



LAND  
BRANDENBURG

Ministerium für Ländliche  
Entwicklung, Umwelt und  
Landwirtschaft

EFS 62

Forstwirtschaft  
und Jagd



Eberswalder Forstliche Schriftenreihe  
Band 62

## Wissenstransfer in die Praxis

Beiträge zum 11. Winterkolloquium  
am 25. Februar 2016 in Eberswalde





Eberswalder Forstliche Schriftenreihe  
Band 62

## **Wissenstransfer in die Praxis**

Beiträge zum 11. Winterkolloquium  
am 25. Februar 2016 in Eberswalde

# FORSTWIRTSCHAFT IN DEUTSCHLAND

## Vorausschauend aus Tradition

### Impressum

- Herausgeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung,  
Umwelt und Landwirtschaft  
des Landes Brandenburg
- Redaktion: Jan Engel, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde
- Titelbild: Katrin Möller
- Gesamtherstellung: DRUCKZONE GmbH & Co. KG
1. Auflage: 1.200 Exemplare, gedruckt auf PEFC-Papier.
- Fotos: Von den Autoren der Beiträge, wenn nicht anders vermerkt.

Eberswalde, im Juni 2016

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

<b>Jahresrückblick auf die Arbeit des LFE im Jahr 2015</b>	
DR. MICHAEL EGIDIUS LUTHARDT .....	7
<b>Publikationen des LFE im Jahr 2015</b> .....	9
<b>Der Fall Kiefernspinner im NSG „Lieberoser Endmoräne“: Waldschutz-Risikomanagement mit Hindernissen</b>	
DR. KATRIN MÖLLER.....	13
<b>Kahlfraß der Naturverjüngung–wenig Chancen auf Erholung</b>	
ALEXANDER MENGE.....	19
<b>Dokumentation des Schadverlaufs–Einsatz von Satellitenbildern und Bügelschaber</b>	
MATTHIAS WENK .....	23
<b>Folgen für den Betrieb–Bestandesentwicklung nach Kahlfraß mit und ohne forstlichen Eingriff</b>	
FRANK PASTOWSKI, MATTHIAS WENK .....	27
<b>Bläuepilze und Holzentwertung–Untersuchungen zum Schadverlauf im Kahlfraßgebiet</b>	
DR. PAUL HEYDECK.....	31
<b>Konsequenzen für den Wirtschaftler–Sekundärschädlinge, Sanitärhiebe und waldbauliche Pläne</b>	
ARNE BARKHAUSEN, LWOB F PEITZ.....	37
<b>Betriebswirtschaftliche Verluste–Schadensbewertung nach Kahlfraß</b>	
DR. ANNETT DEGENHARDT .....	41
<b>„Tollkühne Männer in ihren fliegenden Kisten“– Ein historischer Exkurs in die Anfänge der aviotechnischen Pflanzenschutzmittel-Applikation</b>	
INES HÖHNE .....	53
<b>Moderne Fernerkundungsverfahren–Nutzen für Waldschutz und Waldbau in der Praxis</b>	
OLAF RÜFFER, ALEXANDER MARX, MATTHIAS WENK, TORSTEN HASS .....	59
<b>Vielfalt kontra Kahlfraß? Zum Einfluss der Bestandesstruktur auf die Fraßintensität der Nonne (<i>Lymantria monacha</i> L.) in Brandenburg – Ergebnisse aus dem Waldklimafonds-Projekt „DSSRiskMan“</b>	
DR. RAINER HENTSCHEL, ALINE WENNING, DR. JENS SCHRÖDER.....	69
<b>Rückkehr eines Provokateurs: Was steuert die Ausbreitungsdynamik des Eichenprozessionsspinners in Brandenburg? - Ergebnisse aus dem Waldklimafonds-Projekt „WAHYKLAS“</b>	
DR. JENS SCHRÖDER, ALINE WENNING, DR. RAINER HENTSCHEL.....	77
<b>Ausgewählte Posterdarstellungen</b> .....	89
<b>Bisher erschienene Bände der Eberswalder Forstlichen Schriftenreihe</b> .....	95



## Das Jahr 2015 – Rückblick – Weitblick – Ausblick

DR. MICHAEL EGIDIUS LUTHARDT

### Sehr geehrte Leserin, sehr geehrte Leser,

dem Wald in Brandenburg geht es gut. Diese Botschaft verkündeten wir am Jahresende bei der Präsentation des Waldzustandberichts. Die Zahlen aus der Waldzustandserhebung belegen das, denn besonders der Kiefer geht es gut, auch der Buche und mit Abstrichen der Eiche. Besonders die Kiefer, der vielgerühmte und manchmal auch mit negativen Attributen bedachte Brotbaum der Mark Brandenburg, zeigt ein ungebremstes Wachstum und reichert damit auch jährlich neues Holz an. Dieses Holz können wir sehr gut nutzen – im Landeswald und in allen anderen Besitzarten.

Doch diese Botschaft alleine kann nicht so stehen bleiben. Wir wissen aus den langjährigen Datenreihen der forstlichen Umweltkontrolle, dass dies ein durchaus fragiler Zustand ist, wir uns nach wie vor auf dünnen Eis bewegen. Gerade in Brandenburg haben wir deutschlandweit ein sehr hohes Risiko bei der Waldbewirtschaftung zu managen. Das betrifft besonders die tierischen und pilzlichen Schaderreger. Auch wenn sich mit Kiefernspinner und Nonne augenblicklich die gefährlichsten Kiefernadelfresser in einer Latenzphase befinden, ist jederzeit wieder mit größeren Waldschäden zu rechnen. Das gilt besonders für die Befallsgebiete des Eichenprozessionsspinners. Und auch das Waldbrandrisiko befindet sich hier nach wie vor auf dem höchsten Level im europäischen Maßstab. Und dass wir schon mitten im Klimawandel sind, ist an Hand unserer Datenreihen sehr eindrucksvoll belegbar.

Das LFE ist nach wie vor am Puls des Waldes. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erheben täglich viele Daten, die den augenblicklichen Gesundheitszustand des Waldes charakterisieren und berechnen daraus Szenarien für die Zukunft. Wir haben dabei das Glück, auf sehr lange Zeitreihen zurückgreifen zu können. Bei der forstlichen Umweltkontrolle beginnen sie vor 30 Jahre, beim Waldschutz noch früher. Dazu kommen unsere forstlichen Versuchsflächen, welche teilweise länger als 100 Jahre unter Beobachtung stehen.

Ein Grund für die relativ geringen Schäden in den vergangenen Jahren ist auf jeden Fall die gute Überwachung, welche besonders im Waldschutz durch das Forstpersonal auf den Waldflächen durchgeführt wird. Diesem Thema hat sich in diesem Jahr ganz speziell unser 11. Winterkolloquium gewidmet. Erstmals haben wir mit dem Waldschutz ein Schwerpunktthema gesetzt und auch einen Praktiker zu Wort kommen lassen. Die Vorträge, welche in diesem Heft nachzulesen sind, spiegeln eindrucksvoll den hohen Standard auf diesem Gebiet wieder.

Doch wir wissen auch, dass dieser immer wieder neu erarbeitet werden muss. Besonders immer wieder neue Herausforderungen im Bereich Einsatz von Pflanzenschutzmitteln machen die Arbeit nicht leichter. Und auch sich neu abzeichnende Umstrukturierungen in der Forstverwaltung und Personalabbau sind Dinge, die das LFE direkt berühren.

Auch in den anderen Bereichen des LFE wurden im Jahr 2015 sehr gute Leistungen erbracht. Mit dem Band 1 des brandenburgischen Waldbodenberichtes (Bd. 60 der Eberswalder Forstlichen Schriftenreihe) wurde eine erste umfassende Auswertung der *Zweiten Bodenzustandserhebung* (BZE 2 und BZE 2a) vorgelegt. Die Auswertungen konzentrierten sich zunächst auf Fragen der zunehmenden Bodenversauerung und nachhaltigen Nährstoffversorgung der brandenburgischen Waldstandorte. Szenarische „Input-Output-Bilanzen“ haben sich als adäquates Mittel erwiesen, um im Sinne des vorsorgenden Bodenschutzes regionalspezifisch Empfehlungen zur ressourcenschonenden Nutzung zu generieren.

Auf der Grundlage des im Jahre 2014 vorgestellten Konzeptes zum forstlichen Umweltmonitoring erschien im Jahre 2015 erstmals ein Waldmonitoringbericht zur Situation des Brandenburger Waldes und seiner Einflussfaktoren. Gleichfalls wurde ein neues Konzept zur Erhaltung forstgenetischer Ressourcen erarbeitet und im Rahmen der Eröffnung des ersten Generhaltungswaldes in den Traubeneichenbeständen der Stiftung Neuzelle der Öffentlichkeit vorgestellt. Die Überprüfung aller bisher ausgewiesenen Generhaltungsobjekte im Landeswald wurde entsprechend den Konzeptkriterien in Zusammenarbeit mit der Forsteinrichtung abgeschlossen.

Vor dem Hintergrund des Eschensterbens wurden in Zusammenarbeit mit dem Waldschutz potenziell resistente Eschen in den Bundesländern Brandenburg und Mecklenburg selektiert, vegetativ vermehrt und in drei Klonarchiven gesichert. Im Norden, in der Mitte und im Süden Brandenburgs wurden vier Versuchsflächen eines europäischen Eichenherkunftsversuches angelegt. Hier soll u.a. die Klimaanpassung vornehmlich südosteuropäischer Herkünfte der Trauben-Eiche gegenüber Brandenburger Herkünften verglichen werden.

Im Rahmen der Naturwaldforschung wurden zwei Monitoringflächen im Naturwald Kreuzbruch (Alt: Hainholz an der Stepenitz) neu aufgenommen.

Das Drittmittel-Verbundprojekt des BMEL zur genetischen und physiologischen Differenzierung gebietsheimischer Sträucher (Hasel und Schlehe) wurde im Herbst 2015 mit einem Abschlussbericht und einer Abschlussveranstaltung im LFE beendet. Gleichfalls startete die dritte Phase des Projektes „FastWood“ zur Genetik und Stresstoleranz der Robinie.

Die Arbeit der wildökologischen Forschungsstelle war 2015 von der kontinuierlichen Weiterbearbeitung der ihr seitens des Landesbetriebes Forst Brandenburg und der Obersten Jagdbehörde des MLUL übertragenen Aufgaben sowie durch die Initialisierung neuer Schwerpunkte geprägt. Beispielsweise wurde mit dem Jagdbericht 2014/2015 bereits zum zehnten Mal über die Aktivitäten im Jagdwesen des Landes Brandenburgs berichtet. Zu den Ergebnissen der

Erfolgskontrolle an den Grünbrücken Brandenburgs über die Autobahnen A 9, 12 und 13 gibt der jährliche Grünbrückenbericht Auskunft. Darüber hinaus erfolgten vor dem Hintergrund hoher Wildschäden und drohender Afrikanischer Schweinepest Aktivitäten zur Untersuchung des Einsatzes von Frischlingsfängen mit dem Ziel der Reduzierung von Schwarzwildbeständen im Nordosten Brandenburgs.

Wichtige Veranstaltungen waren am 19. Februar 2015 das „10. Eberswalder Winterkolloquium“ mit 200 Teilnehmern aus Praxis und Wissenschaft und am 1. und 2. Oktober 2015 mit 140 Teilnehmern die vielbeachtete Praxis-Tagung „Waldmanagement im Klimastress 2.0“ in Kooperation mit der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) und des Thünen-Instituts. Wieder präsentierte sich der LFB mit einem Messesstand auf der Brandenburgischen Landwirtschaftsausstellung mit rund 37.000 Gästen.

Mit drei Bänden der Eberswalder Forstlichen Schriftenreihe erreichte das LFE einen breiten Leserkreis aus Praxis und Wissenschaft.

- **Band 59:**  
Wissenstransfer in die Praxis – Tagungsband zum 10. Eberswalder Winterkolloquium
- **Band 60:**  
Waldbodenbericht Brandenburg. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE 2-a. Band 1
- **Band 61:**  
Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (Heterobasidion annosum) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs

Aus der Reihe „Informationen für Waldbesitzer“ erschienen die Faltblätter „Stammschädlinge an Nadelbäumen“ und „Der Kiefernspinner“.

In der auflagenstärksten bundesdeutschen Forst-Zeitschrift AFZ-Der Wald waren LFE-Autoren mit sechs Fachbeiträgen vertreten.

Im Internet-Portal [www.waldwissen.net](http://www.waldwissen.net), mit monatlich mehr als 60.000 Nutzern, wurden fünf Beiträge veröffentlicht, 42 Beiträge des LFE sind insgesamt online verfügbar.

Zudem wurden 18 Forst-Pressemitteilungen vom LFE erarbeitet bzw. sind unter maßgeblicher Beteiligung des LFE entstanden. Die gute Medienresonanz auf LFE-Themen zeigte sich in fünf Fernseh-Beiträgen, 16 Presseartikeln und acht Radiointerviews.

Nach wie vor werden viele Anfragen von Revier- und Oberförstern, aber auch privaten und kommunalen Waldbesitzern, an das Fachgebiet Waldbau heran getragen. Hier werden Auskünfte erteilt, aber auch direkte Flächenbegehungen praktiziert.

Das Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde ist somit immer direkt dran an den Problemen der Waldbewirtschaftung in Brandenburg. Unser Wissenstransfer ist eine stabile Brücke in die Praxis. Dass dies möglich ist und hoffentlich auch so bleiben wird, dafür danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie unseren Partnern „auf der Fläche“.

**Dr. Michael Egidius Luthardt**

*Leiter Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE)*

# Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde Publikationen 2015

## Forstpolitik, Planung und Betriebswirtschaft

LUTHARDT, M. E.; MÜLLER, J. (2015):

**Kolloquium in Eberswalde – Waldinventur von Hartig bis heute.**

AFZ-Der Wald 3/2015: 18.

ROSE, B. (2015):

**Dynamisches Forsteinrichtungsverfahren in Brandenburg**

AFZ-Der Wald 3/2015: 24–27.

MÜLLER, J.; KEIL, D. (2015):

**Waldinventuren in der Region Brandenburg und Berlin.**

AFZ-Der Wald 3/2015: 28–31.

KEIL, D. (2015):

**Der schnelle Überblick – Walddaten für die Region Brandenburg und Berlin im Ländervergleich.**

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 19–24.

MÜLLER, J. (2015):

**Wohin wächst der Wald? Ergebnisse der ersten Wiederholungsinventur für die Region Brandenburg und Berlin.**

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 25–30.

JANDER, A. (2015):

**Testbetriebsnetz Forstwirtschaft des BMEL in Brandenburg – Ergebnisse für 2013.**

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 106–107.

JANDER, A. (2015):

**Testbetriebsnetz Brandenburg – Ergebnisse Einzelwaldbesitz (EWB) zum Berichtsjahr 2012/2013.** Broschüre.

JANDER, A. (2015):

**Testbetriebsnetz Brandenburg - Ergebnisse Forstliche Zusammenschlüsse (FBG) zum Berichtsjahr 2012/2013.** Broschüre.

## Waldbau/Waldwachstum

HAUK, S.; SKIBBE, K.; RÖHLE, H.; SCHRÖDER, J.; WITTKOPF, S.; KNOKE, T. (2015):

**Nondestructive Estimation of Biomass Yield for Short-Rotation Woody Crops Is Reliable and Shows High Yields for Commercial Stands in Bavaria.**

BioEnergy Research 8 (3): 1401–1413.

SCHRÖDER, J. (2015):

**Zum Einfluss der Witterung auf Wuchsverhalten und Vitalität der Trauben-Eiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.).** Ulmer Verlag / Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt Nr. 34.

## Waldschutz

DAHMS, C.; GLANTE, K.; HEYDECK, P.; REIBEHOLZ, D. (2015):

**Zur Intensität des Eschentriebsterbens an Straßenbäumen im nordostdeutschen Tiefland.** Poster zum 10. Winterkolloquium des LFE am 19.02.2015 in Eberswalde. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 105.

HEYDECK, P.; DAHMS, C. (2015):

**Wurzelbürtige Pilze als Krankheitserreger an Waldbäumen** In: Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61: 7–11.

HEYDECK, P.; DAHMS, C. (2015):

**Der Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum sensu lato*).** In: Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61: 12–22.

HEYDECK, P.; DAHMS, C. (2015):

**Wissenschaftliche Untersuchungen zur Wurzelschwamm-Problematik in Brandenburg.** In: Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61: 23–30.

HEYDECK, P.; DAHMS, C. (2015):

**Prüfung von Verfahren zur Abwehr des Wurzelschwammes in Kiefernbeständen auf Lausitzer Kippenstandorten.** In: Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61: 37–43.

HEYDECK, P.; HIELSCHER, K.; DAHMS, C. (2015):

**Ein neues Krankheitsbild an *Coloradotanne* in Brandenburg.**

AFZ-Der Wald 2/2015: 11–14.

HEYDECK, P.; KNOCHE, D. (2015):

**Ein Ausblick zur Wurzelschwamm-Prophylaxe – neue Behandlungsstrategie.** In: Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61: 62–63.

HEYDECK, P.; KNOCHE, D.; DAHMS, C.; BORN, B.; ERTLE, C.; RAKEL, T.; BIELER, T.; SAUERMAN, J.; DUHR, M. (2015): **Die harvestergestützte Stubbenbehandlung zur Abwehr des Wurzelschwammes in Kiefernbeständen auf Kippenstandorten Südbrandenburgs.** In: Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61: 44–50.

HEYDECK, P.; KNOCH, D.; DAHMS, C.; ERTLE, C.; RAKEL, T.; BIELER, T.; DUHR, M. (2015):

**Prophylaktische Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum* [Fr.] Bref.) im Bundesland Brandenburg**  
Poster, 56. Österreichische Pflanzenschutztag, 24.–25.11.2015, Rust am Neusiedler See. Abstract in Tagungsband: 39–40.

HEYDECK, P.; MÖLLER, K. (2015):

**Risikopotenzial und aktuelle Gefährdung der Douglasie – biotische und abiotische Faktoren** In: Die Douglasie im Spannungsfeld von Forstwirtschaft und Naturschutz. Vortragsstagung der Stiftung Redernswalde am 13.11.2014 in Eberswalde, Tagungsband, Stiftung Redernswalde: 16–31.

KNOCH, D.; LEGE, D. C.; HEYDECK, P. (2015):

**Lohnt eine präventive Stubbenbehandlung? Zur Rentabilität der Kiefernwirtschaft auf Rekultivierungsflächen.** In: Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61: 56–61.

HIELSCHER, K. (2015):

**Holz- und rindenbrütende Käfer als Forstschädlinge an Nadelbäumen.**  
Informationen für Waldbesitzer, 3. überarbeitete Auflage, Hrsg. MLUL.

MARX, A.; MÖLLER, K.; WENK, M. (2015):

**RapidEye-Waldschutzmonitoring in Brandenburg.** AFZ-Der Wald 11/2015: 40–42.

MÖLLER, K.; HEYDECK, P.; HIELSCHER, K.; DAHMS, C.H.; WENK, M. (2015):

**Waldschutzsituation 2013/2014 in Brandenburg und Berlin.** AFZ-Der Wald 7/2015: 42–45.

MÖLLER, K. (2015):

**Nur ein toter Baum ist ein guter Baum – Das Ende der Multifunktionalität des Waldes?** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 70–78.

MÖLLER, K. (2015):

**Nur ein toter Baum ist ein guter Baum – Das Ende der Multifunktionalität des Waldes?** www.waldwissen.net

MÖLLER, K. (2015):

**Der Kiefernspinner.** Information für Waldbesitzer. 2. überarbeitete Auflage, MLUL, Sonderdruck.

## Waldökologie

RÜFFER, O. (2015):

**Der „Faule Ort“ – Erkenntnisse zur natürlichen Waldentwicklung in einem Brandenburger Naturwald.** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 59: 55–69.

## Bodenkunde

FRÜH, L., RIEK, W., HANNEMANN, J., KALLWEIT, R. (2015):

**Kennwerte der Bodenlösung auf forstlichen Dauerbeobachtungsflächen: Gibt es Hinweise für langfristige Veränderungen?** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 102.

FRÜH, L., RIEK, W., HANNEMANN, J., KALLWEIT, R. (2015):

**Bodenchemie: Gibt es langfristige Veränderungen in Brandenburgs Wäldern? Online-Veröffentlichung auf Waldwissen.net – Informationen für die Forstpraxis.** [http://www.waldwissen.net/wald/boden/lfe\\_bodenloesung/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/wald/boden/lfe_bodenloesung/index_DE)

HANNEMANN, J., LÖFFLER, S., RIEK, W. (2015):

**Mögliche Einflüsse ausgewählter Standortmerkmale auf die Trockenstressreaktionen von Eichen.** In: „Unsere Böden - Unser Leben“, DBG e-prints. <http://www.dbg.de>

HANNEMANN, J., LÖFFLER, S., BECKER, F., RUSS, A., RIEK, W. (2015):

**Betrachtungen zum Bodenwasserhaushalt für die Ursachenermittlung der Eichenschäden in Brandenburg.** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 103.

KALLWEIT, R., RIEK, W. (2015):

**Klimawandel – Ein unkalkulierbares Risiko für unsere Wälder. In: Risikomanagement bei der Waldbewirtschaftung.** Landesbetrieb Forst Brandenburg, Geschäftsbericht 2014: 18–21.

RIEK, W., HANNEMANN, J., FRÜH, L., RUSS, A., WALLOR, E. (2015):

Im „Internationalen Jahr der Böden 2015“: Forschung und Monitoring für die nachhaltige Nutzung der brandenburgischen Waldböden. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 100.

RIEK, W., KALLWEIT, R. (2015):

**Unsere Waldböden – Ihr Zustand und mögliche Entwicklungsszenarien. In: Risikomanagement bei der Waldbewirtschaftung.** Landesbetrieb Forst Brandenburg, Geschäftsbericht 2014: 14–17.

RIEK, W., RUSS, A. (2015):

**Schließen von Stoffkreisläufen zur Verhinderung von Bodendegradation.** Beiträge Forum Boden-Gewässer-Wald. Bodenschutz im Wald. Heft 15: 75–92.

RIEK, W., RUSS, A. (2015):

**Nachhaltige Waldbewirtschaftung durch geschlossene Stoffkreisläufe – Brandenburgs Waldstandorte im Spiegel der zweiten bundesweiten Bodenzustandserhebung.** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 31–39.

RIEK, W., RUSS, A., HANNEMANN, J. (2015):

**Bodenzustandserhebung (BZE) im Land Brandenburg: Gibt es Hinweise für die Notwendigkeit einer Waldkalkung?** In: „Unsere Böden – Unser Leben“, DBG e-prints. <http://www.dbges.de>

RIEK, W., RUSS, A., KÜHN, D. (2015):

**Waldbodenbericht Brandenburg – Zustand und Entwicklung der brandenburgischen Waldböden. Ergebnisse der landesweiten Bodenzustandserhebungen BZE-2 und BZE-2a. Band 1.** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 60. 172 S.

TALKNER, U., RIEK, W., DAMANN, I., KOHLER, M., MEIWES, K.-J. (2015):

**Auf Substrat- und Bodeneigenschaften basierende forstliche Befundeinheiten als Auswertungsstraten für Waldernährungsdaten der BZE II.** In: „Unsere Böden - Unser Leben“. DBG e-prints. <http://www.dbges.de>

TALKNER, U., RIEK, W., DAMANN, I., KOHLER, M., MEIWES, K.-J. (2015):

**Vergleich verschiedener Bewertungssysteme für die Waldernährung anhand des bundesweiten BZE-Datensatzes.** Tagungsbericht zur Jahrestagung der Sektion Waldernährung“ des DVFFA am 06.–08.05.2015 in Schleswig. S. 27.

WALLOR, E., RUSS, A., RIEK, W. (2015):

**Forstliche Inventurflächen für Bodenuntersuchungen im Land Brandenburg.** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 59: 101.

## Genetik/Ökophysiologie

ARAVANOPOULOS, F.A., TOLLEFSRUD, M.M., GRAUDAL, L., KOSKELA, J., KÄTZEL, R., SOTO, A., NAGY, L., PILIPOVIC, A., ZHELEV, P., BOŽIC, G. AND BOZZANO, M. (2015):

**Development of genetic monitoring methods for genetic conservation units of forest trees in Europe. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN).** Bioversity International, Rome, Italy. xvi+46 p. ISBN 978-92-9255-030-1, <http://www.euforgen.org/publications/publication/genetic-monitoring-methods-for-genetic-conservation-units-of-forest-trees-in-europe>

SCHRÖDER, J.; KAMP, TH.; RIEDERER, H.-J.; KÄTZEL, R. (2015): **Der Feld-Ahorn (*Acer campestre*) in Deutschland.** AFZ-Der Wald 24/2015: 29–33.

KÄTZEL, R. (2015):

**Erhaltung der genetischen Vielfalt und Schutz seltener Baumarten in Brandenburg.** Geschäftsbericht des LFB 2014: 22–25.

KÄTZEL, R.; ZANDER, M; LÖFFLER, S. (2015):

**Wenn der Durst kommt – Eiche, Buche, Kiefer, Douglasie im Trockenstresstest.** Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 55: 40–54.

KÄTZEL, R. (2015):

**The Forest Gene Resources Program in Brandenburg (Germany) – Concept and State. Tagungsband: Genetic resources conservation – scientific and social challenges.** International scientific conference, 25th June 2015, Karpacz, Poland, S. 10.

## Wildökologie und Jagdwirtschaft

GLEICH, E.; DOBIĄS, K. (2015):

**Valuation of damage caused by wild animals in the forest of Brandenburg.**

Zimowa Szkoła Leśna przy IBL, VII Sesja, Łowiectwo w Zrównoważonej Gospodarce Leśnej; Sępkocin Stary-March 2015.

GLEICH, E. (2015):

**Distanzimmobilisation zum Zwecke der Anbringung von Senderhalsbändern-Vorgehensweise, Probleme und Erfahrungen.**

Beiträge zur Jagd-u. Wildforsch. 40: S. 57–69.

GLEICH, E. (2015):

**Methoden zur Abklärung der postnarkotischen Aktivitäten und der Gewöhnung an das Senderhalsband.**

Beiträge zur Jagd-u. Wildforsch. 40: S. 71–80.

GLEICH, E. (2015):

**Vorteile enger Ortungsintervalle bei der Arbeit mit GPS-Sendertechnik an Wildtieren.**

Beitr. zur Jagd-u. Wildforsch. 40: S. 81–88.



# Der Kiefernspinner im NSG „Lieberoser Endmoräne“ – Waldschutz-Risikomanagement mit Hindernissen

DR. KATRIN MÖLLER

## 1. Einleitung

Das nordostdeutsche Tiefland ist als Massenwechselgebiet einer Reihe von Forstschadinsekten bekannt. Unter den Bedingungen überwiegend nährstoffschwacher und gering wasserversorgter Standorte kommt es in mehr oder weniger regelmäßigen Zyklen in den großflächigen Kiefernforsten zu Gradationen nadelfressender Schadinsekten. Das betrifft Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*), Forleule (*Panolis flammea*), Nonne (*Lymantria monacha*), Kiefernspanner (*Bupalus piniaria*) und Kiefernbuschhornblattwespen (*Diprion spec.*, *Gilpinia spec.*).

## 2. Kiefernspinner und Nonne mit aktuell höchstem Gefährdungspotenzial

Für den Kiefernspinner (Abb. 1) wird das höchste Gefährdungspotenzial für Brandenburgs Kiefernwälder angenommen. Die Raupen haben einen enormen Nahrungsbedarf. Die älteren Larvenstadien fressen die Nadeln vollständig bis zum Nadelgrund, einschließlich der zwischen den Nadeln liegenden Nadelscheidenknospe. Damit ist kein Nachwachsen der Nadeln aus der Nadelscheide heraus mehr möglich, nur bei Mobilisierung der Reservestoffe kann die Kiefer dann Rosetten- oder Nadelscheidentriebe bilden (WECKWERTH 1952). Auch Knospen und Maitriebe werden gefressen. Es gibt aktuelle Beispiele für flächige Totalverluste nach Kahlfraß von Kiefernspinnerraupen (MÖLLER 2008). Die Mortalität der Kiefern liegt witterungsabhängig nach Kahlfraß zwischen 60–100 %. Der Regenerations- bzw. Absterbeprozess umfasst bis zu 4 Jahre (WENK & MÖLLER 2013). Natürliche Gegenspieler werden in der Regel erst nach intensiven Fraßereignissen wirksam, also nach u. U. großflächigen Schäden.

Der Kiefernspinner ist wärmeliebend. Es ist davon auszugehen, dass die Gradationshäufigkeit mit dem Klimawandel zunehmen wird, da sich z. B. höhere Spätsommer-Temperaturen günstig auf die Populationsentwicklung auswirken (ZIESCHE 2015).

Ebenfalls ein hohes Gefährdungspotenzial als Bestandesschädling zeigt die Nonne (Abb. 2). Sie tritt seit Jahrzehnten sehr regelmäßig großflächig in Massenvermehrung auf. Ca. alle 10 Jahre ist mit einer flächigen Bestandesgefährdung zu rechnen. Auch die Nonne ist wärmeliebend und damit mit hoher Wahrscheinlichkeit vom Klimawandel begünstigt. Sie profitiert von warmen, trockenen Frühjahren und Sommern.



Abb. 1: Raupe des Kiefernspinners, *Dendrolimus pini* (Foto: K. MÖLLER).



Abb. 2: Raupe der Nonne, *Lymantria monacha* (Foto: K. MÖLLER).

## 3. Stufige artspezifische Überwachungsverfahren sind Grundlage des Risikomanagements im Waldschutz

Die Gefährdungssituation bestimmt den hohen Aufwand für das entsprechend notwendige Risikomanagement, d. h. Maßnahmen zu Monitoring, Prognose und Bekämpfung. Prämisse für einen flächigen, also hubschraubergestützten Insektizideinsatz im Wald ist dabei der Walderhalt – d. h. für Kiefernspinner und Nonne die Prognose Kahlfraß. Den rechtlichen Rahmen bilden das Bundeswaldgesetz, das Landeswaldgesetz, das Pflanzenschutzgesetz und auch das Bundesnaturschutzgesetz. Der globale Nutzen, der Erhalt von Wald als CO<sub>2</sub>-Senke, also der Klimaschutz muss unbedingt immer Erwähnung finden.

Um den Beginn einer Massenvermehrung rechtzeitig erkennen und Bestandesschäden minimieren zu können, ist eine Überwachung der Populationsdichte der betreffenden Insektenarten zur Prognose von Populationstrends unerlässlich. Mit stufigen, artspezifischen Überwachungsver-

fahren soll mit möglichst geringem Aufwand eine möglichst treffsichere Prognose erstellt werden (MÖLLER et al. 2007, MÖLLER & HEINITZ 2016, im Druck). So liefern die jährlichen Winterbodensuchen in einem relativ großzügigen Raster für insgesamt ca. 2.500 Bestände Daten zu den Populationsdichten der im Boden überwinterten KiefernSchädlinge, d. h. für je ca. 180 ha Kiefernwaldfläche gibt es eine Information zum aktuellen Vorkommen von Kiefernspinner, Forleule, Kiefernspanner und Kiefernbuschhornblattwespen und auch deren Vitalität.

Erst bei Überschreiten eines Schwellenwertes ist im identifizierten Befallsgebiet der nächste Überwachungsschritt für den als kritisch bewerteten Schaderreger notwendig. Für den Kiefernspinner z. B. ist das die Anlage von Leimringen zur Ermittlung der Anzahl aufbaumender Raupen (Abb. 3). In den Befallsgebieten bilden dann die ermittelten Populationsdichten für je 25–50 ha die Grundlage für Entscheidungen über die Vorbereitung von Insektizidmaßnahmen. Mit Raupenzählungen bei Probefällungen kombiniert mit Kotfallmessungen lassen sich die Prognosen ergänzen bzw. evaluieren.

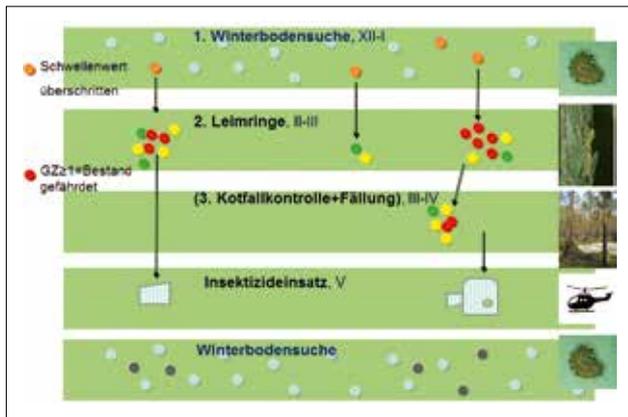


Abb. 3: Schematische Darstellung des Prinzip der stufigen Überwachung am Beispiel des Kiefernspinners, *Dendrolimus pini*.

