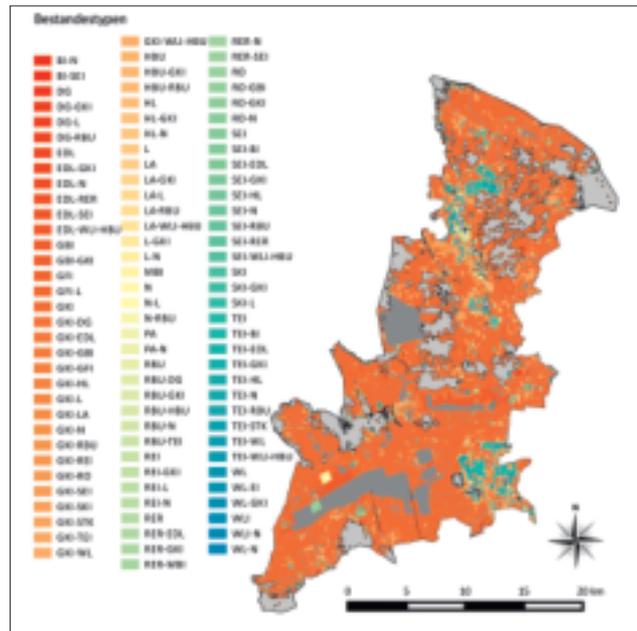


Abbildung 4: Modellregion der Waldwachstumssimulation. Als Grundlage dient die Forstgrundkarte des Jahres 2014. Für jede Behandlungseinheiten wurde der im DSW2 hinterlegte Bestandestyp entsprechend der dargestellten Farbskala abgebildet. Dunkelgraue Flächen repräsentieren Flächen fehlender oder unvollständiger Forsteinrichtungsdaten. Hellgraue Flächen sind in der Forstgrundkarte nicht hinterlegte bzw. Nicht-Wald Flächen.

3 Risikomodell

Die Zielsetzung der Modellentwicklung hatte zwei Schwerpunkte. Zum einen sollte der kausale Zusammenhang der Einflussfaktoren (Kovariablen) gegenüber der Gefährdung eines Nonnen-Fraßes auf Abteilungsebene herausgestellt werden, zum anderen sollten nur Kovariablen genutzt werden, die sich mittels einer Waldwachstumsmodellierung der Bestandesentwicklung der nächsten 20 Jahre abbilden lassen.

In einem ersten Schritt wurden aus der Fülle potentieller Einflussfaktoren die für Zielgröße bedeutsamsten Kovariablen vorselektiert. Hierzu wurde das Klassifizierungsverfahren „Random Forest“ genutzt (HENTSCHEL ET AL. 2016). Im Zuge der Modellentwicklung und einer explorativen Analyse der einzelnen Einflussfaktoren, konnten fünf bedeutsame Kovariablen herausgestellt werden (Tabelle 1). Die ausgewählten Kovariablen charakterisieren hierbei die Bestandesstruktur der in der Abteilung vorkommenden Kiefernbestände (*Durchmesser*), die Diversität der Waldbestände innerhalb eines 1.000 ha großen Suchraumes eines konzentrischen Kreises ausgehend vom Abteilungsmittelpunkt (*Shannon*), die mittlere Bestandeshöhe des 1.000 ha großen Suchraumes (*Bestandeshöhe*), die Witterung des Vorjahres (*Temperatur*) und die Wasserversorgung des Standorts (*Bodenwasser*).

Tabelle 1: Spezifikation und Quelle der Kovariablen des Risikomodells.

Kovariablen	Herleitung	Quelle
Durchmesser	Grundflächengewichteter Mitteldurchmesser aller in einer Forstabteilung vorkommenden Kiefernbestände	DSW
Shannon	Diversitätsindex (SHANNON AND WEAVER 1949) über die Grundflächenanteile aller Baumarten eines 1.000 ha großen Suchraumes	DSW
Bestandeshöhe	Median aller grundflächengewichteten Höhen der Oberschichten aller Behandlungseinheiten eines 1.000 ha großen Suchraumes	DSW
Temperatur	Temperatursumme der Vegetationsperiode (04.-09.) des Vorjahres basierend auf regionalisierten Tageswerten	DWD
Bodenwasser	Regionalisierter Bodenkennwert des pflanzenverfügbaren Bodenwassers im effektiven Wurzelraum	BZE

Die Häufigkeitsverteilungen der Kovariablen, entsprechend ihres Auftretens in ganz Brandenburg und in den von der Nonne befallenen Forstabteilungen, verdeutlicht die Güte der Kovariablen für die Risikomodellierung (Abbildung 5). Hierbei zeigte sich, dass sich die von der Nonne befallenen Forstabteilungen in einem bestimmten Merkmalspektrum der Kovariablen liegen, welcher im Vergleich zu ganz Brandenburg eine überproportionale Häufigkeitsdichte aufweist. Diese Wertebereiche können als favorisierte Bedingungen der Nonne aufgefasst werden.

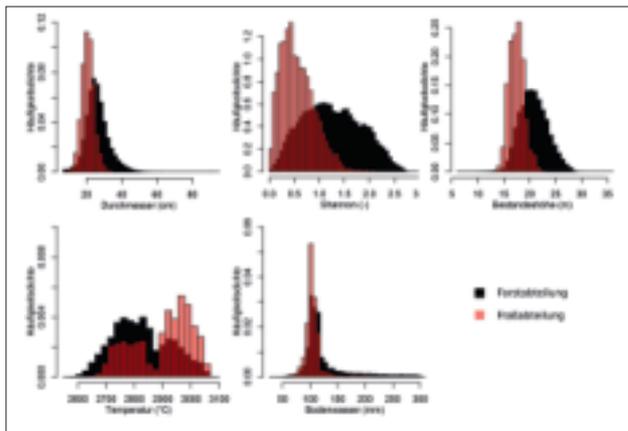


Abbildung 5: Häufigkeitsdichten der Ausprägung der Kovariablen in ganz Brandenburg (Forstabteilung; schwarz) und für die von der Nonne befallenen Forstabteilungen (Fraßabteilung; rot) aus den Jahren 2002 bis 2015.

In einem zweiten Schritt wurden die genannten Kovariablen für die Modellbildung herangezogen. Als Modellierungsansatz wurde hierbei ein generalisiertes additives Modell (GAM) verwendet (WOOD 2006). Der hierbei gewählte Ansatz einer logistischen Regression („Logit-Modell“ aus der Familie der binominal Verteilung) wurde mit Hilfe der Statistik Software R (R CORE TEAM 2014) und dem hierin implementierte *mgcv*-Paketes (WOOD 2006) durchgeführt.

Die Zusammenfassung des so entwickelten Risikomodells bestätigte eine hohe Signifikanz aller Kovariablen (p -Wert

$< 0,001$). Die additiven Effekte der fünf Kovariablen sind in Abbildung 6 dargestellt, wobei einem positiven Wert auf der y -Achse eine Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Nonnenfraßes entspricht und ein negativer Wert entsprechend umgekehrt wirkt.

Bei den nicht-linearen Effekten im additiven Regressionsmodell (Abbildung 6), zeigte sich, dass die Kovariable *Durchmesser* einen positiven Effekt für den Wertebereich 10 bis 22 cm hat. Bei höheren Werten des Bestandesmitteldurchmessers stellte sich ein Plateau von leichter negativer Wirkung ein, bevor der Effekt bei Werten größer als 35 cm stetig abfiel bzw. negativer wurde. Der *Shannon* zeigte mit zunehmender Diversität einen annähernd linearen Abfall. Die *Bestandeshöhe* zeigte eine positive Wirkung bis zu einer Höhe von knapp 20 m. Anschließend fällt der Effekt ins Negative, wobei der Effekt ab einer Höhe von 22 m im negativen Bereich kumuliert. Die annähernd linear modellierten Effekte der Temperatur und des Bodenwassers zeigten einen stetig positiven bzw. negativen Zusammenhang zwischen Merkmalsausprägung und Modelleffekt.

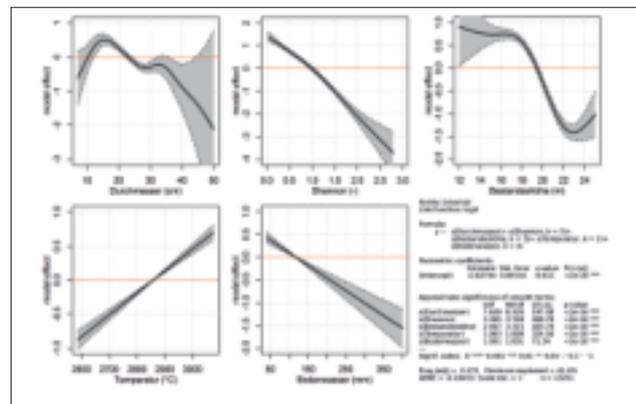


Abbildung 6: Modelleffekte (y -Achse) der einzelnen Kovariablen und entsprechende Wertebereiche (x -Achse) im additiven Modell. Gestrichelte Linien geben die 95 %-Konfidenzbänder der Effekte an. Rechts unten in der Grafik ist die standardmäßige Ausgabe des *mgcv*-Paketes illustriert.

An dieser Stelle sei auf ein besonderes Merkmal von GAMs hingewiesen. Die sogenannten „Glätter“ bzw. „smoothing splines“ einzelner Kovariablen ermöglichen eine sehr flexible Anpassung an den Datensatz. Der Nachteil hierin besteht in einer übertriebenen Anpassung des funktionalen Zusammenhangs zwischen der Kovariablen und der Zielvariablen und damit in einer Verschleierung des kausalen Zusammenhangs. Die Stärke der Glättung lässt sich jedoch über die Anzahl von Knotenpunkten steuern. Für die Kovariablen *Temperatur* und *Bodenwasser* wurde die Anzahl der Knotenpunkte auf zwei bzw. drei gesetzt und damit ein annähernd linearer Effekt modelliert (Abbildung 6).

Eine weitere Besonderheit des hier vorgestellten Risikomodells ist, dass die Modellentwicklung auf Grundlage gleicher Klassenhäufigkeit durchgeführt worden ist. Hierbei berücksichtigte Nicht-Fraßflächen ($y = 0$) wurden entsprechend der Anzahl an Fraßflächen ($n = 7586$) zufällig ausgewählt. Des Weiteren wurde bei der Modellierung ein räumlicher Trend der Zielvariable nicht berücksichtigt. Dieses kann dazu führen, dass ein Auftreten räumlicher Autokorrelation als po-

tentielle Störquelle auf die Kovariablen-Effekte wirken kann. Da die Kovariablen-Effekte jedoch auch unter Berücksichtigung der xy-Koordinaten in etwa gleich blieben und das Modell möglichst einfach gehalten werden sollte, wurde in diesem Modellansatz auf räumliche Kovariablen verzichtet. Ebenso wurde der Gradationsverlauf bzw. die Jahreszahl nicht als Kovariable berücksichtigt. Somit ergibt sich ein Modell, das ein potentielles, von der Populationsdynamik der Nonne losgelöstes, Risiko schätzt und ausschließlich kausale Kovariable berücksichtigt.

Abbildung 7 zeigt das modellierte Risiko eines Nonnenfraßes auf Abteilungsebene für das Jahr 2015. Wie auch in der Darstellung der historischen Fraßereignisse ersichtlich (Abbildung 2), konzentrieren sich die Risikobereiche im Süden Brandenburgs. Auffällig ist hier die Verdichtung von einzelnen Abteilungen hohen Risikos zu regelrechten Risikozentren. Diese „Hotspots“ sind insbesondere in Fragen des Risikomanagements und der Entwicklung waldbaulicher Gegenmaßnahmen von großer Bedeutung bzw. Dringlichkeit.

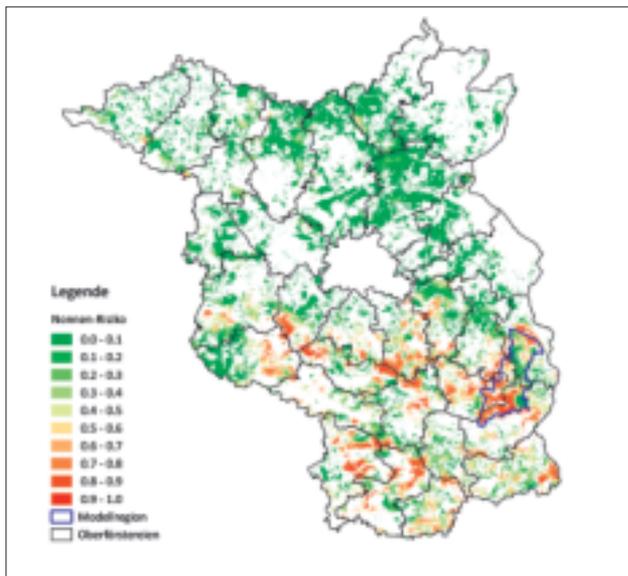


Abbildung 7: Risikokarte Brandenburg 2015 dargestellt als Eintrittswahrscheinlichkeit (Farbskala) eines Fraßereignisses der Nonne. Schwarz umrandet sind die Grenzen der Oberförstereien und blau umrandet die Grenze der Modellregion abgebildet.

Für die Evaluierung des Modells wurde eine 10-fache Kreuzvalidierung durchgeführt (RODRÍGUEZ ET AL. 2010). Hierbei wurden jeweils 90 % des Datensatzes für die Modellbildung genutzt, um die verbleibenden 10 % zu schätzen. Als Gütekriterium für das Modell wurde anschließend die Fläche unter der Grenzwertoptimierungskurve (AUC) mit Hilfe des pROC-Paketes (XAVIER ET AL. 2011) berechnet. Insgesamt zeigte das Modell eine hohe Modellgüte mit einer AUC von 0,89 (FAWCETT 2006).

Um die Risikovorhersage einzelner Jahre zu quantifizieren, wurde eine Klassifizierung in Abhängigkeit der vorhergesagten Eintrittswahrscheinlichkeit durchgeführt. Hierfür wurde mit Hilfe des OptimalCutpoints-Paketes (Lopez-Raton et al. 2014) und der hier implementierten MinValueSe-Methode ein Schwellenwert optimiert. Hiernach wurde ab einem

Schwellenwert von 0,52 eine Abteilung als Fraßfläche klassifiziert. Im Vergleich zu den beobachteten Fraßereignissen der Vergangenheit lassen sich so entsprechende Fehlerraten der einzelnen Jahre berechnen (Tabelle 3). Hierbei sind die Fehlerraten als prozentualer Anteil der falsch klassifizierten Nicht-Fraßflächen (FPR) und der falsch klassifizierten Fraßflächen (FNR) angegeben.

Für den Untersuchungszeitraum schwankte der Anteil fälschlicherweise als Fraß klassifizierter Abteilung zwischen 13 % und 41 % und der Anteil fälschlicherweise als Nicht-Fraß klassifizierter Abteilung zwischen 0 % und 100 % (Tabelle 3). Die extrem Werte der FNR sind hierbei auf das gänzliche Fehlen von Fraßflächen (FNR = 0 %) oder auf das Auftreten nur sehr weniger Fraßflächen die gänzlich „übersehen“ wurden zurückzuführen (FNR = 100 %). Letzteres zeigte sich etwa im Jahr 2015 in dem nur für 18 Abteilungen ein Fraßereignis gemeldet wurde. Vernachlässigt man die Extremwerte 0 % und 100 %, ergibt sich im Mittel eine FNR von 20 %.

Tabelle 3: Falsch-Positiv-Rate (FPR) und Falsch-Negativ-Rate (FNR) der retrospektiven Risikovorhersage basierend auf einer 10-fachen Kreuzvalidierung und hierfür optimierten Schwellenwert der Klassenzuordnung für ganz Brandenburg und die Jahre 2002 bis 2015.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
FPR	25	38	41	23	21	41	27	18	21	13	23	15	14	13
FNR	21	9	8	28	27	8	0	0	0	0	11	28	40	100

Ein wichtiges Ziel der Risikomodellierung ist die Erstellung von Risikokarten. In Abbildung 8 sind die Risikokarten für die Modellregion der letzten Massenvermehrung der Nonne abgebildet. Die in blau dargestellten beobachteten Fraßflächen lagen hier zumeist in Bereichen einer höheren Eintrittswahrscheinlichkeit. Im Vergleich zu den Bestandestypen in der Modellregion (Abbildung 4) zeichneten sich die Gebiete höheren Laubholzanteils „Tauersche Eichen“ und „Schlaubetal“ sehr deutlich ab. Die geringfügigen Änderungen in der Risikovorhersage innerhalb der letzten Massenvermehrung sind vorwiegend durch unterschiedliche Klimabedingungen der einzelnen Jahre zu erklären.