Alle durch die Hoheitsförster erhobenen Überwachungsdaten werden in Gefährdungsziffern (GZ) umgerechnet. Die GZ berücksichtigt die kritische Zahl für die Schädlingsart in Abhängigkeit von Alter und Bonität des konkreten Waldbestandes und dessen aktueller Benadlung. Eine GZ  $\geq 1$  entspricht der Prognose Kahlfraß. Dateneingabe und Dokumentation erfolgen mit GIS-Werkzeugen (bis 2015: Spatial commander, seit 2016: WebOffice) im Intranet des Landesforstbetriebes Brandenburg. In Anlehnung an die Ampelfarben wird der prognostizierte Grad der Bestandesgefähr-

dung einheitlich dargestellt, d. h. rot signalisiert eine hohe Gefährdung (Abb. 4). Die ermittelten Gefährdungsziffern sind Basis für die Abwägung über einen Insektizideinsatz und die entsprechende Festlegung der Applikationsflächen. Eine sehr gute Hilfe sowohl für die Flächenabgrenzung bei Insektizidmaßnahmen, aber auch für die Festlegung der Bereiche, wo vorab die Überwachung intensiviert werden muss, sind seit 2013 auf Satellitenaufnahmen der Firma Black Bridge basierende GIS-Layer. Diese virtualisieren die aktuelle Nadelmasse bzw. deren Veränderung in einem vorgegebenen Zeitraum (MARX et al. 2015).

Das Waldschutz-Monitoring ist eine Voraussetzung dafür, dass der Forstbereich im Vergleich zu anderen Landnutzern Vorbild ist, was die Erreichung der im „Nationalen Aktionsplan für die nachhaltige Verwendung von Pflanzenschutzmitteln“ geforderten Ziele betrifft (notwendiges Maß, Teilapplikationen oder Officialberatung). In den vergangenen 25 Jahren konnte so selbst Brandenburg – durch den hohen Kiefernanteil im deutschlandweiten Vergleich am stärksten durch Bestandesschädlinge gefährdet – den Insektizideinsatz im Durchschnitt pro Jahr auf ca. 1 % der Waldfläche begrenzen.



Abb. 4: Beispiel für die Dokumentation der aus den Monitoringdaten 2013/2014 abgeleiteten Gefährdungsziffern, sichtbar sind auch die aus den Satellitenaufnahmen (Black-Bridge) abgeleiteten Fraßschäden vom Vorjahr, Stand März 2014, Obf. Lieberose und Cottbus (GIS: M. WENK).

#### 4. Rechtslage für eine Insektizidapplikation mit Hubschraubereinsatz 2014

Der Rahmen der Zulassung bei Insektiziden für die Applikation mit Hubschraubern wurde 2009 durch die EU neu festgelegt. In der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln ist ein grund-

Tab. 1: Rechtliche Grundlagen für die Helikopter-Einsätze in Brandenburgs Wäldern

	bis 2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 ff
Dipel ES	Zulassung	Art. 53	Art. 53	Art. 53	§18	§18 (»Art. 53)	§18 bis 2021
Karate	Zulassung (WG Forst)	Art. 53 (Forst flüssig)	Art. 53	Art. 53	§18 + Art. 53	§18 (»Art. 53)	§18 bis 2018
Dimilin	Zulassung	Zulassung	Zulassung	Zulassung	Zulassung	Verbrauch	Verbrauch bis 30.6.
neue Auflagen (Auswahl)		50 % Abstände	50 % Abstände	50 % Abstände	50 %/ATKIS NSG-Verbot Abstände	50 %/ATKIS Abstände	50 %/ATKIS (mit Öffnungsklausel) NSG: LänderEntscheidung Abstände

sätzliches Verbot von Luftfahrzeugen formuliert. Ausnahmen sind laut EG-Verordnung nur möglich, wenn keine Alternativen bestehen und eine besondere Bewertung des Risikos erfolgt. 2012 wurden im neuen Pflanzenschutzgesetz (6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148, 1281) für Deutschland als Ausnahmen für den Einsatz von Hubschraubern der Kronenraum von Wäldern und Steillagen im Weinbau festgeschrieben. Die geforderte besondere Bewertung des Risikos hat in der Folge hohe Hürden aufgebaut. Das betrifft insbesondere die Bewertung des Risikos eines Insektizideinsatzes für den Naturhaushalt durch das Umweltbundesamt.

Während der langen Wartezeit auf eine Regelung in Deutschland endeten im Forstbereich 2 der 3 für 10 Jahre geltenden Zulassungen von Insektiziden für die Luftfahrzeugapplikation. Neuanträge der Zulassungsinhaber in diesem Zeitraum waren nicht erfolgreich. Offiziell zugelassen für die Applikation von Insektiziden gegen freifressende Schmetterlingsraupen mit dem Hubschrauber waren bis 2010 Mittel aus 3 Wirkstoffsegmenten: ein selektives Bakterienpräparat (Dipel ES), ein teilselktiver Häutungshemmer (Dimilin) und ein schnell wirkendes, unselektives Kontaktinsektizid (Karate WG Forst). Damit bestand die Möglichkeit, den entsprechend guter fachlicher Praxis im Pflanzenschutz für Schädlingsart, Schädlingsdichte und Bestandessituation am besten geeigneten Wirkstoff auszuwählen – unter Beachtung ökonomischer und ökologischer Kriterien (MÖLLER 2014).

Der administrative Aufwand, die Genehmigung für den Einsatz von Dipel ES oder Karate per Hubschrauber im Wald zu erlangen, war auch für 2014 hoch. Schon 2011 bis 2013 waren durch mehrere Bundesländer umfangreich fachlich begründete Anträge auf Ausnahmegenehmigung nach Artikel 53 Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 (Notfallsituationen im Pflanzenschutz) für Insektizideinsätze (Dipel ES bzw. Karate Forst flüssig) gegen Eichenprozessionsspinner bzw. Nonne und Kiefernspinner bei der zuständigen Bundesbehörde, dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), erfolgt (Tab. 1). Schon seit 2011 war in den Zulassungen bzw. Genehmigungen der Einsatz auf maximal 50 % eines Waldgebietes beschränkt. Widersprüchen dazu, insbesondere aus Niedersachsen, wurde nicht stattgegeben. 2014 wurde der Begriff Waldgebiet genau definiert, als im Amtlichen Topografischen-kartografischen Informationssystem (ATKIS) für Wald und Gehölz zusammengefasster Flächentyp. Der notwendige GIS-gestützte Nachweis der Einhaltung dieser fachlich nicht belegten Beschränkung ist sehr aufwendig. Im Hinblick auf eine gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz ist die Auslassung eines Teils einer befallenen Fläche auch widersinnig. In den Befallsgebieten des Eichenprozessionsspinners sind die Probleme ständiger Rückzugsgebiete für den Schädling als Konsequenz von Abstandsauflagen und der 50 %-Regel wie erwartet – offensichtlich.

In den Genehmigungen des BVL für 2014 für Karate Forst flüssig und Dipel ES gab es wieder eine neue Auflage: ein generelles Verbot des Einsatzes in Naturschutzgebieten. Im Widerspruch verwies das Land Brandenburg auf die lange bewährte Praxis, die örtlichen Naturschutzbehörden entscheiden zu lassen. Dem wurde nicht stattgegeben. Nach dem erwartungsgemäß massiven flächigen Kahlfraß

durch Kiefernspinnerraupen im NSG „Lieberoser Endmoräne“ erfolgte für eine eventuelle Bekämpfung der nächsten Kiefernspinnergeneration im Herbst ein Antrag zum Einsatz von Karate Forst flüssig nach Artikel 53 (EU-V) beim BVL. Dem wurde stattgegeben. Allerdings übernahm im Befallsgebiet ein sehr effektiver natürlicher Gegenspieler die „Gegenmaßnahmen“: eine die Eier des Kiefernspinners parasitierende Zwergwespe, *Telenomus laeviusculus*. Auf die geplante Insektizidapplikation konnte demzufolge im Herbst 2014 verzichtet werden.

## 5. Der Fall Lieberose

Abb. 5 zeigt deutlich, dass die Prognose zum Schadgeschehen auf Grundlage der Monitoringdaten für Kiefernspinner (Winterbodensuche, Leimringe) und Nonne (Zählstammgruppen, Eisuchen) mit hoher Genauigkeit gestellt worden war.

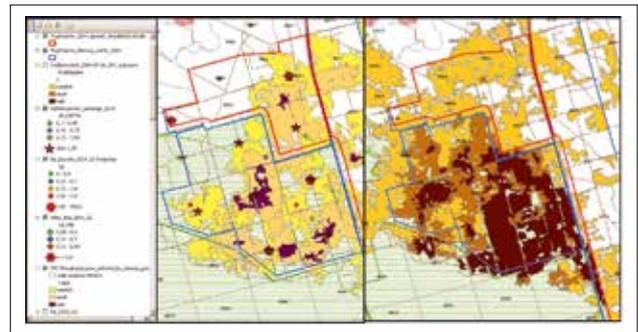


Abb. 5: Beleg für die gute Prognose – die Konsequenz des generellen Einsatzverbots von Karate Forst flüssig per Hubschrauber 2014 in Naturschutzgebieten für das NSG „Lieberoser Endmoräne“ (grün schraffiert) – links: Planung April 2014, rechts Fraßschäden Juli 2014 (Satellitenrasterdaten Black Bridge): rotes Polygon: PSM-Einsatz April 2014 realisiert, blaues Polygon: geplant, aber kein PSM-Einsatz im NSG (GIS: LFE/WENK).

In den folgenden Beiträgen (MENGE 2016, WENK et al. 2016, PASTOWSKI & WENK 2016, HEYDECK et al. 2016, DEGENHARDT 2016, BARKHAUSEN 2016) wird das Schadgeschehen ab dem Sommer 2014 in den von der Bekämpfung des Kiefernspinners ausgenommenen Naturschutzgebieten „Lieberoser Endmoräne“ und „Reicherskreuzer Heide und Schwansee“ ausführlich dokumentiert. Teilweise wurden die Ergebnisse in den nach dem Schadereignis als Dauerbeobachtungsflächen des LFE ausgewiesenen Fraßzentren erhoben. Folgende Fragestellungen werden bearbeitet:

- Untersuchungen zu Regenerationsverlauf bzw. Absterbeprozess der Kiefern nach Kahlfraß unter Einbeziehung des Befalls durch holz- und rindenbrütende Insekten (WENK et al. 2016)
- Untersuchungen zur Regeneration der Naturverjüngung der Kiefern nach Kahlfraß (MENGE 2016)
- Vegetationsaufnahmen zur Dokumentation der Vergrasung als Folge der Verlichtung (WENK et al. 2015)
- Faunistische Untersuchungen zu den Auswirkungen von flächigem Kahlfraß bzw. der Insektizidapplikation (Karate Forst flüssig) auf Nicht-Ziel-Arthropoden

- Untersuchungen zum Einfluss von Bläuepilzen auf die Holzentwertung (HEYDECK et al. 2016)
- Betriebswirtschaftliche Untersuchungen zu den wirtschaftlichen Folgen (DEGENHARDT 2016)

Daneben fand eine intensive fachliche Begleitung der Landeswaldoberförsterei hinsichtlich Umfang und Auswahlkriterien für die Sanitärhiebe durch das Waldschutzteam statt (PASTOWSKI & WENK 2016).

Da davon auszugehen ist, dass sich das Schädgeschehen auf Grund des Wirkens der Sekundärschädlinge, vor allem holz- und rindenbrütender Insekten, und auch evtl. Witterungseinflüsse (z. B. Trockenheit oder Sturm) noch über mehrere Jahre fortsetzt, muss vieles als Zwischenergebnis angesehen werden. Schon die Satellitenbilder aus 2014 und 2015 (Abb. 6) weisen im Fraßzentrum deutliche Unterschiede auf. In 2 oder 3 Jahren werden wir abschließend berichten können. Für die Landeswaldoberförsterei setzt sich der hohe Aufwand für das Monitoring der Sekundärschädlinge, die Sanitärhiebe und die Sanierung der Waldflächen in den Fraßgebieten fort (BARKHAUSEN 2016).

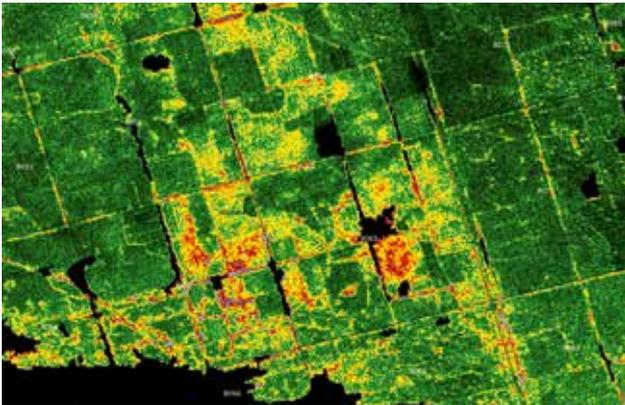


Abb. 6: Die aus Satellitenaufnahmen errechnete Nadelmasse (BlackBridge) im Sommer 2015, 1 Jahr nach dem Kahlfraß, erste Bestandesverluste (rot) sind deutlich sichtbar. Im Zentrum des Schadgebietes, wo annähernd 100 % der Kiefern abgestorben sind, „erkennt“ der Satellit statt Wald Offenland.

## 6. Ziele der Untersuchungen

Neben der Evaluierung der Gefährdungseinschätzung, die die Kriterien für eine Entscheidung über einen Insektizideinsatz bestimmt, soll vorwiegend die Datengrundlage für die zukünftige „besondere Bewertung des Risikos für den Naturhaushalt“ durch das Umweltbundesamt (UBA) bei Insektizid-Zulassungen verbessert werden. Diese Untersuchungen stehen in engem Zusammenhang mit einem neuen vom BMEL geförderten Drittmittelprojekt (RIMA-Wald, Förderkennzeichen FNR 22012015), in dem gemeinsam mit dem Julius Kühn-Institut die Folgen von Insektizidapplikationen bzw. Kahlfraßereignissen für Insekten, Spinnen und Vögel untersucht werden. Wissenschaftlich bewertet werden auch die ökonomischen Folgen solcher Schädereignisse.

Ziel ist außerdem die Verbesserung der Beratungstätigkeit des Waldschutzteams auch im Hinblick auf Strategien für Sanitärhiebe bzw. Folgebewirtschaftung.

Alle Ergebnisse sollen als Argumente für die Notwendigkeit der Zulassung von Insektiziden im Forst (Hubschraubereinsatz) in Richtung Bundesbehörden aufgearbeitet werden.

## 7. Fazit

Die Situation der Zulassung von Insektiziden für die Ausbringung mit Hubschraubern im Wald lässt seit 2010 immer weniger Möglichkeiten, den Waldschutz zu sichern. Schwierig ist dabei, dass die Argumente der Naturschutzseite gegen diese Notfallmaßnahme, insbesondere auf Bundesebene, wenig fachlich fundiert sind und die langjährigen Erfahrungen der Waldschutzspezialisten der Länder prinzipiell in Frage gestellt werden (MÖLLER 2015, PETERCORD 2015).

Es ist immer die bessere Lösung, ohne Pflanzenschutzmittel auszukommen. Die geringen Waldanteile – im jährlichen Durchschnitt ca. 1 % –, die seit über 25 Jahren aus Pflanzenschutzgründen mit Insektiziden per Hubschrauber behandelt werden, zeigen deutlich, wie hoch der ökologische Anspruch der Forstverwaltungen an sich selbst ist. Ziel ist ein flächenscharfer Insektizideinsatz bei drohendem Waldverlust. Voraussetzungen für die entsprechend langjährig bewährte Praxis im forstlichen Pflanzenschutz sind eine hohe fachliche Kompetenz der Waldschutzspezialisten der Länder bei der Officialberatung und ein sehr hoher personeller Aufwand für das Monitoring in den Forstrevieren. Die fehlende Anerkennung dieser Tatsachen durch das UBA führt letztlich zu unrealistischen Bewertungen des Risikos eines Insektizideinsatzes per Hubschrauber für den Naturhaushalt. Erschwerend kommt hinzu, dass Waldverluste negiert werden und somit die eigentlich notwendige Abwägung zwischen möglichen Folgen einer Insektizidapplikation und einem Lebensraumverlust, nicht nur für seltene und geschützte Arten, nicht stattfindet.

Die Konsequenz der Ereignisse 2014 und der nochmals intensivierten Diskussion auf Bundesebene widerspiegelt sich in den 2015 erteilten Genehmigungen des BVL zum Einsatz von Karate Forst flüssig und Dipel ES für die Hubschrauberapplikation im Forst. Die Genehmigung des BVL beinhaltet eine Öffnungsklausel für die 50 %-Regel. Bei Nachweis der Gefährdung auch größerer Flächenanteile mit entsprechenden Monitoringdaten ist ein solcher Einsatz möglich. Die Entscheidung zu Naturschutzgebieten liegt wieder bei den Naturschutzbehörden der Bundesländer. Beide Genehmigungen gelten bis zum offiziellen Ablauf der Zulassung beider Mittel für die Bodenapplikation (Karate Forst flüssig: 2018; Dipel ES: 2021)

Langfristig verbessern lässt sich die Situation nur, wenn alle beteiligten Bundesbehörden (UBA, Bundesamt für Risikobewertung, BVL) die Notwendigkeit des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln als letztes Mittel des Waldschutzes akzeptieren und die hohe Qualität von Monitoring und Prognose, einschließlich ökologischer Kompetenzen, anerkennen. Das schließt die Akzeptanz des Hubschraubereinsatzes ein, der im Vergleich zur Bodenapplikation wesentlich mehr Vorteile als Nachteile hat, ökonomisch und auch ökologisch. Dabei müssen die Fragen des Einflusses von Insektizideinsätzen auf Nicht-Ziel-Organismen in Zukunft deutlicher auch vor dem Hintergrund der Komplexität der Waldökosysteme, der weiteren Waldfunktionen (Wasserhaushalt, CO<sub>2</sub>-Senke, Holz als nachwachsender Rohstoff,

Erholung, Naturschutz...) und auch der Abwägung im Vergleich zum Einfluss durch andere Störungen (zum Bsp. Kahlfraß oder Waldverlust) diskutiert werden. Dabei bleibt immer langfristiges Ziel, Waldschutzprobleme durch wirkungsvolle waldbauliche Strategien zu reduzieren.

Benötigt wird dringend die Akzeptanz der im Wald sehr restriktiv angewandten Pflanzenschutzmaßnahmen durch Politik, Bevölkerung und auch Naturschutz. Es geht letztlich um den Erhalt von Wald und damit dessen multifunktionaler Wirkungen.

## 8. Literatur

BARKHAUSEN, A. (2016): Konsequenzen für den Wirtschaftler - Sekundärschädlinge, Sanitärhiebe und waldbauliche Pläne. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 62.

DEGENHARDT, A. (2016): Betriebswirtschaftliche Verluste – Schadensbewertung nach Kahlfraß. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 62.

HEYDECK, P. ET AL. (2016): Bläuepilze und Holzentwertung – Untersuchungen zum Schadverlauf im Kahlfraßgebiet. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 62.

MARX, A.; MÖLLER, K.; WENK, M. (2015): RapidEye-Waldschutzmonitoring in Brandenburg. AFZ-Der Wald 11: 40–42.

MENGE, A. (2016): Kahlfraß der Naturverjüngung – wenig Chancen auf Erholung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 62.

MÖLLER, K. (2015): Nur ein toter Baum ist ein guter Baum – Das Ende der Multifunktionalität des Waldes? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 59: S. 70–78.

PASTOWSKI, F.; WENK, M. (2016): Folgen für den Betrieb - Bestandesentwicklung nach Kahlfraß mit und ohne forstlichen Eingriff. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 62.

PETERCORD, R. (2015): Pflanzenschutz mit Luftfahrzeugen. AFZ-Der Wald 8: 11–16.

WECKWERTH, W. (1952): Der Kiefernspinner und seine Feinde. Die Neue Brehmbücherei. Akademische Verlagsgesellschaft Geest Portig K.-G. Leipzig.

WENK, M., MÖLLER, K. (2013): Prognose Bestandesgefährdung – Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 51: 9–14.

WENK, M. (2016): Dokumentation des Schadverlaufs – Einsatz von Satellitenbildern und Bügelschaber. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 62.

ZIESCHE T. M. (2015). Was steuert die Populationsdynamik der Kieferngrößschädlinge im Süden Brandenburgs im Klimawandel? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. Band 59: 79–87.



# Überlebt die Kiefernaturverjüngung einen Kahlfraß durch Kiefernspinnerraupen (*Dendrolimus pini*)?

ALEXANDER MENGE, FRANK PASTOWSKI

## 1. Einleitung

Massenvermehrungen von Kieferngrößschädlingen kommen in Kiefernbeständen auf schwachen Standorten in regelmäßigen Abständen vor (MÖLLER et al. 2007). Rund 450 ha wurden 2014 im Süden Brandenburgs durch den Kiefernspinner kahl gefressen. Trotz der Prognose dieses großflächigen Kahlfraßes konnte der Schädling wegen des vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) für das Jahr ausgesprochenen generellen Verbots, in Naturschutzgebieten Karate mit dem Hubschrauber zu applizieren, nicht bekämpft werden. Um die Folgen des Schadereignisses möglichst genau zu dokumentieren, wurde u. a. untersucht, wie sich die bereits etablierte Naturverjüngung der Kiefer nach diesem Schadereignis entwickelt hat. Ausgangssituation war ein Nadelverlust von nahezu 100 % – einschließlich des Maitriebes.

Zur Regeneration von Bäumen nach einem Licht- oder Kahlfraß durch Insekten gibt es zahlreiche Veröffentlichungen (u. a. WENK U. BEMMANN (2015), WENK U. MÖLLER (2013), WENK U. APEL (2007), HABERMANN (2001)). Auch die Bezifferung des Schadens und die (zu erwartenden) Verluste spielen dabei immer wieder eine wichtige Rolle. Da das Regenerationsvermögen und damit die Mortalitätsrate allerdings von vielen, oft unbeeinflussbaren und unvorhersehbaren Faktoren abhängig ist, ist dessen Prognose noch immer mit großen Unsicherheiten verbunden.

Die Naturverjüngung wurde bei diesen Untersuchungen bisher nicht berücksichtigt. Der Naturverjüngung kommt aber im Zusammenhang mit der Verjüngung und der Strukturierung von Kiefernbeständen insbesondere auf den armen Standorten in Südbrandenburg eine große Bedeutung zu. Mit Hilfe der Untersuchungsergebnisse soll zukünftig die Einschätzung von Auswirkungen eines Kahlfraßereignisses auf die Naturverjüngung verbessert werden.

1991 kam GSÓKA bei einer Studie in Ungarn zu dem Ergebnis, dass 17-jährige Kiefern 3 Jahre nach einem Kahlfraß zu 100 % abstarben. Ob die aktuellen Untersuchungen dieses Resultat bestätigen, wird sich erst nach Ablauf der 3 Jahre sicher sagen lassen, die bisherige Entwicklung geht aber eindeutig in dieselbe Richtung.

## 2. Ziel

Ziel der Untersuchung ist eine Abschätzung, wie sich in einer Naturverjüngung der Kahlfraß durch Kiefernspinnerraupen langfristig auswirkt. Schaffen es die Bäume zu überleben? Wenn ja, wie? Wie genau reagiert eine junge Kiefer auf den plötzlichen Verlust sämtlicher Nadeln inklusive der Maitriebe? Da sich das endgültige Ergebnis nicht sofort im Folgejahr nach dem Fraß abschätzen lässt, ist die Untersuchung auf mehrere Jahre angelegt. Es soll beobachtet werden, wie hoch der Anteil überlebender Bäume ist, wann die Bäume absterben, wie sich die überlebenden Einzelbäume entwickeln und wie deren langfristige Chancen im Rahmen der zukünftigen Bewirtschaftung der Fläche liegen.

## Untersuchungsgebiet und Methodik

Für die Untersuchung wurden Ende August und Anfang September 2014 zwei Probeflächen (5 × 10 m) im Naturschutzgebiet „Lieberoser Endmoräne“ (Oberförsterei Cottbus, Revier Peitz) im Süden Brandenburgs angelegt. In diesem Bereich lag im Sommer 2014 ein Schwerpunkt des Kiefernspinnerbefalls. Da die geplante Bekämpfung der Raupen wegen des o. g. bundesweiten Bekämpfungsverbotes in den Naturschutzgebieten „Lieberoser Endmoräne“ und „Reicherskreuzer Heide und Schwansee“ nicht stattfand, wurden insgesamt rund 450 ha Kiefernbestände kahlgefressen. Für die Einschätzung der Bestandessituation ist es wichtig, dass die Nonne Teile der Bestände bereits 2013 vor dem Fraß des Kiefernspinners intensiv befallen hatte. Das hatte zur Folge, dass der Kiefernspinner aufgrund des schnell einsetzenden Nahrungsmangels oftmals den unverholzten Maitrieb und damit auch den Terminaltrieb vernichtete (Abb. 1). Das betraf insbesondere die Naturverjüngung, da die ab Mai fehlende Nadelmasse in den Kronen der Altkiefern die Raupen zur Nahrungssuche und damit zum Verlassen der Kronen des Altholzschirms zwang.



Abb. 1: Zu erkennen sind hier sowohl der beschädigte Maitrieb, befallene Nadeln aus dem Vorjahr, als auch die neu gebildeten Nottriebe aus schlafenden Knospen (Foto: A. MENGE).

Beide Versuchsflächen wurden in den Kahlfraßzentren angelegt, da für die Untersuchung der Kiefern ein möglichst vollständiger Kahlfraß („worst case scenario“) Vorausset-

zung war. Eine Fläche ist nicht mit Altholz bestockt (Abb. 2), bei der anderen steht die Naturverjüngung unter Schirm (Abb. 3). Beide Flächen befinden sich auf einem Z2-Standort, bei der Lokalbodenform handelt es sich um Zernitzer Sand-Braunpodsol bzw. Bärenthorener Sand-Braunerde. Obwohl die Verjüngung unter Schirm im Durchschnitt dasselbe Alter hatte wie die Verjüngung auf der Freistand-Fläche, waren die Kiefern unter Schirm wesentlich kleiner (selten höher als 1 m) und wiesen auch nicht die typische monopodiale Wuchsform auf, sondern wuchsen im Extremfall sogar flach auf dem Boden entlang.



Abb. 2: Verjüngung auf der Fläche im Freistand (Foto: A. MENGE).



Abb. 3: Verjüngung auf der Fläche unter Schirm (Foto: A. MENGE).

**Aufnahmeparameter:**

- alle jungen Kiefern zwischen 20 cm und 4,10 m wurden aufgenommen und eindeutig nachvollziehbar in einen Lageplan eingetragen
- Höhe
- Alter
- Vorhandensein des Maitriebes an den obersten zwei Astquirlen
- Restbenadelung des Baumes nach dem Fraß 2014
- Anzahl neu gebildeter Knospen und „Nottriebe“ aus schlafenden Knospen
- Schäden (Fraßspuren, Schälsschäden, Astabbrüche, usw.)

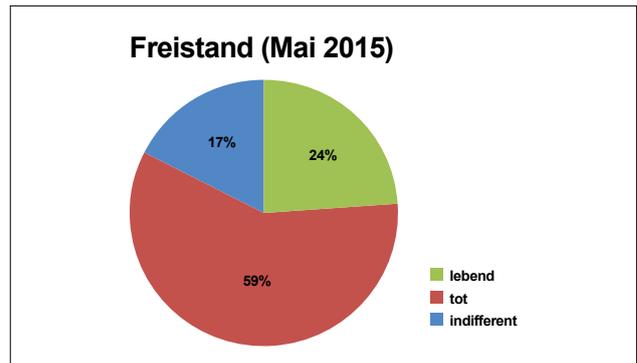


Abb. 4: Ergebnisse der Aufnahme auf der Freistand-Fläche im Mai 2015: 15 von 29 Bäumen waren abgestorben.

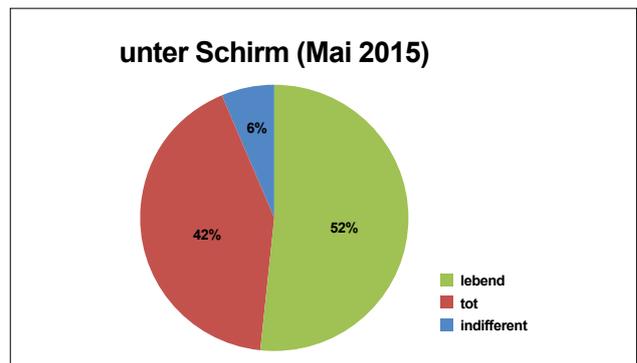


Abb. 5: Ergebnisse der Aufnahme auf der Fläche unter Schirm im Mai 2015: 34 von 81 Bäumen waren abgestorben.

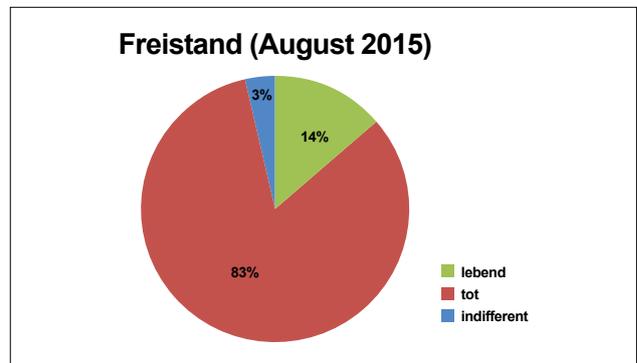


Abb. 6: Ergebnisse der Aufnahme auf der Freistand-Fläche im August 2015: 24 von 29 Bäumen waren abgestorben.

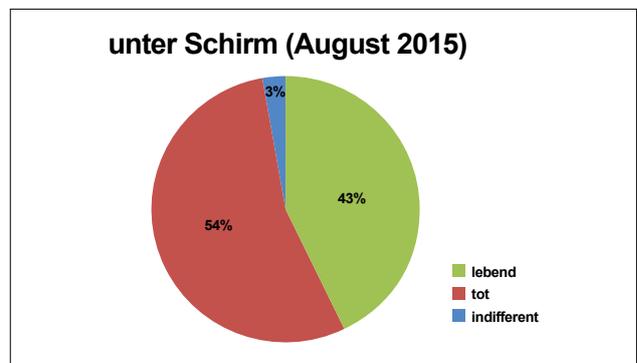


Abb. 7: Ergebnisse der Aufnahme auf der Fläche unter Schirm im August 2015: 43 von 79 Bäumen waren abgestorben.

Aufnahmezeitpunkt	Naturverjüngung im Freiland	Naturverjüngung unter Schirm
<b>August/September 2014</b> <b>1–2 Monate nach Fraßende</b>	Als Reaktion auf den Kahlfraß war die Bildung von neuen Trieben kurz vor Ende der Vegetationsperiode zu beobachten (Abb. 1). Es gab sowohl Triebe aus schlafenden Knospen (nicht aus der Nadelscheide), die dann meist auch aus mehr als 2 Nadeln bestanden als auch Nadeln, die aus der Nadelscheide noch einmal „nachgeschoben“, also verlängert wurden. Die Übergänge waren fließend und machten eine Abgrenzung schwierig. Des Weiteren fanden sich Knospen, die noch nicht ausgetrieben hatten. Auch hier gab es Einzelfälle, in denen die Knospen noch nicht ausgetrieben hatten, aber auch nicht mehr vollständig geschlossen waren.	
	Restbenadelung durchschnittlich unter 2 %. 15 von insgesamt 29 Bäumen waren komplett kahlgefressen. Alle 29 Bäume bildeten Nottriebe aus schlafenden Knospen.	Restbenadelung durchschnittlich bei nahezu 0 %. 73 von insgesamt 83 Bäumen waren komplett kahlgefressen. 79 von 83 Bäumen bildeten Nottriebe aus schlafenden Knospen.
<b>Oktober 2014</b> <b>3 Monate nach dem Fraß</b>	Die Länge der neuen Triebe hatte sich im Vergleich zur Erstaufnahme nicht verändert. Sie betrug etwa 1/4 bis 1/3 der Länge einer voll entwickelten Kiefern nadel.	
	beginnende Vergilbung der Nadeln	keine Vergilbung der Nadeln
<b>Mai 2015</b> <b>10 Monate nach dem Fraß</b>	Deutliche Spuren von Insektenbefall (Reifefraß an der Rinde, Bohrmehl an Stammfuß und Borke, Harztrichter des Waldgärtners). Vereinzelt Funde von Rüsselkäfer und Blattwespenlarven. Es wurde hinsichtlich des Vitalitätszustandes der Bäume neben „lebend“ und „tot“ noch „indifferent“ unterschieden. Die als „indifferent“ eingestuft Pflanzen wiesen verfärbte bzw. vergilbte Nadeln auf. Die Erwartung war, dass diese Pflanzen kurz vor dem Absterben standen.	
	Von 29 Bäumen waren 15 abgestorben (Abb. 4).	Von 81 Bäumen waren 34 abgestorben (Abb. 5).
<b>August 2015</b> <b>13 Monate nach dem Fraß</b>	Die Anzahl der abgestorbenen Bäume hatte sich auf beiden Versuchsflächen weiter deutlich erhöht. Von den zuvor als „indifferent“ eingestuft waren 6 abgestorben, 3 konnten sich allerdings noch einmal erholen und wurden somit als lebend gezählt.	
	Bei einigen Bäumen begann die Rinde abzufallen, grüne Nadeln waren kaum noch zu sehen (Abb. 8). 24 von 29 Bäumen waren abgestorben (Abb. 6).	43 von 79 Bäumen waren abgestorben (Abb. 7).



Abb. 8: Abfallende Rinde und kaum noch lebende Bäume auf der Freiland-Verjüngungsfläche (innerhalb der markierten Pfosten) (Foto: A. MENGE).

Es konnte noch ein weiteres Phänomen beobachtet werden: Die neu gebildeten Maitriebe an den Spitzen der jungen Bäume hatten durch die fehlenden Nadeljahrgänge des Vorjahres einen zu hohen Schwerpunkt, bog sich nach unten und brachen im Extremfall ab (Abb. 9).

### 3. Diskussion

Der noch kurze Untersuchungszeitraum schränkt die Aussagekraft der Ergebnisse etwas ein. Die endgültige Mortalitätsrate wird man erst nach mindestens 3 Jahren bestimmen können. Allerdings ist auch jetzt schon vor allem der Anstieg der Mortalitätsrate von Mai 2015 bis August 2015 deutlich erkennbar. Die 5 noch lebenden Bäume auf der Freiland-Fläche wiesen bei der Erstaufnahme 2014 noch eine Restbenadelung auf. Wie zu erwarten, scheint also bereits eine geringe Menge intakter Nadeln das Überleben der jungen Kiefern zu sichern. Die bis August 2015 abgestorbenen Bäume im Freiland hatten bei der Erstaufnahme 2014 eine Restbenadelung von maximal 2%.



Abb. 9: Abgebrochener Terminaltrieb an einer jungen Kiefer (Foto: A. MENGE).

Der Anteil an lebenden Bäumen auf der Fläche unter Schirm war vermutlich deswegen höher, weil die Pflanzen durch die ständige Beschattung und die Konkurrenz mehr Stress gewohnt sind. Obwohl 96 % der Bäume auf beiden Versuchsflächen Nottriebe gebildet hatten und die Bedingungen (ausreichend Niederschläge) für eine erfolgreiche Regeneration durchaus günstig waren, spricht die derzeitige Entwicklung gegen die Annahme, dass das Überleben der Bäume durch die Nottriebe allein gesichert werden kann.

Es sei abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es ein bedeutender Unterschied ist, ob bei einem massenhaften Auftreten von Kiefern schadinsekten der Maitrieb und damit auch die Knospen für die neuen Triebe erhalten bleiben oder nicht. Intensiver untersucht werden muss, wie sich junge Kiefern unter vergleichbaren Bedingungen nach einem Kahlfraß entwickeln, bei dem ausschließlich die Nadeln gefressen worden sind, der Maitrieb und damit die Knospenanlagen jedoch erhalten bleibt. Die Versuchsflächen werden in den nächsten Jahren weiter beobachtet und die Entwicklungen dokumentiert.

#### 4. Zusammenfassung

Als Zwischenbilanz der Untersuchung bleibt festzuhalten, dass bei einem Kahlfraß inklusive Verlust des Maitriebes mit starken quantitativen und qualitativen Verlusten bis hin zum Totalausfall der betroffenen Naturverjüngung zu rechnen ist. Die Notreaktion der Bäume, die zusätzlichen Triebe, die kurz vor Ende der Vegetationsperiode noch einmal neu gebildet wurden, reichte nicht aus um die Verluste zu kompensieren. Derart geschwächt hatten die Pflanzen den Sekundärschädlingen nichts mehr entgegenzusetzen.

#### 5. Literaturhinweise

GSÓKA, G. (1991): Der Einfluß der Schadenerregung des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.) auf das Wachstum eines Kiefern-Jungbestandes (Zusammenfassung), <http://link.springer.com/article/10.1007/BF01905878#page-1> (letzter Zugriff: 8.1.2016)

HABERMANN, M.; VON GEISSLER, A. (2001): Regenerationsfähigkeit von Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) und Befall durch rindenbrütende Sekundärschädlinge nach Fraß der Nonne (*Lymantria monacha* L.). Forst und Holz 56 (4): 107–111.

MÖLLER, K.; WALTER, CH.; ENGELMANN, A.; HIELSCHER, K. (2007): Die Gefährdung der Gemeinen Kiefer durch Insekten. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. XXXII: 245–257

WENK, M.; APEL, K.-H. (2007): Die Regenerationsfähigkeit von durch Fraß des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.) und der Nonne (*Lymantria monacha* L.) geschädigten Kiefernbeständen in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. XXXII: 280–287.

WENK, M.; BEMMANN, M. (2015): Regeneration der Kiefer nach Kiefernspanner-Fraß. AFZ-DerWald 11: 36–39.

WENK, M.; MÖLLER, K. (2013): Prognose Bestandesgefährdung – Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 51: 9–14.

# Dokumentation des Schadverlaufs nach Kahlfraß in Kiefernforsten – Einsatz von Satellitenbildern und Bügelschaber

MATTHIAS WENK

## 1. Einleitung

Monitoring-Verfahren sind im Bereich des Waldschutzes grundlegende Arbeitsmittel. Ihre Ergebnisse dienen der Prognose und Vermeidung von Schadereignissen. Dabei werden bewährte Verfahren mit neuen und modernen Methoden ergänzt. Ziel ist es, Überwachung, Prognose und Bekämpfungsplanung zu optimieren. Neben Maßnahmen der Populationskontrolle (z. B. Winterbodensuche) werden seit 2012 im Landesbetrieb Forst Brandenburg zur Quantifizierung und räumlichen Begrenzung von Fraßschäden Satelliten und Luftbild-Systeme genutzt (MARX et al. 2014). Damit lassen sich Schadereignisse präzise dokumentieren und folgende Monitoringverfahren dem aktuellen Geschehen anpassen.

2013 erreichte die Nonnengradation in der Lieberoser Heide (Obf. Cottbus, Lieberose) ihren Höhepunkt (Fraß: 120 ha kahl, 880 ha stark, 1.350 ha merklich). Nach Winterbodensuchen und Leimringkontrollen 2013/14 wurde für das Frühjahr 2014 in den ein Jahr zuvor teilweise von der Nonne geschädigten Beständen Kahlfraß durch den Kiefernspinner prognostiziert. Die ermittelte Gefährdung wies auf für mehrfachen Kahlfraß ausreichende Raupenzahlen hin, es war entsprechend mit einer flächigen und sehr schnellen Entnadelung der Bestände zu rechnen. Aufgrund des 2014 bestehenden Verbots des Hubschraubeinsatzes für die Applikation von Karate Forst flüssig in Naturschutzgebieten (NSG) musste in diesem Teil der Lieberoser Heide eine Bekämpfung des Kiefernspinners unterbleiben (MÖLLER 2015). Nach Beendigung des Raupenfraßes waren 223 ha Kieferforst kahl gefressen; daneben 345 ha stark und 1.055 ha merklich befallen (100 % der kahl gefressenen sowie 99 % der stark und 93 % der merklich geschädigten Kiefernbestände befinden sich im NSG). Durch den großflächigen Nadel- bzw. Vitalitätsverlust war die Befallsdisposition gegenüber Sekundärschädlingen in den Kiefernbeständen als hoch zu bewerten. Mit zunehmendem Nadelverlust steigt das Mortalitätsrisiko der fraßgeschädigten Kiefern (WENK & MÖLLER 2013). Je größer der Nadelverlust und die damit verbundene Regenerationszeit, umso länger bleibt die Kiefer disponiert gegenüber Sekundärschädlingen. Außerdem erfolgt der Holzeinschlag heute ganzjährig, sodass auch während der Vegetationszeit nicht umgehend abgefahrene Holzpolter geeignetes Brutmaterial und damit Ausgangspunkt für Stehendbefall vorgeschädigter Bäume sein können (WENK & BEMMANN 2015). Je nach forstsanitärer Situation und Witterungsverlauf kann sich der maximale Totholzanzahl ein oder zwei Jahre nach dem Fraßereignis einstellen und sich das Absterben in den Beständen bis zu vier Jahre hinziehen (WENK & APEL 2007). Trocken-warme Witterung im Fraßjahr selbst oder auch im Folgejahr erhöht das Mortalitätsrisiko zusätzlich (SCHWERDTFEGER 1932, MÖLLER et al. 2007). Aufgrund bisheriger Erfahrungen musste, auch auf Grund der Flächengröße, in den Beständen mit 50–100 % Nadelverlust (= starker und Kahl-Fraß) mit einer Auflösung der

Bestände gerechnet werden (WENK & MÖLLER 2013). Wie entwickelten sich die Bestände nach dem Raupenfraß? Zunächst kann festgestellt werden, dass in Beständen mit Kahlfraß das Sterben wie erwartet begann. Diese Prognose wird u. a. durch Berichte nach Forleulen-Kalamitäten, die über einen Zeitraum von 200 Jahren zusammen getragen wurden, gestützt (SACHTLEBEN 1929). Im nachfolgenden Beitrag soll der Absterbeprozess intensiv fraßgeschädigter Bestände anhand eines Hotspots in der Abt. 8065 (Rev. Lieberose) der Lieberoser Heide beschrieben werden.

## 2. Methode

In den ausgewählten Beständen fand im Frühsommer 2013 eine Entlaubung durch Nonne (*Lymantria monacha* L.) und/oder 2014 durch Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.) statt. Standardmäßig wurden zur Beobachtung des Regenerationsverhaltens fraßgeschädigter Kiefernbestände Versuchsflächen in Arealen mit den höchsten Nadelverlusten (Kahlfraß) angelegt (WENK & APEL 2007, Abb. 4).

1. Obf. Cottbus, Rev. Pinnow, Abt. 8103 Vfl. 1 (Alter: 58 Jahre): einmaliger Kahlfraß (KISPI 2014); vor Fraß durchforstet
2. Obf. Cottbus, Rev. Pinnow, Abt. 8103 Vfl. 2 (Alter: 58 Jahre): einmaliger Kahlfraß (KISPI 2014); vor Fraß nicht durchforstet
3. Obf. Lieberose, Rev. Lieberose, Abt. 8065 Vfl. 1 (Alter: 58 Jahre): zweimaliger Kahlfraß (NONNE 2013, KISPI 2014); vor Fraß nicht durchforstet
4. Obf. Lieberose, Rev. Lieberose, Abt. 8065 Vfl. 2 (Alter: 41 Jahre): Kahlfraß (KISPI 2014) nach starkem Fraß (NONNE 2013); vor Fraß nicht durchforstet.

Nach Anlegen der 20x50m großen Versuchsfläche erfolgte das Einmessen der Stammpositionen sowie die Erfassung von Baumklasse (BKL), Brusthöhendurchmesser (BHD), Benadelungsprozent (NP), Baumortalität und der am Stehendbefall beteiligten Sekundärschädlinge. Einmal jährlich erfolgt eine Vegetationsaufnahme. Datenerhebungen zum Schädlingsbefall fanden, je nach Auftreten und Befallsintensität, zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt:

1. Aufnahme: Juli 2014 (Restbenadelung, Vegetationsaufnahme, Baumortalität)
2. Aufnahme: Oktober 2014 (Baumortalität, Kartierung Befall Sekundärschädlinge)
3. Aufnahme : August 2015 (Benadelungsprozent, Vegetationsaufnahme, Baumortalität)
4. Aufnahme: Februar 2016 (Baumortalität, Kartierung Befall Sekundärschädlinge)

### 3. Ergebnis

#### Jahr 2013: Fraßhöhepunkt der Nonne (*Lymantria monacha* L.)

Im Juni 2013 kam es in der Abt. 8065 und deren Umgebung zu großflächigem starken und lokalen Kahlfraß durch Raupen der Nonne (*Lymantria monacha* L.). Nach Beendigung der Raupenentwicklung waren nur noch wenige bzw. keine Altnadeln an den Kiefern vorhanden. Der größte Teil der bereits angeschobenen Maitriebe verwelkte. Lediglich im Wipfelbereich blieben einige wenige Maitriebe erhalten. HANSEN & BECK (1994) untersuchten achtjährige Kiefern unter veränderten source-sink-Relationen in verschiedenen Entwicklungsphasen (Neuaustrieb, Wachstum des Achsialsystems). So benötigen unter anderem die noch nicht voll funktionsfähigen Maitrieb-Nadeln die Versorgung mit Micro-Nährstoffen und Assimilaten durch ältere Nadeljahrgänge. Durch den Verlust der Altnadeln ist diese Beziehung (Versorgung) nicht mehr gegeben. Bisherige Beobachtungen führen zur Schlussfolgerung, dass kahl gefressene Kiefern im Fraßjahr 0–20 % ihrer ursprünglichen Benadelung zu regenerieren vermögen. Satellitenaufnahmen vom September 2013 zeigten, dass die Kiefern je nach verbliebener Restbenadelung ihren Benadelungszustand auf 10–30 % verbesserten (Abb. 1). Beobachtet wurde ein Nachschieben vorhandener Nadeln und Triebe sowie die Bildung von Adventivknospen innerhalb von zwei Monaten (Juli/August). Das ist erst einmal ein positives Zeichen, lässt jedoch keine Schlussfolgerungen zum Genesungsverlauf des Einzelbaumes zu.

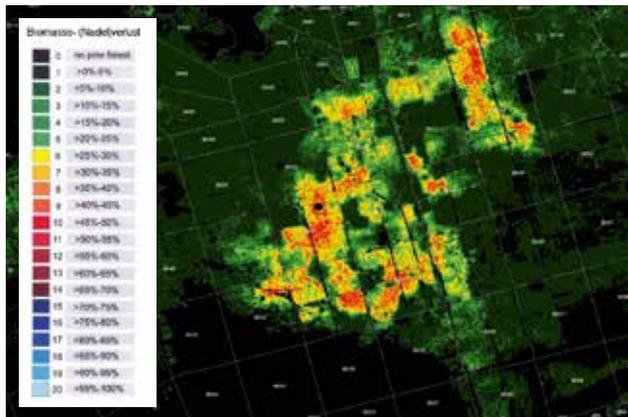


Abb. 1: FVI-Satelliten-Aufnahme vom Nonnen-Fraßgebiet „Lieberoser Heide“ (RapidEye 21.10.2013).

#### Jahr 2014: Fraßhöhepunkt des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.)

Die im Januar/Februar 2014 in der Nachbarabteilung 8064 durchgeführten Winterbodensuchen ergaben mit 191 Kiefernspinner-Raupen pro m<sup>2</sup> und damit einer Gefährdungsziffer (GZ) von 6,3 (6-facher Kahlfraß) eine ernste Gefährdung der Bestände. Bei den im März 2014 durchgeführten Leimringkontrollen wurden in der Abt. 8065 im Mittel 165 Kiefernspinnerraupen/Baum gezählt. Die daraus ermittelte, verifizierte GZ prognostizierte für das kommende Frühjahr einen 4-fachen Kahlfraß. Infolge der nach dem Fraß 2013 verbliebenen geringen Nadelmasse und der damit verbundenen verminderten Reservestoffbildung hatten die Kiefern der Abt. 8065 nur geringe Regenerationschancen. Im gleichen Monat wurden erste Einbohrversuche des Großen Waldgärtners (*T. piniperda* L.) an den fraßgeschädigten Kiefern beobachtet, die zu diesem Zeitpunkt jedoch

alle erfolglos blieben. Was darauf hin deutet, dass die Kiefern 9 Monaten nach dem Fraßereignis noch in der Lage waren Sekundärschädlingsbefall abzuwehren. Die endgültige Katastrophe ereilte die vorgeschädigten Bestände durch die seit März in den Kiefern-Kronen fressenden und auf Grund der fortgeschrittenen Nadelverluste wandernden Kiefernspinner-Raupen (Abb. 3). Mit zunehmender Entwicklung intensivierten die Raupen den Nadelfraß. Zuerst wurden die Reste noch vorhandener Altnadeln und danach die schiebenden Maitriebe vernichtet, so dass bereits Anfang/Mitte Juni viele Bestände kahl (Nadelverlust: 91–100 %) waren (Abb. 2 und 4).

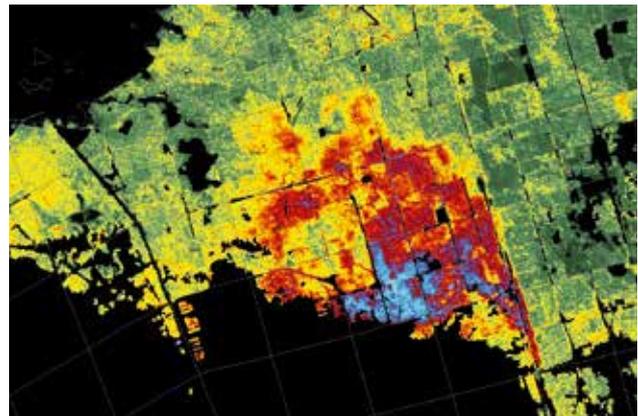


Abb. 2: FVI-Satelliten-Aufnahme vom Kiefernspinner-Fraßgebiet „Lieberoser Heide“ (RapidEye 26.07.2014).

Anfang Juli besaßen z. B. die durch *D. pini* befallenen Kiefern der Versuchsfläche 1 (Abt. 8065) im Mittel nur noch 3 % ihrer Ausgangsbenadelung. Von den frisch geschobenen Maitrieben waren nur noch Rudimente (Triebstummel) vorhanden (Abb. 5). **11 Monate nach dem Nonnen- und unmittelbar nach dem Spinnerfraß war auf den Versuchsflächen aber kein Stehendbefall rindenbrütender Käfer nachweisbar.** Durch den Nadelverlust und den damit verbundenen verstärkten Lichteinfall auf dem Waldboden, kam es zu intensivem Graswuchs in den Beständen. Insbesondere die Versuchsfläche 1 (Abt. 8065) war flächig durch Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*) bewachsen. Ein Jahr nach dem Nonnenfraß zeigten sich die ersten kleineren und größeren Inseln des Land-Reitgrases (*Calamagrostis epigejos*), während für Rotstengelmoos (*Pleurozium schreberi*) und Kleinen Sauerampfer (*Rumex acetosella*) ein langsamer Verdrängungsprozess zu beobachten war (Überwachsen von *D. flexuosa* und *C. epigejos*). Eine Vegetationsperiode nach dem Fraß-Ereignis lag der Deckungsgrad für *D. flexuosa* bei 82 %, *C. epigejos* bei 5 %, *P. schreberi* bei 11 % und *R. acetosella* bei 2 %. Mitte Oktober waren auf der Versuchsfläche die ersten Kiefern durch den Befall des Zwölfzähligen Kiefernborckenkäfers (*Ips sexdentatus*) abgestorben. Da sich keine Jungkäfer mehr unter der Rinde befanden und der Befall Anfang Juli noch nicht nachweisbar war, kann davon ausgegangen werden, dass die Kiefern durch die 2. Käfer-Generation besiedelt wurden (Flugzeit: Juli-August). Ende des Jahres waren auf der Versuchsfläche 1 (Abt. 8065) bereits 27 % der Kiefern tot.



Abb. 3, 4, 5: Durch Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.) kahl gefressener Kiefernbestand. Auch der frisch geschobene Maitrieb wurde durch die Raupen vollständig vernichtet (Foto: P. EBERT).

**2015: Erstes Regenerationsjahr**

Im darauf folgenden Jahr (2015) fand auf der Versuchsfläche und in den umliegenden Beständen ein stetig zunehmender Befall durch Sekundärschädlinge statt. Dominanter Schadorganismus war *I. sexdentatus*, durch ihn wurden 79 % der Kiefern auf der Versuchsfläche besiedelt und zum Absterben gebracht. Durch Sekundärschädlingbefall starben auf der Versuchsfläche bis Ende August insgesamt 83 % der Kiefern (Abb. 6). Der Bestockungsgrad lag danach bei 0,12 (2013: 0,72) und der Schaftholzvorrat (VS) im Versuchsbestand bei 38,4 m<sup>3</sup>/ha (2013: 222,5 m<sup>3</sup>/ha). Das Benadelungsintervall (min. (Mittel) max.) des verbliebenen Bestandes lag bei 20–(30,5)–40 Prozent. Der Deckungsgrad von *D. flexuosa* und *C. epigejos* vergrößerte sich. So bedeckte z. B. *C. epigejos* am Ende der Vegetationsperiode 22 % der Versuchsfläche. Somit vervierfachte sich die Wuchsfläche dieser Pflanzenart innerhalb eines Jahres (Abb. 6). Von den Befallsgebieten des Kiefernspinners erfolgten im August/September 2015 Luftbild- und Satellitenaufnahmen, die unter anderem das Schadausmaß in den Beständen abbildeten. Diese zeigten den Verlust von 83–100 % der Kiefern im Untersuchungsareal der Abt. 8065 b5. Ein Satellitenbild vom 23.09.2015 klassifizierte aufgrund der ausgebliebenen Regeneration (fehlendes Chlorophyll) und der hohen Baummortalität die o. g. Teilfläche als 1,93 ha große Freifläche bzw. als Bestandes- oder Waldverlust (S. 14, Abb. 6).

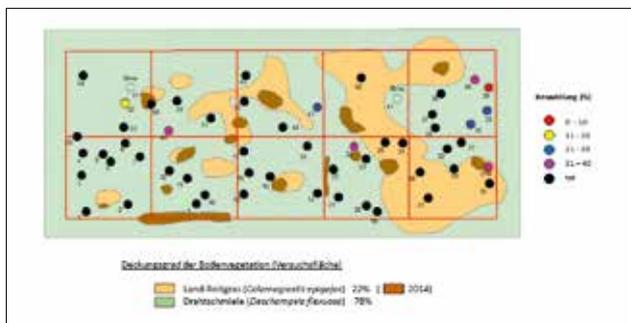


Abb. 6: Benadelungszustand der Kiefern auf der Vfl 1 (Abt. 8065; Rev. Lieberose) 2015, ein Jahr nach Kiefernspinner-Fraß (Bodenvegetation: hellgrün = *D. flexuosa* (2015), dunkelbraun = *C. epigejos* (2014), hellbraun = *C. epigejos* (2015)).

**2016: Zweites Regenerationsjahr**

Anfang Februar zeigte sich im Umfeld des Versuchsbestandes (Vfl.1, Abt. 8065 b5) eine deutliche Differenzierung zwischen verbliebenem und ausscheidenden Bestand. Bestandes-Areale mit den höchsten Nadelverlusten wiesen die höchste Baummortalität mit den größten Sterbelöchern auf (Abb. 7). So lagen beispielsweise die Stammverluste im südlich an die Versuchsfläche angrenzenden 33-jährigen Kiefernreinbestand (Abt. 8065 b4) bei durchschnittlich 40 %, im nördlich angrenzenden 41-jährigen Kiefernreinbestand hingegen bei lediglich 20 %. Am stärksten vom Absterben betroffen waren Kiefern(-bestände), die in Folge durch *L. monacha* und *D. pini* kahl gefressen wurden. Besonders exponiert waren kahle Kiefern in Gassen mit Nord-Süd-Ausrichtung, in Sterbelöchern oder an südlich ausgerichteten Bestandesrändern. Der Stehendbefall in den älteren Fraßbeständen (ab 60 Jahre) wurde durch *I. sexdentatus*, in den jüngeren Stangenhölzern von Zimmermannsbock (*A. aedilis*) und Bäckerbock (*M. galloprovincialis*), begonnen. Weiterhin konnte die Beteiligung von Halsgrubenbock (*C. rusticus*), Zangenbock (*R. inquisitor*), Schwarzbrauner Kiefernbastkäfer (*H. palliatus*), Großer Waldgärtner (*T. piniperda*), Kiefernstangenrüssler (*P. piniphilus*), Kiefernkulturrüssler (*P. notatus*), Kleiner Blauer Kiefernprachtkäfer (*P. formaneki*) und Großer Blauer Kiefernprachtkäfer (*P. cyanea*) nachgewiesen werden. Die meisten der genannten Arten befallen fraßgeschädigte Kiefern mit einer Benadelung zwischen 0–40 %. Die beiden Kiefernprachtkäfer-Arten hingegen können auch Kiefern mit einer Benadelung bis 60 % erfolgreich besiedeln.

In der Regel benötigen kahl gefressene Kiefern im Nordostdeutschen Tiefland 4–6 Jahre für die Wiederherstellung der Vollbenadelung. 60 % Benadelung werden für den Großteil der verbliebenen Kiefern auf der Versuchsfläche 1 der Abt. 8065 frühestens nach der dritten Vegetationsperiode erreicht. So muss davon ausgegangen werden, dass sich in den ehemaligen Kahlfraß-Arealen der Stehendbefall auch im Jahr 2017 fortsetzen wird. Anfang Februar konnten in der Umgebung der Versuchsfläche (12,52 ha) ca. 60 Prachtkäfer-Befallsbäume lokalisiert werden. Die in der Borke überwinternden Prachtkäfer-Larven hatten zum Kontrollzeitpunkt ihre Larvenentwicklung abgeschlossen und waren verpuppungsreif. Der Schlupf ist im kommenden Juni. 10–20 % der 10 % benadelten Kiefern werden nach bisheriger Erfahrung zum Schlupfzeitpunkt ihre Benadelung auf 30–40 % verbessert haben. Diese Kiefern stellen für den Prachtkäfer durch ihre geringe Benadelung (Vitalität) immer noch einen geeigneten Brutraum dar.

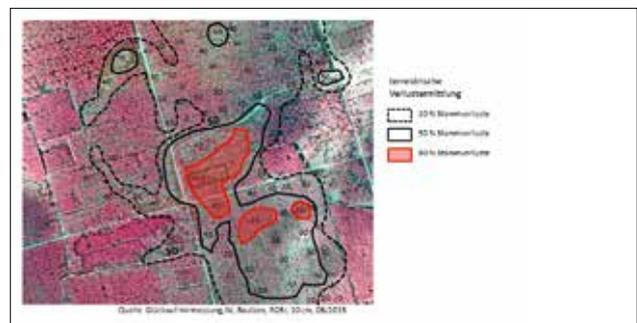


Abb. 7: Stammverluste (Prozent) in der Umgebung der Versuchsfläche 1 der Abt. 8065 (Rev. Lieberose) zwei Jahre nach Nonnen- und ein Jahre nach Kiefernspinner-Fraß (Luftbild: Glückauf-Vermessung, NL Bautzen, RGBI, 10 cm, 08/2015; grau = tot, violett = lebend).

Für die Behandlung von Fraßbeständen wurden schon von SCHWERDTFEGER (1932) neun Regeln beschrieben. Diese Regeln fanden zur damaligen Zeit bei Nutzungsentscheidungen schwach bis stark befallener Kiefernbestände Anwendung. Beispielsweise beinhaltet Regel 1 die Nutzung nur der tatsächlich nicht mehr lebensfähigen Bäume, was zunächst einen Kahlschlag ausschließt. Nach zwei Jahren selektiver Entnahme erfolgte die Entscheidung, ob der verbliebene Bestand kahl geschlagen oder umgebaut wird (Unterbau, Voranbau). Auf Grund des aktuell gut belegten Regenerationsverhaltens der Kiefern wurde zunächst im Sinne von Regel 1 verfahren. Lediglich auf und im Umfeld der Vfl. 1 (Abt. 8065) wäre wegen des fehlenden Austriebs ein ca. 2 ha großer Kahlschlag angefallen. Diese Entscheidung wurde im Interesse der Erhaltung der eingerichteten Versuchsfläche (einschließlich einer Pufferzone) nicht getroffen.

#### 4. Fazit

Ein Jahr nach Kiefernspinnerfraß waren in den Beständen mit zweimaligem Kahlfraß, also vorjährigem Fraß der Nonnenraupen, 80–100 % der Kiefern durch Sekundärschädlinge vernichtet worden. Zweimaliger Kahlfraß führte zur vollständigen Auflösung der Bestandesstruktur. Bei Kahlfraß nach vorjährigem starkem Fraß lag die Ausfallrate der Kiefern bei 20–70 %. Durch Satelliten-Aufnahmen konnte der Waldverlust dokumentiert werden.

In jüngeren Beständen, unter 60 Jahre, waren aus der Familie der *Cerambycidae* Bäcker-, Zimmermanns-, Halsgruben- und Zangenbock, aus der Familie der *Scolytidae* Schwarzbrauner Kiefernbastkäfer und Großer Waldgärtner, aus der Familie der *Curculionidae* Kiefernstangenrüssler und Kiefernkulturrüssler, aus der Familie der *Buprestidae* Kleiner und Großer Blauer Kiefernprachtkäfer am Stehendbefall beteiligt. In den Beständen über 60 Jahre dominierte der Zwölfzählige Kiefernborckenkäfer das Befallsgeschehen.

Nach 24 Monaten besteht prognostisch für 10–20 % der ehemals kahl gefressenen Kiefern – die mit hoher Wahrscheinlichkeit ihre Benadelung erst auf 30–40 % verbessert haben werden – immer noch ein erhöhtes Befallsrisiko, da sie für den Kiefernprachtkäfer nach wie vor geeignete Wirtsbäume darstellen.

Für Bestände mit starkem und Kahl-Fraß besteht in den ersten zwei Jahren nach dem Fraßereignis ein sehr hohes Risiko durch Sekundärschädlinge befallen zu werden. Die angespannte forstsanitäre Situation erfordert dann, dass Nutzungen nur außerhalb der Schwarmzeit holz- und rindenbrütender Insekten erfolgen (Wintereinschlag). Auch die Beräumung und der Abtransport des bruttauglichen Materials aus den geschwächten Beständen müssen bis zu Beginn des Schwarmfluges im März abgeschlossen sein, um den Befalls-Prozess nicht zu forcieren, d. h. einer „Sauberen Waldwirtschaft“ kommt große Bedeutung zu.

Aus der vorangegangenen Massenvermehrung des Kiefernspinners von 2003–2006 ist u. a. bekannt, dass auch einmaliger Kahlfraß in Verbindung mit einem folgenden Dürresommer zu flächigem Totalverlust von Kiefernbeständen führen kann (WENK & MÖLLER 2013). Die Unter-

suchungsergebnisse sind wichtige Grundlagen für eine wissenschaftliche Bewertung des Bestandesrisikos durch die nadelfressenden Kieferngrößschädlinge und damit für Entscheidungen über Waldschutzmaßnahmen, in diesem Fall den hubschraubergestützten Einsatz von Insektiziden.

#### 5. Danksagung

Dank gebührt den Mitarbeitern und Helfern PASTOWSKI, F.; WENK, S.; MENGE, A.; JACOB, C.; EBERT, P.; DEGENHARDT, N.; RÜFFER (LFE), O. A.; FLORIAN, M.; STRESE (HNEE) UND MARX, A. (RapidEye, Planet Labs AG) die an den Feldarbeiten und Auswertungen der Untersuchungen beteiligt waren.

#### 6. Literatur

HANSEN, J.; BECK, E. (1994): Seasonale changes in the utilization and turnover of assimilation products in 8-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees. *Trees* 8: 172–182.

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. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 62.

MÖLLER, K.; WALTER, CH.; ENGELMANN, A.; HIELSCHER, K. (2007): Die Gefährdung der Gemeinen Kiefer durch Insekten. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. XXXII: 245–257.

WENK, M.; BEMMANN, M. (2015): Regeneration der Kiefer nach Kiefernspanner-Fraß. *AFZ-Der Wald*, 11/2015: 36–39.

SACHTLEBEN, H. (1929): Die Forleule (*Panolis flammea Schiff*). Monographien zum Pflanzenschutz. Berlin 1–7.

SCHWERDTFEGER, F. (1932): Die Erholungsfähigkeit von Kiefernbeständen nach Spannerfraß. *Zeitschrift f. Forts- u. Jagdwes.*, LXIV/1, 641–679.

WENK, M.; APEL, K.-H. (2007): Die Regenerationsfähigkeit von durch Fraß des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini*) und der Nonne (*Lymantria monacha*) geschädigten Kiefernbeständen in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. XXXII: 280–287.

WENK, M.; MÖLLER, K. (2013): Prognose Bestandesgefährdung – Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 51, 9–14.

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

FRANK PASTOWSKI; MATTHIAS WENK / LANDESKOMPETENZENTRUM FORST EBERSWALDE (LFE)

## 1. Einleitung

Durch das generelle Anwendungsverbot von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Naturschutzgebieten (NSG) im Jahr 2014 durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Landwirtschaft (BVL), entstanden in der Landeswaldoberförsterei Peitz rund 450 ha Kahlfraßflächen durch die Kiefernfraßgemeinschaft aus Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*) und Nonne (*Lymantria monacha*). Die kahlgefressenen Kiefernbestände befinden sich in drei Teilbereichen. Zwei im NSG „Lieberoser Endmoräne“ und eines im NSG „Reicherskreuzer Heide und Schwansee“. In Teilen des NSG „Lieberoser Endmoräne“ war 2013 bereits kleinflächiger Kahlfraß durch die Nonne vorausgegangen (MÖLLER, K. 2015).