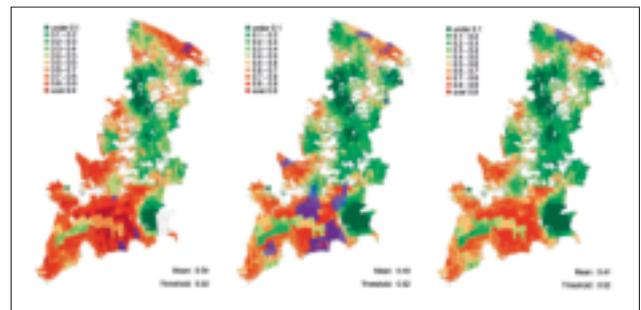


Abbildung 8: Risikovorhersage der Modellregion für die Jahre 2012 bis 2014 (v.l.n.r.). In transparentem Blau sind die beobachteten Fraßflächen des entsprechenden Jahres abgebildet.

4 Waldwachstum

Wie im vorherigen Kapitel gezeigt werden konnte, wird das „Nonnen-Risiko“ nicht unwesentlich durch die Bestandesstrukturen bestimmt (Abbildung 6). Abgesehen vom Alter bzw. der Dimensionen des Bestandes (*Durchmesser*) und entsprechenden Voranschreitens mit der Zeit, zeigte sich ein starker Einfluss der Biodiversität auf Landschaftsebene (*Shannon*).

Auf der einen Seite wird hierdurch deutlich, dass für eine adäquate Risikoeinschätzung die Fortschreibung der Bestände bzw. die Waldwachstumssimulation unerlässlich ist. Auf der anderen Seite zeigt es, dass durch eine Veränderung der Bestandesstrukturen auf Abteilungs- und Landschaftsebene, etwa durch die Erhöhung der Biodiversität, das zu erwartende Risiko beeinflusst werden kann.

Ziel dieser Untersuchung war es drei unterschiedliche Waldbauvarianten gegenüber zu stellen und den Einfluss auf das modellierte Risiko zu quantifizieren. Im Fokus hierbei stand insbesondere die Abschätzung einer risikomindernden Wirkung einer starken Förderung des Waldumbaus bzw. der Einbringung von Laubholzarten und des Aufbrechens großräumig einheitlicher Bestandesstrukturen.

Für die Simulation der drei unterschiedlicher Behandlungspfade der Waldbewirtschaftung wurde sich des „WaldPlanners“ (WP) bedient (HANSEN UND NAGEL 2014). Der in Anbetracht einer stetigen Bestandesentwicklung relativ kurz bemessene Simulationszeitraum von 20 Jahren soll die zunehmenden Unsicherheiten längerer Projektionszeiträume möglichst gering halten. Zudem soll dieser Beitrag nur exemplarisch die Quantifizierung zukünftiger Bestandesstrukturen veranschaulichen und Möglichkeiten für eine Szenarienanalyse aufzeigen.

Die Untersuchung schließt drei Waldbaustrategien ein. Die entsprechende Parametrisierung des Eingriffsmodells des WP (Tabelle 2) entspricht einem völligen Nutzungsverzicht (*Verzicht*), einer herkömmlichen Bewirtschaftungsform entsprechend der Waldbaurichtlinien des Landes Brandenburg - „Grüner Ordner“ - (*Nutzen*) und eines Waldumbaus (*Umbau*). Letztere steht hierbei für das Aufbrechen einheitlicher Bestandesstrukturen durch eine frühzeitige Nutzung und der künstlichen Verjüngung der Folgegeneration des Waldes. Aufgrund der standörtlichen Restriktionen bei der Baumartenauswahl, wurde sich in diesem Falle auf den Bestandeszieltyp entsprechend des DSW2 bezogen und die Pflanzung entsprechender Baumarten simuliert.

In allen drei Varianten ist der modellhafte Einwuchs einer Naturverjüngung in Abhängigkeit von den im Bestand vorkommenden Baumarten möglich. Für den *Umbau* wurde der Zieldurchmesser um 5 cm herabgesetzt und eine starke Aufflichtung bzw. Durchforstung zugelassen. Bei Unterschreitung eines Kronenschlusses von 0,4 wurde dann die künstliche Verjüngung eingeleitet.

Tabelle 2: Eingriffsparametrisierung der drei Waldbau-Varianten.

Variante	Eingriffe	Einwuchs	Pflanzung	Zieldurchmesser	Durchforstung
Verzicht	nein	ja	nein	-	-
Nutzen	ja	ja	nein	50	Standard
Umbau	ja	ja	ja	45	Stark

Weitere die Bestandesentwicklung beeinflussende WP Spezifikationen finden sich in der baumartenspezifischen Parametrisierung der Wuchs-, Konkurrenz- und Mortalitätsfunktionen, die hier nicht im Einzelnen erläutert werden können, weshalb auf das Handbuch des Modellsystems TreeGROSS verwiesen wird (HANSEN UND NAGEL 2014). Die regionale Anpassung des WP befindet sich in einem stetigen Prozess, wobei hier bereits die Wuchsfunktionen für Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Stieleiche (*Quercus robur* L.) an die Brandenburgischen Verhältnisse angepasst worden sind (ELMER ET AL. 2009;LFE 2014).

Abbildung 9 zeigt exemplarisch die 20 Jahre einschließende Simulation der drei Waldbauszenarien anhand eines 54 Jahre alten Kiefernreinbestandes mit einer Grundfläche von 33,2 m² ha⁻¹ und einem Bestockungsgrad von rund 1,0. Der Ausgangsbestand repräsentiert die häufigste Altersklasse in der Modellregion vorkommender Kiefernbestände im Jahre 2015.

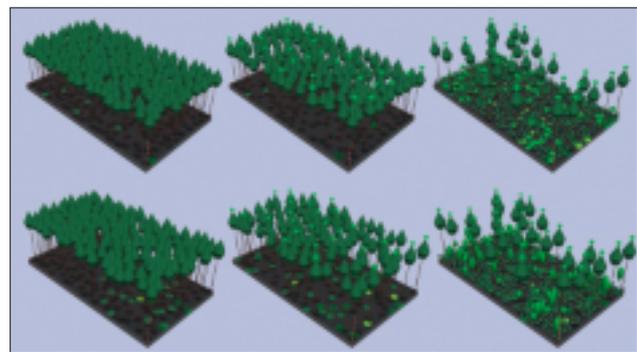


Abbildung 9: Ergebnisse der Waldwachstumssimulation eines Kiefernreinbestandes entsprechend der Waldbauszenarien **Verzicht** (Links), **Nutzen** (Mitte) und **Umbau** (Rechts) nach 10 (2025; Oben) und 20 Jahren (2035; Unten).

In Abbildung 10 wird die Waldentwicklung anhand der Veränderung des grundflächengewichteten Bestandesmitteldurchmessers der in der Abteilung vorkommenden Kiefernbestände exemplarisch dargestellt. Ausgehend von den Bestandesstrukturen 2015, nimmt der *Durchmesser* in allen drei Waldbauszenarien zu. Der mittlere *Durchmesser* der Modellregion betrug 23,1 cm und stieg nach zehn Jahren entsprechend der Entwicklungspfade *Verzicht*, *Nutzen* und *Umbau* um 2,4 cm, 2,9 cm bzw. 6,5 cm. Weitere zehn Jahre später erhöhte sich der *Durchmesser* erneut um 2,6 cm, 3,0 cm bzw. 2,8 cm.



Abbildung 10: Simulationen von **Durchmesser** entsprechend der drei Waldbauszenarien **Verzicht** (Links), **Nutzen** (Mitte) und **Umbau** (Rechts) für die Jahre 2025 (Oben) und 2035 (Unten).

In Abbildung 11 ist die Veränderung des Diversitätsmaßes *Shannon* abgebildet. Auch hier zeigte die Variante **Umbau** die größten Veränderungen. Besonders deutlich wurde dieses in den Gebieten bereits etablierter Laubholzbestände (Abbildung 4).

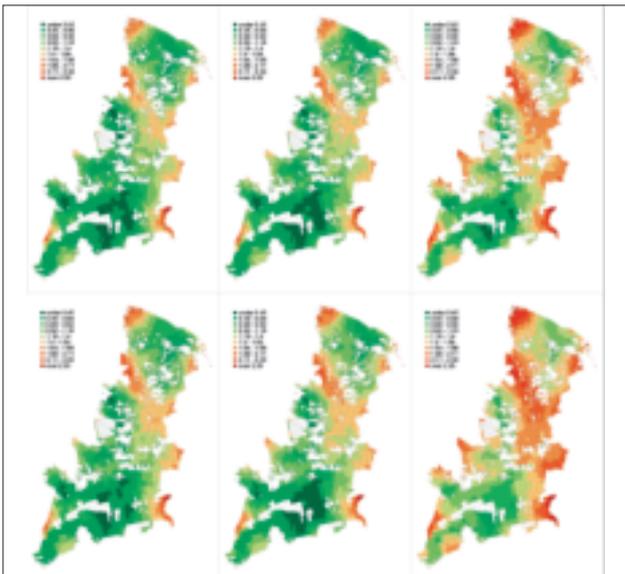


Abbildung 11: Simulationen von **Shannon** entsprechend der drei Waldbauszenarien **Verzicht** (Links), **Nutzen** (Mitte) und **Umbau** (Rechts) für die Jahre 2025 (Oben) und 2035 (Unten).

5 Szenarienanalyse

Die Risikomodellierung ergab unter der Annahme des „Risiko-Klimaszenarios“ 2003 eine mittlere erwartete Wahrscheinlichkeit eines Nonnenbefalls von 0,59. Unter Annahme eines Schwellenwertes von 0,52 ergab sich ein Kalamitätsrisiko von 66 % für alle Forstabteilungen inner-

halb der Modellregion. Nach zehn Jahren reduzierte sich die Anzahl gefährdeter Abteilungen auf 44 %, 37 % bzw. 15 % und nach weiteren zehn Jahren auf 23 %, 15 % bzw. 5 % entsprechend der drei Waldbauszenarien **Verzicht**, **Nutzen** und **Umbau** (Abbildung 12).

Insbesondere im nördlichen Teil der Modellregion zeigte sich nach 20 Jahren ein deutlicher Rückgang des Risikos. Mit nur wenigen Ausnahmen sank die Wahrscheinlichkeit unter 0,5 und damit unter den Schwellenwert der Klassifizierung als „Fraßabteilung“. Auch hier konnten die stärksten Änderungen im Vergleich zur Ausgangssituation in der **Umbau** Variante dokumentiert werden. Hier zeigte sich, dass bereits nach zehn Jahren die Abteilungswerte im Norden unter 0,5 lagen. Nach 20 Jahren ist auch im südlichen Teil eine starke Verringerung der erwarteten Wahrscheinlichkeit eines Nonnenbefalls zu beobachten.

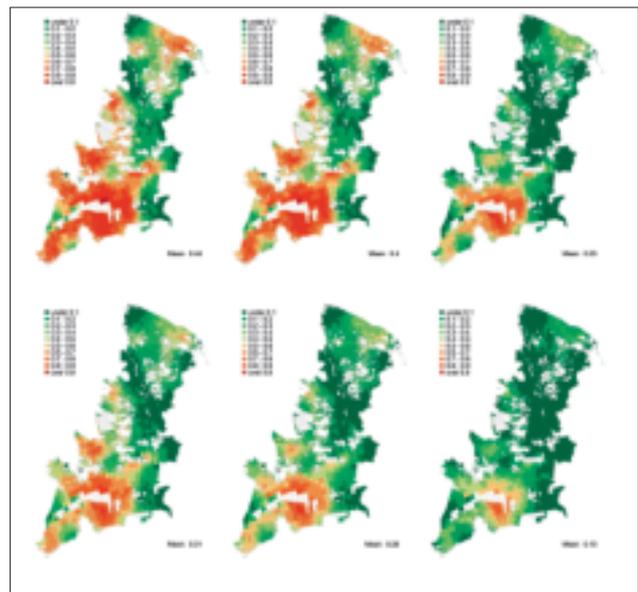


Abbildung 12: Risikomodellierung entsprechend der drei Waldbauszenarien **Verzicht** (Links), **Nutzen** (Mitte) und **Umbau** (Rechts) für die Jahre 2025 (Oben) und 2035 (Unten).

Das in Abbildung 13 dargestellte Balkendiagramm zeigt die relative Änderung der mittleren Ausprägungen verschiedener Merkmale in der Modellregion. Im unteren Teil der Grafik ist der Ausgangswert des Jahres 2015 abgebildet.

Die stärksten Veränderungen sind für die **Umbau** Variante zu beobachten. Hierbei kann ein starker Anstieg des *Shannon* beobachtet werden, dessen mittlerer Wert nach 20 Jahren um gut 70 % gestiegen ist. Der *Durchmesser* und auch die *Bestandeshöhe* steigen im Vergleich zu den anderen Waldbauszenarien an, wobei die relative Änderung für die *Bestandeshöhe* am geringsten ist.

Betrachten wir die relative Veränderung der mittleren Vorratsfestmeter pro Hektar als Merkmal einer Bestandes- bzw. Abteilungsveränderung, oder als Ausdruck einer Waldökosystemfunktion im Sinne der Holzbereitstellung, zeigte sich ein Anstieg des Vorrats in der **Verzicht** Variante und eine Absenkung für die beiden Bewirtschaftungsformen. Auch hier wurden die stärksten Veränderungen für die **Umbau** Variante mit einer Vorratsabnahme von etwa 30 % deutlich.

Das Risiko der Modellregion verringerte sich innerhalb der ersten zehn Jahre in allen Szenarien um über 20 % bezogen auf die mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit von 0,59 (2015). Nach zwanzig Jahren verstärkte sich diese Reduktion in der *Verzicht* Variante um 47 %, in der *Nutzen* Variante um 56 % und in der *Umbau* Variante um 75 %.

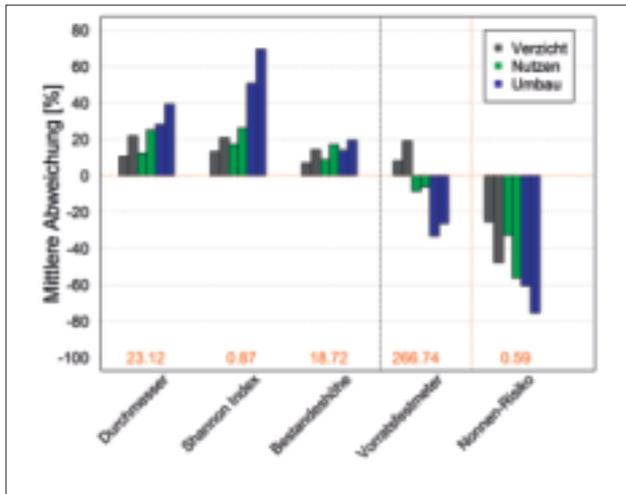


Abbildung 13: Balkendiagramm der relativen Veränderung mittlerer Bestandeskenngößen und mittlere, erwartete Wahrscheinlichkeit eines Nonnenbefalls in der Modellregion entsprechend der drei Waldbauszenarien. Bei gleichfarbigen Balken eines Merkmals steht die linke Säule für den Zeitpunkt 2025 und die rechte Säule für den Zeitpunkt 2035. Die rote Zahl am unteren Rand der Grafik gibt den Ausgangswert der mittleren Ausprägung im Jahre 2015 an

6 Diskussion

Eine Bestandesgefährdung durch intensiven Fraß der Nonne ist kein neuzeitliches Phänomen, sondern seit über 100 Jahren in Brandenburg dokumentiert (ZEDERBAUER 1911). Trotz der polyphagen Natur dieses Forstschädling zeigte sich die Fraßherde der Nonne, wie auch aus der Literatur bekannt (MAJUNKE ET AL. 2004), vornehmlich in jüngeren, relativ dichten Kiefernreinbeständen. Diese Zusammenhänge finden sich sowohl in der Häufigkeitsverteilung von Nonnenfraß betroffener Forstabschnitte (Abbildung 3), als auch in den hieraus entwickelten Kovariablen-Effekten von *Durchmesser*, *Shannon* und *Bestandeshöhe* (Abbildung 6).

Retrospektiv zeigt sich das hohe Risikopotential biotischer Schäden in der Plantagenwirtschaft bzw. in künstlich begründeten, einheitlichen Bestandesstrukturen. Außerdem ist bekannt, dass der Kalamitätsdruck nicht nur von einer Schädlingart ausgeht, sondern oftmals durch folgende Massenvermehrungen anderer nadelfressender Schadinsekten, wie zum Beispiel die des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.), bzw. holz- und rindenbrütender Käfer als Sekundärschädlinge drastisch erhöht wird (MÖLLER ET AL. 2007).