## 2. Bewertung der Fraßintensität

Besonders das intensive Fraßgeschehen durch den Kiefernspinner verursachte großflächige Bereiche mit vollständiger Entnadelung, im Folgenden entsprechend der Restbenadelung bezeichnet als Benadelungsprozent Null. In diesen Waldkomplexen war unmittelbar nach dem Fraß eine Einschätzung der Vitalität des Einzelbaumes nicht möglich. Dem entsprechend konnte keine Prognose getroffen werden, welche Bäume absterben und welche wieder austreiben würden. Aus diesem Grund wurde in der restlichen Vegetationsperiode 2014 auf eine Durchforstung der Bestände verzichtet.

Im Verlauf des Sommers 2014 setzte allerdings auch in den völlig kahlgefressenen Bestandesteilen bei einzelnen Bäumen eine Revitalisierung ein. Ursache dafür war das Nachschieben nicht abgefressener Nadeln aus der Nadel-scheide, die Nadelneubildung aus schlafenden Knospen sowie die Entfaltung nicht vollständig zerstörter Maitriebe. Bereits Ende September war es daher möglich die Bäume in zwei Gruppen zu unterteilen. Zur einen Gruppe gehörten alle Bäume, die auch zu diesem Zeitpunkt noch vollständig unbenadelt waren. Zur anderen Gruppe gehörten alle Bäume mit Nadeln, auch wenn sich diese zum Teil nur auf wenige Altnadeln oder Nottriebe beschränkten (Abbildungen 1 und 2). Der Befall durch Sekundärschädlinge wie den Zwölffährigen Kiefernborckenkäfer (*Ips sexdentatus*) war zu diesem Zeitpunkt als sehr gering einzuschätzen.



Abb. 1: Vollständig unbenadelte Kiefer.



Abb. 2: Kiefernkrone mit beginnender Regeneration.

## 3. Holznutzung vor Holzentwertung

Besonders hinsichtlich der Bestände mit einem Anteil von höherwertigen Langholzabschnitten (LAS) sollte eine Holzentwertung durch Bläue im Winterhalbjahr 2014/2015 vermieden werden. Dazu mussten im Vorfeld genau die Bäume identifiziert werden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit im Frühjahr 2015 nicht mehr austreiben oder in der Folgezeit absterben würden.

Aus langjährigen Untersuchungen während der Massenvermehrungen von Kiefernspinner, Nonne, Kiefernspanner und Kiefernbuschhornblattwespe zwischen 1994 – 2013 geht hervor, dass von Bäumen, die nach einem Fraßereignis keine Nadeln mehr aufweisen, in den folgenden fünf Jahren annähernd 100 Prozent absterben (WENK, M. und APEL, K.-H. 2008; WENK, M., MÖLLER, K. 2013), während mit der Restbenadelung von 1 bis 10 % die Überlebensrate deutlich ansteigt (Abb. 3). Diese Erkenntnisse wurden auf die Kahlfraßflächen in der Landeswaldoberförsterei Peitz übertragen, um genau die Bäume zu bestimmen, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr austreiben würden. Bei einem Befall dieser Bäume durch Sekundärschädlinge wäre auch von einer erhöhten Gefährdung für die Kiefern mit geringer Restnadelmasse im Umfeld auszugehen.

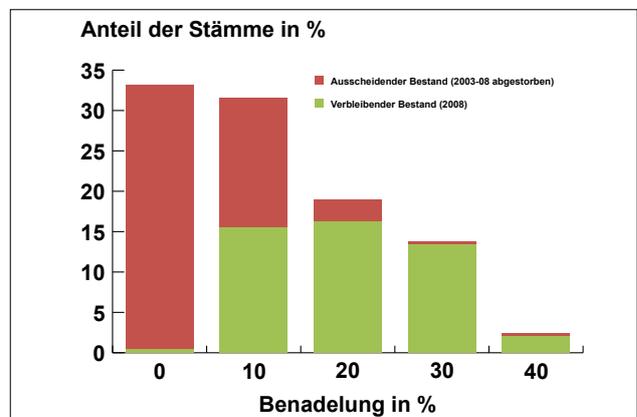


Abb. 3: Ausscheidender Bestand in Abhängigkeit von der Restbenadelung, hier nach Fraß durch Nonnenraupen 2003 (Schorfheide).

Als Ergebnis einer Besichtigung der Bestände in der Landeswaldoberförsterei Peitz im September 2014 auf Anregung der Betriebsleitung des Landesbetriebes Forst Brandenburg und unter Anwesenheit der Kollegen der Landeswaldoberförsterei Peitz sowie des Fachbereiches für Waldschutz und Wildökologie des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE) wurde vereinbart, dass das LFE eine Empfehlung für die Strategie der Durchforstung im Winterhalbjahr 2014/2015 erarbeitet. Diese sollte sich sowohl an den Erkenntnissen und Erfordernissen aus Sicht des Waldschutzes, an der Erhaltung der Bestandesstrukturen als auch an der Minimierung der Holzentwertung orientieren. Im Ergebnis wurde folgende Vorgehensweise empfohlen:

#### 1. Entnahme aller Bäume mit vollständigem Nadelverlust

#### 2. Erschließung aller Bestände mit Rückegassen

Zum Zeitpunkt September war davon auszugehen, dass im Frühsommer 2015 weitere Bäume entnommen werden müssen, die trotz Restbenadelung keinen Maitrieb bilden.

#### 3. Sofortiger Einschlagsbeginn

Die drohende Verblauung des Sägeholzes gebot eine gewisse Eile, zudem sollte in den Wintermonaten das für holz- und rindenbrütende Insekten bruttaugliche Material komplett aus den Beständen entnommen werden.

#### 4. Abfuhr der Holzpolter bis Ende Februar 2015

Um die Maßnahme erfolgreich zu beenden, durften die gepolterten Holzsortimente nicht als Vermehrungsgrundlage für Sekundärschädlinge bzw. auch technische Schädlinge fungieren.

Um ein möglichst einheitliches Vorgehen der Revierleiter bei der Auswahl des ausscheidenden Bestandes zu gewährleisten, wurde mit den Kollegen ein Probeauszeichnen durchgeführt.

#### 4. Sanitärhiebe sind über mehrere Jahre notwendig

Nachfolgend war die Frage nach der weiteren Entwicklung der Bestände im Frühjahr 2015 von Interesse. Eine Regeneration der Nadelmasse war nur dann zu erwarten, wenn genügend intakte Knospen vorhanden waren. Darüber hinaus nehmen das Bestandesalter, der Standort, die Konkurrenzsituation im Bestand, die Bestandesstruktur und in besonderem Maße der Befallsdruck durch Sekundärschädlinge sowie der Witterungsverlauf Einfluss auf diese Entwicklung. Dabei kann der Witterungsverlauf und hier vor allem die Niederschlagsmengen in der Hauptvegetationsperiode 2014 und 2015 mindestens als durchschnittlich beurteilt werden, was in erheblichem Maße positiv auf die Regeneration der Nadelmasse wirkte (Abb. 4; [www.wettercontor.de](http://www.wettercontor.de)). Die gefürchteten Dürresommer nach einem solchen Fraßereignis blieben somit aus.

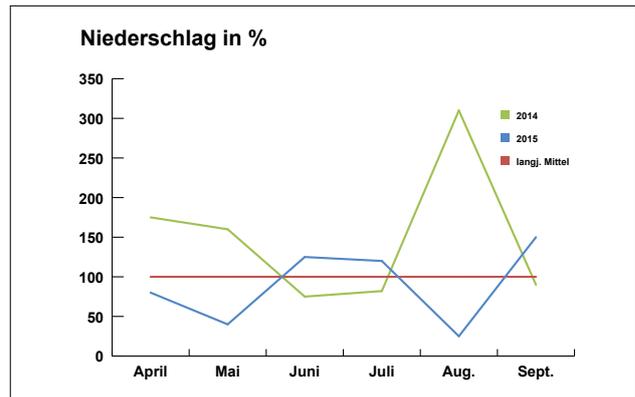


Abb. 4: Niederschlag Cottbus 2014 und 2015 in Prozent zum langjährigen Mittel.

Um die weitere Regeneration der Nadelmasse während der Vegetationszeit 2015 zu dokumentieren und die Wirkung der vorgeschlagenen Strategie der „Sauberen Waldwirtschaft“ nach einem massiven Fraßereignis zu bewerten, wurden in den drei betroffenen Landeswaldrevieren Staakow, Hollbrunn und Preilack insgesamt 6 Beobachtungsflächen eingerichtet. In drei Flächen waren die Bäume ohne Nadeln entnommen worden, in drei nicht. Die Flächen wurden etwa alle 4 Wochen aufgesucht und alle Veränderungen dokumentiert. Von besonderem Interesse war dabei der Befall durch Sekundärschädlinge, vor allem rindenbrütende Käfer.



Abb. 5: Kein Befall durch Sekundärschädlinge nach Entnahme aller unbenadelten Bäume, Zustand Herbst 2015.



Abb. 6: Befall durch Blauen Kiefernprachtkäfer und Zwölftzähligen Kiefernborstenkäfer an Bäumen ohne Nadeln, Zustand Herbst 2015.

## 5. Ergebnisse

Die konsequente Entnahme aller nach Kahlfraß durch den Kiefernspinner unbenadelten Bäume im Folgewinter 2014/2015 hat den Wertverlust durch Verblauung oder Insektenbefall höherwertiger Holzsortimente wirksam verhindert. In den so behandelten Beständen kam es auch während der Vegetationsperiode 2015 zu keinem nennenswerten Befall durch Sekundärschädlinge (Abb. 5). Wenige Einzelbäume wurden durch den Großen Blauen Kiefernprachtkäfer befallen. Die rechtzeitige Abfuhr der Holzpolter hat diese positive Ausgangslage unterstützt. Begünstigend war, dass die durchschnittlichen bis überdurchschnittlichen Niederschläge in den Sommermonaten 2014 und 2015 eine Stresssituation durch Wassermangel in den betroffenen Kiefernbeständen verhindert haben.

Nicht entnommene unbenadelte Bäume in Vergleichsbeständen wurden in der Vegetationsperiode 2015 zum überwiegenden Teil durch Sekundärschädlinge besiedelt und/oder durch Bläuepilzbefall entwertet (Abb. 6). Neben dem Zwölfzähligen Kiefernborckenkäfer (*Ips sexdentatus*) und verschiedenen Bockkäferarten waren 2015 hier auch der Große Waldgärtner (*Tomicus piniperda*) sowie der Große Blaue Kiefernprachtkäfer (*Phaenops cyanea*) beteiligt.

In einigen Bereichen traf der Kahlfraß durch den Kiefernspinner auf bereits durch die Nonne 2013 intensiv befallene Bestände. Der dort bereits 2014 einsetzende Befall durch Zwölfzähligen Kiefernborckenkäfer, Zimmermannsbock (*Acanthocinus aedilis*) und Bäckerbock (*Monochamus galloprovincialis*) führte im Jahr 2015 zum fast vollständigen Absterben der Bestände. Daher sollte für Kiefernbestände mit zweimaligem Kahlfraß mit Nadelverlusten zwischen 90 und 100% sowie nachfolgend beginnenden Absterbeerscheinungen, im Sinne einer höchstmöglichen Wertschöpfung, immer ein flächiger Abtrieb erwogen werden. In der Regel sind diese Bestände in ihrer Vitalität so sehr geschwächt, dass sie dem Befallsdruck durch Sekundärschädlinge nichts entgegen zu setzen haben (WENK, M. 2016). Diese Erfahrungen werden durch Satellitenaufnahmen vom Herbst 2014 bestätigt (Abb. 7)

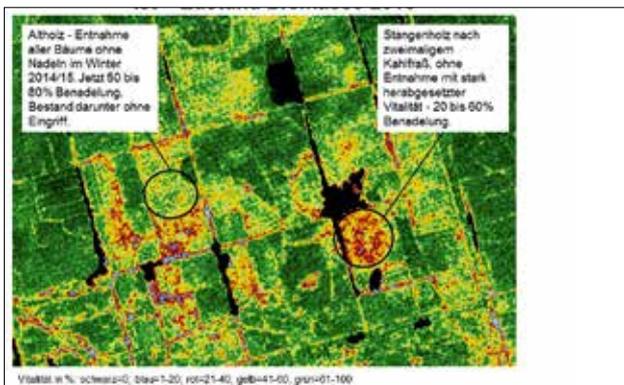


Abb. 7: Biomassezustand nach Sanitärhieb und nach zweimaligem Kahlfraß.

## 6. Zusammenfassung

Nach dem Kahlfraßereignis durch den Kiefernspinner im Jahr 2014 in der Landeswaldoberförsterei Peitz ergab sich zwangsläufig ein Zielkonflikt zwischen dem Ringen um die Erhaltung jeden lebensfähigen Baumes einerseits und der Nutzung wertvoller Sortimente vor ihrer Entwertung andererseits. In Abwägung der forstsanitären und nutzungstechnischen Rahmenbedingungen wurde durch die Zusammenarbeit von Betriebsleitung, Landeswaldoberförsterei und dem Fachbereich Waldschutz und Wildökologie des LFE ein erfolgreiches Nutzungskonzept entwickelt, welches gleichzeitig die Verbesserung der forstsanitären Situation in den betroffenen Beständen ermöglichte. Die entscheidenden Maßnahmen umfassten die Entnahme aller Bäume ohne Nadeln im Winter nach dem Kahlfraß und die Abfuhr aller Sortimente bis Ende Februar.

### Literatur

MÖLLER, K. (2015): Nur ein toter Baum ist ein guter Baum – Das Ende der Multifunktionalität des Waldes? Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 59: S. 70–78.

WENK, M. und APEL, K.-H. (2008): Die Regenerationsfähigkeit von durch Fraß des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.) und der Nonne (*Lymantria monacha* L.) geschädigten Kiefernbeständen in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 32: 280–287.

WENK, M., MÖLLER, K. (2013): Prognose Bestandesgefährdung – bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 51: 9–14.

WENK, M. (2016): Dokumentation des Schadverlaufes – Einsatz von Satellitenbildern und Bügelschaber. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 62: im Druck.

[www.wettercontor.de](http://www.wettercontor.de)



# Bläuepilze und Holzentwertung – Untersuchungen zum Schadverlauf im Kahlfraßgebiet

DR. PAUL HEYDECK, CHRISTINE DAHMS, MATTHIAS WENK, FRANK PASTOWSKI, PASCAL EBERT, CORNELIA JACOB & ALEXANDER MENGE

## 1. Problemstellung

Bläue an eingeschlagenem, im Wald längere Zeit lagerndem Nadelholz (Abbildung 1) ist ein häufig zu beobachtendes Phänomen. Das Auftreten dieser Holzverfärbung signalisiert einen deutlichen Rückgang des Wassergehaltes im Splint. Weniger bekannt ist, dass bereits im Stammholz stehender Bäume ausgedehnte Blaufärbungen vorkommen können. Speziell nach Kahlfraß durch Insekten muss mit einem verstärkten Vorkommen von Bläue gerechnet werden. Über den Zeitpunkt des Erscheinens liegen bisher aber nur wenige Informationen vor.

Im Fokus der hier durchgeführten Untersuchungen stand die Etablierung von Bläueerregern im Stammholz kahl gefressener, noch lebender Kiefern. Folgende Fragen sollten dabei beantwortet werden:

- Zu welchem Zeitpunkt nach dem Kahlfraß beginnt das Holz zu verblauen?
- Welche Pilzarten können als Bläueerreger identifiziert werden?
- Bei welcher Holzfeuchtigkeit ist mit der Entstehung von Bläue zu rechnen?
- In welchen Stammbereichen tritt die Holzverfärbung zuerst auf?

Außerdem sollte ermittelt werden, ob sich in den durch Kahlfraß geschädigten Kiefernbeständen zwischenzeitlich pilzliche Pathogene (Schwächeparasiten!) etablieren konnten.



Abb. 1: Bläue an im Wald lagerndem Kiefernholz (Fotos: P. HEYDECK).

## 2. Charakterisierung der Bläue – Biologie und Ökologie der Bläuepilze

Unter der Bezeichnung „Bläue“ (auch „Verblauung“) versteht man eine graublaue bis schwarze, meist radialstreifig orientierte Holzverfärbung. Diese wird von bestimmten Pilzarten, den sogenannten „Bläuepilzen“, verursacht (SCHMIDT 1994, NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER 1995, BUTIN 2011). Obwohl die Erscheinung gelegentlich auch an Laubbäumen auftritt, sind doch ganz überwiegend Nadelhölzer betroffen. Wirtschaftliche Bedeutung besitzt die Bläue insbesondere an Kiefer. Damit stellt sie in der Forst- und Holzwirtschaft Brandenburgs ein wichtiges Kriterium bei der Rohholzaushaltung dar. Unter bestimmten Voraussetzungen kann die Bläue auch an Fichte zu Problemen führen (SCHUMACHER et al. 2003).

Hervorzuheben ist, dass die Bläuepilze grundsätzlich nur das Splintholz – nicht den Kern – besiedeln. Der blaue Farbton entsteht durch Lichtbrechung an den braun gefärbten Hyphen der Bläuepilze (ZINK und FENGEL 1989). In den verschiedenen Phasen der Holzaufbereitung werden mehrere Grundtypen der Bläue unterschieden (BUTIN 1965 a, b; NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER 1995, BUTIN 2011). So tritt die **Stammholzbläue** (primäre Bläue) an im Wald lagernden, berindeten Stämmen auf, mitunter schon an stehenden Bäumen. Die **Schnittholzbläue** (sekundäre Bläue) hingegen entsteht an eingeschnittenem Holz (auf Lagerplätzen gestapelte Schnittware). Eine besondere Kategorie verkörpert die **Anstrichbläue** (tertiäre Bläue). Sie kommt an bereits verarbeitetem und lackiertem Holz vor.

Die Zahl der als Bläueerreger bekannten Pilzarten wird in der Fachliteratur recht unterschiedlich geschätzt. Nach SCHMIDT (1994) können etwa 100 Pilze Bläue verursachen, wobei es sich um Vertreter der Gruppen Asco- und Deuteromycota handelt. Bei Pilzisolierungen ließen sich in verblautem Holz besonders häufig *Ceratocystis*- und *Ophiostoma*-Arten nachweisen. Darüber hinaus wurden sehr oft *Alternaria*-, *Cladosporium*- und *Leptographium*-Arten sowie die Pilze *Aureobasidium pullulans*, *Discula pini-cola*, *Sphaeropsis sapinea* (= *Diplodia pinea*), *Strasseria geniculata* und *Sydowia polyspora* diagnostiziert (PECHMANN et al. 1964, KÄÄRIK 1980, BUTIN 2011). Bläue tritt bei einer Holzfeuchtigkeit zwischen 30 und 120 % auf (bezogen auf das Trockengewicht), wobei das Optimum im Bereich von 50 und 90 % liegt. Die verschiedenen Bläuepilze entwickeln sich in einem breiten Temperaturintervall. Als optimal gelten Werte zwischen (18) 20 und 28 °C.

Die Holzfestigkeit wird durch die Lebenstätigkeit der Bläueerreger kaum beeinträchtigt (nur geringer Zellwandabbau). Aus diesem Grunde ist der mitunter verwendete Begriff „Blaufäule“ nicht korrekt. Bei der Bläue handelt es sich in erster Linie um einen „Schönheitsfehler“. NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER (1995) betonen in diesem Zusammenhang, dass verblautes Holz für saubere Tischlerware, bei der es auf die natürliche Farbe des Holzes ankommt, nicht geeignet ist.

Die Übertragung der Bläueerreger erfolgt oft durch **Borkenkäfer**. An Gemeiner Kiefer sind beispielsweise der Kleine Waldgärtner (*Tomicus minor*) und der Scharfzähne Kiefernborkekäfer (*Ips acuminatus*) von Bedeutung. Maßnahmen zur Abwehr von Bläueschäden schließen daher Vorkehrungen gegen Insektenbefall ein.

## 3. Untersuchungen zur Bläueentwicklung an stehenden Kiefern nach Insektenfraß im Forstrevier Pinnow

Zunächst sollte ermittelt werden, wann die Bläue im Stammholz nach dem Kahlfraß durch Nonne und Kiefernspinner einsetzt und wie sich die Holzverfärbung danach weiter entwickelt. Für die Untersuchungen wurde ein 53-jähriges Stangenholz in Abteilung 8103 des Reviers Pinnow ausgewählt.

### 3.1 Methodik

Bei einer Flächenbegehung im Februar 2015 (7 Monate nach dem Kahlfraß) wurden 25 kahl gefressene (unbenadelte) Kiefern entlang eines Transektes für die Untersuchungen ausgewählt und markiert. Danach erfolgte an diesen Bäumen in Abständen von zwei bis drei Monaten eine **Bohrkernentnahme** aus dem Stammholz mittels PRESSLER-Zuwachsbohrer (Abbildung 2) in 1,3 bis 1,5 m Höhe. Mit Blick auf die nachfolgenden Laboranalysen war schon bei den Freilandarbeiten ein gewisses Maß an Sterilität erforderlich. Um Verunreinigungen durch Fremdkeime zu vermeiden, wurden die Oberflächen der verwendeten Werkzeuge vor jedem Einsatz desinfiziert.



Abb. 2: Bohrernahme mittels Zuwachsbohrer und Überführung der Proben in sterile Petrischalen – der Bohrkern im Bild rechts ist teilweise verblaut (Fotos: F. WENZL).

Zum Transport wurden die entnommenen Bohrkern einzeln in sterile Petrischalen überführt – die weitere Verarbeitung erfolgte im Labor. Dabei wurden von jeder Probe einige Teilstücke auf **künstlichen Nährboden** (Malzextrakt-Agar) übertragen. Im Mittelpunkt dieser Arbeiten standen die Isolierung pilzlicher Organismen und die Identifizierung von Bläueerregern (mikromorphologische Determination). Die verbliebenen Bohrkern-Segmente wurden in so genannte „**Feuchtkammern**“ (sterile Petrischalen mit angefeuchtetem Filterpapier) eingelegt. Das Ziel dieser Prozedur bestand darin, das Wachstum im Holz lebender Pilzarten durch Herstellung optimaler Entwicklungsbedingungen zu stimulieren und die Ausbildung reproduktiver Stadien anzuregen.

Außerdem wurden im Untersuchungsgebiet zur okularen Prüfung des Stammholzes auf Bläue **Probefällungen** durchgeführt. Diese Stichproben sollten darüber hinaus zusätzliche Informationen liefern – vor allem im Hinblick auf die Verteilung der Bläue im Stamm. Bei jedem Besichtigungstermin wurde eine repräsentative, unbenadelte Kiefer ausgewählt und gefällt. Nach dem Aufschneiden erfolgte eine gründliche Musterung des Stammholzes hinsichtlich vorhandener Verfärbungen.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Messung der **Holzfeuchtigkeit**. Zur orientierenden Bestimmung kam dabei im Freiland das mobile Feuchtemessgerät MOIST 200 zum Einsatz. Um eine präzisere Messung der Holzfeuchte zu gewährleisten, wurde der Wassergehalt anschließend noch mit Hilfe von Labormethoden bestimmt (Darrtrocknungsverfahren).

### 3.2 Ergebnisse und Diskussion

Bei den ersten beiden Probenahmen (Februar und April 2015) gab es noch keine Hinweise auf eine Bläueentwick-

lung im Stammholz der ausgewählten Kiefern. Sowohl die Laborbefunde als auch die Resultate der Baumfällungen fielen negativ aus. Erst der dritte Test (Juni 2015) erbrachte für beide Methoden ein positives Ergebnis. Somit konnte **11 Monate** nach dem Kahlfraß-Ereignis an 24 % der Kiefern erstmalig **Bläue** nachgewiesen werden. Anzunehmen ist, dass die Aktivität der Bläuepilze bereits im Mai deutlich erhöht war. Die Mehrzahl der untersuchten Bäume hatte im Frühjahr 2015 geringfügig ausgetrieben. Bei der darauffolgenden Probenahme (August 2015) war die Zahl der verblauten Kiefern schon fast doppelt so hoch (44 %). Drei Monate später, im November 2015, lag der Anteil mit Bläue behafteter Bäume bei 64 % (Abbildung 3).

Die Ausdehnung der Bläue war in den aufgeschnittenen Baumstämmen unterschiedlich. Verblaute Partien konnten vom unteren Stammabschnitt bis in den kronennahen Bereich gefunden werden. Am intensivsten war die Bläueentwicklung jedoch im oberen Teil des Stammes. Gelegentlich ging die Holzverfärbung von Befallsstellen des Bäckerbocks (*Monochamus galloprovincialis*) aus.

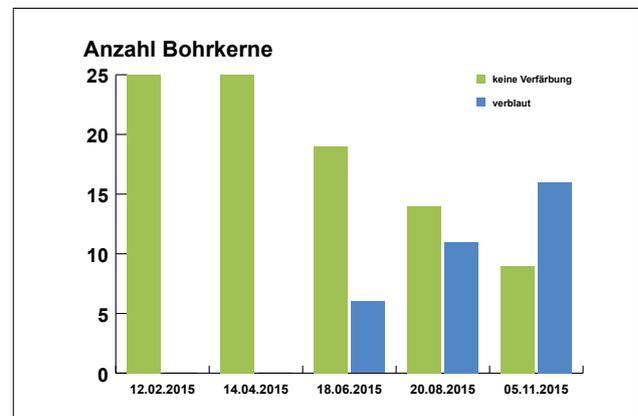


Abb. 3: Nachweis von Bläue an entnommenen Bohrkernen (GKI, Forstrevier Pinnow, 2015).

Anhand von Labortests konnten aus den entnommenen Bohrkernen und weiteren Stammholzproben folgende Kleinpilze als **Bläueerreger** identifiziert werden:

- asexuelle Stadien von *Ophiostoma* spp.
- *Aureobasidium* (*Pullularia*) *pullulans*
- *Sphaeropsis sapinea* (= *Diplodia pinea*)
- *Alternaria* spp.

Bei den genannten Pilzen handelt es sich um häufig vorkommende Bläueerreger. ***Sphaeropsis sapinea*** ist vor allem als Verursacher des Diplodia-Kieferntriebsterbens bekannt (BUTIN 2011). Darüber hinaus vermag der Erreger auch Bläue im Holz hervorzurufen. Fruchtkörper von *S. sapinea* wurden bei den Untersuchungen im Revier Pinnow an Zweigen und Ästen gefällter Kiefern häufig gefunden. Offenbar konnte sich der Pilz auch im oberen Teil des **Stammes** zunehmend etablieren (Abbildung 4). Die als wärmeliebend geltende Spezies erscheint – je nach Situation – als Saprobiont, Endophyt, Schwächeparasit oder als Wundparasit nach Hagelschlag.

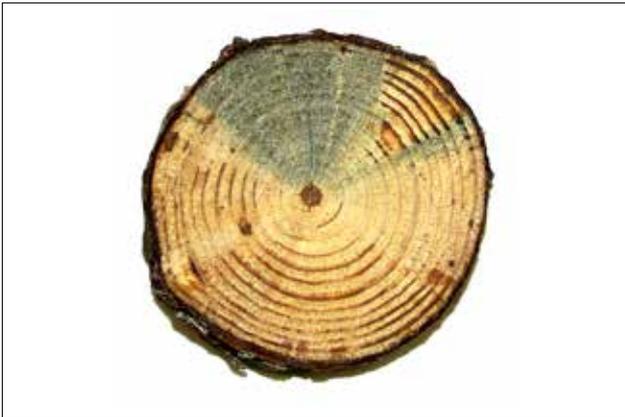


Abb. 4: Bläue im kronennahen Stammbereich, verursacht durch *Sphaeropsis sapinea* (Foto: P. HEYDECK).

Einen besonderen Arbeitsschwerpunkt bildete die Ermittlung der **Holzfeuchtigkeit**. Die im Freiland mit einem mobilen Messgerät festgestellten Werte dienten der Groborientierung. Aus Tabelle 1 sind die Ergebnisse des deutlich präziseren Darrtrocknungsverfahrens im Labor bei einer Temperatur von 103 °C (Laufzeit bis zur Gewichtskonstanz) ersichtlich. Die Darrbezugsfeuchte wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Holzfeuchte [\%]} = \frac{(\text{Frischmasse} - \text{Trockenmasse})}{\text{Trockenmasse}} \times 100$$

Tab. 1: Ergebnisse der Holzfeuchtemessungen an gefällten Kiefern [%].

	Unterstamm	Mittelstamm	oberer Stamm
Februar	110 (94–125)	117 (68–137)	130 (44–157)
April	123 (116–134)	155 (145–167)	159 (138–173)
Juni	132 (116–143)	151 (145–167)	52 (32–60)
Juli	107 (90–117)	146 (135–155)	49 (23–114)
August	123 (110–137)	141 (113–162)	28 (19–42)

(Mittelwerte aus jeweils 8 Einzelmessungen mit Intervallangabe; Fettdruck signalisiert kritische Holzfeuchten)

Die Ergebnisse der Holzfeuchtemessungen lassen bereits im Winter kritische Werte erkennen. Aufgrund der niedrigen Temperaturen war zu diesem Zeitpunkt aber noch keine nennenswerte Aktivität von Bläuepilzen zu verzeichnen. Am Frühlingsanfang hatte sich die Holzfeuchte vorübergehend stabilisiert. In der Folgezeit sanken jedoch die Werte im oberen Teil des Stammes (Übergang zur Baumkrone) drastisch ab. Auch im unteren Stammbereich reduzierte sich die Holzfeuchte deutlich. Das Holz begann partiell zu verblauen. Am beständigsten hielt sich die Holzfeuchtigkeit im mittleren Stammabschnitt.

Von erheblicher Bedeutung für die Bläueentstehung ist der **Witterungsverlauf**. Aus den Abbildungen 5 und 6 geht hervor, dass es im Zeitraum von Herbst 2014 bis Frühjahr

2015 überwiegend zu warm und zu trocken war. Diese Faktorenkombination könnte die Entwicklung der Bläuepilze im Stammholz der Kiefern forciert haben.

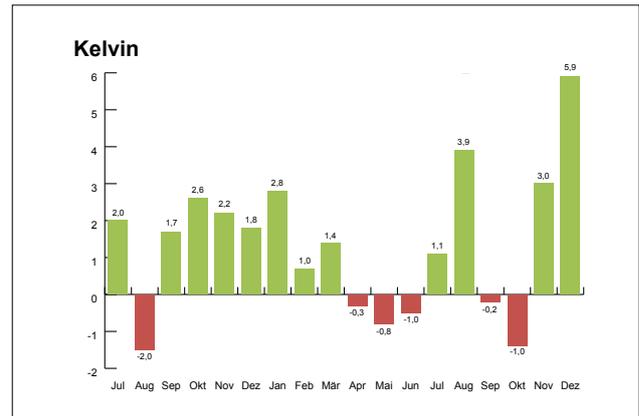


Abb. 5: Abweichung der Lufttemperatur vom langjährigen Monatsmittel, Wetterstation Cottbus (2014–2015).

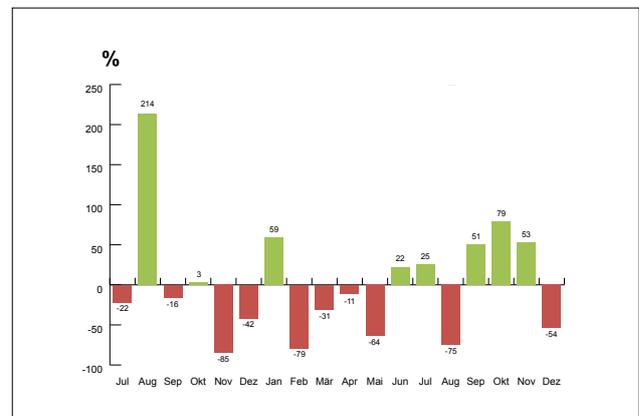


Abb. 6: Abweichung der Niederschlagssumme vom langjährigen Monatsmittel, Wetterstation Cottbus (2014–2015), nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes (Offenbach a. M.).

In dem untersuchten Bestand wurde gezielt nach **pilzlichen Pathogenen** gesucht. Dabei konnten an abgestorbenen Kiefernrrieben Fruchtkörper (Apothecien) des Kleinpilzes *Cenangium ferruginosum* (Erreger des „Kiefernrtriebsschwinds“) festgestellt werden (Abbildung 7). Die Krankheit tritt nur in größeren Zeitabständen auf – oft vergehen Jahrzehnte. Akuter Wassermangel (Trockenstress) scheint der wichtigste prädisponierende Faktor zu sein. Allerdings kam es nur dann zu einem intensiven Befall, wenn sich der Pilz in der Zeit davor bei anhaltend feuchter Witterung intensiv reproduzieren konnte. Offenbar schaffen auch bestimmte Insektenarten, wie die Kiefernadelnscheidengallmücke (*Thecodiplosis brachyntera*) und die Nadelknickende Kieferngallmücke (*Contarinia baeri*), bedeutsame Eintrittspforten für *C. ferruginosum* (LORENZ 1966, HARTMANN et al. 2007). Die parasitische Potenz des Pilzes ist in der forstpathologischen Literatur wiederholt konträr diskutiert worden. Fest steht, dass er vorwiegend saprotroph auf abgestorbenen Zweigen bzw. Ästen verschiedener *Pinus*-Arten lebt. Unter bestimmten Voraussetzungen vermag der Pilz jedoch als Schwächeparasit lebende, prädisponierte Kiefern anzugreifen. *Cenangium*-Epidemien sind wohl an kontinental getöntes Klima gebunden (vgl. CECH und KREHAN 1991).



Abb. 7: Kiefertrieb mit Apothecien von *Cenangium ferruginosum* (Fotos: P. HEYDECK).

Im vorliegenden Fall scheint der Pilz nur absterbende bzw. bereits tote Triebe besiedelt zu haben. Seit dem letztmaligen intensiven Auftreten Mitte der 1980er Jahre gab es im Nordostdeutschen Tiefland keine größeren Probleme mit *C. ferruginosum* mehr. Möglicherweise steht der Pilz verstärkt in Konkurrenz zu *Sphaeropsis sapinea*. Beide Arten sind als Endophyten identifiziert worden – und beide können Trieberkrankungen auslösen. Allerdings profitiert *S. sapinea* als wärme-liebender Pilz stark von den aktuellen Klimaveränderungen.

### 3.3 Fazit

Bei den im Revier Pinnow nach Kahlfraß von Nonne und Kiefernspinner durchgeführten Untersuchungen an unbenadelten oder nur spärlich regenerierten Kiefern wurden erste Nachweise von Stammholzbläue im Juni 2015 – knapp ein Jahr nach dem Fraßereignis – erbracht. Die Holzfeuchtigkeit erreichte zu diesem Zeitpunkt vielfach Werte im kritischen Intervall von 30 bis 120 %. Besonders stark abgesunken war die Holzfeuchte im kronennahen Stammbereich der Bäume.

Aus den Untersuchungen zum Auftreten von Stammholzbläue wird deutlich, dass im vorliegenden Fall ein für praktische Entscheidungen und Maßnahmen (Sanitärhiebe) ausreichend langer Zeitraum zur Verfügung stand. Unter veränderten Rahmenbedingungen (Witterung, Aktivität von Sekundärschädlingen bzw. Folgepathogenen) ist allerdings ein modifizierter Verlauf der Bläueentwicklung zu erwarten.

Wie aus Abbildung 3 zu erkennen ist, intensivierte sich die Ausbreitung der Bläuepilze im Sommer und Herbst. Um einer drastischen Wertminderung des Stammholzes durch Bläue am stehenden Baum zu entgehen, sollten Kiefern mit einer Benadelung von <10% (nach dem Austrieb) rechtzeitig entnommen werden.

Grundsätzlich empfiehlt es sich zur Reduzierung von Verlusten durch Bläue, wertvolles Stammholz vorzugsweise in der kalten Jahreszeit – also im Herbst und Winter – zu fällen (NEUMÜLLER und BRANDSTÄTTER 1995) und das geschlagene, aufgearbeitete Holz möglichst rasch abzufahren. Wichtig ist eine optimale Konzipierung der Arbeitsabläufe (Technikeinsatz). Bei Waldlagerung sollten die Stämme an einem kühlen Standort im Schatten bzw. Halbschatten unter Belassung des Rindenmantels möglichst lange frisch gehalten werden. Die Bläuepilze müssen möglichst ungünstige Bedingungen für ihre Entwicklung vorfinden. Fallen kurzfristig große Holzmassen an, greift man häufig auf die Nasslagerung zurück. Dabei werden die berindeten Stämme in voluminösen Poltern über einen kürzeren oder längeren Zeitraum künstlich beregnet. Eine Alternative

dazu wäre die Trockenlagerung der entrindeten Stämme, doch birgt diese Methode eine Reihe von Risiken (Gefahr der Rissbildung u. a.). Relativ aufwändig ist die Lagerung des Holzes in Folie, unter der sich eine O<sub>2</sub>-arme bzw. CO<sub>2</sub>-angereicherte Atmosphäre bildet. Bei sachgemäßer Handhabung können sich dort weder Insekten noch Bläuepilze nennenswert entwickeln. Geprüft wurden auch Möglichkeiten zum biologischen Schutz von Nadelholz vor Stamm- und Schnittholzbläue (ERNST et al. 2004). Diese haben bisher aber kaum praktische Bedeutung erlangt. Chemische Präparate stehen zur Bläueabwehr in Waldbeständen gegenwärtig nicht zur Verfügung.

### Literatur

- BUTIN, H. (1965 a): Untersuchungen zur Ökologie einiger Bläuepilze an verarbeitetem Kiefernholz. *Flora* 155: 400–440.
- BUTIN, H. (1965 b): Bläue an lackiertem Holz. *Holz-Zentralblatt* 91, 4: 3–7.
- BUTIN, H. (2011): *Krankheiten der Wald- und Parkbäume*. Stuttgart: Ulmer.
- CECH, T.; KREHAN, H. (1991): *Cenangium*-Kiefernsterben in Ostösterreich. *Forstschutz aktuell*, Nr. 6 (2): 1–4. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien, Inst. f. Forstschutz.
- ERNST, E.; KEHR, R.; MÜLLER, J.; WULF, A. (2004): Möglichkeiten zum biologischen Schutz von Nadelholz vor Stamm- und Schnittholzbläue. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 56, 8: 169–179.
- HARTMANN, G.; NIENHAUS, F.; BUTIN, H. (2007): *Farbatlas Waldschäden. Diagnose von Baumkrankheiten*. 3. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- KÄÄRIK, A. (1980): *Fungi causing sap stain in wood*. Swedish Univ. Agric. Sci. Uppsala, Sweden. Rapport Institutionen for Virkeslara, Sveriges Lantbruksuniversitet. No. R 114, 112 pp.
- LORENZ, I. (1966): Ein Beitrag zu den Infektions- und Erkrankungsbedingungen des Kiefertriebsterbens (*Cenangium ferruginosum* FR.). *Archiv für Forstwesen* 15: 725–734.
- NEUMÜLLER, A.; BRANDSTÄTTER, M. (1995): *Verblauung von Stammholz. Ursachen, Vorbeugung, Schutzmaßnahmen – eine Literaturübersicht*. *Holzforschung und Holzverwertung* 47, Nr. 4: 68–72.
- PECHMANN, H. V.; GRAESSLE, E.; WUTZ, A. (1964): Untersuchungen über Bläuepilze an Kiefernholz. *Forstwiss. Cbl.* 83: 290–314.
- SCHMIDT, O. (1994): *Holz- und Baumpilze*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- SCHUMACHER, J.; SOLGER, A.; LEONHARD, S.; ROLOFF, A. (2003): Zunehmendes Auftreten von Stamm- und Schnittholzbläue bei der Baumart Gemeine Fichte (*Picea abies* [L.] KARST.) im Freistaat Sachsen. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 174, 8: 148–156.

ZINK, P.; FENGEL, D. (1989): Studies on the Colouring Matter of Bluestain Fungi. Part 2: Electron Microscopic Observations of the Hyphae Walls. *Holzforschung* 43: 371–374.



# Konsequenzen für den Wirtschaftler – Sekundärschädlinge, Sanitärhiebe und waldbauliche Pläne

ARNE BARKHAUSEN, LEITER LANDESWALDOBERFÖRSTEREI PEITZ

## 1. Einleitung

Die Oberförsterei Peitz ist eine von 14 Landeswaldoberförstereien des Landesbetriebes Forst Brandenburg. Die Flächen der Oberförsterei liegen im Südosten des Landes überwiegend im Bereich der Klimastufe t. Die Kiefer hat einen Anteil von 80 % ergänzt durch jeweils 6 % Eiche und Birke. Die Hauptbaumart befindet sich zu einem hohen Anteil in der Altersklasse 4 (Durchschnittsalter 66 Jahre) und wurde traditionell in Reinkultur begründet. Die Bodenformen sind Sandbraunerden und Podsole in den Nährkraftstufen Arm und ziemlich Arm (Lokalbodenform Bärenthorener-Sandbraunerde). Humusentzug durch Streunutzung, Reinbestandswirtschaft, Brände etc. bedingt eine mindestens einfache Degradierung der Oberböden.

Die „Lieberoser Heide“ als ehemaliger sowjetischer Truppenübungsplatz ist mit einem großen Landeswaldkomplex von ca. 16.000 ha der Kern der Oberförsterei Peitz und auch das Zentrum waldschutzrelevanter Kalamitäten. Aufgrund der Unzerschnittenheit sowie der nährstoffarmen Landschaft im Jungmoränengebiet befindet sich hier ein großer Flächenanteil der Naturschutzgebiete der Oberförsterei (25% der Gesamtfläche sind NSG).

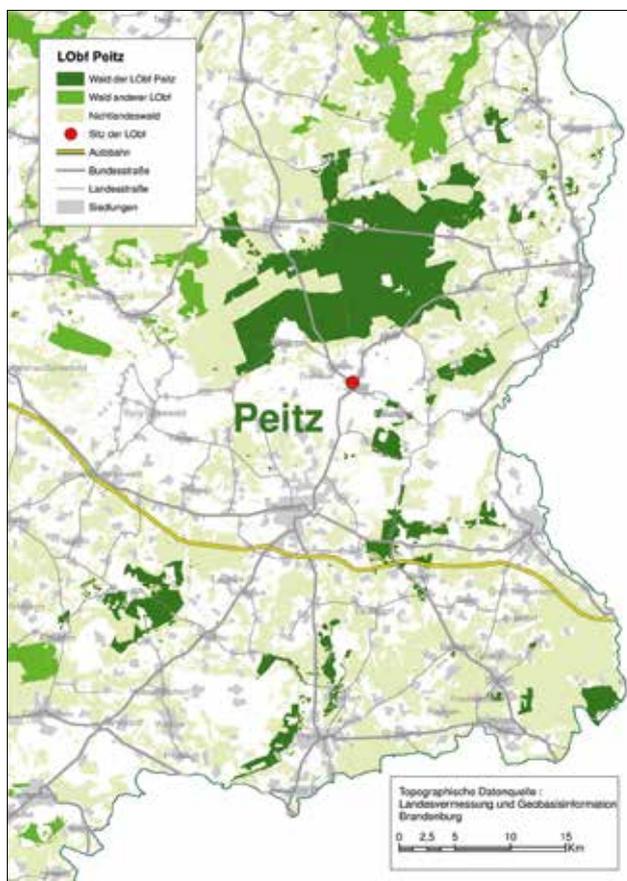


Abb. 1: Übersichtskarte der Landeswaldoberförsterei Peitz.

Satzungsgemäß sowie auch aus eigenem Anspruch und Selbstverständnis heraus, besteht ein hoher naturschutzfachlicher Anspruch in der Bewirtschaftung der Waldflächen im Naturschutzgebiet.

## 2. Ausgangslage

Aufgrund der naturalen Ausgangssituation und des überdurchschnittlich hohen Anteil an Kiefernreinbeständen kam es zum wiederholten Male zum Auftreten von Massenvermehrungen phyllophager Kieferschadinsekten (insbesondere Nonne, Forleule und Kiefernspinner) im Landeswald der Lieberoser Heide, dem Kerngebiet der Oberförsterei. Die genannten Rahmenbedingungen lassen auf Jahre hinaus auch keine Verringerung der Gefährdung durch Kalamitäten erwarten.

Im Jahre 2013 begann das Fraßgeschehen der Nonne und nachfolgend verstärkt des Kiefernspinners. Im Ergebnis des Monitorings mit tlw. mehrfacher Überschreitung der kritischen Werte, hatten die zuständigen Hoheitsoberförstereien Cottbus und Lieberose eine großflächige Applikation mit einem Pflanzenschutzmittel (PSM) empfohlen. Da auf ca. 500 ha der Empfehlungsfläche der Status Naturschutzgebiet liegt, stand der Durchführung des in der für 2014 geltende Genehmigung des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) erstmalig festgelegte generellen Verbotes des Einsatzes von Karate Forst flüssig mit dem Hubschrauber im Forst entgegen. Im Bescheid des BVL vom Dezember 2013 wurde der Einsatz eines PSM in Naturschutzgebieten generell untersagt und diese Versagung wurde auch im Widerspruchsbescheid vom März 2014 bekräftigt.

Begründung der Versagung der Applikation von PSM im NSG

**„Es kann nach hiesiger Kenntnis auch nicht vorausgesetzt werden, dass in den zuständigen Landesbehörden die ökotoxikologischen Kenntnisse und Daten in genügendem Maße vorhanden sind, die zur Beurteilung einer möglichen Schädigung der Populationen gefährdeter oder besonders geschützter Arten durch die Anwendung bestimmter Pflanzenschutzmittel benötigt werden.“ Widerspruchsbescheid des BVL v. 14.3.2014**

Im Ergebnis dieses wenig föderalen Prozesses, in dem die unteren Behörden des Landes Brandenburg keine weiteren Entscheidungsbefugnisse hatten, kam es im Jahre 2014 zu den prognostizierten Fraßschäden durch die Kiefernspinnerraupen in den hochgradig befallenen Kiefernbeständen und der Notwendigkeit einer Entscheidungsfindung zu Kalamitätsnutzungen. Auf 4.546 ha Landeswald in der Lieberoser Heide außerhalb des Naturschutzgebietes konnte im Mai 2014 erfolgreich Karate Forst flüssig appliziert werden, so dass sich Bäume, Bestände und die angekommene Kiefernaturverjüngung dort erholen konnten.



Abb. 2: Bild Raupen am Baum.

### 3. Strategie Nutzung und Pflege

Auf ca. 500 ha nicht bekämpften Flächen im Naturschutzgebiet waren nunmehr optional zwei Behandlungsstrategien im schwierigen Entscheidungsprozess möglich. Zum einen das Zulassen einer Art Prozessschutz, d.h. das Unterlassen eines nutzungstechnischen Eingriffes mit der Folge eines weiteren unkontrollierten Schadgeschehens, oder die Nutzung des stehenden Holzes vor dem Sichtbarwerden der Absterbeprozesse der Bäume. Schwierig war und ist dieser vielschichtige Entscheidungsprozess auch, da Kahlfraß nicht in jedem Fall das Absterben der Bäume und des Gesamtbestandes bedingt und der Verlauf des Stehendbefalls nachfolgender Sekundärschädlinge aufgrund der Witterung und anderer Kalamitätsprozesse nie sicher vorausgesagt werden kann.

Im September 2014 wurde dann aus fiskalischer Sicht entschieden, in allen Beständen stärkerer Baumklassen eine Nutzung drohend absterbender Bäume vorzunehmen, um einer Entwertung des Holzes durch Verblauung etc. zu verhindern. Gleichzeitig wurde somit potenzielles Brutmaterial für Sekundärschädlinge entnommen. Aufgrund des geringeren monetären Verlustes und der Hoffnung auf Selbstdifferenzierung der Bestände wurde in den schwächeren Beständen nicht eingegriffen. In Summe wurde zum damaligen Zeitpunkt eine ausgewogene und wenig polarisierende Entscheidung getroffen.

Im Ergebnis der Auswahl der Bestände wurden für 110 ha im Stockverkauf Harvester eingesetzt, um noch gesundes, grünes Holz zu ernten. Folgende Sortimenten wurden dabei zu einem guten marktfähigen Preis eingeschlagen.

Tab. 1: Erntemenge Sanitärhieb Wintereinschlag 2014/15.

Industrieholz	LAK	LAS	Erntemenge gesamt	Erntemenge je ha
63 %	19 %	18 %	6.369 Festmeter	57 Festmeter

Auf Empfehlung der Waldschutzmitarbeiter des Landeskompetenzzentrums Eberswalde (LFE) wurden Bäume mit einem Benadelungsanteil unter 10 Prozent aus allen Kraftschen Klassen entnommen. Ein gemeinsames Auszeichnen zu Beginn des Einschlages war hier sehr sinnvoll. Das gepoltete Holz wurde bis Ende März 2015 komplett aus dem Wald abgefahren. In den genutzten Beständen wurde nach dem Ein-

griff ein mittlerer Bestockungsgrad von 0,7 ermittelt. Parallel wurden auf den befallenen Flächen im Naturschutzgebiet durch das LFE Versuchsflächen auf 17,2 ha angelegt, um dort ohne weitere Eingriffe natürliche Prozesse nach dem Kahlfraß beobachten und bewerten zu können. Im Ergebnis dessen kann eingeschätzt werden, dass die von uns ausgezeichneten und entnommenen Stämme zu einem hohen Prozentsatz durch Kiefernborckenkäfer und Kiefernprachtkäfer zum Absterben gebracht worden wären.

In der Winterdekade 2015/16 sind weitere kleinere Brennholzselbsterwerber zum Einsatz gekommen. Diese entnehmen in allen Beständen mittlerweile „trockenes“ Holz zum aktuellen Selbstwerberpreis der Oberförsterei.

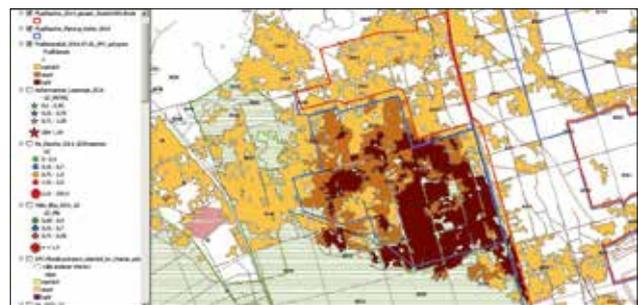
Zur allgemeinen Pflegestrategie der Oberförsterei gehört ein Pflegeblocksystem von derzeit 6 Jahren. Insbesondere in den Kiefernreinbeständen setzen wir das System stringent um, so dass alle 6 Jahre pflegenotwendige Bestände auch bearbeitet werden. Ziel dabei ist die Vitalität der Bäume zu erhöhen und die angekommenen Mischbaumarten zu erhalten. Durch Stabilisierung der Bestände soll das Risiko einer drohenden Kalamität abgesenkt werden.

### 4. Strategie Waldbau

Eine langfristige Strategie zur Anpassung unserer Wälder an biotische und abiotische Schadenszenarien ist der standortgemäße Waldbau. Durch die Anwendung dieses vorbeugenden Waldschutzes verbindet sich die Hoffnung der Verringerung der Kalamitäten in unseren Wäldern. Die waldbaulichen Optionen sollen im Folgenden für das Kernschadgebiet des Landeswaldreviers Hollbrunn skizziert werden.

Tab. 2: Auszug DSW 2 auf 392 ha Oberstand für das Zentrum des Schadgebietes im Revier Hollbrunn.

	Anteil	Alter	MHö	DM	RBon	Zuwachs
Kiefer	98,9 %	65	15 m	20 cm	2,6	5,0 Efm



Aufnahme Rapid Eye vom Kerngebiet Hollbrunn.

Neben dem Anteil von 98,9 % Kiefer sind die weiteren vorkommenden Baumartengruppen anderes Nadelholz sowie Weichlaubholz. Sandbraunerden in armer und ziemlich armer Ausprägung stellen die Nährkraft dar. In Summe stellen alle waldschutzrelevanten Schadgebiete der Lieberoser Heide ein ähnliches wie in Tabelle 2 dargestelltes Ausgangsspektrum dar. Dem Waldbauer werden dabei schnell die eingeschränkten Möglichkeiten des Handelns klar.

Welche Baumartenzusammensetzung die Förster vor Ort während des gesamten Bestandeslebens planmäßig und gestaltend zu etablieren haben, regelt der Erlass zu den „Bestandeszieltypen für die Wälder des Landes Brandenburg“. Die möglichen Baumarten ergeben sich aus der Standortsgerechtigkeit, den naturschutzfachlichen Anforderungen der Naturnähe, sowie der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Baumarten auf den gegebenen Standorten.

Tab. 3: Auszug aus BZT-Erlass für einen typischen Standort im Schadgebiet.

Stammstandortsgruppe	Gleichgewichtshumusform	Bestandeszieltyp	Waldbiotyp nach Hofmann
Z2  (Ziemlich arm und trocken)	mRM  (mittlerer roh-humusartiger Moder)	GKI-L, GKI-GBI  GKI-TEI	Blaubeer-Kiefern-Traubeneichenwald oder Drahtschmielen-Eichenwald

Der Bestandeszieltyp Gemeine Kiefer-Traubeneiche ist hierbei der BZT-N der den naturnähesten BZT auf unseren typischen Z-Standorten darstellt und zur Umsetzung in Naturschutzgebieten empfohlen wird. Die Kiefer bleibt dabei mit 50% bis 70 % die Hauptbaumart, mit 20% bis 40 % ist trupp- bis gruppenweise in den Oberstand einwachsend die Traubeneiche vorgesehen. Als Begleitbaumart ist bis zu 10 % z.B. die Birke eingepplant, welche sich durch Naturverjüngung einfinden soll.

Tatsächlich wird seitens der Oberförsterei Peitz der Birke eine deutlich höhere Bedeutung beigemessen (s. auch GKI-GBI als möglichen BZT). Aufgrund des guten Wachstums auf diesen armen Standorten ist die Birke viel eher in der Lage, die Kiefernreinbestände durch Laubholz zu unterbrechen. Sie entfaltet dabei sehr schnell ihr Potenzial als Lebensraum für natürliche Gegenspieler oder deren Nebenwirte (Raupenfliegen, Schlupfwespen) der Kiefernsehenschädlinge oder hat dienende Funktion bei der Verbesserung der Standortsgüte über das Birkenlaub als Bodenedaphon. Erste Tendenzen in dem seit 2005 laufenden Forschungsgebiet „Phönix“ zwischen den forstlichen Fakultäten der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde und der Technischen Universität Dresden in der Lieberoser Heide bestätigen diese Annahmen.

Als ausgewogenes und praktikables Bestandesziel werden seitens der Oberförsterei Peitz folgende Baumartenzusammensetzung angestrebt:

Tab. 4: Vorgeschlagene Baumartenzusammensetzung.

Gemeine Kiefer	Gemeine Birke	Traubeneiche
70 %	20 %	10 %

Da die Birke aufgrund ihres Wuchsganges rechtzeitig in die Senilität eintritt, stellen die nicht genutzten Methusalembäume dann auch zeitig ein Habitat für naturschutzfachlich interessante xylobionte Käferarten dar, bzw. kann der „Birkenvorwald“ als Schirm für eine nachfolgende Eichenetablierung genutzt werden.

Die Birken und die Eichen müssen gepflanzt werden, da sie derzeit nicht ausreichend natürlich ankommen. Die

Pflanzungen erfolgen in mehreren Spots auf der Fläche verteilt, um so eine bessere Waldschutzwirkung zu entfalten. Im Schadgebiet werden dazu gezielt Fraßlöcher für eine Birkenpflanzung ausgesucht. Ein flächiger Voranbau von Laubholz unter den vorherrschenden mittelalten Kiefern ist dabei aufwendig und hinsichtlich des Bestockungsgrades des Kiefernschirmes auch nicht zielführend. Durch die Schnellwüchsigkeit der Birke und dem Absatz als Kamin- und Brennholz ist diese Baumart auch fiskalisch interessant. Die Kiefer durchsetzt von Laubholz bleibt Hauptbaumart, da sie gerade in Bezug auf Klimaerwärmung und Trockenstress eine gute Vitalität zeigt und auch bonitätsseitig auf diesen armen Standorten für Wirtschaftler und Waldbesitzer eine gute Leistung generiert. Ein hohes Maß an Unsicherheit über kommende Waldschutzprozesse bleibt dabei bestehen.

Die Jagd als waldbauliches Instrument wird im Schadgebiet weiter intensiviert. Die Kiefer als Hauptbaumart verjüngt sich dabei weitestgehend von selbst. Im Zuge der biologischen Automation muss dies zukünftig auch für die Baumart Birke gelten.

Als waldbauliche Strategie ist weiterhin vorgesehen, neben den Versuchsflächen des LFE, nicht alle trockenen Bäume und Baumgruppen aufzuarbeiten, sondern dieses Totholz als essentiellen Bestandteil des Waldökosystems und als Lebensgrundlage vieler Arten im Wald zu belassen. Bei dieser Handlungsweise bleibt das Risiko des Erhalts von Brutbäumen der Sekundärschädlinge auf der Fläche hoch und muss durch intensives Monitoring begleitet werden.



Abb. 3: Birkenlochpflanzung im Schadgebiet.

## 5. Fazit und Chancen

Die Prognosen des kombinierten Waldschutzmonitorings sind treffend eingetreten, so dass unserem praktizierten Verfahren eine hohe Zuverlässigkeit bescheinigt werden kann und bei zunehmenden Klimaveränderungen dem Waldschutz auch eine hohe Bedeutung konstatiert werden muss. Auf den nicht mit Insektiziden behandelten Flächen hat der Landesbetrieb Forst Brandenburg die Verantwortung für die Entscheidung des zuständigen Bundesamtes übernommen. Einschränkungen der Nutzfunktion auf den Flächen, Hiebsunreifeschäden durch die eingeleiteten Zwangsnutzungen, Aufwendungen im Forstbetrieb, die Verringerung der Jahrringbildung durch weniger Nadelmasse etc. bedingen, dass sich auf den Schadflächen

das Betriebsergebnis verschlechtert und dieses so nicht optimal gestaltet werden kann. Auf Einladung wurden im April 2015 Bundesminister Schmidt die unbehandelten Kalamitätsflächen vorgeführt. Dabei ist dem Minister die Handlungsweise einer nachhaltigen Forstwirtschaft mit Gleichberechtigung aller Waldfunktionen in Verbindung mit der besonderen Verantwortung des Landesbetriebes Forst Brandenburg als Waldeigentümer zum Erhalt dieser multifunktionalen Waldwirtschaft nochmals angetragen worden. Im Nachgang wurde die Entscheidungskompetenz über die Applikation eines Pflanzenschutzmittels in Naturschutzgebieten wieder auf die Länder verlegt. Somit besteht die Möglichkeit, angemessen und verantwortungsvoll über den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln entscheiden zu können. Da die Entwicklung stabiler Waldökosysteme langfristige Arbeit bedeutet und die Stabilisierung erst nach der Etablierung der nächsten Baumgeneration erreicht wird, ist die Entscheidungsoption über eine Applikation auch noch lange notwendig.



*Abb. 4: Vor-Ort-Termin mit Bundeslandwirtschaftsminister Christian Schmidt (l.) und Brandenburgs Agrar-Staatssekretärin Dr. Carolin Schilde am 28. April 2015.*

Als praktizierende Förster sehen wir aber auch jedes Schadereignis als Chance, um durch lenkende und engagierte Arbeit die weitere Waldentwicklung im Nachgang zu steuern. In diesem Falle entsteht zeitiger ein mosaikartiges Waldbild, vermehrtes Sonnenlicht am Boden bedingt neben Vergrasungen aber auch die Chance der Etablierung von Naturverjüngungen. Die zielgerichtete und geplante Erhöhung des Totholzes wird durch das herbeigeführte Schadereignis nunmehr schlagartig erreicht. Die positiv genannten Entwicklungen wollen wir langfristig und nachhaltig auch erreichen. Die planmäßige Försterhand benötigt dazu stabile Rahmenbedingungen und einen gesunden Altholzschirm unter dem neue Waldgenerationen wachsen können. Die jetzige Schadsituation verstehen wir als Auftrag und Herausforderung für weiteres verantwortungsvolles forstliches Handeln.

# Betriebswirtschaftliche Verluste – Schadensbewertung nach Kahlfraß

ANNETT DEGENHARDT

## 1. Einleitung

Auf Grund eines ausgeprägten Risikopotenzials ist Brandenburg überdurchschnittlich häufig und intensiv von Insektenkalamitäten betroffen. Um die Gefährdungen für die Waldbestände rechtzeitig erkennen zu können, wurde ein komplexes Waldschutzmonitoringsystem zur Überwachung und Bekämpfung von Schadinsekten etabliert (MÖLLER et al. 2007). Nicht immer ist jedoch ein Insektizideinsatz möglich, so dass Kahlfraß dann auch zu Waldverlusten führen kann (MÖLLER 2015).

Größere Kalamitäten fanden in den letzten Jahren in der Schorfheide, der Lieberoser Heide sowie in der Reicherskreuzer Heide statt, die sowohl zu Vitalitätseinbußen als auch zum Absterben eines beträchtlichen Anteils der Bäume in Kiefernbeständen aller Altersklassen führten. In der Schorfheide wurden Kiefern 2004 großflächig von der Nonne befallen. Die Lieberoser Heide litt seit 2012 unter starkem Nonnenfraß. 2014 folgte großflächig eine Kiefernspinnergradation, die den befallenen Beständen keine Erholungsphasen bot. In der Reicherskreuzer Heide blieben dagegen die Kiefernbestände zunächst von der Nonne weitgehend verschont, waren dann aber 2014 verstärkt dem Kiefernspinner ausgesetzt.

In einigen Beständen fielen dem Fraß weit mehr als die Hälfte der Stämme zum Opfer. Die daraus resultierenden forstwirtschaftlichen Verluste sollen im Folgenden mit verschiedenen Methoden abgeschätzt und monetär bewertet werden. Anhand ausgewählter geschädigter Versuchsbestände werden dazu die mit Einsetzen des Schadereignisses bis zur Umtriebszeit zu erwartenden Wertverluste im Vergleich zu ungeschädigten Beständen mit verschiedenen Methoden näherungsweise berechnet.

Neben den in der Richtlinie zur Waldbewertung im Land Brandenburg empfohlenen Verfahren werden auch Bestandes- und Erlösentwicklungen mit Hilfe des Bestandessimulationsmodells BWINPro Brandenburg prognostiziert (Degenhardt 2012) und für die Schadensbewertung herangezogen.

## 2. Datengrundlagen

Mit dem Eintreten der Großschadereignisse in der Schorfheide, in der Lieberoser Heide und der Reicherskreuzer Heide wurden durch den Waldschutz des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde (LFE) 2003 bzw. 2014 Versuchsfelder angelegt, auf denen die Schadentwicklung bis zum Abschluss der Regeneration des Bestandes beobachtet, gemessen und dokumentiert werden sollte. Für alle Bäume auf den Versuchsfeldern liegen die Stammfußkoordinaten vor. Zu verschiedenen Zeitpunkten erfolgten ertragskundliche Aufnahmen mit Messung der Brusthöhendurchmesser und Baumhöhen. Ferner wurden alle abgängigen Bäume erfasst.

Für die Verlustkalkulationen im Rahmen dieser Arbeit standen die Daten von jeweils zwei Flächen in der Schorfheide (Rarangsee 168a1, Rarangsee 173a1), der Lieberoser Heide (Lieberose 8065 (1), Lieberose 8065 (2)) und der Reicherskreuzer Heide (Pinnow 8103 (1), Pinnow 8103 (2)) zur Verfügung.

### 2.1 Das Nonnenschadgebiet Schorfheide

Das Nonnenschadgebiet Schorfheide befindet sich in der Landeswaldoberförsterei Groß Schönebeck, im Revier Rarangsee (Abb. 1). Ein Großteil der Kiefernbestände in der Schorfheide wurde von 2002 bis 2004 von der Nonne befallen, wobei der Höhepunkt des Fraßes im Jahr 2003 lag. Trotz der Prognose Kahlfraß entschied das zuständige Ministerium angesichts der Lage im Biosphärenreservat „Schorfheide-Chorin“, auf einen Insektizideinsatz zu verzichten. Der intensive Fraß führte zum Absterben zahlreicher Bäume, so dass bis heute noch größere Lücken in den Beständen deutlich zu erkennen sind (APEL et al. 2005).



Abb. 1: Das Nonnenschadgebiet Schorfheide.



Abb. 2: Bestandeszustand Rarangsee 168 a1 im Frühjahr 2004 (links, Foto: G. LÜCK) und im Januar 2016 (rechts, Foto: S. PANKA).

Die Grundlage für die Bewertung der Schäden im Nonnenschadengebiet Schorfheide bilden die Daten von jeweils drei Aufnahmen. Nach Anlage der beiden Versuchsflächen Rarangsee 168a1 und Rarangsee 173a1 im Herbst 2003 erfolgte im Frühjahr 2004 vor dem Einsetzen des Nonnenfraßes eine erste ertragskundliche Aufnahme. Im Herbst 2004 wurden alle abgängigen Bäume erfasst. Auf erneute Durchmesser- und Höhenmessungen wurde verzichtet. Erst im Januar 2016 erfolgte noch einmal eine vollständige ertragskundliche Aufnahme.