Neben dem physiologischen Abwehrvermögen gut konstituierter Bäume, ist der Einfluss natürlicher Gegenspieler, von Antagonisten wie räuberische Insekten oder Parasitoiden von grundlegender Bedeutung. Insbesondere wegen des zehnjährigen Gradationsrhythmus der Nonne sind diese na-

türlichen Gegenspieler auf Nebenwirte während der Latenz angewiesen, um zu Beginn einer Massenvermehrung in ausreichender Abundanz vorhanden zu sein und regulierend wirken zu können (MÖLLER 2008). Insbesondere die Generalisten unter den Forstnützlingen profitieren von einer höheren Biodiversität und einer entsprechenden Vielzahl ökologischer Nischen und Nebenwirte. Dieses Zusammenspiel kann durch den Wirkungszusammenhang des Shannon-Indexes mit dem Fraßrisiko bestätigt werden. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass die Berücksichtigung eines Diversitätszeigers der Nachbarschaft (1.000 ha) einen stärkeren Erklärungsbeitrag leistet als die Biodiversität innerhalb der Abteilung. Auf der Landschaftsebene zeigte sich, dass der Nonnenfraß in einem Befallsherd innerhalb eines größeren Kiefernkomplexes beginnt, was im Einklang mit der Theorie zur Entstehung von Massenvermehrungen nach SCHWERDTFEGER (1941) steht.

Frühere Untersuchungen haben belegt, dass die Populationsentwicklung der Nonne durch warme Sommer stimuliert wird (SCHWENKE 1994). Dieser Zusammenhang mag sich zum Teil auch in der Präferenz dichter, jüngerer Kiefernbestände und dem hierin konstanteren und wärmeren Bestandesinnenklima widerspiegeln (MAJUNKE ET AL. 2004). Die positive Wirkung höherer Temperaturen zeigte sich insbesondere 2003, als es zu einer ausgeprägten Massenvermehrung und hiermit verbundenem Fraßgeschehen kam (Abbildung 3).

In Anbetracht des Klimawandels ist mit einem erhöhten Gefahrenpotential durch die Nonne auszugehen. Gleichzeitig besteht die Hoffnung, dass die Kiefer aus den Hochrisikobereichen herauswächst. So zeigt sich beispielsweise, dass in allen drei Waldbauszenarien der *Durchmesser* mit der Zeit ansteigt (Abbildung 10) und zu einer Risikominderung beiträgt (Abbildung 12).

Trotz verschiedener Unsicherheiten technischer Natur (Datenqualität, räumliche Autokorrelation, geringe Stichprobe von nur zwei Gradationen) zeigt das Modell eine hohe Modellgüte gemessen an der Fläche unter der Grenzwertoptimierungskurve (AUC = 0.869) (FAWCETT 2006). Außerdem zeigte sich eine Verdichtung von Abschnitten mit hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten eines Nonnenfraßes im Modell, die den beobachteten Fraßherden entspricht (Abbildung 8).

In allen drei Waldbauszenarien sinkt das Gefahrenpotential (Abbildung 12). Nichts desto trotz wurde deutlich, dass in einigen Gebieten auch mit voranschreitendem Bestandeswachstum mit zukünftigem Nonnenfraß zu rechnen ist. Am höchsten bleibt das Risiko in der *Verzicht* Variante, während bei der *Umbau* Variante die höchste Risikominderung verzeichnet wurde (Abbildung 13).

An dieser Stelle sei auf die Unsicherheiten der Waldwachstumssimulation verwiesen, deren Wuchs-, Konkurrenz- und Mortalitätsfunktionen bisher nicht klimasensitiv sind. Die tatsächliche Entwicklung der Bestände nimmt also keine Wachstumsrückgänge oder gar Ausfälle aufgrund von abiotischen Einschränkungen an. Des Weiteren gibt die Eingriffsparametrisierung lediglich ein theoretisches waldbauliches Handeln wieder, das je nach Fläche, Förster und Betriebsführung variieren kann. Die Szenarienanalyse wiederum bezieht sich auf eine betriebsübergreifende Modellregion, weshalb die Simulationsergebnisse stark generalisiert sind.

Trotz intrinsischer Unsicherheiten von Risiko- und Waldwachstumsmodellierung (so meinte schon der britische Statistiker Georg Box: „Alle Modelle sind falsch, doch manche sind nützlich“) konnte die Wirkung waldbaulichen Handelns annähernd abgebildet werden. Insbesondere das vorzeitige Aufbrechen bestehender Bestandesstrukturen und das Einbringen von Mischbaumarten in der *Umbau* Variante führte zu einer Erhöhung der Diversität und damit zur Reduktion des Risikos. Wie sich dieses betriebswirtschaftlich auswirkt und in wie fern der simulierte Waldumbau in der Praxis zu verwirklichen ist, kann in dieser Arbeit nicht eruiert werden. Die Szenarienanalyse verdeutlicht aber, dass das Risiko eines Nonnenbefalls durch waldbauliches Handeln beeinflusst werden kann.

Hinsichtlich einer risikoarmen Forstwirtschaft ist die Optimierung waldbaulicher Eingriffe hinsichtlich der Risikominimierung nur eines einzelnen Schadinsekts sicherlich nicht zielführend. Vielmehr müssen verschiedene abiotische und biotische Risiken im Kontext betrachtet und allgemeingültige wirksame Maßnahmen herausgearbeitet werden. Die Förderung der Biodiversität, hier gemessen an der Baumartenanzahl und deren relative Grundflächenanteilen (Shannon-Index), ist sicherlich ein vielversprechendes Kriterium, zumal auch im Sinne der Risikoverteilung positive Effekte zu erwarten sind.

Fazit

Der hier vorgestellte methodische Ansatz ist ein wichtiger Schritt, zukünftige Umweltveränderungen verschiedensten Ursprungs gemeinsam zu betrachten und in Entscheidungsprozesse der Waldbewirtschaftung einfließen zu lassen. Am Beispiel der Risikomodellierung konnte gezeigt werden, dass die Waldbewirtschaftung entscheidenden Einfluss auf das zu erwartende Risiko hat. Die Kopplung der Waldwachstumssimulationen mit den zur Verfügung stehenden Klimaszenarien ist hierbei ein unumgänglicher Schritt um verschiedenste Einzelrisiken (abiotischer und biotischer Natur) realistisch einschätzen zu können.

Danksagung

Bedanken möchten wir uns bei den Förderinstitutionen (BMEL und BMUB) die das *DSS-RiskMan* Projekt (FKZ: 28WB401501) ermöglicht haben. Außerdem gebührt all denen Dank, die durch die Datenbereitstellung oder den wissenschaftlichen Austausch zu dieser Arbeit beigetragen haben.

Literatur

ALLEN CD.; MACALADY AK.; CHENCHOUNI H.; BACHELET D.; McDOWELL N.; VENNETIER M.; KITZBERGER T.; RIGLING A.; BRESHEARS DD.; HOGG EH (TED); GONZALEZ P.; FENSHAM R.; ZHANG Z.; CASTRO J.; DEMIDOVA N.; LIM J-H.; ALLARD G.; RUNNING SW.; SEMERCI A.; COBB N. (2010) A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259: 660–684.

ELMER M.; KÄTZEL R.; BENS O.; BUES C-T.; SONNTAG H.; HÜTTL RF.; (HRSG.). (2009) Nachhaltige Bewirtschaftung von Eichen-Kiefern-Mischbeständen. oekom-Verlag, München.

FAHRMEIR L.; KNEIB T.; LANG S. (2009) Regression: Modelle, Methoden und Anwendungen. Springer-Verlag.

FAWCETT T. (2006) An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27:861–874.

HANSEN J.; NAGEL J. (2014) Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS - Anwendung und theoretische Grundlagen. Beiträge aus der Nordwestdt. Forstl. Versuchsanstalt 11: 1–224.

HENTSCHEL R.; WENNING A.; SCHRÖDER J.; MÖLLER K. (2016) Vielfalt kontra Kahlfraß – Zum Einfluss der Bestandesstruktur auf die Fraßintensität der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Brandenburg. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 62: 69–76.

IPCC. (2014) Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. STOCKER T.; QIN D.; PLATTNER G-K.; TIGNOR M.; ALLEN SK.; BOSCHUNG J.; NAUELS A.; XIA Y.; BEX V.; MIDGLEY PM. (eds). Cambridge University Press.

KÖHLER M.; AHRENDTS B.; MEESENBURG H. (2015) Wie gut ist einfach? Evaluierung verschiedener Verfahren zur Regionalisierung täglicher Wetterdaten. Poster auf dem Tag der Hydrologie. Bonn, 19-20 März 2015

LFB. UND LFMV. (2015) Datenspeicher Wald Version 2. Applikation und Walddatenbank des Landesbetriebs Forst Brandenburg (LFB) und der Landesforst Mecklenburg-Vorpommern. Anstalt des öffentlichen Rechts, Potsdam.

LFE. (2014) Biomasseschätzung für Wälder mittels Fernerkundung und Modellierung. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 56: 147–157.

LINDNER M.; FITZGERALD JB.; ZIMMERMANN NE.; REYER C.; DELZON S.; VAN DER MAATEN E.; SCHELHAAS M-J.; LASCH P.; EGGERS J.; VAN DER MAATEN-THEUNISSEN M.; SUCKOW F.; PSOMAS A.; POULTER B.; HANEWINKEL M. (2014) Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of Environmental Management*, 146: 69–83.

- LINDNER M.; MAROSCHEK M.; NETHERER S.; KREMER A.; BARBATI A.; GARCIA-GONZALO J.; SEIDL R.; DELZON S.; CORONA P.; KOLSTRÖM M.; LEXER MJ.; MARCHETTI M. (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259: 698–709.
- LOPEZ-RATON M.; RODRIGUEZ-ALVAREZ MX.; SUAREZ CC.; SAMPEDRO FG. (2014) OptimalCutpoints: An R Package for Selecting Optimal Cutpoints in Diagnostic Tests. *Journal Of Statistical Software*, 61: 1–36.
- MAJUNKE C.; MÖLLER K.; FUNKE M. (2004) Die Nonne (*Lymantria monacha* L., Lepidoptera, Lymantriidae). *Waldschutz-Merkblatt* 52: 1–24.
- MÖLLER K. (2008) Was bringt biologische Vielfalt für den Waldschutz? *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 36: 41–47.
- MÖLLER K.; WALTER C.; ENGELMANN A.; HIELSCHER K. (2007) Die Gefährdung der Gemeinen Kiefer durch Insekten. In: KÄTZEL R.; MÖLLER K.; LÖFFLER S.; ENGEL J.; LIERO O. (eds) *Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung*. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg, Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 37: 245–257.
- R CORE TEAM. (2014) *R: A language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RIEK W.; RUSS A. (2014) Regionalisierung des Bodenwasserhaushaltes für Klimaszenarien als Grundlage für die forstliche Planung. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe*, 55: 20–30.
- RODRÍGUEZ JD.; PÉREZ A.; LOZANO JA. (2010) Sensitivity Analysis of k-Fold Cross Validation in Prediction Error Estimation. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32: 569–575.
- RUSS A. (2015) Russ, A. (2015): Regionalisierung des Wasser- und Kohlenstoffhaushalts für die Waldfläche Brandenburgs - Entwicklung von Regionalisierungsansätzen unter besonderer Berücksichtigung der forstlichen Standortskarte, Bodenökologie und Bodengenese. Dissertation, Technische Universität Berlin.
- SCHWENKE W. (1994) Über die Grundlagen der Entstehung und Begegnung von Insekten-Massenvermehrungen im Walde. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 67: 120–124.
- SCHWERDTFEGER F. (1941) Über die Ursachen des Massenwechsels der Insekten. *Zeitschrift fuer Angewandte Entomologie*, 28: 183–211.
- SHANNON CE.; WEAVER W. (1949) *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press, Urbana.
- VANHANEN H.; VETELI TO.; PÄIVINEN S.; KELLOMÄKI S.; NIEMELÄ P. (2007) Climate Change and Range Shifts in Two Insect Defoliators: Gypsy Moth and Nun Moth - a Model Study. *Silva Fennica*, 41: 621–638.
- WOOD SN. (2006) *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. CRC press.
- XAVIER R.; TURCK N.; ALEXANDRE HAINARD, TIBERTI N.; LISACEK F.; SANCHEZ J-C.; MÜLLER M. (2011) pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. *BMC Bioinformatics*, 12: (1): 77.
- ZEDERBAUER E. (1911) Klima und Massenvermehrung der Nonne. *Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien*, 36: 51–59.

Datenfriedhof oder Schatzkammer? – Nutzungsmöglichkeiten umfassender Waldschutz-Datenbestände für ausgewählte Großschädlinge in Brandenburg

ALINE WENNING, RAINER HENTSCHEL, JENS SCHRÖDER UND KATRIN MÖLLER

1 Einleitung

Die in der Hauptstelle Waldschutz des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE) im Rahmen des Waldschutzmonitorings gesammelten Daten sind eine entscheidende Grundlage des Drittmittelprojekts „WAHYKLAS“. Das vom „Waldklimafonds“ der Bundesregierung geförderte Verbundprojekt WAHYKLAS nutzt diese umfassenden Monitoringdaten und darüber hinaus viele zusätzliche Informationsebenen, um „Waldhygienische Klimaanpassungsstrategien“ zu entwickeln. Der Verbund aus zehn Instituten arbeitet entlang eines Deutschland durchquerenden Transekts vulnerabler Regionen vom Oberrheingraben im Süd-Westen Richtung Uckermark im Nord-Osten. Als vulnerabel gelten dabei momentan oder zukünftig von verhältnismäßig starker Trockenheit bedrohte Gebiete. Das Projekt beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den Hauptbaumarten Eiche und Kiefer und den dort auftretenden biologischen Schaderregern. Der Waldschutz des LFE beschäftigt sich im Rahmen des Projektes vorrangig mit aktuellen Herausforderungen, die das zyklische und witterungsbedingte Auftreten dieser Kiefern- und Eichengroßschädlinge mit sich bringen.

Im Projekt „WAHYKLAS“ werden keine neuen bzw. zusätzlichen Daten aufgenommen. Die Auswertungen stützen sich auf die vom Waldschutz- Team des LFE gesammelten Daten, welche seit Jahrzehnten in Zusammenarbeit mit der Forstpraxis erhoben werden. Erste Aufgabe im Projekt, gemeinsam mit einem weiteren Waldklimafondsprojekt – DSS-RiskMan, war die Schaffung eines einheitlichen, logisch strukturierten und auch zukünftig nutzbaren Datenbanksystems. Hierzu wurde eine Datenbank im PostgreSQL-Format geschaffen, die es unter anderem ermöglicht, die vorliegenden Daten direkt mit GIS-Software auswerten zu können. Informationen verschiedenster Datenbereiche fließen in die Auswertung mit ein, hierzu gehören Daten zum Standort und zur Witterung, Monitoringergebnisse, Fraßkartierungen und die Dokumentation der Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln. Wichtige Grundlage sind auch die Bestandesdaten, die über den Datenspeicher Wald erfasst sind und flächendeckend in hoher räumlicher Auflösung den Brandenburger Wald beschreiben. Die geografische Verortung aller Daten erleichtert die Kombination unterschiedlicher zeitlicher, räumlicher und inhaltlicher Informationsebenen (SCHRÖDER. UNPUB).



Abb. 1: Datenfriedhof oder Schatzkammer, Zeichnung: Liliith Adler

Das Projekt DSS-RiskMan befasst sich mit der Modellierung abiotischer und biotischer Risiken und dem Risikomanagement. Es erarbeitet Modelle zur Entscheidungsunterstützung und Begrenzung von Risiken für die Forstwirtschaft vor dem Hintergrund des Klimawandels.

Vordergründig dient die Datenerhebung im Waldschutz dem unmittelbaren Agieren, also der Erstellung von Schadprognosen und damit der Ableitung weiterführender Überwachungsmaßnahmen oder auch der Planung von Insektizideinsätzen. Bisher eher Nachrangig, aber vor dem Hintergrund sich verändernder Klimabedingungen immer wichtiger, wird die umfassende analytische Nutzung der Daten. Daneben ist angesichts des fortschreitenden Personalabbaus im Landesbetrieb Forst Brandenburg die effektive und auswertungsorientierte Datenhaltung durch das Stamm-Personal immer schwieriger und kaum zu gewährleisten. So drohen die mit hohem Einsatz gewonnenen Informationen auf einem „Datenfriedhof“ zu landen, der für zukünftige Analysen nicht mehr zugänglich ist.

Den Projekten „WAHYKLAS“, „DSS-RiskMan“ und dem Waldschutzteam des LFE ist es deshalb nicht nur Aufgabe, sondern auch Herzensangelegenheit, diese Vielfalt an Daten zu bewahren und fortzuschreiben. Nicht nur zum Zweck des Waldschutzes in Brandenburg soll so statt eines Friedhofs eine Schatzkammer vielfältig nutzbarer Daten erhalten bleiben und weiterentwickelt werden, die auch Szenarioanalysen oder großräumige Vergleichsstudien ermöglicht.