Die 0,25 ha große Versuchsfläche Rarangsee 168a1 befindet sich in einem damals 78 Jahre alten Kiefernreinbestand der relativen Bonität I, 6 und einem Bestockungsgrad (BG) von 0,79. Durch den starken Befall starben im Sommer 2004 35 Bäume (25 %) ab (Abb. 2), was zu einem Bestockungsgrad von 0,57 führte. Die Aufnahme 2016 zeigte außerdem, dass trotz abklingender Gradation und Erholung der Einzelbäume in den letzten 10 Jahren noch einmal 33 Bäume abgängig waren. Die ertragskundlichen Bestandeskennwerte (DEGENHARDT 2001) vor und nach der Durchforstung 2004, nach dem Befall im Herbst 2004 sowie bei der aktuellen Aufnahme 2016 sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1 : Ertragskundliche Kennwerte für die Fläche Rarangsee 168a1.

	Vor der Durchforstung 23.04.2004	Nach der Durchforstung, vor dem Fraß 23.04.2004	Nach dem Fraß 04.10.2004	Wiederholungsaufnahme 26.01.2016
Alter	78	78	79	90
N [n/ha]	600	552	412	280
BG	0,85	0,79	0,57	0,51
Rel. Bonität	1,58	1,61	1,64	1,65
DG [cm]	25,71	25,55	25,44	29,18

Der Vergleich der Stammverteilungen vor und nach dem Fraß (Abb. 3) zeigt, dass die Absterbeerscheinungen gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilt waren. Die annähernd gleichen Mitteldurchmesser (DG = Durchmesser des Grundflächenmittelstammes) vor und nach dem Fraß 2004 bestätigen außerdem, dass in diesem Bestand Bäume aller Durchmesserklassen betroffen waren. Bis heute wirkt der Bestand trotz Verzichts auf Durchforstungen bei einem Bestockungsgrad von immer noch 0,51 nur locker geschlossen (Abb. 2).

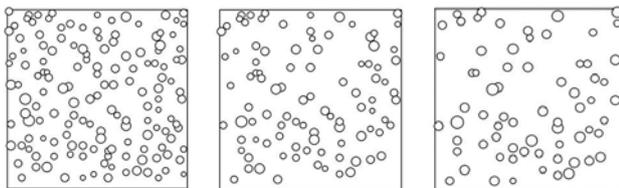


Abb. 3: Die Stammverteilungen auf der Fläche Rarangsee 168a1 nach der Durchforstung im Frühjahr 2004 (links), nach dem Fraß im Herbst 2004 (Mitte) und im Januar 2016 (rechts).

Auf der 0,2 ha große Versuchsfläche Rarangsee 173a1 (Abb. 4) fand man im Frühjahr 2004 einen 50-jährigen

Kiefernreinbestand der relativen Bonität I, 5 mit einem Bestockungsgrad von 1,14 vor (Tab. 2). Durch einen schematischen Gassenaufschluss reduzierte sich der Bestockungsgrad auf 0,90, wobei zwischen den Gassen die sehr hohe Dichte erhalten blieb. Durch den starken Nonnenbefall starben bis zum Herbst 2004 210 Bäume (64 %) ab, die durch einen Sanitärhieb entnommen wurden. Bei der Aufnahme 2016 fehlten weitere 14 Bäume, die in den letzten Jahren nachträglich abgängig waren. Durchforstungseingriffe erfolgten in dem Bestand seit 2004 nicht.



Abb. 4: Bestandeszustand Rarangsee 173a1 im Frühjahr 2004 (links, Foto: G. LÜCK) und im Januar 2016 (rechts, Foto: S. PANKA).

Tab. 2: Ertragskundliche Kennwerte für die Fläche Rarangsee 173a1.

	Vor der Rückegassenanlage Frühjahr 2004	Nach der Rückegassenanlage vor dem Fraß 23.04.2004	Nach dem Fraß 04.10.2004	Wiederholungsaufnahme 26.01.2016
Alter	50	50	51	62
N [n/ha]	2160	1635	585	515
BG	1,14	0,90	0,39	0,56
Rel. Bonität	1,53	1,49	1,42	1,75
DG [cm]	14,94	15,23	16,85	21,80

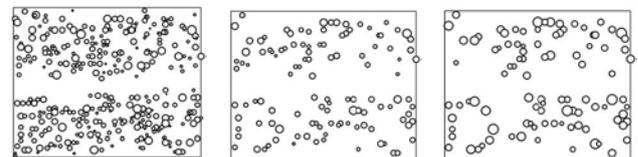


Abb. 5: Die Stammverteilungen auf der Fläche Rarangsee 173a1 nach der Durchforstung im Frühjahr 2004 (links), nach dem Fraß im Herbst 2004 (Mitte) und im Januar 2016 (rechts).

Auch hier zeigen die Stammverteilungen vor und nach dem Fraß (Abb. 5), dass sich die Fraßschäden gleichmäßig über die gesamte Fläche verteilen. Im Gegensatz zur Fläche Rarangsee 168a1 waren vermehrt schwächere Bäume betroffen (DG vor dem Fraß 15,23 cm, nach dem Fraß 16,85 cm), was auch auf die Durchforstungsrückstände und den daraus resultierenden Dichtstand außerhalb der Rückegassen zu erklären ist. Bis heute konnte sich der

Bestand etwas erholen, ist bei einem Bestockungsgrad von 0,56 jedoch nur sehr inhomogen geschlossen.

**2.2 Das Nonnen- und Kiefernspinnerschadgebiet Lieberoser Heide**

Das Schadgebiet Lieberoser Heide liegt in der Landeswaldoberförsterei Peitz, Revier Hollbrunn (Abb. 6). Die am stärksten geschädigten Flächen waren 2012 von einer Nonnengradation betroffen, die ihren Höhepunkt im Jahr 2013 erreichte. Im selben Jahr wurden diese Flächen zusätzlich durch den Kiefernspinner befallen. Während der Nonnenbestand 2014 deutlich zurückging, erreichte der Kiefernspinnerfraß sein Maximum. Eine Bekämpfung durfte trotz gesicherter Prognose 2014 im Bereich des Naturschutzgebietes „Lieberoser Endmoräne“ nicht erfolgen. Sämtliche restlichen Nadeln inklusive des Maitriebs wurden in der Folge durch den Kiefernspinnerbefall gefressen.



Abb. 6: Die Nonnen- und Kiefernspinnerschadgebiete Lieberoser Heide und Reicherskreuzer Heide.

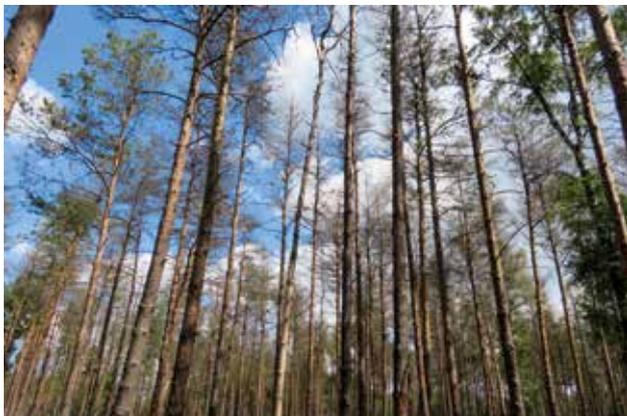


Abb. 7: Bestandeszustand Lieberose 8065 (1) im August 2015 (Foto: A. MENGE).

In dem großflächigen Schadgebiet wurden Anfang Juli 2014 zwei Versuchsflächen Lieberose 8065 (1) und (2) angelegt. Für diese Flächen liegen Daten von zwei Aufnahmen vor. Im Spätsommer-Herbst 2014 wurden alle Durchmesser und Höhen gemessen. Im Sommer 2015 erfolgte noch einmal die Erfassung aller abgängigen Bäume (ASCHMANN 2015).

Der Kiefernreinbestand der 50 m x 20 m (0,1 ha) großen Versuchsfläche Lieberose 8065 (1) war im Frühjahr 2014 60 Jahre alt, hatte eine relative Bonität I, 4 und eine Grundfläche, die 30 % unter der Optimalbestockung lag. Durch den Nonnenbefall und der anschließenden Kiefernspinner-

kalamität starben bis zum Spätsommer 2014 fast 25 % der Bäume ab. Bei der Aufnahme im August 2015 waren nur noch 15 der vormals 53 Bäume vital (28 %) (Abb. 7). Bis zum Januar 2016 sind weitere 6 Bäume abgestorben, die in den folgenden Berechnungen jedoch noch nicht berücksichtigt werden konnten.

Der Bestockungsgrad sank im Sommer 2015 auf 0,2 (Tab. 3). Die Absterbeerscheinungen traten hier sehr großflächig auf. Alle Durchmesserklassen waren gleichermaßen betroffen. Die Stammverteilung (Abb. 8) im Spätsommer 2015 zeigt, dass der Bestand sowohl sehr große Lücken als auch kleine Bereiche mit einem engen Kronenschluss aufweist.

Tab. 3: Ertragskundliche Kennwerte für die Fläche Lieberose 8065 (1).

	Vor dem Kiefernspinner-Fraß Juli 2014	Aufnahme 05.08.2015
Alter	60	61,5
N [n/ha]	530	150
BG	0,70	0,20
Rel. Bonität	1,48	1,28
DG [cm]	24,29	24,76

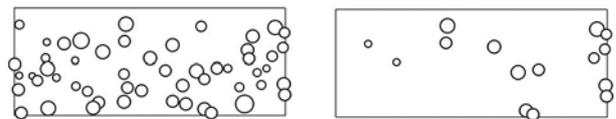


Abb. 8: Die Stammverteilungen auf der Fläche Lieberose 8065 (1) vor dem Fraß im Frühjahr 2014 (links) und im Spätsommer 2015 (rechts).

Die ebenfalls 50 m x 20 m (0,1 ha) große Versuchsfläche Lieberose 8065 (2) befindet sich in einem heute 41 Jahre alten Kiefernreinbestand, in dem schon vor dem Fraßereignis ein Gassenaufschluss erfolgte. Die Fläche wurde jedoch so angelegt, dass sie zwischen den Gassen liegt. Die Ertragskennwerte Grundfläche G und Bestockungsgrad BG geben daher die Verhältnisse für einen Bestand ohne Gassen wieder (Tab. 4).



Abb. 9: Bestandeszustand Lieberose 8065 (2) im August 2015 (Foto: A. MENGE).

Im Frühjahr 2014 fand man hier einen Kiefernreinbestand der Bonität 0,4 mit einem Bestockungsgrad von 0,83 vor. Durch den Nonnenbefall und der anschließenden Kiefernspinnerkalamität starben bis zum Spätsommer 2015 auf dieser Fläche 19 der 120 Bäume (16 %) ab. Der Bestockungsgrad sank dadurch auf 0,71. Aufgrund des Absterbens einzelner Bäume verteilt über die gesamte Fläche und alle Durchmesserklassen erscheint der Bestand auch nach dem Fraß noch recht homogen. Nur vereinzelt sind Lücken zu erkennen (Abb. 9–10).

Tab. 4: Ertragskundliche Kennwerte für die Fläche Lieberose 8065 (2).

	Vor dem Kiefernspinner-Fraß Juli 2014	Aufnahme 05.08.2015
Alter	40	41,5
N [n/ha]	1200	1010
BG	0,83	0,71
Rel. Bonität	0,72	0,73
DG [cm]	17,07	17,12

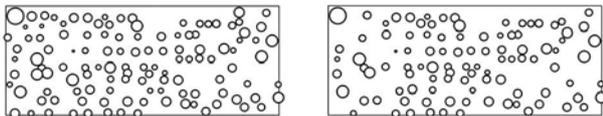


Abb. 10: Die Stammverteilungen auf der Fläche Lieberose 8065 (2) vor dem Fraß im Frühjahr 2014 (links) und im Spätsommer 2015 (rechts).

Obwohl diese Fläche nur etwa 100 m von der Fläche (1) entfernt liegt, sind die Stammverluste wesentlich geringer. Betrachtet man das in der Abbildung 11 mit terrestrischen Aufnahmen kombinierte Satellitenbild, dann wird deutlich, dass die Fläche (1) in einem Bereich mit mehr als 80 % Stammverlusten liegt, die Fläche (2) dagegen im Bereich von unter 10 % Stammverlusten. Bei gleicher Kahlfraßprognose aus den Waldschutzmonitoringverfahren muss offensichtlich trotzdem kleinflächig mit sehr unterschiedlichen Absterbeintensitäten gerechnet werden.

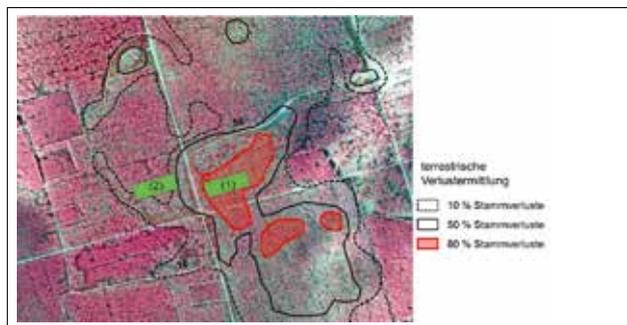


Abb. 11: Stammverlustzonen im Bereich der Versuchsflächen in der Lieberoser Heide (Quelle: Glückauf-Vermessung, NL Bautzen, RGBI, 10 cm, 08/2015).

### 2.3 Das Kiefernspinnerschadgebiet Reicherskreuzer Heide

Bereiche der Reicherskreuzer Heide wurde 2014 durch den Kiefernspinner befallen. Schädigungen durch die Nonne wie in der Lieberoser Heide waren bis dahin jedoch nicht zu beobachten. Obwohl sich der Kiefernspinnerfraß

durch die Winterbodensuche 2013/2014 vorhersagen ließ, durfte auch im Naturschutzgebiet „Reicherskreuzer Heide und Schwansee“ nicht bekämpft werden.



Abb. 12: Bestandeszustand Pinnow 8103 (1) im August 2015 (Foto: A. MENGE).

Im Herbst 2014 wurden im Schadgebiet zwei Versuchsflächen Pinnow 8103 (1) und Pinnow 8103 (2) angelegt. Die Behandlung der Versuchsflächen in der Reicherskreuzer Heide erfolgte wie in der Lieberoser Heide. Im Spätsommer-Herbst 2014 wurden alle Durchmesser und Höhen gemessen, im Sommer 2015 noch einmal alle abgängigen Bäume erfasst.

Die 53-jährige Kiefer auf der 50 m x 20 m (0,1 ha) großen Versuchsfläche Pinnow 8103 (1) erreichte eine relative Bonität von I, 5 (Tab. 5). Da auch diese Versuchsfläche zwischen zwei Rückegassen liegt, stellt der hohe Bestockungsgrad von 1,02 nur die Verhältnisse im Bestand ohne Rückegassen dar. Die Kronen stehen dort dicht gedrängt. Der Bestand ist vollständig geschlossen (Abb. 12).

Auf Grund der durchschnittlichen Sommerniederschläge 2014 fand man hier relativ gute Bedingungen für eine schnelle Regeneration vor, so dass durch den Kiefernspinnerbefall bis zum Spätsommer 2015 nur 7 der 110 Bäume (6 %) abgestorben sind. Betroffen waren hauptsächlich auf der gesamten Fläche gleichmäßig verteilte, unterständige Bäume (DG vor dem Fraß 19,94 cm, DG nach dem Fraß 20,22 cm). Der Bestockungsgrad sank dadurch auf 0,97, so dass der Bestand auch nach dem Fraß noch ausreichend geschlossen ist (Abb. 13). Auf der Fläche Pinnow 8103 (2) waren bis zum Sommer 2015 keine Absterbeerscheinungen zu beobachten, so dass diese Fläche nicht in die Auswertungen mit einbezogen werden konnte.

Tab. 5: Ertragskundliche Kennwerte für die Fläche Pinnow 8103 (1).

	Aufnahme 07.10.2014	Aufnahme 05.08.2015
Alter	53	53,5
N [n/ha]	1100	1030
BG	1,02	0,97
Rel. Bonität	1,54	1,47
DG [cm]	19,94	20,22

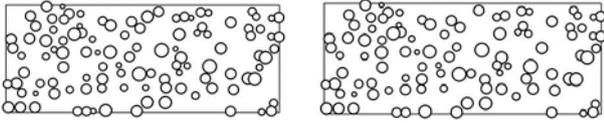


Abb. 13: Die Stammverteilungen auf der Fläche Pinnow 8103 (1) vor dem Fraß im Frühjahr 2014 (links) und im Spätsommer 2015 (rechts).

### 3 Methodik

#### 3.1 Abschätzung der betriebswirtschaftlichen Verluste auf der Grundlage von Waldbewertungsverfahren

Bei der Abschätzung der Schäden in durch Insektenfraß geschädigten Beständen wird grundsätzlich auf anerkannte Bewertungskonzepte der Waldbewertung (SAGL 1995) zurückgegriffen. Insbesondere eignet sich für die Abschätzung der Fraßschäden das Ertragswertkonzept, das die Aufwendungen und Erträge der Zukunft auf den Zeitpunkt des Schadeintritts projiziert. Die Schätzung der zu erwartenden Verluste beruht dabei auf dem Vergleich des Bestandserwartungswertes BE des ungeschädigten mit dem des geschädigten Bestandes. Der Bestandserwartungswert erfasst den Wert von Beständen als Summe aller bis zum Abtriebsalter zu erwartenden, diskontierten erntekostenfreien Erlöse abzüglich des bis zum Abtriebsalter anfallenden Zinses aus Bodenwert und Verwaltungskostenkapital.

$$BE = \sum_{n=m}^u \frac{DF_n}{(1+p)^{u-n}} + \frac{A_u}{(1+p)^{u-m}} + \frac{B+V}{(1+p)^{u-m}} - (B+V) \quad (1)$$

- DF<sub>n</sub> = erntekostenfreie Durchforstungserlöse im Alter n
- A<sub>u</sub> = erntekostenfreier Abtriebswert im Alter der Umtriebszeit u
- p = Zinssatz (%)/100
- m = Alter des Bestandes bei Schadeintritt
- B = Bodenwert
- V = Verwaltungskostenkapital

Der Verlustbetrag ergibt sich dann als Differenz aus den Bestandserwartungswerten des ungeschädigten (BE<sub>u</sub>) und geschädigten (BE<sub>g</sub>) Bestandes:

$$Verlust = BE_u - BE_g$$

Da der Bodenwert und das Verwaltungskostenkapital für beide Bestände gleich sind, fallen diese bei der Differenzbildung aus der Berechnung heraus und brauchen im Weiteren nicht betrachtet werden.

Da die Ermittlung von Bestandserwartungswerten auch bei Verwendung von Ertragstafeltabellen sehr aufwändig und mit Unsicherheiten behaftet ist, wird für die forstliche Bewertungspraxis sehr häufig das Näherungsverfahren nach BLUME (Alterswertfaktorenverfahren) empfohlen. In den Bundes- und Landesrichtlinien (WALDR 2000), insbesondere auch der Richtlinie zur Waldbewertung im Land Brandenburg (WBR-BBG 2014), ist es als Standardverfahren zur Bestandserwertermittlung angegeben.

Der hier verwendete Bestandserwartungswert BW berechnet sich danach als altersabhängiger Anteil des Abtriebswertes A<sub>u</sub> und der Kulturkosten c, der mit dem Bestockungsfaktor BF, häufig dem Bestockungsgrad, korrigiert wird.

$$BW = ((A_u - c) \cdot AWF + c) \cdot BF$$

- A<sub>u</sub> = erntekostenfreier Abtriebswert im Alter der Umtriebszeit u
- c = Bestandesbegründungskosten
- AWF = Alterswertfaktor
- BF = Bestockungsfaktor

Die Alterswertfaktoren AWF diskontiert dabei die Abtriebswerte auf den Bewertungszeitpunkt. Die darin enthaltenen Zinssätze ergeben sich iterativ so, dass der Bestandeskostenwert und der Bestandserwartungswert zu diesem Zeitpunkt gleich sind. Bei der Kiefer wurden Zinssätze von ungefähr 1 % ermittelt.

Näherungsweise lassen sich die Verluste als Differenz aus den Bestandserwartungswerten des ungeschädigten (BW<sub>u</sub>) und geschädigten (BW<sub>g</sub>) Bestandes angeben:

$$Verlust = BW_u - BW_g$$

Da der Abtriebswert im Alter der Umtriebszeit u (A<sub>u</sub>), die Bestandesbegründungskosten (c) und die Alterswertfaktor (AWF) für den ungeschädigten und den geschädigten Bestand gleich sind, lassen sich die Verluste mit dem Alterswertfaktorenverfahren (AWF-Verfahren) über die folgende Formel berechnen:

$$Verlust = ((A_u - c) \cdot AWF + c) \cdot (BG_u - BG_g), \quad (2)$$

wobei für die Bestockungsfaktoren näherungsweise die Bestockungsgrade verwendet werden. Im Gegensatz zur Berechnung des Bestandserwartungswertes gehen in die Bestandserwartungsformel nach BLUME keine Durchforstungserlöse ein. Die Erlösunterschiede, die durch die Zwangsnutzungen nach dem Schadeintritt auftreten, lassen sich also nur durch die daraus resultierende Bestockungsgraddifferenz zwischen dem ungeschädigten und geschädigten Bestand in der Formel berücksichtigen. Alternativ wird daher versucht, die Verluste über die Hiebsunreife des durch Zwangsnutzung entnommenen Teilbestandes zu berechnen. Die Hiebsunreife gibt den Wertverlust bei einer vorzeitigen Nutzung an. Sie berechnet sich als Differenz aus dem Bestandserwartungswert und dem Abtriebswert des vorzeitig genutzten Bestandes bzw. Teilbestandes. Entsprechend der Richtlinie zur Waldbewertung im Land Brandenburg wird der Bestandserwartungswert auch hier wieder näherungsweise mit dem AWF-Verfahren über die BLUME'schen Formel als Bestandserwartungswert (BW) berechnet.

Die Hiebsunreife HU ergibt sich somit als Differenz aus dem Bestandserwartungswert (BW) und dem Abtriebswert zum Zeitpunkt i der vorzeitigen Nutzung des geschädigten Teilbestandes (A<sub>i</sub>):

$$HU = BW - A_i$$

Da es sich bei den durch Kahlfraß geschädigten und auf Grund des Absterbens vorzeitig entnommenen Bäumen nur um einen Teilbestand handelt, müssen sowohl der Bestandserwartungswert BW und der Abtriebswert A<sub>i</sub> mit dem Anteil am Gesamtbestand gewichtet werden. Dieser Anteil des vorzeitig entnommenen Teilbestandes wird aus der Differenz der Bestockungsgrade des ungeschädigten (BG<sub>u</sub>) und des geschädigten (BG<sub>g</sub>) Bestandes bestimmt:

$$BG = BG_u - BG_g$$

Damit ergibt sich für die Berechnung der Hiebsunreife HU:

$$HU = ((Au - c) \cdot AWF + c - A_i) \cdot (BG_u - BG_g) \quad (3)$$

Die Alterswertfaktoren (AWF), die Bestandesbegründungskosten (c) sowie die Abtriebswerte im Alter der Umtriebszeit u ( $A_u$ ) und zum Zeitpunkt i der vorzeitigen Nutzung ( $A_i$ ) wurden den Tabellenanlagen der Richtlinie zur Waldbewertung im Land Brandenburg entnommen. Die Bestandesbegründungskosten (c) von 1200 € entsprechen einem pauschal aus der Abrechnung des Landesforstbetriebs 2011–2013 abgeleitete Wert (WBR-BBG 2014, Anlage 12). Die Alterswertfaktor (AWF) beruhen auf einem Modell der AG Waldbewertung, das durch die Länderforstchefkonferenz am 14.04.1999 bestätigt wurde und seit dem allgemeine Verwendung findet (WBR-BBG 2014, Anlage 13–2). Da die Abtriebswerte  $A_u$  und  $A_i$  alters- und bonitätsabhängig sind (WBR-BBG 2014, Anlage 3), diese in der Richtlinie aber nur in halben Bonitätsstufen und 5-Jahres-Intervallen aufschlüsselt sind, wurden sie für die exakten Bonitäten und Alter durch Interpolation ermittelt.

### 3.2 Schadensbewertung mit Hilfe des Bestandessimulationsmodells BWINPro Brandenburg

Da die Verlustberechnung auf der Basis von Bestandserwartungswerten BE das genaueste von allen genannten Verfahren darstellt, wurde es trotz des höheren Aufwandes mit in die Untersuchungen einbezogen. Die Berechnung der Bestandserwartungswerte basiert in der Regel auf Ertrags- und Sortentafeln sowie langjährige Durchschnittswerte für die Erntekosten und Holzerlöse.

Da nach einem starken Schaden die Bestandesbehandlung nicht den Vorgaben der Ertragstafeln folgen kann, wurden die Bestandesentwicklungen der ungeschädigten und geschädigten Bestände vom Schadeintritt bis zur Umtriebszeit mit dem Simulationsprogramm BWINPro Brandenburg (DEGENHARDT 2012) prognostiziert. Durch geeignete Parametereinstellungen war es möglich, die Bestandesbehandlungen an die spezifische Situation in den geschädigten Beständen anzupassen. Dadurch konnte ferner abgeschätzt werden, inwieweit sich die zu erwartenden Verluste durch eine zweckmäßige Wahl der waldbaulichen Behandlung verringern lassen. Insbesondere konnten dabei aktuelle Holzpreise, -sortimente und -erntekosten verwendet werden.

Ausgangspunkt für die Bestandesentwicklungsprognose der ungeschädigten Bestände bildeten die ertragskundlichen Aufnahmen der Versuchsflächen vor dem Schadeintritt. Die Bestandesbehandlung erfolgte einheitlich in Anlehnung an die Waldbaurichtlinie der Landesforstverwaltung Brandenburg „Grüner Ordner“ (WALDBAU-RICHTLINIE 2004), insbesondere wurden

- Z-Bäume nicht berücksichtigt, da es in keinem der geschädigten Bestände bis zum Eintreten der Kalamität eine Z-Baumauswahl bzw. -behandlung gab,
- die Zielstärke mit 50 cm festgelegt, da alle Bestände Bonitäten zwischen 0 und I, 5 aufweisen,
- die Durchforstungsmengen auf 10–40 Vorratsfestmeter ja Hektar und Eingriff begrenzt, um zu starke aber auch unwirtschaftliche Entnahmen zu verhindern,
- die Pflegebäume mäßig freigestellt.

Simulationsgrundlage für die geschädigten Bestände bildeten die ertragskundlichen Aufnahmen nach dem Schadeintritt. Entsprechend des Schädigungsgrades wurde die waldbauliche Behandlung abweichend von den Vorgaben des „Grünen Ordners“ an die spezifischen Bedingungen angepasst und programmtechnisch umgesetzt. Zur Analyse der Simulationsergebnisse enthält BWINPro Brandenburg verschiedene Auswertungsmodulare. Neben der Berechnung von ertragskundlichen Kennwerten wie Höhe des Grundflächenmittelstammes (HG), Grundfläche (G), Bestockungsgrad (BG) oder Bonität, lassen sich über Schaffformfunktionen und Holzauhaltungsalgorithmen ebenso Durchforstungs- und Ernteergebnisse abschätzen. Die Berechnung der erntekostenfreien Erlöse basiert auf den derzeitigen durch den Landesbetrieb Forst Brandenburg vertraglich vereinbarten Sortimenten (ISN 3 m, LAK 2,4 m und LAS 1b-4 4 m), den im Rohholzpreisbericht 2014 zusammengefassten Holzpreisen (Tab. 6) sowie den durchschnittlichen Erntekosten von 12 € bei der Nutzung des toten Holzes.

Tab. 6: Verwendet Holzpreise.

Sortiment	Durchschnittspreis je Festmeter o. Rinde
ISN	38,44 €
LAK	41,02 €
LAS 1b	63,59 €
LAS 2a	69,96 €
LAS 2b	74,83 €
LAS 3a	78,61 €
LAS 3b	81,88 €
LAS 4	82,81 €

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Das Nonnenschadgebiet Schorfheide

Die Abschätzung der Schäden erfolgt zunächst über die Näherungsformeln (2) und (3), die die Verluste über die Differenz der Bestandeswerte bzw. über die Hiebsunreife berechnen (Tab. 7).

Tab. 7: Verlustschätzung über die Näherungsverfahren (2) und (3).

	Rarangsee 168	Rarangsee 173
relative Bonität	1,61	1,49
<b>Schadeintrittsalter i</b>	<b>78</b>	<b>50</b>
<b>Umtriebsalter u</b>	<b>123</b>	<b>120</b>
Bestockungsgrad ungeschädigter Bestand	0,79	0,9
Bestockungsgrad geschädigter Bestand	0,57	0,39
<b>Bestockungsgrad-Differenz</b>	<b>0,22</b>	<b>0,51</b>
Alterswertfaktor AWF	0,695	0,419
Bestandesbegründungskosten c	1200	1200
Abtriebswert im Umtriebsalter u	19397	19901
<b>Verluste über Bestandeswerte (2) (AWF-Verfahren)</b>	<b>3046</b>	<b>4608</b>
Abtriebswert bei Schadeintritt	12296	5771
<b>Hiebsunreife (3) = Bestandeswert-Abtriebswert*BG-Differenz</b>	<b>341</b>	<b>1665</b>

Vergleichsweise werden dazu die Verluste über die Bestandserwartungswerte entsprechend der Formel (1) mit Hilfe des Bestandessimulationsprogrammes BWINPro Brandenburg abgeschätzt.

Bei der Modellierung der waldbaulichen Behandlung der geschädigten Bestände konnten insbesondere die speziellen Gegebenheiten auf den beiden Flächen berücksichtigt werden. Zunächst wurden die direkt nach dem Fraß abgängigen Bäume genutzt und die Bestände um 5 Jahre fortgeschrieben. Im nächsten Schritt erfolgte die Entnahme der bei der Wiederholungsaufnahme 2016 fehlenden Bäume. In beiden Flächen schloss sich eine Phase ohne Eingriffe an. Da der Schädigungsgrad in der Fläche Rangsee 168a1 nicht ganz so hoch war wie in der Fläche 173a1, wurde diese Fläche 10 Jahre unbehandelt fortgeschrieben, die Fläche 173a1 dagegen 15 Jahre (bis zum Erreichen des Bestockungsgrad 0,5). Bis zum Umtriebsalter von 123 bzw. 120 Jahren setzte dann eine schwache selektive Durchforstung ein.

Die ungeschädigten Varianten wurden dagegen durchgängig selektiv entsprechend den Vorgaben des „Grünen Ordners“ behandelt.

Beispielhaft sind in Tabelle 8 und der Abbildungen 14 die mit Hilfe von Simulationen prognostizierten Erlösentwicklungen sowie die Erlösdifferenzen für die Versuchsfläche Rangsee 168a1 dargestellt. Bis zum Alter 118 liegen die Erlöse aus den Vornutzungen für den geschädigten Bestand höher als für den ungeschädigten Bestand. Die Zwangsnutzung nach dem Fraß brachte bei einem Schadeintrittsalter von fast 80 Jahren schon erhebliche Vornutzungserträge. Erst die Abtriebsverluste des ungeschädigten Bestandes führen aufgrund des höheren Bestockungsgrades zu beträchtlichen Gesamtverlusten. Ohne Diskontierung (p=0 %) liegen sie bei 2385 €. Verwendet man für die Diskontierung einen Zinssatz von p=1 %, verringern sich die Verluste auf 716 €.

Tab. 8: Erntekostenfreie Erlöse für den ungeschädigten und geschädigten Bestand Rangsee 168a1.

Jahr	Alter	Erlöse/ ha ohne Fraß	Summe Erlöse/ ha ohne Fraß	Erlöse/ ha mit Fraß	Summe Erlöse/ ha mit Fraß	Verluste/ ha (p=0 %)	Verluste/ ha (p=1 %)
2004	78	1925	1925	4063	4063	-2139	-2139
2009	83	1969	3894	2477	6540	-2646	-2622
2014	88	555	4449	0	6540	-2091	-2119
2019	93	380	4829	719	7259	-2430	-2411
2024	98	357	5186	155	7414	-2228	-2245
2029	103	0	5186	0	7414	-2228	-2245
2034	108	201	5388	0	7414	-2027	-2096
2039	113	0	5388	0	7414	-2027	-2096
2044	118	0	5388	239	7653	-2266	-2257
2049	123	19215	24603	14564	22217	<b>2385</b>	<b>716</b>

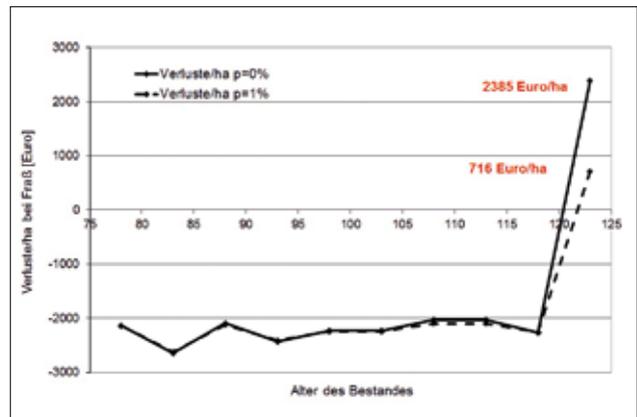
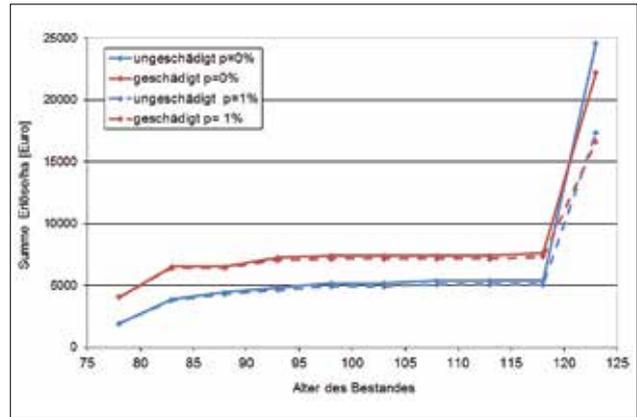


Abb. 14: Kumulative erntekostenfreie Erlöse und Erlösdifferenzen für die Fläche Rangsee 168a1.