2 Daten und Methoden

Grundlage der Arbeit im „WAHYKLAS“ Projekt sind die umfangreichen Daten des Waldschutzes des LFE. Diese resultieren aus der terrestrischen bzw. satellitengestützten Fraß-Kartierung für Kiefern- und Eichen-Großschädlinge, der Winterbodensuche und den artspezifischen stufigen Überwachungsverfahren für die einzelnen Schadinsekten an den Hauptbaumarten Kiefer und Eiche. Genutzt werden auch die Daten über Pflanzenschutzmitteleinsätze in Brandenburger Wäldern. Der Auswertungszeitraum bezieht sich auf die Jahre von 2002 bis 2016 (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Datenbestand und Größenordnung der verschiedenen Beobachtungen

Datenbereich	Datenbestand	Anzahl der Beobachtungen	Zeitraum
Waldschutzmonitoringdaten	Nonne- Eische	4.224	2003-2015
	Nonne- Pheromonfalle	15.049	2001-2015
	Nonne- Zählstamm	12.998	2001-2015
Fraß- Daten	Fraß- Kiefer	12.379	2003-2016
	Fraß- Eiche	9.896	2003-2016
Satellitengestützte Fraßkartierung		21.797	2014-2016
Pflanzenschutzmitteleinsätze	PSM- Kiefer	9.957	2003-2016
	PSM- Eiche	7.351	2003-2016
Winterbodensuche	Winterbodensuche	47.915	2000-2015
Bestandesdaten	DSW2	743.968	2000-2016
Standortparameter	STAO	517.090	2016
Wasserhaushaltsgrößen		40.005	2014
Klimadaten	DSS -RiskMan	9.421.015	1960-2016
Klimazeneriodaten	PIK	3 Szenarien	2015-2100

Die größte Herausforderung beim Umgang mit Datenmengen ist nicht ihre schiere Masse, sondern deren sinnvolle Zusammenführung und Aufarbeitung, um sie miteinander vergleichbar zu machen. Hierzu wurde in den Projekten „WAHYKLAS“ und „DSS-RiskMan“ eine einheitliche Datenbankstruktur mit dem Anspruch entworfen, alle Daten in kompatibel Strukturen zu bringen. Weiter müssen praktikable Wege und Möglichkeiten gefunden werden, jährlich hinzukommende Daten in die bestehenden Datenbanken einzupflegen.

2.1 Aufarbeitungen der Roh- bzw. Primärdatenbestände

Die Rohdaten aus den verschiedenen Quellen liegen in unterschiedlichen Formaten (handgeschriebene Listen, MS-Excel-Dateien und MS-Access-Datenbanken, geografisch verortet oder nicht) und Datentiefen bzw. räumlichen und zeitlichen Auflösungen vor. Ziel war es, alle Informationen zu archivieren sowie wenn möglich in einen zukünftig digital auswertbaren Zustand zu überführen. Voraussetzung für die weitere Verwendung der Daten war:

- Lokalisierbarkeit der Daten in Bezug auf die Forstteilungsadresse
- Zuordnung der Daten auf ein Insekt bzw. eine Baumart
- Herstellung der Eindeutigkeit im zeitlichen Bezug

Nur wenn die Zuordnung der Daten diese Anforderungen erfüllt, ist es möglich, die Waldschutzdaten im Zusammenhang mit Eigenschaften des Standortes, des Waldbestandes und des Ökosystems insgesamt zu betrachten. Die Wahl der Forstteilungsadresse als Grundlage der Verknüpfung ist auf Grund ihrer relativen Kontinuität in Bezug auf die Verortung und ihres häufigen Vorhandenseins im Gesamtdatenbestand getroffen worden. Häufig stellt sie die kleinste Auflösung der Waldschutzdaten dar und dient somit als kleinste Auflösungs- bzw. Bezugseinheit für alle anderen Daten (Standort, Klima, Bestand).

2.2 Waldschutzmonitoringdaten

Die Brandenburger Waldbestände sind immer wieder durch starken Insektenfraß bedroht. Die großen Kieferngebiete auf nährstoffarmen und gering mit Wasser versorgten Standorten sind von regelmäßigen Gradationen der Kiefern-Großschädlinge betroffen. Aber auch die Eichenbestände sind durch den Fraß von Schmetterlingsraupen, wie Eichenprozessionsspinner oder Frostspanner, bedroht. Diese Gefährdungssituation macht ein mit hohem Aufwand betriebenes Monitoring bzw. Risikomanagement notwendig (MÖLLER UND HEINITZ 2016). Die hieraus resultierenden Daten der stufigen Überwachungsverfahren für Eichen- und Kiefern-Großschädlinge sind Grundlage der Auswertung des „WAHYKLAS- Projektes“. Sie unterteilen sich in Monitoringdaten der verschiedenen Insekten, Ergebnisse der terrestrischen und satellitengestützten Fraßkartierung sowie Bekämpfungsmaßnahmen. Der Erfassungszeitraum unterscheidet sich je nach Insekt, im Allgemeinen liegen die Daten „lokalisierbar“ ab etwa Beginn der 2000er Jahre vor.

Die Überwachung der Nonne nimmt hier einen zentralen Stellenwert ein, da diese aufgrund ihres hohen Schadpotenzials für die Brandenburger Kiefernwälder permanent mit einem stufigen Überwachungsverfahren (HIELSCHER

UND ENGELMANN 2012) beobachtet wird. Hierzu gehört die standartmäßige Überwachung der Falter mittels Pheromonfallen. Kommt es zur Progradation des Insektes wird dieses Brandenburg überspannende Pheromonfallennetz durch weitere Monitoringschritte (Erfassung der Weibchen an Zählstammen und Eisuchen) ergänzt. Weiter gehen Daten aus der Winterbodensuche ein, die für andere Kieferngrößschädlinge (Kiefernspinner, Kiefernspanner, Forleule und Kiefernbuschhornblattwespen) im Vergleich mit sogenannten Schwellenwerten den Beginn gefährlicher Populationsentwicklungen anzeigen. Neben den Kieferngrößschädlingen wird auch die Eichen-Fraßgesellschaft überwacht, etabliertes Verfahren ist hier z. B. die Leimringüberwachung der Frostspannerarten.

Die von den Revierleitern erhobenen Daten der terrestrischen und satellitengestützten Fraßkartierung gehen getrennt nach den Hautbaumarten (Kiefer bzw. Eiche) in die Betrachtung mit ein. Die seit 2002 berücksichtigten Daten der terrestrischen Fraßkartierung der Kiefer werden in Bezug auf den Nadelverlust (merklich, stark, kahl) als Flächenanteil der Forstabteilung angegeben. Seit 2008 wird diese Fraßkartierung auch bei der Eiche für den Eichenprozessionsspinner auf Abteilungsebene durchgeführt (Abb. 2). Hier wird der Blattverlust im Bezug zur unbeschädigten Blattmasse in den Stufen (leicht, merklich, stark, kahl) angegeben. Auch die Angaben für die durch die „klassische“ Eichenfraßgesellschaft betroffenen Forstabteilungen gehen hier in die Betrachtung mit ein. Alle diese Daten sind über die „Fraß-Datenbank“ des Waldschutz-Fachteams verfügbar und auf Abteilungsebene georeferenziert. Seit 2013 wird die Fraßkartierung in den Kiefernbeständen durch die satellitengestützte Fraßkartierung ergänzt (WENK 2016). Die satellitengestützte Klassifizierung der Fraßintensität erfasst das Ausmaß des Nadelmasseverlustes zwischen zwei Aufnahmen (vor und nach dem Fraß). Die anhand von Reflektionsunterschieden festgestellte Differenz zwischen den beiden Aufnahmen wird in Fraßkategorien verrechnet und mit einer Auflösung von 5 m kartenmäßig in so genannten „Kacheln“ dargestellt. Hierdurch wird eine bessere Identifikation und genauere Abgrenzung der Fraßherde im Bestand möglich. Seit 2013 wird diese Methodik in Brandenburg in Zusammenarbeit mit der Firma BlackBridge/PlanetLab angewandt (MARX et al. 2015).

Der Sensor „RapidEye“ misst das von der Erdoberfläche reflektierte Licht. Im Falle von Wäldern die Anteile des Lichtspektrums, die durch die Aktivität des Chlorophylls der Pflanzen beeinflusst werden.

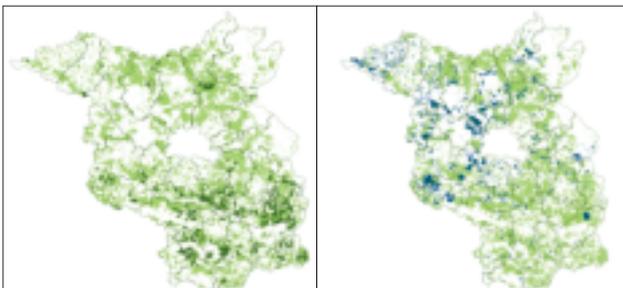


Abb. 2: Darstellung der georeferenzierten Fraßereignisse in Brandenburg (links Kiefernbestände 2003-2016, rechts Eichenbestände 2008-2016). Die Waldfläche Brandenburgs ist hellgrün dargestellt

2.3 Daten über Pflanzenschutzmitteleinsätze

Das Waldschutz-Monitoring bildet die Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Wäldern. Hier gilt die Prämisse des Bestandserhalts und des damit verbundenen Erhalts der Waldfunktionen als Schadensschwelle: Erst bei der gesicherten Prognose „Kahlfraß“ wird für Kiefernwälder der Einsatz von PSM vorgeschlagen. Im Monitoring ermittelte Gefährdungsziffern sind die Basis für die Prognosen und die Abwägung der Insektizideinsätze und dienen der Festlegung der Applikationsfläche. Die Daten über die erfolgten PSM Einsätze sind in einer „PSM-Datenbank“ für die Baumarten Kiefer und Eiche auf die Forstabteilung (Abb. 4) bezogen. Vermerkt wurden auch das zu bekämpfende Insekt (die „Zielart“) bzw. die Fraßgemeinschaft sowie das angewandte Mittel. Die zeitliche Auflösung der PSM-Daten in den Beständen umfasst den Zeitraum 2003-2016.

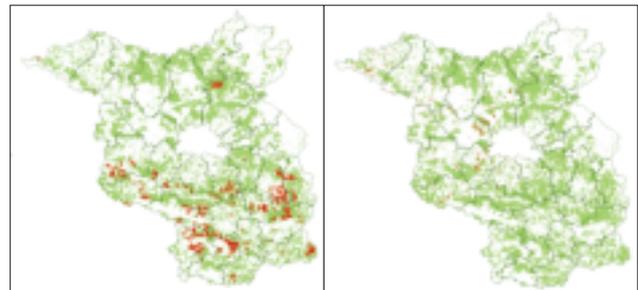


Abb. 3: Darstellung der georeferenzierten Pflanzenschutzmitteleinsätze in Brandenburg (links Applikationsflächen in Kiefernbeständen 2003-2016, rechts in Eichenbeständen 2004-2016)

2.4 Bestandesdaten

Der „Datenspeicher Wald“ in der Version 2 (DSW², LFB UND LFMV 2015) ermöglicht es, die forstlich relevanten Informationen aller Waldbestände in Brandenburg geographisch verortet abzufragen. Die hier enthaltenden Daten reichen von der Baumartenzusammensetzung über Angaben zum Vorratsvolumen, mittleren Höhen und Brusthöhendurchmessern bis hin zu Waldfunktionen und Standortparametern. Auch die Eigentumsart ist flächengenau vermerkt. Die im Datenspeicher Wald vorliegenden Daten sind bezüglich ihrer Aktualität bzw. Verlässlichkeit unterschiedlich zu beurteilen. Die im Besitz des Landes Brandenburg befindlichen Flächen (ca. 25 %) werden in einem 10-13-jährigen Zyklus im Rahmen der Forsteinrichtung inventarisiert und beplant. Dabei werden Daten abgeglichen und korrigiert. Die Waldflächen in privater oder kommunaler Hand werden in aller Regel auf Basis Ihrer Ursprungsdaten zu Beginn der 1990er Jahre fortgeschrieben und nur in Ausnahmen auf Basis neuerer Daten aktualisiert. Um fehlende Angaben zu ergänzen und den gesamten Wald abzubilden, wurde im Nicht-Landeswald auf Näherungs- und Mittelwerte zurückgegriffen.

2.5 Standortparameter und Wasserhaushaltsgrößen

In einer separaten Datenbank liegen Informationen zum forstlichen Standort vor, wie Standortformengruppen, Nährkraft- und Wasserversorgungsstufen (Abb. 4) . Hier enthaltene Parameter beschreiben die potentielle Evapotranspiration, das pflanzenverfügbare Wasser und die nutz-

bare Feldkapazität. Zusätzlich liegen Angaben zu Klimastufen und Wuchsgebieten vor. Diese sind abgeleitet aus der forstlichen Standortskartierung und decken abteilungsbezogen das gesamte Land Brandenburg ab.

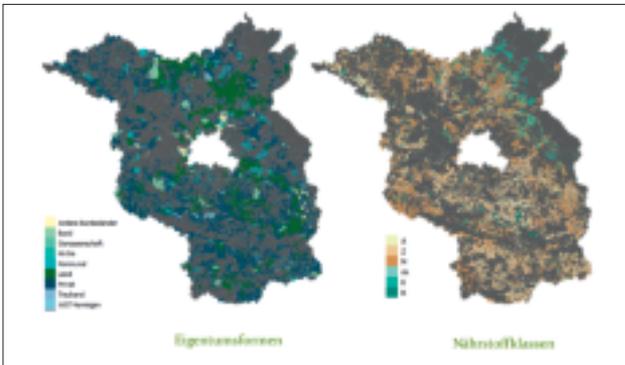


Abb. 4: Daten des DSW² geographisch verortet

2.6 Klimadaten und Klimaszenarien

Die in einer weiteren Datenbank enthaltenen Klimadaten basieren auf den Messwerten der DWD-Stationen in Brandenburg. Diese regionalisierten Tageswerte für Temperatur und Niederschlag wurden für 487 Messpunkte in Brandenburg abgefragt (KÖHLER ET AL. 2015). Sie decken den Zeitraum 1960-2013 ab. Um die Klimadaten möglichst genau den Waldflächen zuordnen zu können, wurde jeder Abteilung der nächstgelegene Monitoringpunkt zugeordnet. So ist es möglich, das regionale Klima kleinflächig und tagesgenau abzubilden. Auf Brandenburg bezogen ergeben sich starke Unterschiede in Temperatur und Niederschlag in den einzelnen Regionen bzw. in der Betrachtung der verschiedenen Jahre (Abb. 5).

Weiter stehen für die Auswertung zukünftiger Klimaereignisse und deren Bezug auf die Insektenkalamitäten drei Klimaszenarien (RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5) zur Verfügung. Diese wurden vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) zur Verfügung gestellt (JACOB ET AL. 2014, GERSTENGARBE ET AL. 2015). Die als RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways) bezeichneten Klimaszenarien nehmen bestimmte Szenarien von Treibhausgaskonzentrationen an. Daraus berechnete Klimamodelle enthalten einerseits die Klimaänderung und andererseits die angenommenen Emissionen. Die Klimaszenarien werden daher nach ihrem angenommenen Strahlungsantrieb im Jahr 2100 gegenüber dem vorindustriellen Antrieb von 1850 benannt. RCP 2.6 steht z. B. für eine Steigerung im Strahlungsantrieb von 2,6 W/m² im Jahre 2100 gegenüber 1850. Die Szenariodaten für 2011-2100 wurden durch das PIK ebenfalls in Tagesauflösung und räumlich auf ein Gitternetz von 0,25° x 0,25° bezogen bereitgestellt (LASCH-BORN ET AL. 2016).

3 Ergebnisse und Diskussion

Ein Hauptergebnis des Projektes „WAHYKLAS“ in enger Zusammenarbeit mit dem Projekt „DSS-RiskMan“ und dem Waldschutzteam des LFE ist die Erstellung der „Waldschutz-Datenbank“. Die erhobenen Daten aus den Monitoringverfahren des Bereiches Waldschutz sind in erster Linie grundlegende Arbeitsmittel für die Prognose und die Schadensvermeidung für relevante Organismen (MÖLLER & HEINITZ 2016). Aufgabe des Waldschutzteams des LFE ist es, diese Daten zeitnah für die Überwachung, Prognose und wenn nötig, Bekämpfungsplanung auszuwerten. Die konsistente Datenhaltung und das damit verbundene Datenbankmanagement sind in diesem Tagesgeschäft immer schwieriger zu bewerkstelligen. Hier setzte die Tätigkeit der

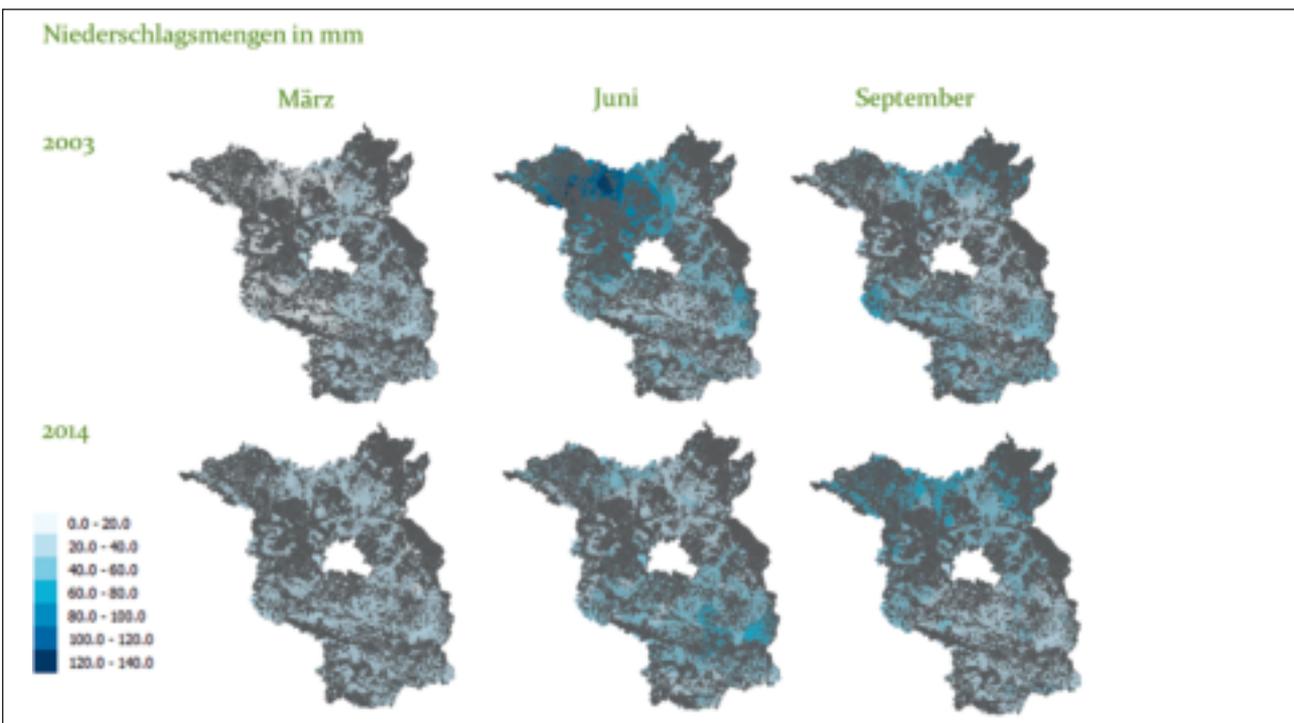


Abb. 5: Vergleichende Darstellung der Niederschlagsmengen in den Monaten März, Juni und September der Jahre 2003 und 2014

genannten Drittmittelprojekte ein, um die Waldschutzmonitoringdaten rückwirkend so aufzuarbeiten und zu harmonisieren, dass die Verknüpfung mit Datenbeständen anderer Herkunft (DSW², Klimadaten) möglich wird. Nur so ist es möglich, diesen umfassenden „Datenschatz“ vielfältig zu nutzen, Verknüpfungen zwischen unterschiedlichen Datenbereichen herzustellen und für Szenarioanalysen heranzuziehen. Die retrospektive Darstellung der Populationsdynamik der wichtigsten Schadinsekten an Eiche und Kiefer diente vorbereitenden Analysen zur Erstellung statistisch fundierter Modelle. Voraussetzung für die weitere Verarbeitung der Daten war deren Lokalisierbarkeit und Eindeutigkeit in Bezug auf die Baum- und Insektenart (siehe 2.1).

3.1 Lokalisierbarkeit der Monitoring Daten

Für die Zusammenführung der Daten aus verschiedenen Quellen war es wichtig, sie in der Landschaftsebene zu lokalisieren. Die meisten Daten sind auf die forstliche Verwaltungsstruktur mit einer „Forstadresse“ bezogen. Um diese geographisch zu verorten, musste sich die Forststruktur der Gegenwart wie der jüngeren Vergangenheit mit Hilfe von GIS- Programmen wie z. B. ArcGIS oder QGIS darstellen lassen. Die Brandenburger Forststruktur gliedert sich in eine „betriebliche“ und eine „hoheitliche“ Ebene. Die Waldschutzmonitoringdaten werden seit 2013 in der „hoheitlichen“ Ebene bzw. Struktur aufgenommen. Sie deckt die gesamte Landesfläche ab und gliedert sich in die zunehmend feiner aufgelösten Stufen Oberförsterei – Revier – Waldgebiet – Abteilung – Unterabteilung – Teilfläche – Behandlungseinheit. Die Detailschärfe der unterschiedlichen Datenquellen ist hier zum Teil sehr variabel.

Die Überwachungsdaten der Nonnenkalamität 2013 und des anschließenden Auftretens des Kiefernspinners 2014 in der „Lieberoser Endmoräne“ verdeutlichen beispielhaft, mit welchem Aufwand Monitoringdaten erhoben und zur Abschätzung des Gefährdungssituation herangezogen werden (MÖLLER 2016). Die dabei erzeugten Daten werden mit GIS-Werkzeugen aufgenommen und dokumentiert (bis 2015: Spatial Commander, seit 2016: WebOffice). Die Vielfalt und Menge an Überwachungsdaten zur Abschätzung der Bestandesgefährdung und zur Flächenabgrenzung eines eventuell erforderlichen Insektizideinsatzes sind in Abbildung 6 beispielhaft dargestellt. Sie gehen in die Datenbank des Waldschutzes verortet ein und stehen somit auch für überregionale Auswertungen und Analysen zur Verfügung.



Abb. 6: Beispiel für die unterschiedlichen Bereiche der erhobenen Waldschutzmonitoringdaten zur Nonnen- und

anschließenden Kiefernspinnergradation in der „Lieberoser Endmoräne“ in Südbrandenburg. Kiefernspinner: Achteckige Sterne zeigen Ergebnisse der Winterbodensuche, Nonne: fünfeckige Sterne Ergebnisse von Zählstammaufnahmen, Kreise stehen für Eisuch-Ergebnisse. Größe und Farbe der Symbole codieren die ermittelte Gefährdung entsprechend der Ampelfarben. Die 2013 vom Nonnenfraß betroffenen und terrestrisch erfassten Abteilungen sind gelb, die vom Sensor RapidEye (MARX ET AL. 2015) identifizierten Flächen mit Nadelverlusten durch Kiefernspinner 2014 hellblau dargestellt

Viele andere Datenbestände sind nur für größere Bezugsebenen verfügbar, auch diese wurden mit Hilfe von GIS und unter Nutzung der Statistiksoftware“R“ (R DEVELOPMENT TEAM 2015) im Raumbezug zusammengeführt. Als kleinste Bezugseinheit wurde – wie weiter oben dargestellt – auch hier die „Forstabteilung“ gewählt, um die Verknüpfbarkeit verschiedener Datenbestände im Bezug auf die Verortung zu realisieren. Eine große Schwierigkeit bildeten die verschiedenen Strukturreformen der vergangenen 15 Jahre im Forstbereich, die häufig auch mit einer Änderung von Forstadressen einhergingen.

3.2 Herausforderungen bei der Rekonstruktion langer Zeitreihen

Das Risikomanagement des Waldschutzes stützt sich auf das artspezifische stufige Überwachungsverfahren der einzelnen Schadinsekten (MÖLLER ET AL. 2007). Hierbei gibt es Überwachungsverfahren, die jährliche Ergebnisse in einem räumlich groben Raster liefern wie z. B. Pheromonfallen zur Überwachung der Nonnenfalter oder die Winterbodensuche. Bei der Winterbodensuche werden in ca. 2.500 Kiefernbeständen Daten zu Populationsdichte und aktuellem Vorkommen des Kiefernspinners, der Forleule, des Kiefernspanners und der Kiefernbuschhornblattwespen erhoben. Kommt es zur Überschreitung eines Schwellenwertes in einem identifizierten Befallsgebiet, so wird hier der nächste artspezifische Überwachungsschritt eingeleitet. Im Ergebnis werden nicht in jedem Jahr die gleichen Daten aufgenommen, weder in der Quantität bzw. in den erfassten Stichprobenpunkten noch in gleicher qualitativer Auflösung, das heißt im Inhalt der Aufnahmen. Vielmehr richten sich die Art und die Detailtiefe der aufgenommenen Monitoringdaten nach dem akuten Gefährdungspotential des aktuell auftretenden Schaderregers. Beim Zusammentragen der Daten der vergangenen 15 Jahre waren daher die Gradationsverläufe der unterschiedlichen Kiefern- und Eichengroßschädlinge zu berücksichtigen und bestmöglich logisch zu strukturieren.

3.3 Datenharmonisierung

Zur Analyse von Populationsdynamiken der verschiedenen Schadinsekten ist es nötig, die im Waldschutz seit vielen Jahren eingehenden Rohdaten zu harmonisieren. Hierzu gehört neben der Lokalisierung das formale Zusammenführen der unterschiedlichsten Rohdaten, um die enthaltenden Informationen vergleichbar zu machen. Über die vergangenen Jahrzehnte ist die Detailschärfe der einzelnen Parameter immer besser geworden. Während die ersten Daten von z. B. Fraßereignissen noch über den monatlichen Melde-

dienst auf Revierebene erhoben wurden und daher auch nur anhand der Forstadresse auf dieser Auflösungsebene zuzuordnen waren, wurden spätestens mit der Einführung des „Spatial Commander“ auch geographische Koordinaten angefügt. Ziel der Datenharmonisierung ist es, alle Variablen des Datensatzes in eine einheitliche Form zu bringen und evtl. fehlende Informationen zu ergänzen. Dazu gehörten in erster Linie eine einheitliche Nomenklatur der verwendeten Abkürzungen und das Einarbeiten von „Bemerkungen“. Seit der Einführung des „WebOffice“ als Programm zur Datenverwaltung 2016 werden alle für Monitoring und Prognose notwendigen Waldschutzdaten in entsprechender Qualität geographisch verortet und in einer Datenbank gesichert. Somit stehen die heute eingehenden Daten in entsprechender Qualität und Detailtiefe für die Analyse zur Verfügung.

3.4 Variablenanalyse am Beispiel der Gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* L.)

Nach Abschluss der Datenaufbereitung für die wichtigsten Schadinsekten an Kiefer und Eiche erfolgte die Analyse möglicher Einflussfaktoren, die deren Auftreten beziehungsweise eine Massenvermehrung begünstigen oder bewirken. Erste Ergebnisse in Bezug auf das Auftreten des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea* L.; EPS) und den Massenwechsel der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Brandenburg wurden im Winterkolloquium des LFE 2016 von (SCHRÖDER ET AL. 2016) und (HENTSCHEL ET AL. 2016) vorgestellt.

Im Jahr 2016 kam es im Süden von Brandenburg zu massivem Herbstfraß durch die Gemeine Kiefernbuschhornblattwespe. Diese ist unter bestimmten Bedingungen in der Lage, gegen Ende des Sommers eine zweite Generation auszubilden, somit sehr schnell hohe Populationsdichten aufzubauen und dadurch Kahlfraßereignisse auszulösen. In den vergangenen 30 Jahren kommt es immer häufiger zu solchen Herbstfraßereignissen durch diese Kiefernbuschhornblattwespe, das letzte Ereignis dieser Art erfolgte 2010 (Abb. 7) ebenfalls in der Region Herzberg (GRÄBER ET AL 2012).

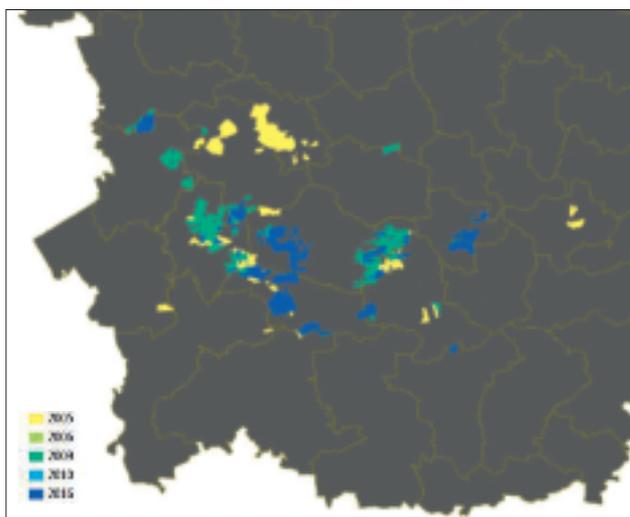


Abb. 7: Darstellung der Fraßflächen (abteilungsscharf) von *Diprion pini* im Süden Brandenburgs

Die Winterbodensuche 2015/2016 hatte in der Region nur lokal erhöhte, über dem Schwellenwert liegende Kokondichten gezeigt. Die terrestrische Fraßkartierung ergab Ende Juni einen Fraß auf ca. 5.500 ha Kiefernwald. Im Juli erfolgten artspezifische Überwachungsschritte wie die Kontrolle der Larvenentwicklung zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit der Ausbildung einer 2. Generation, folgende Kokonsuchen in den Kiefernkrone und spätere Eisuchen zur Ableitung der konkreten Fraßprognose und zur Abgrenzung der Befallsgebiete. Ende August/Anfang September wurden dann Pflanzenschutzmittel gegen die zweite Generation der Larven der Kiefernbuschhornblattwespe ausgebracht. Trotz administrativer und witterungstechnischer Hemmnisse konnten durch PSM-Einsätze auf rund 2.800 ha die Schäden vor allem durch Kahlfraß weitgehend begrenzt werden. Auf Grund der sehr rasanten Entwicklung der Population, von der ersten zur zweiten Generation kann die Larvenzahl fast um Faktor 100 zunehmen, waren am Ende des Jahres trotzdem 1.300 ha Kahlfraß festzustellen, in einer Gesamtbefallsfläche von rund 30.000 ha (MÖLLER ET AL. 2017).

Das statistische Analyseverfahren „Random Forest“ (Breiman 2001) als Erweiterung des klassischen Entscheidungsbaummodells erlaubt es, große Datenmengen hinsichtlich des Einflusses vieler Variablen zu vergleichen

Welche Schlüsselfaktoren den Massenwechsel der Gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe beeinflussen bzw. die Ausbildung einer zweiten Generation im selben Jahr auslösen ist nicht abschließend geklärt (EICHORN 1991). Durch das hoch variable Diapauseverhalten und Schlupfwellenmuster ist die Betrachtung mehrerer aufeinanderfolgender Jahre erforderlich. Vermutet wird ein starker Einfluss der Witterung und der Tageslänge.

bhwe variable	MeanDecreaseAccuracy	MeanDecreaseGini
clim_tmean_leaf_pinus_sum_p7a7	7,9215	6,1651
clim_vp_p1_p04009_max	7,1766	5,5078
clim_rain_p05_sum	7,2121	4,5489
clim_vp_p1_p04009_sd	7,0571	4,3248
bu1000_dlv_sw_e	6,2641	4,0070
bu1000_dlv_sw_s	6,0864	3,9268
clim_tmean_leaf_pinus_sum_p42	6,0658	3,4030
clim_tmean_leaf_pinus_sum_a14	6,4643	3,3871
bu1000_bs_bonr_abt_mean_gymno	6,3809	3,2967
bu1000_dlv_sw	5,2744	3,1462
clim_vp_p05_sd	6,0393	2,8278
bu1000_bs_bonr_ant_mean_gymno	4,1581	2,6440
clim_vp_p05_sum	6,3011	2,6748
bu1000_iso_bonr_ant_mean_xx	3,8776	2,2728
bu1000_bs_bonr_ant_mean_xx	3,9162	2,1383
clim_vp_p1_p04009_sd	5,3884	2,1213
bu1000_bs_bonr_gf_gymno	4,2819	2,0611
bu1000_bs_bonr_gf_mean_gymno	3,9199	2,0168
clim_rain_p05_sd	6,5147	1,9478
bu1000_iso_bonr_ant_mean_gymno	3,3537	1,8378
bu1000_iso_bonr_abt_mean_gymno	3,3885	1,7971
bu1000_bs_bonr_abt_mean_xx	3,5559	1,8388
bu1000_bs_bonr_gf_mean_gymno	3,1978	1,6942
bu1000_bs_bonr_ant_mean_gymno	3,2015	1,6565
clim_tmean_p1_leaf_pinus_sum_p	5,5554	1,5691
bu1000_iso_bonr_ant_mean_gymno	3,4442	1,5087
clim_vp_p1_p04_sd	4,6302	1,4888
bu1000_iso_bonr_gf_mean_gymno	4,0614	1,4879
bu1000_iso_bonr_gf_mean_xx	3,1322	1,4846
clim_tmean_p04_sum	3,1384	1,4743
bu1000_iso_bonr_ant_median_gymno	3,3558	1,4655
bu1000_iso_bonr_ant_median_xx	3,4325	1,4551
bu1000_bs_bonr_gf_median_xx	3,1527	1,4400
clim_vp_p1_p05_sd	5,2221	1,4353
bu1000_iso_bonr_gf_gymno	4,2518	1,3669
bu1000_bs_bonr_ant_mean_gymno	3,1118	1,3116
clim_tmean_leaf_pinus_sum_a42	4,9817	1,3064
bu1000_bs_bonr_gf_mean_xx	3,1992	1,2913
bu1000_iso_bonr_gf_median_gymno	3,7011	1,2896
clim_tmean_p01_p06_sd	4,2256	1,2787
clim_tmean_leaf_pinus_sum_p06	4,4010	1,2293
mon_bonr_sd_bu1000	5,4077	1,2183
bu1000_iso_bonr_gf_mean_xx	3,3971	1,2000
bu1000_iso_bonr_gf_median_xx	2,7152	1,2005
bu1000_iso_bonr_gf_mean_gymno	3,4119	1,1744
mon_bonr_sum_bu1000	5,4999	1,1518
bu1000_bs_bonr_abt_mean_gymno	3,6143	1,1391

Für die Analyse der Einflussfaktoren wurden verschiedenste Variablengruppen aus den unterschiedlichen Datenbereichen gebildet und miteinander verglichen. Geprüft wurden über 900 Variablenkombinationen aus vier Variablengruppen: modellierter Kiefernaustriebstag, Klima tagesaktuell auf Abteilungsebene interpoliert, Diversitätsindizes in unterschiedlichen Einflussradien und Überwachungsdaten. Die Datenanalyse erfolgte mittels „Random

Forest“ (HENTSCHEL ET AL. 2016).