In Abbildung 15 sind die Ergebnisse aller Verlustberechnungen vergleichsweise dargestellt. Der höchste Wert von 3046 € ergab sich aus dem AWF-Verfahren (Formel 2), der geringste Wert von 314 € bei der Verwendung der Hiebsunreife. Die aus der Simulation absolut und mit dem Zinssatz von 1 % ermittelten Werte (grün) liegen mit 2385 € und 716 € dazwischen. Vergleichbar mit den Ergebnissen der Verfahren der Waldbewertungsrichtlinie ist aber nur der mit 1 % diskontierte Wert.

Insgesamt zeigt sich, dass das AWF-Verfahren die Verluste aufgrund der Vernachlässigung der Erlöse aus der Zwangsnutzung überschätzen würde, die Hiebsunreife dagegen etwas zu geringer Werte liefert, da mögliche Vornutzungserträge vom Schadeintritt bis zur Umtriebszeit unberücksichtigt bleiben.

Zusätzlich enthält die Abbildung noch zwei weitere Säulen (blau), die die aus den simulierten Abtriebswerten resultierenden Verluste absolut und diskontiert darstellen. Da die allein aus den Abtriebswerten resultierenden Verluste weit höher als die Gesamtverluste sind, wird deutlich, dass die Durchforstungserlöse entscheidend zur Verringerung des Schadens beitragen können. Insbesondere bringen die zwangsgenutzten Stämmen bei Schadeintritt im Alter 78 schon beträchtliche Einnahmen.

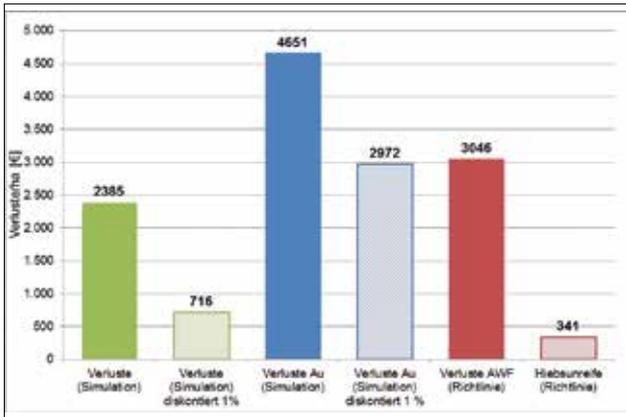


Abb. 15: Vergleich der Ergebnisse der Verlustschätzungen Rarangsee 168a1.

Da der in den Alterswertfaktoren enthaltene Zinssatz bei ungefähr 1 % liegt, sollten die aus der Simulation berechneten und mit dem Zinssatz 1 % diskontierten Abtriebswerte mit den Werten aus dem AWF-Verfahren vergleichbar sein. In dem Bestand Rarangsee 168a1 stimmen sie überraschend gut überein, insbesondere auch deshalb, da die Bestockungsgraddifferenz zwischen dem ungeschädigten und geschädigten Bestand bei der Simulation bis zum Abtrieb nicht verringert werden konnte.

Etwas anders sieht die Situation in der Fläche Rarangsee 173a1 aus. Schon aufgrund des wesentlich stärkeren Fraßes (Bestockungsgradabsenkung um 0,51 auf 0,39) muss mit größeren Verlusten gerechnet werden. 4608 € ergibt die Schätzung aus den AWF-Verfahren (Tab. 7). Der über die Hiebsunreife berechnete hohe Wert von 1665 € ist auch auf die wesentlich geringeren Abtriebserlöse im Alter 50 zurück zu führen. Die Simulationen liefern Werte von 4985 € (p=0 %) bzw. 1998 € (p=1 %) (Abb. 16).

Auch hier würden das AWF-Verfahren die Verluste überschätzen. Die Ergebnisse aus der Simulation und die Hiebsunreife liegen zumindest auf annähernd gleichem Niveau. Im Gegensatz zur Fläche 168a1 sind hier aber die Gesamtverluste (grün) höher als die Verluste aus den Abtriebswerten (blau). Durch zurückhaltende Durchforstungen in der geschädigten Variante wurden bedeutend weniger Erlöse durch die Vornutzung als im ungeschädigten Bestand erzielt. Jedoch konnte der Bestockungsgrad vom Schadeintritt bis zum Umtriebsalter von 0,39 auf 0,69 angehoben werden, so dass die Verluste beim Abtrieb und damit auch insgesamt durch die zurückhaltende waldbauliche Behandlung wesentlich reduziert werden konnten. Insbesondere zeigt sich das in den diskontierten Abtriebswerten aus der Simulation, die weit unter den Verlusten aus den AWF-Verfahren liegen.

**4.2 Das Nonnen- und Kiefernspinnerschadgebiet Lieberoser Heide sowie das Kiefernspinnerschadgebiet Reicherskreuzer Heide**

Die über die Differenz der Bestandeswerte (AWF-Verfahren) bzw. über die Hiebsunreife berechneten Verluste für die drei in der Oberförsterei Peitz geschädigten Flächen sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

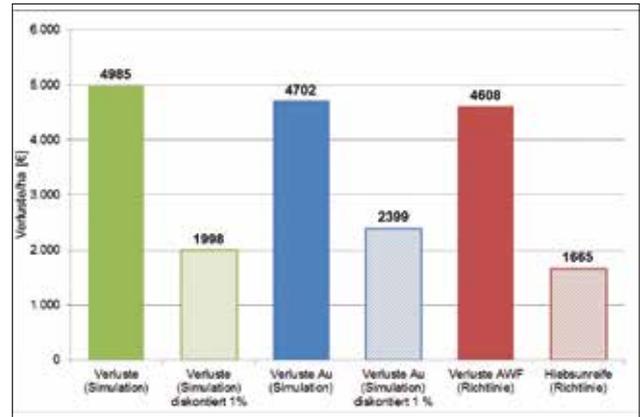


Abb. 16: Vergleich der Ergebnisse der Verlustschätzungen Rarangsee 173a1.

Tab. 9: Ergebnisse der Verlustkalkulation nach Waldbewertungsrichtlinie.

	Lieberose 8065 (1)	Lieberose 8065 (2)	Pinnow 8103 (1)
relative Bonität	1,48	0,72	1,54
Schadeintrittsalter i	60	40	53
Umtriebsalter u	120	100	113
Bestockungsgrad ungeschädigter Bestand	0,7	0,83	1,02
Bestockungsgrad geschädigter Bestand	0,2	0,71	0,97
<b>Bestockungsgrad-Differenz</b>	<b>0,50</b>	<b>0,12</b>	<b>0,05</b>
Alterswertfaktor AWF	0,518	0,322	0,449
Bestandesbegründungskosten c	1200	1200	1200
Abtriebswert im Umtriebsalter u	19966	22009	18921
<b>Verluste über Bestandeswerte (2) (AWF-Verfahren)</b>	<b>5460</b>	<b>948</b>	<b>458</b>
Abtriebswert bei Schadeintritt	7561	5473	6235
<b>Hiebsunreife (3) = Bestandeswert-Abtriebswert*BG-Differenz</b>	<b>1680</b>	<b>291</b>	<b>146</b>

Vergleicht man die Ergebnisse der Fläche Lieberose 8065 (1) mit denen der Fläche Rarangsee 173a1, dann liegen die Verlustschätzungen bei ungefähr gleichem Alter der Bestände, gleicher Bonität und gleichem Schädigungsgrad auch in ähnlichen Bereichen (Tab. 9: 5460 € bei AWF-Verfahren, 1680 € aus der Hiebsunreife). Da auf dieser Fläche die Bäume großflächig ausfielen (Bestockungsgrad=0,2), damit große Lücken im Bestand auftreten, in einigen Bereichen die wenigen verbleibenden Bäume aber trotzdem sehr gedrängt stehen, ließ sich hier auch durch erste ganz zurückhaltende Durchforstungseingriffe 20 Jahre nach dem Schadeintritt der Bestockungsgrad nicht entschei-

dend erhöhen. Damit konnten die durch den Kahlfraß verursachten Absterbeverluste auch durch gezielte waldbauliche Maßnahmen nicht mehr ausgeglichen werden.

Ähnlich wie in Beispiel Rarangsee 168a1 bleiben die Verluste aus den Abtriebswerten höher als die Gesamtverluste und die diskontierten Abtriebswerte vergleichbar mit den Ergebnissen aus dem AWF-Verfahren (Abb. 17).

Insgesamt werden die Ergebnisse auch hier wieder durch das AWF-Verfahren überschätzt und durch die Hiebsunreife unterschätzt.

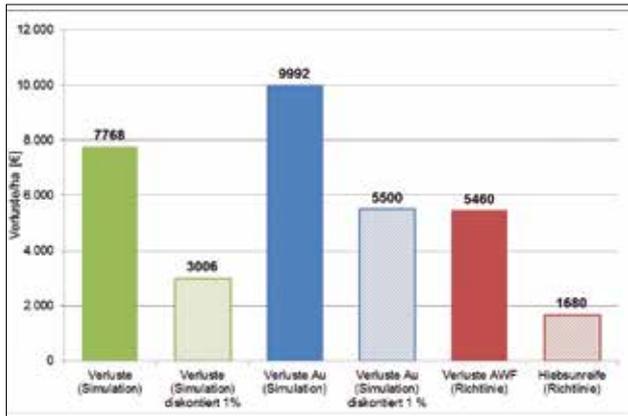


Abb. 17: Vergleich der Ergebnisse der Verlustschätzungen Lieberose 8065 (1).

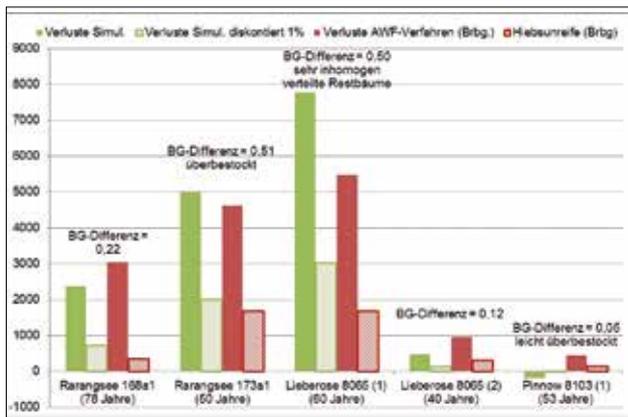


Abb. 18: Vergleich der Ergebnisse der Verlustschätzungen aller Flächen.

Bei Bestockungsgradabsenkung von nur 0,12 und 0,05 in der Fläche Lieberose 8065 (2) bzw. Pinnow 8103 (1) und dem relativ geringen Bestandesalter bei Schadeintritt sind in diesen Beständen wesentlich geringere Verluste zu erwarten (Abb. 18).

Die Ergebnisse aus den Simulationen liefern für die Fläche Lieberose 8065 (2) Werte von 478 € (p=0 %) bzw. 125 € (p=1 %). Dadurch, dass die Fläche Pinnow 8103 (1) vor dem Schadeintritt auch noch leicht überbestockt war, konnten die wenigen Verluste durch die waldbaulichen Maßnahmen vollständig ausgeglichen werden. Das AWF-Verfahren sowie die Hiebsunreife ergeben dagegen in beiden Flächen leicht höhere Werte.

## 5. Diskussion

Insgesamt zeigen die Ergebnisse sehr große Streuungen einerseits zwischen den einzelnen Verfahren, andererseits aber auch zwischen den Beispielbeständen. Prinzipiell liefert das AWF-Verfahren die höchsten Verlustwerte, da die Ergebnisse aus den Zwangsnutzungen bei Schadeintritt nicht berücksichtigt werden. Bei waldbaulich nicht ausgleichbaren Schäden werden dagegen die über Simulationen bestimmten Verluste durch die Hiebsunreife unterschätzt. Je weniger nach der Schädigung in den Bestand eingegriffen wird, d. h. je besser sich die Verluste durch angepasste waldbauliche Behandlungen bis zum Umtriebsalter ausgleichen lassen, desto geeigneter ist auch das Verfahren der Hiebsunreife.

Da das AWF-Verfahren und die Hiebsunreife Zinssätze von ungefähr 1 % berücksichtigen, sind diese auch nur mit den diskontierten Werten der Simulation direkt vergleichbar. Im Gegensatz zu den Standardverfahren wäre es bei den Berechnungen mit dem Bestandessimulationsmodell BWINPro Brandenburg möglich, auch andere Diskontierungszinssätze zu verwenden. Kleinere Zinssätze bedingen dabei höhere Verluste (Abb. 18, grüne Balken).

Prinzipiell ist die Höhe der Verluste natürlich abhängig vom Anteil der geschädigten Stämme. Daneben spielen aber auch andere Faktoren eine Rolle. Je höher das Alter des Bestandes bei Eintritt des Schadens ist, desto erlösträchtiger können Zwangsnutzungen verwertet werden und desto geringer fallen die Verluste aus. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass geeignete waldbauliche Maßnahmen zur Verringerung der Verluste führen können. Schäden in jüngeren Beständen lassen sich dabei besser ausgleichen als in älteren Beständen.

Im Falle der großflächigen Schädigung des Bestandes und der daraus resultierenden sehr inhomogenen Baumverteilung (Lieberose 8065 (1)) zeigen waldbauliche Maßnahmen weniger Wirkung als bei relativ gleichmäßiger Schädigung des Bestandes (Rarangsee 173a1). In den überbestockten Beständen (Rarangsee 173a1, Pinnow 8108 (1)) fällt das vermehrte Absterben der schwächeren Bäume außerdem nicht so stark ins Gewicht, so dass dies bei gleicher Bestockungsgradreduktion rechnerisch zu geringeren Verlusten als in normal bestockten Beständen führt.

Die Beobachtungen in den drei unterschiedlichen Schadengebieten weisen aber auch auf die Schwierigkeit der Entscheidung über einen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln hin. Während sich die Bestände in der Reicherskreuzer Heide nach dem einmaligen Kiefernspinnerbefall relativ gut erholen konnten, hat die Lieberoser Heide nach dem Befall durch die Nonne und anschließend den Kiefernspinner erheblich gelitten.

Die Beobachtungen im Nonnenschadengebiet Schorfheide zeigen außerdem, dass teilweise sogar die Gefahr besteht, den Schaden unmittelbar nach den Schadereignissen noch zu unterschätzen, da es durch ungünstige Entwicklungsbedingungen auch in den Folgejahren noch zu Absterbeerscheinungen kommen kann (WENK & MÖLLER 2013).

Neben den betriebswirtschaftlichen Verlusten sind aber auch die zu verzeichnenden Holzverluste insbesondere aus ökologischer Sicht von Bedeutung (Tab. 10). In den am stärksten geschädigten Beständen Rarangsee 173a1 und Lieberose 8065 (1) gehen fast 80 bzw. 150 Fm/ha durch den einmaligen Fraß verloren, was 11 bzw. 22 % der Gesamtwuchsleistung entspricht.

Tab. 10: Absolut und prozentual zur Gesamtwuchsleistung (GWL) zu erwartende Holzverluste.

	Rarangsee 168a1	Rarangsee 173a1	Lieberose 8965 (1)	Lieberose 8965 (2)	Pinnow 8103 (1)
Holzverluste [Fm/ha]	33	77	146	3	0
Holzverluste [% GWL]	5	11	22	0,5	0

Prinzipiell wäre es sehr hilfreich, wenn sich aus den im Rahmen des Waldschutzmonitorings ermittelten Gefährdungsziffern Hinweise über die zu erwartenden betriebswirtschaftlichen Verluste ableiten ließen (Tab. 11). Während die Gefährdungsziffern aus der Nonneneisuche einen Zusammenhang mit den betriebswirtschaftlichen Verlusten erahnen lassen, scheint dieser Zusammenhang bei den Leimringkontrollen noch weniger gesichert. Hier müssten Untersuchungen auf vielen weiteren Flächen folgen.

Bei Kosten für einen Pflanzenschutzmitteleinsatz von 80-100 € je Hektar, wäre eine Bekämpfung aus betriebswirtschaftlicher Sicht jedoch auf allen untersuchten Flächen gerechtfertigt gewesen.

Betrachtet man die in der Landeswaldoberförsterei Peitz in den letzten 12 Jahren zur Vorbeugung von Kahlfraß durchgeführten Bekämpfungsmaßnahmen, dann betrifft das jährlich durchschnittlich 6 % der Kiefernfläche. Bei einer Umtriebszeit von 120 Jahren wäre damit jeder Kiefernbestand siebenmal vom Kahlfraß bedroht, der in einzelnen Fällen, wie anhand der Beispielbestände gezeigt, mit großen Verlusten einhergehen würde.

Tab. 11: Vergleich der Gefährdungsziffern aus dem Waldschutzmonitoring mit den betriebswirtschaftlichen Verlusten.

	Rarangsee 168a1	Rarangsee 173a1	Lieberose 8965 (1)	Lieberose 8965 (2)	Pinnow 8103 (1)
Leimringkontrolle			7,18	7,18	0,3
Nonneneisuche	1,66	3,71			
Verluste [€/ha]	340–3050	1650–5000	1650–7800	125–950	0–500



Abb. 19: Verjüngung auf den Flächen Rarangsee 168a1 (links) und Rarangsee 173a1 im August 2015 (Foto: A. MENGE).

Unberücksichtigt blieb bei den hier durchgeführten Untersuchungen die eventuell beschleunigte Entwicklung der Verjüngung in den durch das Schadereignis zwangsläufig aufgelichteten Beständen. Diese würde schneller zu mehr Struktur und damit zu einer höheren Widerstandsfähigkeit gegenüber Kiefern-schadinsekten führen.

In den hier betrachteten Nonnenschadflächen der Schorfheide konnte sich jedoch auch nach 11 Jahren noch keine für die Bestandesstruktur bedeutsame Verjüngung entwickeln (Abb. 19). Hier sind offensichtlich zusätzlich Maßnahmen erforderlich.

### Literatur

APEL, K.-H.; DIETZEL, K.; LOCKOW, K.-W.; LÖFFLER, S.; MÖLLER, K.; RIEK, W.; SCHINDLER, F. (2005): Differenzierte Regeneration der Kiefer nach Nonnenfraß in der Schorfheide. AFZ/ Der Wald 60 (8), S. 390–393.

ASCHMANN, V. (2015): Monetäre Bewertung von Insektenfraßereignissen an Kiefern im nordostdeutschen Tiefland. Bachelorarbeit, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde.

DEGENHARDT, A. (2001): Algorithmen und Programme zur waldwachstumskundlichen Auswertung von Versuchs- und Probeflächen. Interner Bericht 5/2001.

DEGENHARDT, A. (2012): Durchforsten nach Zahlen – Mit heuristischen Verfahren zur optimalen Waldbehandlung. In: Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 49, S. 83–89.

MÖLLER, K. (2015): Nur ein toter Baum ist ein guter Baum – Das Ende der Multifunktionalität des Waldes? In: Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 59, S. 70–78.

MÖLLER, K.; APEL, K.-H.; ENGELMANN, A.; HIELSCHER, K.; WALTER, C. (2007): Zur Überwachung der Waldschutzsituation in den Kiefernwäldern Brandenburgs. In: Die Kiefer im nordostdeutschen Tiefland – Ökologie und Bewirtschaftung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 32 (2007), S. 228–296.

SAGL, W. (1995): Bewertung in Forstbetrieben. Pareys Studentexte, 80, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

WALDR 2000: Richtlinien für die Ermittlung und Prüfung des Verkehrswertes von Waldflächen und für Nebenschädigungen (Waldwertermittlungsrichtlinien 2000–WaldR 2000) in der Fassung vom 12. Juli 2000 (BAnz. Nr. 168a vom 6. September 2000).

WALDBAU-RICHTLINIE 2004: Waldbau-Richtlinie 2004 der Landesforstverwaltung Brandenburg („Grüner Ordner“). Potsdam, Mai 2004.

WENK, M.; MÖLLER, K. 2013: Prognose Bestandesgefährdung–Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände. In: Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Bd. 51, S. 9–14.

WBR-BBG 2014: Richtlinie des Ministeriums für Infrastruktur und Landwirtschaft zur Waldbewertung im Land Brandenburg (WBR-Bbg). Stand 2014.



# „Tollkühne Männer in ihren fliegenden Kisten“. Ein historischer Einblick in die Anfänge der aviotechnischen Pflanzenschutzmittelapplikation

INES HÖHNE



Abb. 1: Interessiertes Publikum am Spezialstreifflugzeug Fokker V45 (Einsatz ab 1925).

## 1. Einleitung

Die Idee, Forstschädlinge aus der Luft zu bekämpfen, stammte vom Oberförster Alfred Zimmermann. Er meldete das Verfahren im März 1911 zum Patent an. Die Verwirklichung scheiterte an der noch unzulänglichen Entwicklung der Flugzeuge in Deutschland. Die Massenvermehrung der Forleule ab 1922 in den norddeutschen Kieferngebieten in Preußen veranlasste Forstwissenschaftler, sich für die Bewilligung von Geldmitteln für Entwicklungsarbeiten einzusetzen.

## 2. Die Forleulen Kalamität mit Folgen



Abb. 2: Forleule in der Obf. Biesenthal 1923/24, 400 ha Kahlfraß, zweimaliger Fraß, 1.100 ha Lichtfraß.

Eine der größten Insektenkalamitäten erstreckte sich über 8 Regierungsbezirke in 82 Forstämtern auf etwa 212.859 ha. Bei einer Holzbodenfläche der Reviere von insgesamt 440.042 ha war fast die Hälfte vom Fraß betroffen (LEMMEL 1935). Die Anwendung bekannter Verfahren vom Boden aus war zwecklos.



Abb. 3: Schlagordnung bei Kiefernkahlschlag, Stapelholzreihen neben Bauholz und Reisigwällen.

Die Revierverwalter standen vor der Herausforderung, den rechtzeitigen Abtrieb der befallenen Bestände und die Vermarktung der Sortimente zu organisieren. In der Oberförsterei Biesenthal (einem Lehrrevier der Forstlichen Hochschule) sicherte eine neue „Schlagordnung“ auf den Kiefernkahlschlägen den koordinierten Einsatz von ca. 500 Holzhauern (Hiabsbeginn: 1.10.1924, Abfuhrbeginn 1.11.1924). In 3 Jahren wurden 160.000 fm Holz geschlagen (HILF 1927).



Abb. 4: Bau der Waldbahn ab September 1924 Obf. Biesenthal.

Die zeitnahe Abfuhr des geschlagenen Holzes erfolgte durch den Bau einer Waldbahn (12 km Streckenlänge, 60 cm Spurbreite, 100 Doppeltrucks), die durch fliegende Gleise an die Schläge herangeführt wurde. Das Gleismaterial wurde in benachbarten Oberförstereien, z. B. Freienwalde, Grimnitz und Zehdenick ausgeliehen, die Trucks wurden gebraucht aufgekauft. Einspanner zogen die Doppeltrucks an die Hauptgleise und Zweispänner zogen die „Züge“ an die Ablagen. Nach HILF (1927) wurden mit 100 Waldbahntrucks an einem Tag etwa 150 bis 200 fm Holz gefahren.



Abb. 5: Waldbahn-Doppeltruck davor Einspänner.



Abb. 8: Bahnablage 2 Lagerplatz für Grubenholz und Telegrafstangen.



Abb. 6: Verladen von Langholz auf die Trucks.



Abb. 9: Ablage am Finowkanal für Brennholz und Flösse.

Es wurden 2 Bahnablagen eingerichtet, die jeweils einen Gleisanschluss an die Streckenführung der Eberswalder-Schöpfungurter Eisenbahn erhielten und auf denen verschiedene Sortimente lagerten. Die Ablage am Finowkanal sicherte den Verkauf von Brennholz nach Potsdam oder Berlin, aber auch die Lagerung von Flößen über einen längeren Zeitraum.



Abb. 7: Bahnablage 1 Verladen von Bau- und Brennholz.

### 3. Der erste Einsatz von Flugzeugen – Zeitzeugen berichten



Abb. 10: Erste Versuche mit dem Spezialstreuflugzeug Fokker V 45.

Am 22. Mai 1925 fand in der Oberförsterei Biesenthal ein Vorversuch statt. Beteiligt war die Firma Stolzenberg aus Hamburg, die den Arsenstaub für die Befliegung lieferte und der Aero-Lloyd Berlin mit einem Fokkereindecker. Das Flugzeug wurde auf einem behelfsmäßigen Flugplatz von etwa 300 x 400 m, der an „drei Seiten von Roggenfeldern und Baumgruppen begrenzt war“, nach jedem Flug neu beladen. Die Zugänge des zu bestäubenden Waldgebietes wurden gesperrt und es konnten Probeflüge in verschiedener Höhe und unter wechselnden Luftverhältnissen durchgeführt werden.



Abb. 11: Auswurföffnung am Boden des Fahrgastraumes.

Das Flugzeug konnte für jeden Flug eine Ladung von etwa 250 kg des Stäubemittels aufnehmen. Das Laden dauerte etwa 10 Minuten, das Stäuben etwa 20 Minuten. Die Flughöhe über den Kronen erforderte vom Piloten Tiefflugerfahrung und die Beachtung von Hindernissen (Überhölter). Ein Mitflieger bedient die im Fahrgastraum befindliche, noch sehr einfache Stäubevorrichtung durch Öffnen und Schließen der Auswurföffnung, der Arsenstaub wurde durch den Fahrt- und Luftschraubenwind verteilt.

#### Im Zeitzeugenbericht des Oberförsters H.H.Hilf ist folgendes vermerkt:

„So wurde nach einigen Probeflügen, ..., bei denen ich auch einmal mitflog, das Anfliegen der bezeichneten Kiefernbestände und das Ausstoßen der Arsenstaubwolke geprüft. Wir waren mit der Verteilung der niedrig abgeblasenen Staubwolke, die sich langsam in die Kronen senkte, zufrieden. Allerdings sahen wir nach dem Flug wie die Müller aus und tranken Milch, weil dies gut gegen Arsenvergiftung sein sollte.“



Abb. 12: Arsenstaubwolke am Spezialstreuflugzeug.

„Auch das Ministerium und die Studenten der Hochschule Eberswalde sollten im Revier, die neuen Verfahren der Arsenverstäubung vom Flugzeug und die Erprobung von Vernebelungstöpfen auf Waldschneisen kennenlernen. Ich rief hierzu den Oberlandforstmeister von dem Bussche an. Er war damit einverstanden, lehnte es aber ab, daß ich ihm ein Taxi bestellte. Man müsse sparen und ich sollte ihm und seinen Räten Sitze im Omnibus freihalten. Bei der Vorführung ging zunächst alles gut. Das Flugzeug strich dicht über

die Kronen eines gut sichtbaren Kiefernstangenholzes, und man konnte die Lage der Staubwolke aus etwa 100 m Entfernung bequem beobachten.“ (HILF 1925)



Abb. 13: Aufbau der Nebeltöpfe auf einer Schneise.

„Danach ging man ... in die angehenden Baumhölzer, wo auf einer Schneise die Vernebelungstöpfe aufgebaut waren. Wir hatten einen massiven Stand auf einer Düne und konnten das Ingangsetzen der Nebeltöpfe gut beobachten. Der Wind strich von uns weg und so sahen wir, wie die Wolke allmählich den Bestand einnebelte. Um einmal in die Wolke zu gehen, nahm ich mir meine Gasmasken; aber da sie nicht dicht war kehrte ich schleunigst um. Das war ja ein Teufelszeug. In der Tat hatte die Firma Stolzenberg noch einen Vorrat an Kriegskampfstoffen, ..., eingesetzt.“



Abb. 14: Nebeltopfversuch in der Obf. Biesenthal.

„Auf einmal drehte der Wind, erst kräuselte er dann kamen auf einmal die Schwaden näher und näher. Natürlich nahmen die jungen Studenten sofort Reißaus und die beschwerliche Mannschaft der hohen Räte folgte langsam in zunehmender Verzweiflung. Es war in der Tat weit und breit kein Wagen zu sehen. Ich konnte mich zum Glück auf den ausdrücklichen Auftrag des Herrn Oberlandforstmeisters berufen, der unbedingt mit dem Omnibus zu fahren gewünscht hatte. Der Omnibus, der keine engen Sandwege fahren konnte, stand aber eine Viertelstunde weit ab. Zum Glück kam noch rechtzeitig ein Polizeiwagen, auf dessen Pritsche alle Platz hatten. Sonst hätte dieser Leichtsinn den versammelten Räten der Forstabteilung ... das Leben kosten können. Die Versuche wurden sofort abgebrochen.“ (1925 HILF)

#### 4. Das Verfahren etabliert sich – Wendepunkt im Forstschutz

1925 wurden in Preußen weitere Flugeinsätze mit Spezialstreifflugzeugen ausgeführt, trotz organisatorischer Schwierigkeiten konnten 4000 ha bestäubt werden. Zu bekämpfende Forstschädlinge waren Nonne, Forleule, Eichenwickler, Kiefernspanner und Kiefernbuschhornblattwespen.



Abb. 15: Startvorbereitungen.



Abb. 16: Feldflugplatz in der Nähe des zu bestäubenden Waldgebietes.

Das Auffinden geeigneter Flugplätze war nicht immer einfach, ein Bahnhof und Unterkünfte für Bodenpersonal und Piloten sollten in der Nähe liegen. Zu kurze Rollbahnen verhinderten die volle Ausnutzung der Ladegewichte der Maschinen und verlängerten die Einsatzzeit. Die Eigentümer der Wiesen- oder Feldflächen sahen in der Bestäubung eine Gefährdung ihrer Kulturen und verlangten oft entsprechende Entschädigungen. Geeignete Witterungsverhältnisse für die Bestäubungsflüge waren die frühen Morgen- oder späten Abendstunden, die windruhigsten Zeiten des Tages.

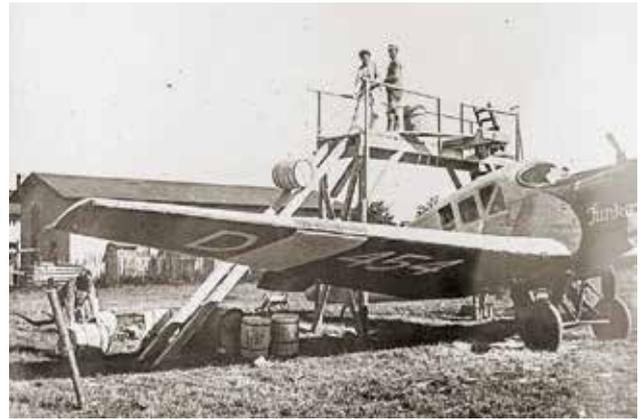


Abb. 17: Belademansschaft am Ganzmetallflugzeug Junkers F13 der Firma Merck-Junkers.



Abb. 18: Belademansschaft am Flugzeug vom Typ Fokker-Grulich FII der Luft Hansa Hamburg.

Für das Beladen der Streifflugzeuge wurden in den ersten Jahren Waldarbeiter eingesetzt. Die Veränderung der Arbeitskräftesituation und dringendere Arbeiten im Holzeinschlag beendeten dies. Die Organisation der Einsätze wurde verbessert, die Ladegewichte der Maschinen erhöhten sich, Arbeiten am Flugfeld wurden koordiniert, Unterbringungsmöglichkeiten für Personal und Material vor Ort verbessert. Beim Be- und Entladen der Maschinen wurden Schutzkleidung und Atemmaske getragen. Zwischen Flugplatz und Bestäubungsgebiet erfolgten notwendige Absprachen zwischen den Beteiligten über Funk oder Feldleitungen.



Abb. 19: Werbeträger der Firma E. Merck Darmstadt.