Abb. 8 Ergebnisse des Verfahrens „Random Forest“ zum Einfluss verschiedener Variablen im Datensatz (grün: Variablengruppe „modellierter Kiefernaustrieb“, blau: Variablengruppe „Klima“, orange: Variablengruppe „Waldeigenschaften inkl. Diversität“, grau: Variablengruppe „Überwachungsdaten“)

Erste Ergebnisse zeigen den starken erklärenden Einfluss von Klimavariablen auf das Auftreten von Fraßereignissen (Abb. 8). Im Besonderen die Temperatursummen 7 Tage vor und 7 Tage nach dem Kiefernaustrieb (clim_tmean_leaf_pinus_sum_p7a7) als Variable für den Beginn des physiologischen Frühjahres ist von dominierendem Einfluss auf das mögliche Eintreten einer Massenvermehrung von *Diprion pini*. Zudem scheinen die Niederschlagssummen bis April einen hohen Einfluss zu haben (clim_rain_p04_sum). Die Diversität der Baumarten auf 1000 ha im Umkreis der befallenen Abteilungen, die durch den SHANNON-Index (bu1000_div_sw_s) erklärt wird, wirkt sich hemmend auf das Auftreten von Fraß aus (SHANNON UND WEAVER 1949). Für die Risikoabschätzung von Fraßereignissen der zweiten Generation bietet das stufige Überwachungsverfahren des Waldschutzes eine sichere Vorhersagemöglichkeit. Die Analyseergebnisse belegen, dass *Diprion pini* stark auf die Witterung in sensiblen Entwicklungsphasen reagiert. Ob sich in bestimmten Jahren eine zweite Generation bildet, ist nach wie vor nur schwer abzuschätzen. Für den Umgang mit der nachfolgenden Populationsdynamik bietet das stufige Überwachungsverfahren der Hauptstelle Waldschutz zwar angemessene Möglichkeiten, es kommt aber darauf an, dass diese schnell und flächendeckend angewandt werden können. Schwierig ist das nur sehr kleine zur Verfügung stehende Zeitfenster für die Vorbereitung eines PSM-Einsatzes, einschließlich der Einholung aller Genehmigungen und der Einbeziehung aller Beteiligten. Unterbleibt aus Naturschutz- oder anderen Gründen der Einsatz von PSM in als besonders gefährdet eingeordneten Beständen, dann ist häufig flächiger Kahlfraß die Folge. Witterung, Sekundärschädlinge und die konsequente Realisierung von Sanitärmaßnahmen entscheiden dann über den Umfang der Bestandschäden.

4 Schlussfolgerung und Fazit

Die Informationen aus dem langjährigen flächendeckenden Waldschutz-Überwachungssystem erzeugen große Datenmengen. Diese enthalten wichtige Informationen als Entscheidungsgrundlage für mögliche Maßnahmen zur Abwehr oder Minimierung von Waldschäden. Aus einer langfristigen integrativen Betrachtung dieser Datenfülle lassen sich wiederum Empfehlungen für eine angepasste Bewirtschaftung des Waldes ableiten.

Die Ansprüche bezüglich der Nutzung der verschiedensten Datengrundlagen steigen nicht nur in Bezug auf die immer umfassenderen Nachweispflichten zum Beispiel für den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Wald. Auch die immer komplexeren Fragestellungen mit Blick auf den Klimawandel und die damit verbundene zukünftige Bewirtschaftung der Wälder verlangen nach intelligenten Analysen möglichst diverser und möglichst vollständiger Daten. Voraussetzung hierfür ist ein konsistentes Datenmanagement, um dem Anspruch auf Nachhaltigkeit in Wissenschaft, Wirtschaft und Naturschutz gewachsen zu sein.

Die Ergebnisse der Drittmittelprojekte „WAHYKLAS“ und „DSS-RiskMan“ zeigen, dass es möglich ist, verschiedenste Datenquellen des LFE zusammenzuführen und diese Datenbestände für weitere Analyseschritte bereitzustellen.

Dafür wurden Datenbanken entwickelt und auf zentralen Servern zugänglich gemacht. Erste Analyseschritte zeigen wichtige Einflussfaktoren für die Populationsdynamiken verschiedener Schadinsekten. Wichtig bleibt aber, dass auch mit der Einführung des WebOffice und den in dieser Weise generierten Daten die Überwachung der Gefährdungssituation für die Brandenburger Waldbestände nur mit für die Datenerhebung fachlich qualifiziertem und quantitativ hinreichendem Personal möglich ist. Für die Auswertung und Analyse der Daten können fachlich-methodisch intensive Drittmittelprojekte unter Einbindung entsprechender Spezialisten eine wertvolle Verstärkung sein.

Danksagung

In erster Linie möchte ich den Dank an die Mitarbeiter des Landesforstbetriebes Brandenburg richten, die in mühevoller Kleinarbeit Daten erheben und übermitteln. Bedanken möchte ich mich auch beim Waldschutzteam des LFE, das diesen „Datenschatz“ bewacht hat, für die vielfältige fachliche Unterstützung. Im speziellen geht mein Dank an jene Kollegen, die mit viel Geduld und detektivischem Eifer nicht müde werden, die umfangreichen Daten und wertvollen Datenreihen wieder in Form zu bringen. Besonderer Dank meinerseits gilt Lilith Adler für die gelungene künstlerische Darstellung eines komplexen und delikaten Themas. Ein Dank geht auch an die das Forschungsprojekt finanzierenden Ministerien BMEL und BMUB, die durch Förderinstrumente wie den „Waldklimafonds“ Forschung in einem Rahmen wie diesem ermöglichen.

Literatur

- BREIMAN, L. (2001): Random Forests. *Mach. Learn.*, 45: 1-33.
- EICHHORN, O. (1991): Voltinismus und Schlüpfwellenfolge mitteleuropäischer Ökotypen der Kiefern-Buschhornblattwespe *Diprion pini* L. (Hym., Diprionidae), ihre Mechanismen und ihre Bedeutung für den Massenwechsel. – *J.Appl. Ent.* 112: 437-453.
- GERSTENGARBE, F.-W.; HOFFMANN, P.; ÖSTERLE, H.; WERNER, P. C. (2015): Ensemble simulations for the RCP 8.5-scenario. *Meteorologische Zeitschrift* 24 (2): 147–156.
- GRÄBER, J.; ZIESCHE, T.; MÖLLER, K. (2012): Gradationsverlauf der Kiefern-schadinsekten im Norddeutschen Tiefland. *AFZ - Der Wald*, 9: 1-4.
- HENTSCHEL, R.; WENNING, A.; SCHRÖDER, J.; Möller, K. (2016): Vielfalt kontra Kahlfraß – Zum Einfluss der Bestandesstruktur auf die Fraßintensität der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Brandenburg. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 62: 69-76.
- HIELSCHER, K.; ENGELMANN, A. (2012): Operational monitoring of the nun moth *Lymantria monacha* L. (Lepidoptera: Lymantriidae) using pheromone-baited traps – a rationalization proposal. *Journal of Forest Science* 58 (5): 225-233.

- JACOB D. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14: 563–578.
- KÖHLER, M.; AHRENDTS, B.; MEESENBURG, H. (2015). Wie gut ist einfach? Evaluierung verschiedener Verfahren zur Regionalisierung täglicher Wetterdaten. Posterbeitrag.
- LASCH-BORN, P.; SUCKOW, F.; GUTSCH, M.; HAUF, Y.; HOFFMANN, P.; KOLLAS, C.; REYER, C. P. O. (2016): Fire, late frost, nun moth and drought risks in Germany's forests under climate change. *Meteorologische Zeitschrift*, online: 1-14, DOI:10.1127/metz/2016/0767.
- LFB UND LFMV (2015): Datenspeicher Wald Version 2. Applikation und Walddatenbank des Landesbetriebs Forst Brandenburg (LFB) und der Landesforst Mecklenburg-Vorpommern – Anstalt des öffentlichen Rechts, Datenbank LFB, Potsdam.
- MARX, A.; MÖLLER, K.; WENK, M. (2015): RapidEye-Waldschutzmonitoring in Brandenburg. *AFZ – Der Wald* 11: 40-42. Möller, K. (2016). Der Kiefernspinner im NSG "Lieberoser Endmoräne" – Waldschutz-Risikomanagement mit Hindernissen in Brandenburg. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 62: 13-17.
- MÖLLER, K.; HEINITZ, M. (2016): Waldschutz in Brandenburg – das Risikomanagement erfordert die Zusammenarbeit von Forst- und Naturschutzbehörden. *Natur und Landschaftspflege in Brandenburg* 1, 2: 30-39.
- MÖLLER, K.; WALTER, C.; ENGELMANN, A.; HIELSCHER, K. (2007): Die Gefährdung der Gemeinen Kiefer durch Insekten. In: Kätzel, R.; Möller, K.; Löffler, S.; Engel, J.; Liero, K. (Hrsg.). *Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung*. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg, Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 32: 245–257.
- MÖLLER, K.; APEL, K.-H.†; ENGELMANN, A.; HIELSCHER, K.; WALTER, C. (2007): Die Überwachung der Waldschutzsituation in den Kiefernwäldern Brandenburgs - Weiterentwicklung bewährter Methoden. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* Bd. XXXII: 288-296.
- MÖLLER, K.; HEYDECK, P.; HIELSCHER, K.; DAHMS, C. (2017): Waldschutzsituation 2016 in Brandenburg und Berlin. *AFZ - Der Wald* 72 (7): 46-49.
- R CORE TEAM (2015): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- SCHRÖDER, J. (2017): Zwischenbericht „Waldhygienische Anpassungsstrategien für das steigende Potential von Schadorganismen in vulnerablen Regionen unter Berücksichtigung von Klimawandel und zunehmenden Restriktionen (WAHYKLAS)“, Teilprojekt 4. Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), unveröffentlicht.
- SCHRÖDER, J.; WENNING, A.; HENTSCHEL, R.; Möller, K. (2016): Rückkehr eines Prookateurs: was steuert die Ausbreitungsdynamik des Eichenprozessionsspinners in Brandenburg? Ergebnisse aus dem Waldklimafonds- Projekt "WAHYKLAS" *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 62: 77- 88.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. (1949): *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press, Urbana.
- WENK, M. (2016): Dokumentation des Schadverlaufs nach Kahlfraß in Kiefernforsten – Einsatz von Satellitenbildern und Bügelschaber. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 62: 23- 26.

Ausgewählte Posterpräsentationen



Univoltin oder bivoltin?

Gibt es Möglichkeiten, Prognosen der witterungsabhängigen Entwicklung der Gemeinen Kiefernbuschhornblattwespe, *Diprion pini* zu verbessern?

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)

WALDWIRTSCHAFT ABER NATÜRLICH

Untersuchungsthemen - Großschädlinge



Abb.1. Untersuchungsgebiet Brandenburg

- ❖ Populationsdynamik in Wechselwirkung mit Umweltfaktoren (Witterung, Bestand, Boden)
 - ❖ Faktoranalyse + Modellentwicklung → Aussagen über zukünftige Entwicklung für Forstpraxis
 - ❖ **Kiefernbuschhornblattwespe** Auftreten und Verbreitung in Brandenburg
- Mögliche Steuergrößen:
1. Witterungsverhältnisse
 2. Bestandes- und Standortsbedingungen

Schwerpunkt Kiefer – Kiefernbuschhornblattwespe

Welche Faktoren beeinflussen das Auftreten der Kiefernbuschhornblattwespe in Brandenburg?

Lebenszyklus:



Abb.2. Uni- bzw. Bivoltiner Lebenszyklus von *Diprion pini*

Methode

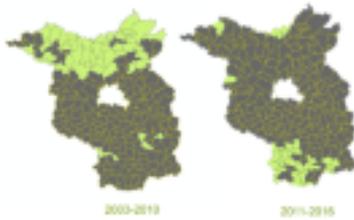


Abb.3. Verbreitungskarten

Datengrundlage: Waldschuttmeldewesen

- ❖ Indikator für Ausbreitung: Blattfraß der Raupen
- ❖ Monatliche Meldungen der Forstreviere ab 2003
- ❖ Zudem terrestrische Fraßkartierung für Kiefer
- ❖ Erstellung einer einheitlichen „Fraß- Datenbank“, Verortung auf Abteilungsebene (GIS)
- ❖ Verknüpfung mit Bestandesdaten aus dem „Datenspeicher Wald“ (DSW²)
- ❖ Auswertung der Witterungsdaten des Deutschen Wetterdienstes (regionalisierte Tageswerte)

Datengrundlage

Massenvermehrungen in Brandenburg

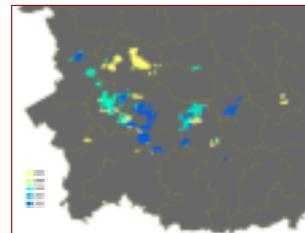


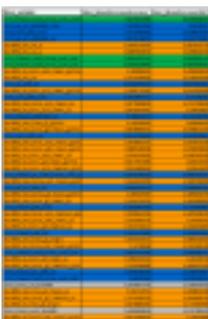
Abb.4. Darstellung der Fraßflächen (Abteilungsscharf) von *Diprion pini* im Süden Brandenburgs

- ❖ Fraßkartierung zeigt Fraßereignisse mit bivoltinem Gradiationsgeschehen seit 2005
- ❖ Schlüsselfaktoren in der Populationsdynamik der Blattwespe sind das variable Diapauseverhalten und die Schlupfwellenfolge
- ❖ Diese sind zum Teil genetisch gesteuert (Ökotypen) und werden durch Photophase und Witterung modifiziert

- ❖ Satellitenaufnahmen (Herbst) zeigen gesamtes Ausmaß des Fraßgeschehens
- ❖ Wo Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden konnten zeigt sich Erfolg der Behandlung

Abb.5 Ablauf des stufigen Monitoringverfahrens während des Fraßereigniss 2016 bei Herzberg durch die Buschhornblattwespe

Ergebnisse



- Modell. Kiefernaustrieb: Temperatur
- Klima: Temperatur und Niederschlag
- Buffer: Gruppen: Kiefer, Fläche und Diversität
- Überwachungsdaten: Winterbodensuche auf 1000 ha (Buffer)

Abb.6. Ergebnisse des Random Forest - Variablenbedeutung im Datensatz

- ❖ Datenanalysen mittels Random Forest (rein statistisches Klassifikationsverfahren auf Basis zufällig kombinierter vollständiger Entscheidungsäume)
- ❖ Prüfung von verschiedenen Variablenkombinationen auf Ihren Einfluss bei der Erklärung bzw. Trennung des Datensatzes (Fraß oder Nichtfraß)
- ❖ Prüfung von über 900 Variablenkombinationen aus vier Variablengruppen
 - modellierter Kiefernaustriebstag,
 - Klima tagesaktuell auf Abteilungsebene
 - Diversitätsindizes in unterschiedlichen Umgebungskreisen
 - Überwachungsdaten

	Austrieb Kiefer (%)	Temperatursumme 7 (°C d)	Niederschlagssumme bis April (mm)
Austrieb Kiefer	1.1	104	91
Fraßereignis	100	104	91
Fraßereignis	100	104	91
Fraßereignis	100	104	91

Abb.7. Vergleich der Fraßgebiete

- ❖ **Erste Ergebnisse**: starker erklärender Einfluss von Klimavariablen auf das Auftreten von Fraßereignissen
- ❖ Temperatursummen 7 Tage vor und nach Austrieb als Variable für Beginn des physiologischen Frühjahrs (**clim_tmean_leaf_pinus_sum_p7a7**)
- ❖ Niederschlagssummen bis April mit hohem Einfluss (**clim_rain_p04_sum**)
- ❖ Hohe Diversität im Umkreis von 1000 ha (Shannon- Index) vermindert Wahrscheinlichkeit von Fraß (**bu1000_div_sw_s**)

Schlussfolgerung

- ❖ Durch das komplexe Generations- und Schlupfwellenmuster von *Diprion pini* sind Mustererkennungen schwierig
- ❖ Die Überwachung durch das stufige Überwachungsverfahren bietet eine sichere Vorhersagemöglichkeit von bivoltinen Generationszyklen (Kahlfraßereignissen)
- ❖ *Diprion pini* reagiert stark auf die Witterung in sensiblen Entwicklungsphasen

Ausblick

- ❖ Weitere Analyseschritte mittels Generalized Additive Models (GAMs)
- ❖ Prüfung weiterer Variablen im Bezug auf Vorjahre eines bivoltinen Fraßereignisses



Waldhygienische Anpassungsstrategien für das steigende Potential von Schadorganismen in vulnerablen Regionen unter Berücksichtigung von Klimawandel und zunehmenden Restriktionen (WAHYKLAS)



Rückkehr eines Provokateurs: Was steuert die Ausbreitungsdynamik des Eichenprozessionsspinner in Brandenburg?



Untersuchungsthemen - Großschädlinge



- ❖ Populationsdynamik in Wechselwirkung mit Umweltfaktoren (**Witterung, Bestand, Boden**)
- ❖ Faktoranalyse + Modellentwicklung → Aussagen über zukünftige Entwicklung für Forstpraxis
- ❖ EPS in Brandenburg: Ausbreitung oder Wiederbesiedlung?

- Mögliche Steuergrößen:
1. Witterungs- bzw. Standortverhältnisse
 2. Vorhandensein von Antagonisten/ Fraßkonkurrenten

Schwerpunkt Eiche – Eichenprozessionsspinner

Welche Faktoren beeinflussen das Auftreten des EPS in Brandenburg?

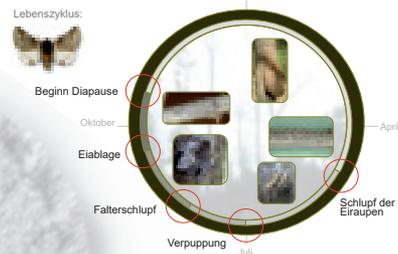


Abb. 2. Zentrale Art Eichenprozessionsspinner *Thaumetopoea processionea*

Methode

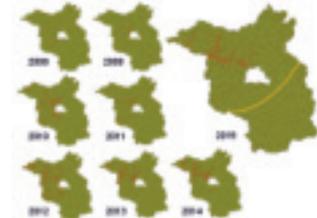


Abb. 3. Verbreitungskarte

Datengrundlage: Waldschutzmeldewesen

- ❖ Indikator für Ausbreitung: Blattfraß der Raupen
- ❖ Monatliche Meldungen der Forstreviere ab 2003
- ❖ seit 2008 terrestrische Fraßkartierung für Eiche
- ❖ Erstellung einer einheitlichen „Fraß- Datenbank“, Verortung auf Abteilungsebene (GIS)
- ❖ Verknüpfung mit Bestandsdaten aus dem „Datenspeicher Wald“ (DSW²)
- ❖ Auswertung der Witterungsdaten des deutschen Wetterdienstes (regionalisierte Monatswerte)

Datengrundlage

Ausbreitung in Brandenburg



Abb. 4. Darstellung der Ausbreitung des EPS anhand der Fraß- und Pflanzenschutzmitteleinsatzfläche

- ❖ Fraßkartierung zeigt Zunahme der EPS-Befallsflächen seit 2008
- ❖ Auflagen der Genehmigungen für PSM-Einsatz von Dipel ES (Abstände, Flächenanteil) führt zu reduzierten Applikationsflächen (=Rückzugsgebiete, Erholung der Population)
- ❖ Seit 2013 konnte Dipel ES auch als Biozid (Abwehr von Gesundheitsgefährdungen) eingesetzt werden, bessere Flächenabdeckung

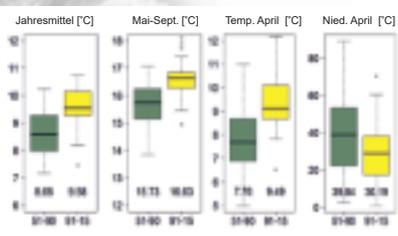


Abb. 5. Veränderung der mittleren Witterung in Brandenburg 1951-1990 / 1991-2013.

- ❖ Vergleich 1951-1990 mit 1991-2015: konstante Niederschlagssummen und ansteigende Temperaturen
- ❖ Auffällige Ausnahme April: steigende Temperaturen bei abnehmendem Niederschlag (Temperatur +1,7 K, Niederschlag -25%)

Ergebnisse

- ❖ April von zentraler Bedeutung für die Populationsdynamik in Brandenburg
- ❖ Schlupfzeitpunkt der Raupen in der zweiten Aprilhälfte (Custers 2003, Wagenhoff et al. 2013)
- ❖ Austrieb Eichen Ende April bis Anfang Mai (Löffler 2011), „Timing“ zwischen Austrieb und Schlupf ist entscheidend für die Populationsdichte (Nahrungsverfügbarkeit vs. Hungerrisiko)
- ❖ **Schlupf erfolgt ca. 14 Tage früher**
- ❖ **Austrieb Eiche ca. 7-8 Tage früher**
- ❖ erhöhte Mortalität Raupen: wenn die „Hungerperiode nach dem Schlupf“ > 18Tage (Meurisse et al. 2012)
- ❖ Einflüsse aufs Schlupfdatum: Temperatursumme (Custers 2003, Wagenhoff et al. 2014) und Anzahl Frosttage
- ❖ Seit den 1950ern Zahl der Frosttage übers langjährige Mittel gleich, **kumulierte Wärmesumme steigt**
- ❖ Grenzverlauf des Ausbreitungsgebietes zeigt keine abiotischen Einflussfaktoren



Abb. 6. Einflüsse Witterungsfaktoren



Abb. 7. Verteilung der Eichenschädlinge

- ❖ Vorkommen EPS neben der klassischen Eichenfraßgesellschaft

Schlussfolgerung

- ❖ Stress für Wirtsbäume hat zugenommen (Klima)
- ❖ durch klimatische **Änderungen früherer Austrieb der Eiche und früherer Schlupf** der Raupen begünstigt Aufbau hoher Dichten des EPS
- ❖ Es kann von einer **Wiederbesiedlung** der Region Brandenburg in langwelligen Zyklen ausgegangen werden (Groenen und Meurisse 2012, Sobczyk 2014)
- ❖ bisher **noch keine effektiven Antagonisten** in Brandenburg, hohe Vitalität der Eier (Möller 2013)
- ❖ bisher keine Verdrängungseffekte zwischen klassischer Fraßgesellschaft und EPS

Ausblick

- ❖ Prüfung anhand eigener Schlupf- und Gesundheitsuntersuchungen, Verknüpfen mit phänologischen Modellen
- ❖ Analysen zum Einfluss von Bestand und Umgebung
- ❖ Bezug auf Bestandesstrukturen



Waldhygienische Anpassungsstrategien für das steigende Potential von Schadorganismen in vulnerablen Regionen unter Berücksichtigung von Klimawandel und zunehmenden Restriktionen (WAHYKLAS)



Pilzinfektionen an Blättern von Eiche, Buche, Ahorn, Linde, Ulme, Pappel, Weide, Eberesche und Rosskastanie



Das Spektrum der an Blättern von Wald- und Parkbäumen vorkommenden pilzlichen Pathogene ist breit gefächert. Einige Arten – darunter obligate Parasiten – sind in der Lage, umfangreiche Absterbeerscheinungen, besonders an Jungpflanzen, zu verursachen. Aber auch heranwachsende und ältere Bäume bleiben nicht verschont. So ist beispielsweise der „Eichenmehltau“ (*Erysiphe alphitoides*) als bedeutungsvoller Krankheitserreger in Beständen von *Quercus robur* und *Quercus petraea* bekannt. Durch die wiederholte Schädigung der Assimilationsorgane wird das Stoffwechselgeschehen der Bäume spürbar beeinträchtigt. Andere Spezies, wie *Rhytisma acerinum* („Teerfleckenkrankheit“), zeigen zwar auffällige Symptome, besitzen aber keine nennenswerte forstwirtschaftliche Bedeutung. Auch bei den Blattkrankheiten gelangen bestimmte Erreger, die vom Klimawandel profitieren, zunehmend in den Fokus der forstlichen Phytopathologie. Ein Beispiel dafür ist die „Petrakia-Blattbräune“ des Berg-Ahorns. Die Krankheit wurde im Nordostdeutschen Tiefland erstmals im Jahr 2016 stärker beobachtet. Der Erreger, *Petrakia echinata*, gilt als wärmeliebend (vgl. BUTIN, 2011). Permanent durch Blattkrankheiten geschädigte Bäume werden oft von sekundären Krankheitserregern („Schwächeparasiten“) besiedelt. Besondere Bedeutung kommt hierbei den Hallimasch-Arten (*Armillaria mellea* s. l.) zu.

Lit.: BUTIN, H. (2011): Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Stuttgart: Ulmer.



Eichenmehltau (*Erysiphe alphitoides*)

- einer der bedeutendsten pilzlichen Parasiten an Blättern
- gehört zu den Echten Mehltauipilzen
- wirtsspezifische obligate Ektoparasiten
- an *Quercus robur* und *Qu. petraea*
- Blattoberfläche wie mit Mehl bestäubt
- Mycel überzieht Ober- und Unterseite der Blätter
- schwere Schäden in Kombination mit Insektenfraß
- verstärkt nach Dürreperioden sowie an besonnten Stellen
- Bäume werden geschwächt → anfällig für Sekundärbesiedler
- besonders gefährdet sind Sämlinge und Jungpflanzen
- in Baumschulen, Pflanzgärten, Aufforstungen



Buchenblattbräune (*Apiognomonina errabunda*)

- Blatt-Endophyt an *Fagus sylvatica*
- kann auch parasitisch vorkommen
- bei Verletzung bzw. Störung des Blattgewebes durch gallbildende Insekten (*Mikola fagi*, *Hartigola annulipes*), Gallen werden durch den Pilz zerstört
- Blattnekrosen braun gefärbt
- Umrisz zackenförmig, der Nervatur folgend
- seltener werden auch junge Triebe infiziert
- keine ernste Gefährdung betroffener Bäume



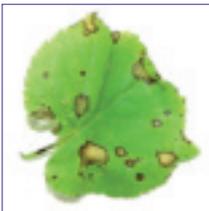
Petrakia-Blattbräune des Berg-Ahorns (*Petrakia echinata*)

- Blatt-Endophyt an *Acer pseudoplatanus*
- auch Krankheitserreger (→ Blattnekrosen)
- Symptome spät in der Vegetationsperiode
- wärmeliebende Pilzart
- Schadwirkung offenbar gering
- erstes Schadaufreten in Brandenburg: 2016
- Ähnliche Symptome findet man bei der **Pleuroceras-Blattbräune**.



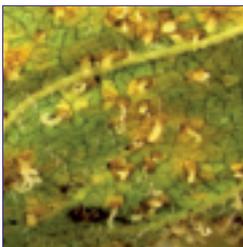
Teerfleckenkrankheit (*Rhytisma acerinum*)

- obligater Parasit auf Blättern von *Acer* spp.
- dringt durch die Epidermis der Blattoberseite ein
- auffällige pechschwarze Flecken (Sklerotien), blattoberseits
- bis zirka 2 cm groß, rundlich, glänzend, gelb umrandet
- Schadwirkung gering (vorzeitiger Blattfall)
- Weitere Art: *Rhytisma punctatum*
- punktförmige, schwarze, etwa 1 mm große Sklerotien
- nur auf *Acer pseudoplatanus*



Lindenblattbräune (*Apiognomonina errabunda*)

- Blatt-Endophyt an *Tilia cordata*
- kann auch parasitisch vorkommen
- nach Blattbesiedelung durch Gallmilben (*Eriophyes* spp.) oder die Lindengallmilbe (*Didymomyia neumanniana*), Pilz bringt Gallenbildner zum Absterben
- Nekrosen hellbraun, dunkel umrandet
- oft auch Infektion der Blattstiele
- vollständige Entlaubung möglich
- z. T. Nekrosen an Trieben
- Schadwirkung bei älteren Bäumen gering



Phloeospora-Krankheit der Ulme (*Mycosphaerella ulmi*)

- vorzeitige Verfärbung infizierter Blätter
- Symptome erst im Spätsommer und Herbst
- Konidienlager auf der Blattunterseite
- austretende Sporenranken
- Schadwirkung insgesamt gering



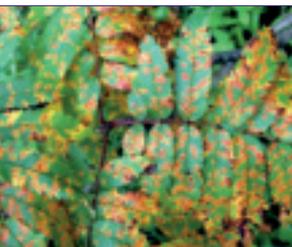
Marssonina-Krankheit (*Drepanopeziza punctiformis*)

- auf *Populus nigra* und deren Hybriden
- Anfälligkeit sortenspezifisch
- vorzeitiges Abfallen der Blätter
- Zuwachseinbußen
- erhebliche Vitalitätsverluste
- Etablierung von Schwächeparasiten



Weidenrost (*Melampsora* spp.)

- wirtswechselnde Rostpilze
- im Sommer auf der Blattunterseite:
- lebhafte gold- bis orangegelbe gefärbte Uredolager (gelegentlich auch an Trieben)
- Verformung / Verwelken infizierter Blätter
- Schwächung der befallenen Bäume
- bedeutsam in Kurzumtriebsplantagen



Ebereschenrost (*Gymnosporangium cornutum*)

- obligat parasitischer, wirtswechselnder Rostpilz
- auf Blättern von *Sorbus aucuparia*
- blattoberseits leuchtend gelb bis rötlich gefärbte Flecken
- später auf der Blattunterseite stiftförmige Acidien
- Dikaryontenwirt: *Juniperus* spp. (Teleutolager)



Guignardia-Blattbräune (*Phyllosticta paviae*)

- an *Aesculus hippocastanum* und *A. camma*
- unregelmäßig geformte, bis 5 cm große Nekrosen
- Randzone intensiv gelb
- auch Einrollen der Blätter („Blattrollkrankheit“)
- vorzeitiger Blattfall
- wirtschaftliche Bedeutung nur in Baumschulen
- Bei **Kastanienminiermotte (*Cameraria ohridella*)**:
- transparente Platzminen, Larven, Kotkrümel

Autoren: Dr. Paul Heydeck¹, Christine Dahms¹ und Nicola Nier²
¹ Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)
² Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE)



Biomassebildung und Qualitätsentwicklung junger Robinien-Stockausschlagbestände



Christian A. Lange¹, Dirk Knoche¹, Jan Engel² & Robin Hanschke¹

Brandenburg – Ein Robinienland?

- Robinienbestände nehmen bundesweit etwa 35.000 Hektar Holzbodenfläche ein, davon entfallen 2/3 auf das Land Brandenburg
- FIB e.V. und LFE bearbeiten seit dem Jahr 2009 Fragen zur Verjüngung und waldbaulichen Behandlung dieser klimatoleranten und sehr leistungsstarken Zukunftsbaumart

Zielstellung

Feinstuerung der Biomassewachstums und Stabilisierung der stamm zahlreichen Aufwüchse durch eine frühzeitige Begünstigung von gut veranlagten Plusbäumen aus Stockausschlag und Wurzelbrut

➔ Wertoptimierte Bewirtschaftung in kurzen Produktionszyklen

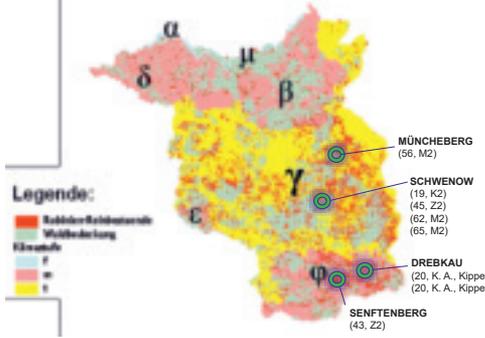


Abbildung 1: Waldbestände mit Robinienanteil (rot), Klimastufen sowie Lage der 9 Versuchsflächen (Alter der Ausgangsbestände 2009/Nährkraftstufe) in Brandenburg



Abbildung 2: Plusbaum in 7-jährigem Robinienbestand - Standort Drebkau

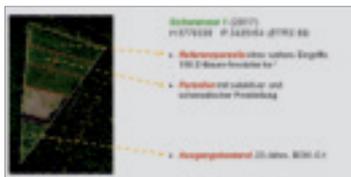


Abbildung 3: Versuchsflächendesign am Beispiel der FastWOOD-Modellfläche Schwelow 1 (Juni 2017)

Modellflächen und Bestandes-Chronologie

- Winter 2008/2009: Anlage von 9 Modellflächen in den regionalen Anbauschwerpunkten (Abb. 1) nach vollflächiger Nutzung der Ausgangsbestände mit 20, 40 und 60 Jahren
- Etablierung verschiedener Bewirtschaftungsvarianten (0,3 bis 1,0 ha, Abb. 3)
- ab 2009: jährliche Zuwachsermittlung über allometrische Biomassefunktionen
- seit 2013: Begünstigung von maximal 150 förderungswürdigen Plusbäumen je Hektar durch einmalige Entnahme aller Bedränger im Radius von 1,7 m, Wuchsabgleich mit der unbehandelten Referenzparzelle

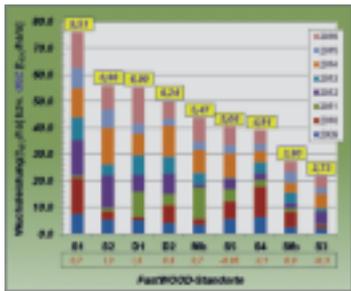


Abbildung 4: Jährlicher Biomassezuwachs [t_{dry}/ha] bzw. dGZ_B [$t_{dry}/ha/a$] der neun Robinienbestände im Zeitraum 2009 -2016
Hinweis: Angaben in einer Farbe auf der Abszisse entsprechen der im Wachstumsjahr 2016 erreichten Ertragsbonität nach Lockow & Lockow (2015)

Biomasseentwicklung - GWL_B und dGZ_B

- Nach acht Aufwuchsjahren: durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs an Biomasse - dGZ_B : $\bar{\varnothing} 5,7 t_{dry}/ha/a$; Gesamtzuwachsleistung - GWL_B : 21,8 bis 76,1 t_{dry}/ha
- Ab dem 5. Jahr nähert sich die anfänglich stark differenzierte Zuwachsleistung der Bestände einander an
- „Gewachsene“ Waldstandorte (S1, S2, S3, S4, S5, Mb) und Rekultivierungsflächen des Braunkohlenbergbaus (D1, D2, Sfb) zeigen eine vergleichbare Wuchsleistung und -dynamik
- Die relative Oberhöhenbonität der Verjüngungsbestände folgt dem Ertragsniveau der Ausgangsbestockungen

Tabelle 1: Vergleich der Bonität des jeweiligen Ausgangsbestandes (ET ERTEL 1952) und der im achten Standjahr erreichten Bonität (ET LOCKOW & LOCKOW 2015) des Folgebestandes

Standort	Ausgangsbestand		Folgebestand	
	Bonität (2009)	Oberhöhe [m] WJ 2016	Bonität (2016)	Oberhöhe [m] (2016)
Alter der Ausgangsbestände: 20 Jahre				
Schwenow 1 (S1)	-0,1	12,3	0,7	
Drebkau 1 (D1)	1,6	11,1	1,5	
Drebkau 2 (D2)	11,7	9,3	11,6	
Alter der Ausgangsbestände: 40 Jahre				
Schwenow 2 (S2)	11,3	11,5	1,3	
Schwenow 3 (S3)	111,0	7,9	111,3	
Senftenberg (Sfb)	111,0	9,4	11,0	
Alter der Ausgangsbestände: 60 Jahre				
Schwenow 4 (S4)	0,3	10,2	11,1	
Schwenow 5 (S5)	0,1	13,7	-0,05	
Müncheberg (Mb)	0,7	12,3	0,7	
MitteWaldstandorte	1,1	11,3	1,3	
MitteKippenstandorte	11,4	9,9	11,0	
MitteLila Flächen	1,5	10,9	1,6	

Hinweis: Die Folgebestände auf Rekultivierungsflächen des Lausitzer Braunkohlenbergbaus sind kursiv gesetzt: Drebkau 1 (D1), Drebkau 2 (D2) und Senftenberg (Sfb)

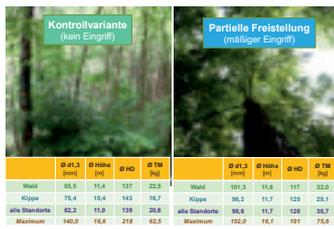


Abbildung 5: Kontrollvariante ohne Eingriffe (links) und Parzelle mit f freigestelltem Plusbaum (rechts) am Standort Schwelow 5

Frühzeitige Pflegeeingriffe zur Wertholzerziehung

- die Freistellung der Plusbäume im Jahr 2013 ergibt gegenüber der unbehandelten Referenzvariante ein um $\bar{\varnothing} 21\%$ höheres Dickenwachstum, während sich das Höhenwachstum kaum verändert; der individuelle Biomassezuwachs nimmt um $\bar{\varnothing} 49\%$ zu,
- dadurch verringert sich das Höhen-/Durchmesser-Verhältnis, die so begünstigten Wertholzträger zeigen eine höhere Stabilität,
- aber: zu starke Freistellung erhöht Risiko starker Schaftrümmungen unmittelbar nach dem Eingriff
- ohne Eingriff: höhere Geradschaftigkeit sowie Tendenz zu höher angesetzten Kronen ($\bar{x}_{Kron} = 3,73$ m gegenüber $\bar{x}_{Kron} = 3,33$ m) und somit längeren astfreien Schäften infolge stärkerer intraspezifischer Konkurrenz.

Fazit & Ausblick

- Das Biomassewachstum in den jungen Robinienbeständen differenziert in Abhängigkeit der Standortgüte; für die ersten acht Aufwuchsjahre beträgt der durchschnittliche Gesamtzuwachs (dGZ_B) an Biomasse im Mittel aller Standorte fast $6 t_{dry}/ha/a$
- Eine frühe Jungbestandspflege erscheint angesichts der hohen Wuchsdynamik lohnenswert: Bereits die einmalige Freistellung von förderungswürdigen Plusbäumen stimuliert den Biomassezuwachs und verbessert die Stabilität des Einzelbaumes bei guter Qualitätsentwicklung

¹ Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB), Brauhausweg 2, 03238 Finsterwalde
² Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde



FNR-Verbundvorhaben FastWOOD III
Teilprojekt 6 (FKZ: 22000914)
Teilprojekt 7 (FKZ: 22001014)

In der Eberswalder Forstlichen Schriftenreihe sind bisher erschienen

- SCHULZ, P.M. : Biographie Walter Pfalzgraf, des ersten Leiters des Zentralforstamtes in der Sowjetischen Besatzungszone von 1945–1948. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 1. ISBN 3-933352-02-9
- MILDNER, H.; SCHWARTZ, E.: Waldumbau in der Schorfheide, zum Andenken an Oberlandforstmeister Dr. phil. Erhard Hausendorff. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 2. ISBN 3-933352-06-1
- HEINSDORF, D. et al.: Forstliche Forschung im Nordostdeutschen Tiefland (1992–1997). Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 3. ISBN 3-933352-07-X
- HOLLENDER, H. et al.: Planung der Waldentwicklung im Land Brandenburg, Vorträge zur Fachtagung am 4. November 1998 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 4. ISBN 3-933352-10-X
- KÄTZEL, R. et al.: Forstsaatgutprüfung in Eberswalde 1899–1999, Grundlage für eine nachhaltige Forstwirtschaft. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 5. ISBN 3-933352-12-6
- HEINSDORF, D.: Das Revier Sauen – Beispiel für erfolgreichen Waldumbau. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 6. ISBN 3-933352-22-3
- HÖPPNER, K. et al.: Ökologische und ökonomische Gesichtspunkte der Waldbewirtschaftung im südlichen Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 7. ISBN 3-933352-24-X
- KRAUT, H.; MÖCKEL, R.: Forstwirtschaft im Lebensraum des Auerhuhns, ein Leitfaden für die Waldbewirtschaftung in den Einstandsgebieten im Lausitzer Flachland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 8. ISBN 3-933352-23-1
- KÄTZEL, R. et al.: Die Birke im Nordostdeutschen Tiefland; Eberswalder Forschungsergebnisse zum Baum des Jahres 2000. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 9. ISBN 3-933352-30-4
- Abteilung Forstwirtschaft des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Landeswaldbericht 1997 und 1998, mit einem Sonderkapitel zur Naturalplanung in Brandenburg. (Sonderband) Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 10. ISBN 3-933352-31-2
- JOACHIM, H.F.: Die Schwarzpappel (*Populus nigra* L.) in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 11. ISBN 3-933352-32-0
- BRUECK, C. : Zertifizierung von Forstbetrieben. Beiträge zur Tagung vom 5. November 1999 in Fürstenwalde/Spree (Brandenburg). Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 12. ISBN 3-933352-34-7
- HEINSDORF, D.; BERGMANN, J.H.: Sauen 1994 – ein gelungener Waldumbau Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 13. ISBN 3-933352-35-5
- Abteilung Forstwirtschaft des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Landeswaldbericht 1999 mit einem Sonderkapitel ,Regionaler Waldbericht für die Zertifizierung der Waldbewirtschaftung in Brandenburg. (Sonderband) Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 14. ISBN 3-933352-37-1
- RIEK, W. et al.: Funktionen des Waldes und Aufgaben der Forstwirtschaft in Verbindung mit dem Landschaftswasserhaushalt. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 15. ISBN 3-933352-47-9
- MÜLLER, J. et al.: Privatwald in Brandenburg – Entwicklung, Rahmenbedingungen und aktuelle Situation. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 16. ISBN 3-933352-48-7
- AUTORENKOLLEKTIV: Die Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* [L.] GAERTN.) im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 17. ISBN 3-933352-52-5
- AUTORENKOLLEKTIV: Zertifizierung nachhaltiger Waldbewirtschaftung in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 18. ISBN 3-933352-53-3
- RIEK, W.; STÄHR, F. et al.: Eigenschaften typischer Waldböden im Nordostdeutschen Tiefland unter besonderer Berücksichtigung des Landes Brandenburg – Hinweise für die Waldbewirtschaftung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 19. ISBN 3-933352-56-8
- AUTORENKOLLEKTIV: Kommunalwald in Brandenburg – Entwicklung, Rahmenbedingungen und aktuelle Situation. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 20. ISBN 3-933352-57-6
- AUTORENKOLLEKTIV: Naturverjüngung der Kiefer – Erfahrungen, Probleme, Perspektiven. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 21. ISBN 3-933352-58-4
- MÜLLER, J. et al.: Die zweite Bundeswaldinventur (BWII2) – Ergebnisse für Brandenburg und Berlin. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 22. ISBN 3-933352-59-2
- AUTORENKOLLEKTIV: Zukunftsorientierte Waldwirtschaft: Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 23.
- HOFMANN, G.; POMMER, U.: Potentielle Natürliche Vegetation von Brandenburg und Berlin mit Karte im Maßstab 1 : 200 000. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 24. ISBN 3-933352-62-2
- AUTORENKOLLEKTIV: Aktuelle Ergebnisse und Fragen zur Situation der Eiche und ihrer Bewirtschaftung in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 25. ISBN 3-933352-63-0

Wissenstransfer in die Praxis, Tagungsband zum 1. Eberswalder Winterkolloquium am 2. März 2006. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 26. ISBN 3-933352-64-9

Die Schwarz-Pappel, Fachtagung zum Baum des Jahres 2006. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 27. ISBN 3-933352-63-0

Naturschutz in den Wäldern Brandenburgs Beiträge der Naturschutztagung vom 2. November 2006 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 28. ISBN 3-933352-97-8

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum zweiten Winterkolloquium am 1. März 2007 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 29.

AUTORENKOLLEKTIV: Waldwachstumskundliche Grundlagen für eine effektive Waldbewirtschaftung, Zum 100. Geburtstag von Professor Dr. habil. Werner Erteld. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 30.

AUTORENKOLLEKTIV: 100 Jahre Naturschutzgebiet Pläsefenn. Ein Beispiel für erfolgreiches Zusammenwirken von Forstwirtschaft und Naturschutz. Tagungsband zur Tagungs- und Exkursionsveranstaltung vom 11. – 12. Mai 2007 in Chorin. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 31.

AUTORENKOLLEKTIV: Die Kiefer im Nordostdeutschen Tiefland. Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 32.

Wald, Forstwirtschaft, Förster und Gesellschaft - Wälder schaffen Wachstum und sichern Lebensgrundlagen. Tagungsbericht der gemeinsamen Forstpolitischen Jahrestagung vom 14. Juni 2007 in Paaren/Glien. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 33.

GROSS, J.: Waldfunktionen im Land Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 34.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum dritten Winterkolloquium am 28. Februar 2008 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 35.

Biodiversität-Lebensversicherung des Waldes – Tagungsband zur gemeinsamen Jahrestagung des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz und des Brandenburgischen Forstvereins e. V. am 24.04.2008. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 36.

Hohenlubbichow: Naturgemäße Waldwirtschaft zwischen Verklärung und Realität – Natur- und Landschaftsschutz im Gebiet um Bellinchen/Bielinek und Hohenlubbichow/Lubiechów Górny. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 37.

HEINSDORF, D.; KRAUSS, H.H.: Herleitung von Trockenmassen und Nährstoffspeicherungen in Buchenbeständen.

HOFMANN, G. et al.: Wildökologische Lebensraumbewertung für die Bewirtschaftung des wiederkäuenden Schalenwildes im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 39.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum vierten Winterkolloquium am 26. Februar 2009 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 40.

LOCKOW, K.W.: Die Hainbuche im nordostdeutschen Tiefland-Wuchsverhalten und Bewirtschaftungshinweise. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 41.

AUTORENKOLLEKTIV: Risikomanagement im Forstbetrieb. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 42.

AUTORENKOLLEKTIV: Die Douglasie im nordostdeutschen Tiefland. Chancen und Risiken in Klimawandel. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 43.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum fünften Winterkolloquium am 25. Februar 2010 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 44.

AUTORENKOLLEKTIV: Aktuelle Beiträge zur Wildökologie und Jagdwirtschaft in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 45.

AUTORENKOLLEKTIV: Naturnahe Waldwirtschaft-Dauerwald heute? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 46.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum sechsten Winterkolloquium am 24. Februar 2011 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 47.

AUTORENKOLLEKTIV: Technik für den Wald – Eine Retrospektive zur Entwicklung der forstlichen Verfahrenstechnik und Mechanisierung in der DDR. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 48.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum siebten Winterkolloquium am 23. Februar 2012 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 49.

Nachhaltige Waldbewirtschaftung – Realität oder visionärer Anspruch? Tagungsband zur gemeinsamen Jahrestagung mit dem Brandenburgischen Forstverein e. V. am 10. Mai 2012 in Rangsdorf. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 50.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum achten Winterkolloquium am 21. Februar 2013 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 51.

HEINSDORF, D.: Zur Entwicklung und waldökologischen Bedeutung von neun Baumarten bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung auf trockenen Sandstandorten Ergebnisse einer Langzeitstudie (1968-2012) im Süden Brandenburgs (Forstrevier Preschen). Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 52.

Die Eiche – Chancen und Risiken einer Charakterbaumart im nordostdeutschen Tiefland. Tagungsband zur gemeinsamen Vortrags- und Exkursionsveranstaltung mit dem Brandenburgischen Forstverein am 23. Mai 2013 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 53.

HOFMANN, G. et al.: Die Waldvegetation Nordostdeutschlands. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 54.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum neunten Winterkolloquium am 27. Februar 2014 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 55.

Biomasseschätzung für Wälder mittels Fernerkundung und Modellierung - Ergebnisse des deutsch-polnischen Verbundprojekts „ForseenPOMERANIA“

Szacowanie biomasy leśnej za pomocą teledetekcji i modelunku - Wyniki projektu zrealizowanego w ramach współpracy polsko-niemieckiej „ForseenPOMERANIA“. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 56.

Wald-Monitoring-Konzeption des Landes Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 57.

Erhaltung und nachhaltige Nutzung forstlicher Genressourcen. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 58.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum 10. Winterkolloquium am 19. Februar 2015 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 59.

Waldbodenbericht Brandenburg. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a (Band 1). Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 60.

Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 61.

Wissenstransfer in die Praxis-Beiträge zum 11. Winterkolloquium am 25. Februar 2016 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 62.

30 Jahre forstliches Umweltmonitoring in Brandenburg. Beiträge zur Fachtagung am 6. und 7. Juli 2016 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 63.

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Landwirtschaft
des Landes Brandenburg**

Landesbetrieb Forst Brandenburg
Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde

Alfred-Möller-Straße 1
16225 Eberswalde
Telefon: 0 33 34 / 2759 100
Telefax: 0 33 34 / 2759 206
E-Mail: lfe@lfb.brandenburg.de
Internet: www.forst.brandenburg.de

**WALDWIRTSCHAFT
ABER NATÜRLICH**