Von 1925–1929 wurden 574.965 kg Forstesturmit (Kalci-umarsenat) über eine Waldfläche von 11.502 ha ausge-streut. Das entspricht einer Menge von 50 kg/ha (WOLFF 1930). Im Auftrag untersuchte das Pharmakologische Insti-tut der Uni Berlin eingesandte Kronen-, Streu- und Boden-proben. Im Ergebnis wurden auf dem Quadratmeter Wald-fläche ca. 0,3 g Arsen gefunden (bei 50 kg/ha Esturmit), diese verteilen sich auf die Kronen- und Unterholzbereiche und die Streudecke.



Abb. 20: Streuflugzeug vom Typ Merck Junkers W 33.

1929 die Berliner Grüne Woche jährt sich zum dritten Mal, ein Besuchermagnet war das neue Streuflugzeug W 33, mit einem Propellerantrieb für das Rüttelwerk der Streu-vorrichtung. Die vom Typ gleiche „Bremen“ hatte 1928 den Atlantik von Ost nach West überquert, obwohl „die leicht ansteigende, aufgeweichte Rollbahn, ein vorwitzi-ges Schaf und der Erdwall an der Platzgrenze“ beinahe zu einem jähen Ende geführt hätten. Nach über 36 Stunden Flugzeit landete die Maschine auf Greenly Island vor der Küste von Labrador. Diese Maschinen vom Typ W 33 wa-ren zivile Post- und Frachtflugzeuge, die durch Austausch von Einbauten im Frachtraum als Streuflugzeuge oder zur Luftbildaufnahme und Vermessung verwendet wurden.

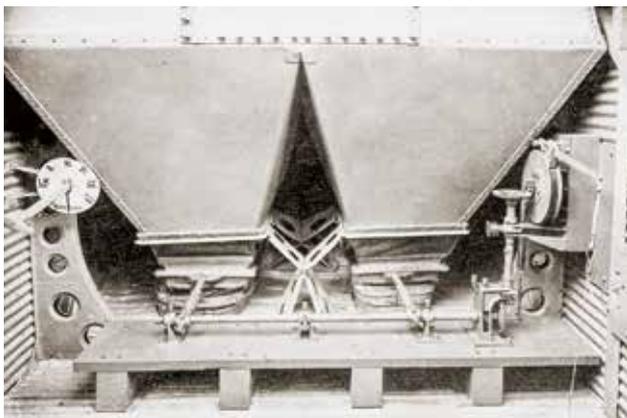


Abb. 21: Zwei Tankbehälter mit Rüttelwerk im Frachtraum.

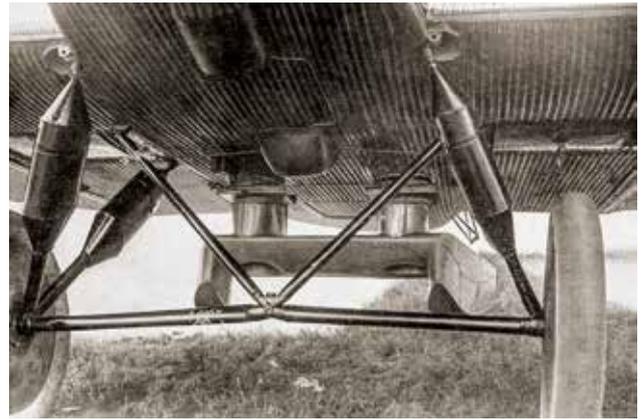


Abb. 22: Verteilerdüsen mit Auslaufvorrichtung.

Ein neues Verstäubungsgerät am Flugzeugtyp Junkers W 33 konnte ab 1928 eingesetzt werden. Die Erzeugung einer gleichmäßigen Stäubewolke und die stetige Abgabe des Streupulvers wurden gewährleistet, Flugzeug und Ver-stäuber waren aufeinander abgestimmt. Bei einem Tankin-halt von 550 kg Streupulver können in einem Flug 11 ha Waldfläche bestäubt werden (50 kg/ha). Die gleichmäßige- re Verteilung und Überlappung der Stäubestreifen auf der zu überfliegenden Waldfläche wurde verbessert.



Abb. 23: „Bruchpiloten“.



Abb. 24: Durch Hangwinde verursachter Absturz bei Heidelberg.



Abb. 25: Abtransport eines Flugzeuges.

Nur durch den wagemutigen Einsatz der Piloten und durch die unermüdliche Arbeit aller an den Vorbereitun-gen und Einsätzen beteiligten Personen konnten manche Schwierigkeiten und Probleme gelöst werden. Technische

Unzulänglichkeiten an den Flugzeugen und Verstäubern schmälerten in den Anfangsjahren die Erfolge. So konnten Unfälle nicht ganz verhindert werden. Die fliegerischen Leistungen der Maschinen waren größtenteils abhängig von Können und Geschick der Piloten.



Abb. 26: Flugstaffel der Flugzeuge vom Typ Fokker-Grulich F II.

Bewährte Streuflugzeuge waren W 33 Typ Merck Junkers, Fokker F3 der Hansa Luftbild, Albatros Doppeldecker der Hamburger Luftverkehrsgesellschaft.

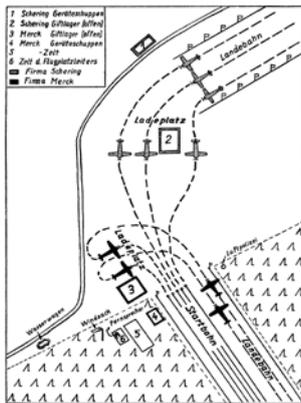


Abb. 27: Organisation auf einem Hilfsflugplatz Flugbetrieb mit fünf Maschinen.

Fliegerisch schwierig war der gleichzeitige Einsatz von mehreren Flugzeugen auf kleinen Feldflugplätzen. Die kurzen Rollbahnen verringerten das Ladegewicht der Maschinen. Startbahnen und Landebahnen hatten in vielen Fällen nur eine Länge von 600 m und eine Breite von 50 m. Am wichtigsten war die genaue Beobachtung der Witterungsverhältnisse, die für den Einsatz und die Wirksamkeit der Stäubemittel entscheidend waren. Diese Einsätze konnten nur durch gute Zusammenarbeit aller Beteiligten erfolgreich durchgeführt werden.

## 5. Ausblick

Heute sind die Verfahren an die moderne Technik (Hubschrauber, applikationsmindernde Düsen) und im Hinblick auf die Nebenwirkungen auf Mensch und Natur geprüfte Insektizide angepasst.

## 6. Dank

Die Fotos und Dokumente zu den Anfängen des Luftfahrzeugeinsatzes bei der Schädlingsbekämpfung im Forst befinden sich im Archiv des LFE. Die alten Glasnegative

wurden über einen langen Zeitraum von vielen Kollegen gut bewahrt und konnten jetzt verwendet werden. Weitere Fotos und Zeitzeugenberichte entnehmen wir aus dem Nachlass des Herrn PROF. DR. HUBERT HUGO HILF, der uns von seiner Familie übertragen wurde. Herzlichen Dank für diese einmaligen Archivalien.

## Literatur

COHAUZ, P. Deutsche Flugzeuge bis 1945. Geschichte Technik Standorte Aviatic Verlag 2001

EIDMANN, H. (1930): Moderne Forstschädlingsbekämpfung. Forstarchiv 6: 386–396

HILF, H.H. (1927): Harte Prüfung der Organisationsfähigkeit. Forschen im Forst. unveröffentlicht. Archiv des LFE.

HILF, H.H. (1927): Einschlag und Verwertung des Forleulenholzes. Jahresbericht über die Versammlung des Märkischen Forstvereins. 52–69

KIENITZ, M. (1927): Das Flugzeug im Dienste der Forstwirtschaft. Jahresbericht über die Versammlung des Märkischen Forstvereins. 8–18

LEMMEL, H. (1935): Die wirtschaftlichen Auswirkungen und der finanzielle Schaden des großen Eulenfraßes 1922/24. Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft. Verlag Schaper. 237–292

N.N. (1925): Forstschädlingsbekämpfung durch Flugzeuge. Silva 13: 377–379

N.N. (1929): Forstliche Chronik. Grüne Woche Berlin, Forstarchiv 5: 148

SCHÖCK (1926): Die Bekämpfung der Forstschädlinge aus Flugzeugen. Deutsche Forstversammlung in Rostock. Silva 14: 350

WELLENSTEIN, G. (1933-1937): Die Nonne in Ostpreußen. Freilandstudien der Waldstation für Schädlingsbekämpfung.

WOLFF, M., UND KRAUSSE, A. (1925): Die Vorgeschichte des Arsenflugzeugkampfes gegen Forstschädlinge. Forstarchiv 1: 36–40

WOLFF, M. (1927): Bemerkungen zur Theorie und Praxis des Arsenbefluges. Jahresbericht über die Versammlung des Märkischen Forstvereins. 38–51

WOLFF, M. (1928): Die neuen Junkers-Ganzmetall-Streuflugzeuge Typ W33. Forstliche Wochenschrift Silva 16: 241–244

WOLFF, M. (1930): Fünf Jahre Arsenkampf gegen Forstschädlinge. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. 62: 465–497

WOLFF, M. (1930): Einige technische Neuerungen des Arsenkampfes gegen Forstschädlinge. Forstarchiv 6, 330–332

# Moderne Fernerkundungsverfahren – Nutzen für Waldschutz und Waldbau in der Praxis

OLAF RÜFFER

## Einleitung

Die erste Anfänge von praktischen Fernerkundungsarbeiten im Wald fanden in Deutschland bereits in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts statt. In einem Artikel des Berliner Tageblattes vom 10. September 1887 wird unter der Überschrift „Die Verwendung der Ballonphotographie zu forstwirtschaftlichen Zwecken“ von einem „angehenden Jünger des Waldes“ berichtet, der versucht hat, von einem Fesselballon aus aufgenommene Luftbildaufnahmen zur Bestandskartierung zu benutzen, HILDEBRANDT (1974). Es dauerte trotz erster erfolgversprechender Einsätze von Luftbildplänen in Sachsen und Bayern (in den 20er und 30er Jahren des 19. Jahrhunderts) noch Jahrzehnte, bis Ende der 1950er Jahre schwarz – weiß Luftbilder als Standardarbeits- und Informationsmittel für Forsteinrichtung, Forstvermessung und Waldkartierung in der DDR und BRD flächendeckend eingesetzt wurden, Hildebrandt (2010).

Ende der 1950er Jahre begann mit dem Start des ersten Sputniks die Ära der Fernerkundung der Erde aus dem Weltall. Dies führte zu Beginn der 1960er Jahre zu bahnbrechenden Neuerungen – so der Nutzung des sogenannten Falschfarbenfilmes, dem Bau der ersten Multispektralkamera mit 9 untereinander synchron arbeitenden Objektiven in den USA sowie der Erweiterung des Spektralbereiches zur Erderkundung durch Nutzung der passiven Infrarot- und thermographischen Abtastverfahren, REINHOLD (1970). Die Notwendigkeit von Kenntnissen über spektrale Reflektion von Sonnenlicht durch grüne Vegetation als Voraussetzung für die Interpretation der Fernerkundungsdaten von Wäldern und deren Automatisierung wurde schlagartig deutlich und erhielt mit der Digitalisierung der Bildaufnahme – und Auswertverfahren seit der Jahrtausendwende einen enormen Aufschwung.

### 1. Erkenntnisse zur Reflektion von Sonnenlicht durch grüne Vegetation und deren Nutzung in spektralen Analyseverfahren am Beispiel des Schadgebietes im Naturschutzgebiet Lieberoser Endmoräne

Die Globalstrahlung, die Gesamtheit der von der Sonne auf die Erdoberfläche eintreffende elektromagnetische Strahlung, wird von der Vegetationsoberfläche zum Teil aufgenommen (absorbiert), zurückgestrahlt (reflektiert) und durchgelassen (transmittiert), Hildebrandt (1996). Zu etwa 70 Prozent (rund 20 Prozent von der Atmosphäre und 50 Prozent von der Erdoberfläche) wird sie absorbiert und transmittiert. Etwa 30 Prozent der Sonnenenergie werden durch Luft, Wasser, Boden und Vegetation in Form von langwelligerer Strahlung wieder in das Weltall reflektiert. Das von der Vegetation reflektierte Sonnenlicht setzt sich aus dem sichtbaren Licht (Wellenlänge 400 bis 700 nm), dem nahen (700 nm bis 1350nm) und mittleren Infrarot (1350 nm bis 2500 nm) zusammen, Abbildung 1. Die Art der Vegetation modifiziert die Höhe der Reflektionswerte in den einzelnen Spektren und kann zu deren Identifizierung

herangezogen werden. So beträgt der Reflektionsgrad eines Nadelwaldes im sichtbaren Licht und nahen Infrarot nur knapp die Hälfte der Reflektionswerte einer Sommerwiese, Kadro (1981). Innerhalb ein und derselben Vegetationsart ist das Reflektionssignal der einzelnen Pflanze von

1. der Anzahl der Blattpigmente (insbesondere Chlorophyll),
2. dem Zustand der Zellstruktur und
3. der Wasserversorgung

bestimmt, HOFFER (1978), siehe Abbildung 1. Dabei bestimmen die Blattpigmente vornehmlich die Reflektion im sichtbaren Licht mit einem Maximum im Grün bei etwa 550 nm. Die Reflektionswerte sind im sichtbaren Licht deutlich schwächer als im nahen und mittleren Infrarot ausgeprägt, da das Chlorophyll einer gesunden Pflanze insbesondere im blauen (bei etwa 480 nm) und roten (bei ca. 670 nm) Spektrum große Anteile der Sonnenenergie für die Photosynthese absorbiert. Im nahen Infrarot (ab 700 nm) überwiegt der Einfluss der Zellstruktur und der Architektur der Pflanze auf die spektrale Signatur. Ab 650 nm bis 750 nm steigt der Reflexionsgrad steil an, da die Blattpigmente ab diesem Wellenlängenbereich nicht mehr absorbieren.

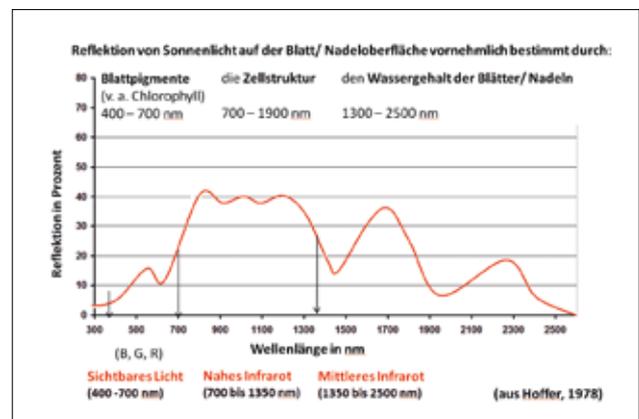


Abbildung 1: Spektrum des von grüner Vegetation reflektierten Sonnenlichts und dessen wichtigste Reflektoren.

Dieser Anstieg wird als „rote Kante“ (Red Edge) bezeichnet und ist ein wichtiges Merkmal zur Charakterisierung von Pflanzeigenschaften, KURZ (2003). In diesem schmalen Wellenlängenbereich haben einige Hersteller von Multispektralkameras, so z. B. Rapid Eye der Firma BlackBridge Planet Labs, einen eigenen Kanal (Red Edge) für vegetationspezifische Anwendungen definiert, Tabelle 1. In dem sich daran anschließenden Wellenlängenbereich von 750 nm bis etwa 1300 nm befindet sich ein gleichmäßig hohes Reflektionsniveau, das von zwei kleineren Wasserabsorptionsbanden bei 960 nm und 1200 nm unterbrochen wird. Im mittleren Infrarot (ab ca. 1300 nm) ist es der Wassergehalt der Blätter, Nadeln und anderen Pflanzenteile, der das spezifische Reflektionsverhalten der Pflanze bzw. des Baumes einer Vegetationsart bestimmt. Durch empirische

rische Forschungen der multispektralen Fernerkundung (zunächst in der Satellitenfernerkundung) wurden das Wissen über das Reflektionsverhalten von Pflanzen im vitalen und kranken Zustand erweitert und u. a. herausgearbeitet, dass die Lage, die Steigung und Höhe der „roten Kante“ ein Weiser für den Zustand der Vegetation darstellt, Kurz (2003). Die Lage der „roten Kante“ ist durch den Punkt maximaler Steigung festgelegt. Bei gesunden Pflanzen liegt dieser Punkt um 700 nm, der durch Alterung, Krankheit, Schadbefall etc. abgeschwächt wird:

BUSCHMANN und NAGEL (1992) beobachteten, dass infolge Chlorophyllabnahme, z. B. durch **Stresseinwirkung** oder vor dem herbstlichen Blattfall der Laubbäume, eine höhere Reflexion und geringere Absorption mit einer Verschiebung des Reflexionsmaximums vom grünen in Richtung des roten Spektralbereiches erfolgt. Dies wird durch Untersuchungen von HOFFMANN & KIRCHHOF (1989) und KOCH (1987) bestätigt. Liegen Reflexionsmessungen in einer hohen spektralen Auflösung vor, ist ein weiteres Merkmal auffällig, FUCHS (2003): Die Position des Wendepunktes im Anstieg des Reflexionssignales zum nahen Infrarot (Red Edge.) verschiebt sich bei geringeren Chlorophyllgehalten hin zu kürzeren Wellenlängen, dem sogenannten „blue shift“, ROCK et al. (1988).

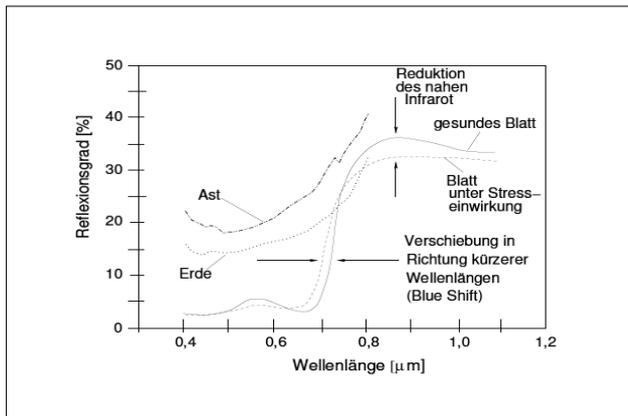


Abbildung 2: Typische Reflexionskurven grüner Blätter im gesunden Zustand und unter Stresseinwirkung, aus FUCHS (2003).

Dieses scheint ein für Pflanzen allgemein gültiges Schema der Reflexionsveränderung bei Stresseinwirkung zu sein. Die typischen phänologischen Veränderungen der Reflexion von Laubbäumen im Jahresverlauf – mit einem hohen Reflexionswert im sichtbaren Spektralbereich während des Laubaustriebes im Frühjahr, einem Absinken der Reflexionswerte im Sommer und einem Anstieg im Spätsommer

bis zum herbstlichen Blattfall – sind vor allem auf die Änderung der Blattpigmentgehalte zurückzuführen, KOCH (1987). Zunehmende Blatt- oder Nadelverluste bewirken eine Abnahme der Reflexion im spektralen Bereich im Fall von Buchen und Kiefern, LANDAUER & VOSS (1989), KOCH (1987). Schließlich können Schatten innerhalb der Krone, die ...bei stärkeren Verlusten der Blattorgane auftreten, einen größeren Einfluss auf die Reflexionswerte bekommen als Blattorgane, KOCH (1987).

Die Kenntnisse über das Reflektionsverhalten von Pflanzen ermöglichte die Nutzung spektraler Vegetationsindizes, die geeignet sind, die Art und den Zustand der Vegetation zu beschreiben. Sie werden durch empirisch erkannte Verknüpfungen spektraler Reflexionsgrade gebildet, die aus den Signalen der einzelnen Kanäle (bzw. Wellenlängenbereichen) abgeleitet werden. Einer der gebräuchlichsten Vegetationsindizes ist der NDVI (normalized difference vegetation index), der die Kanäle im roten und nahen infraroten Kanal (NIR) verwendet und damit die Höhe der „roten Kante“ charakterisiert. Er wird nach folgender Formel berechnet:

$$NDVI = (NIR - Rot) : (NIR + Rot)$$

Vegetationsindizes können aus digitalen Vier-Kanal-Luftbildern (RGBI) aus geringer als auch aus multispektralen Kamerasystemen in Satelliten aus großer Höhe berechnet werden. Beide Sensoren haben Vor- und Nachteile, können je nach Aufgabenstellung gewählt werden und sich für forstliche Anwendungen ergänzen, Tabelle 1.

Tabelle 1: Gegenüberstellung wesentlicher Unterschiede Satellit – Luftbildkamera.

	Satellit (Rapid Eye)	Klassische Luftbildkamera
<b>Sensor</b>	multispektral mit standardisierten Farbkanälen Blau: 440–510 nm Grün: 520–590 nm Rot: 630–685 nm Rot Edge: 690–730 nm NIR: 760–850 nm	3 Kanal (Rot, Grün, Blau) oder 4 Kanal (R, G, B, NIR) mit herstellerspezifischer Grenzziehung der Farbkanäle, keine einheitliche DIN Norm vorhanden z. B. Ultracam: NIR: 680–950 nm DMC: NIR: 670–900 nm Problem: unscharfer Übergang vom Rot zum Nahen Infrarot
<b>Flächenleistung</b>	hoch, 77 km Streifenbreite	gering
<b>Auflösung</b>	grob, auf 5 m gerechnet	sehr fein (Standard 0,10 bzw. 0,2 m)
<b>Besonderheit</b>	Nutzungsmöglichkeit nur bei Sicht (Wolken!)	Flug auch unter Wolken (sogenannte 8/8 Bewölkung) möglich, Kostengünstige Nutzungsmöglichkeit von Drohnen, Ultraleichtflugzeugen bei kleinen Flächen (<100 ha)
<b>Eignung</b>	Für Überwachung großer Waldgebiete und Grobkalikulation nach Katastrophen	Für (Fein)- Monitoring sowie Waldbauplanung und Inventur

Nach der Rechnung der vierkanaligen Ortholuftbilder bzw. fünfkanaligen Satellitenbilder (georeferenzierte und entzerrte Bilder) kann für jedes Bildpixel der NDVI Wert mit einer geeigneten Fernerkundungssoftware berechnet und als Geotiff - Datei abgespeichert werden, Abbildung 3. Der NDVI hat einen Wertebereich zwischen  $-1 \leq 0 \leq 1$ . Werte unter Null repräsentieren in der Regel Feuchtgebiete bzw. Wasserflächen. Werte zwischen Null und Eins geben die Reflektionswerte der grünen Vegetation, in Wäldern in erster Linie der Blätter bzw. Nadeln des Kronendachs, wieder, wobei hohe Reflektionswerte (gegen 1) innerhalb ein und derselben Vegetationsart gesunde, vitale, vollbestockte Waldbestände signalisieren. Nach einer Vorklassifizierung der erzeugten NDVI Bilddatei, z. B. in 0,1 Stufen, Abbildung 3 (rechts), erfolgt in einem letzten Schritt der Vergleich der „Passfähigkeit“ der vorklassifizierten NDVI Klassen mit einer für eine Teilfläche zeitgleich erfolgten terrestrische Fraßkartierung (NDVI aus Rapid Eye) bzw. die Digitalisierung der Schadflächen einer Teilfläche am Stereoauswertebildschirm (NDVI aus Ortholuftbild) und einer nachfolgenden Zuordnung der NDVI Klassen zu den terrestrisch festgestellten Fraßklassen. Abschließend lassen sich über die Umwandlung der überprüften, klassifizierten NDVI Rasterdatei in ein shape-Format Flächenberechnungen anstellen, Tabelle 2. Unter Verwendung des Red Edge NDVI, GITELSON et al. (2004), lassen sich aus den mit 5 m Auflösung relativ groben Satellitenbildern dank multispektraler Sensoren Kalamitäten in gleichförmigen Kiefern- und Fichtenreinbeständen aus großer Höhe sehr rationell erfassen, abgrenzen und in einem Geografischen Informationssystem mit weiteren Monitoringdaten für Analysen darstellen, MARX (2010), MARX et al. (2014), Abbildung 3 (links) und 4. Obwohl es nach Kadro (1981) beachtliche Unterschiede im Nahen Infrarot (NIR) und im sichtbarem Licht (VIS) zwischen Aufnahmen in derart unterschiedlicher Höhe gibt, u. a. aufgrund unterschiedlich hoher Streuung der reflektierten Strahlung und ihrer teilweisen Absorption durch die Atmosphäre, sind in der vergleichenden Betrachtung der beiden zeitlich versetzten Aufnahmen vom Juni 2014 (Rapid Eye) und August 2015 (digitales Luftbild mit 10 cm GSD)<sup>1</sup> folgende Schlussfolgerungen zu ziehen, Abbildung 3: Im Juni 2014 waren stark geschädigte Kiefernbestände in den Forstabteilungen 8057 und 8065 nördlich der unbestockten ehemaligen Truppenübungsplatzfläche und in den Abteilungen 190, 191, 192 und 193 südlich davon festzustellen, Abbildung 3 (links). Diese sind im Red Edge NDVI aus Rapid Eye Daten mit hellblauer Farbe (Schadstufe 4) signiert. Die durch absoluten Kahlfress am stärksten geschädigten in der Regel kleinflächigen Kiefernbestände in den Teilflächen der Abteilungen 8047, 8046, 8048, 8051, 8058, 8059, 8062, 8064, 8065, 8070, 8072, 8085 und 8065 nördlich und in den Teilflächen der Abteilungen 191, 193 und 194 südlich der unbestockten Fläche wurden im Vegetationsindex Red Edge NDVI aufgrund der nicht vorhandenen Reflektion der Kiefernadeln als „schwarze Löcher“ diagnostiziert, d.h., die Waldeigenschaft wurden vom Satellit nicht mehr erkannt! Diese unterschiedlich stark geschädigten Bestände der Schadklasse 4 machten im Juni 2014 etwa 19 Prozent der untersuchten Gesamtfläche aus, Tabelle 2.

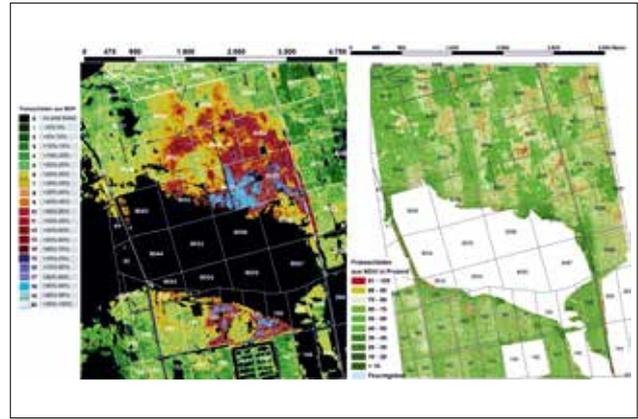


Abbildung 3: Gegenüberstellung Red Edge NDVI aus Rapid Eye Satellit (5 m Auflösung aus 630 km Höhe) vom 27.6.2014 (links) und NDVI aus digitalem RGB Luftbild (40 cm Auflösung aus 1,1 km Flughöhe) vom 06. 08. 2015 (rechts).

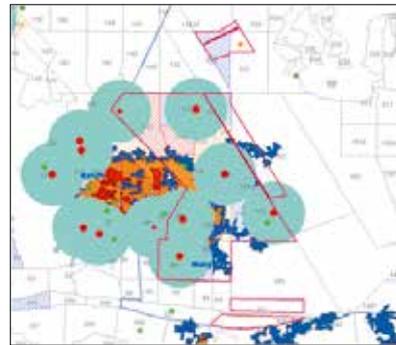


Abbildung 4: Darstellung von aktuellen Monitoringdaten (Winterbodensuche) mit Pufferung [im Hintergrund Rapid Eye Frassanalyse aus NDVI und Abteilungsnetz] im LFB Waldschutz GIS System Spatial Commander.

Durch Insektizidmassnahmen südlich der unbestockten ehemaligen Truppenübungsplatzfläche und nachfolgenden Sanitärriegen konnten diese Kiefernbestände stabilisiert und ihr Benadelungszustand erheblich verbessert werden, vergleiche Abbildung 3 (links und rechts). Der Schadklasse 4 (Frassschäden 91–100 %) gehört im Sommer 2015 nur noch das ehemalige schwarze Loch im Nordosten der Abteilung 194 an, während der Hauptteil in die Schadklasse 2 (Frassschäden 31–49 %) eingestuft werden kann. Anders die Entwicklung nördlich des ehemaligen Truppenübungsplatzes. Hier fand keine Insektizidbekämpfung statt. Die im Juni 2014 mit 19 Prozent Flächenanteil, Abbildung 3 links, diagnostizierten Bestandesteile der Schadklasse 4, sind durch nachfolgende Wiederbenadelung zunächst rückläufig, vergleiche Flächenanteile in der Abbildung 3 (linke Bildhälfte–hellblau) mit rechter Bildhälfte–rote Farbwahl.

<sup>1</sup> Der digitale Bildflug (80 % Längs- und 60 % Querüberlappung) fand am 06. 08. 2015 durch die Firma Glückauf Vermessung Niederlassung Bautzen statt. Es wurden zwei Kamerasystemen (ein CCD Sensor für das VIS (400–700 nm) und einen CMOS Sensor (Phase One Kamera) für das NIR (780–1250 nm) mit Sperrfilter benutzt.

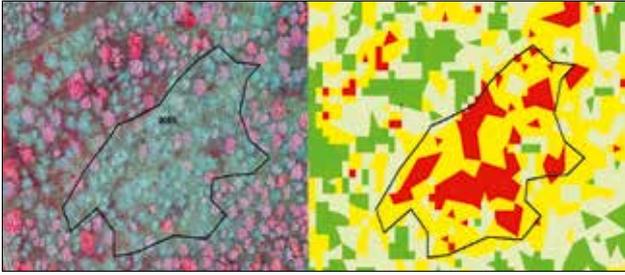


Abbildung 5: Durch Kahlfrass geschädigte Kiefern der Schadklasse 4 im August 2015 – links Abbildung im CIR Luftbild als graue Krone (diagnostiziert im Stereoauswertemodus), rechts klassifiziert als „rot“ mittels NDVI.

Sie, und hier insbesondere die „schwarzen Löcher“ als Schadschwerpunkte, stellten den Ausgangspunkt der sich im Jahre 2015 amöbenhaft ausgebreiteten großflächig festgestellten Kiefernbestände der Schadklasse 3 (Frassschäden 50–90 %) dar, erkennbar an der gelben bis gelbgrünen Farbgebung in den Abbildungen 3 und 6.

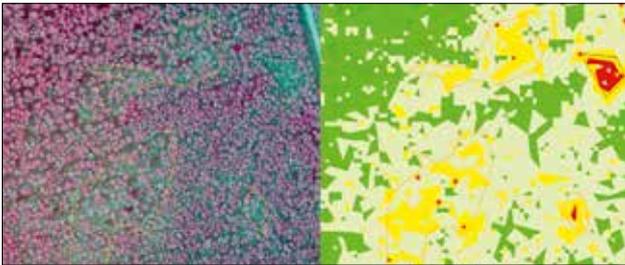


Abbildung 6: Stark geschädigte Kiefern der Schadklasse 3 mit ockerfarbenen Umrandung (Abteilung 8065) – links Darstellung im CIR Luftbild (diagnostiziert im Stereoauswertemodus) – rechts „gelb“ in der NDVI Klassifizierung (im NO eine kleine Schadfläche der Klasse 4 (Kahlfrass – schwarz umrandet und „rot“ klassifiziert)).

Ihr Anteil hat sich mit 30 % fast verdreifacht, Tabelle 2. In diesen Beständen der Schadklasse 3 sind mit hoher Wahrscheinlichkeit Folgeschäden durch den Blauen Kiefernprachtkäfer und nachfolgend flächige Absterbeerscheinungen zu befürchten, WENK & PASTOWSKI (2015). Im Vergleich zur Aufnahme 2014 ist der Anteil der gering geschädigten bzw. gesunden Bestandesteile (Schadklasse 1) mit grüner Farbklassifizierung Abbildung 3 (links) von 28 % auf ca. 4 % in der Aufnahme vom August 2015 (nur dunkelgrüne Farbklassifizierung) zurückgegangen.

Tabelle 2: Veränderung des Schadflächenanteils vom Juni 2014 zum August 2015 Schadgebiet Lieberose I.

Schadstufe	Frassschäden in Prozent	Aufnahme 27.6.2014 Red Edge NDVI Rapid Eye	Aufnahme 06. 08.2015 NDVI Luftbild RGBI
1 (gesund bis leichte Schäden)	≤ 30	28 %	4 %
2 (mittlere Schäden)	31–49	40 %	62 %
3 (starke Schäden)	50–90	13 %	30 %
4 (Kahlfrass)	91–100	19 %	4 %
Klassifizierte Waldfläche (ha)		ca. 1400 ha	ca. 1900 ha

Gleichzeitig stieg der Flächenanteil der mittleren Schadflächen (Schadklasse 2) im August 2015 auf über 60 Prozent an, hellgrüne bis mittelgrüne Farbklassifizierung in den Abbildungen 3, 4 und 5.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das in Zusammenarbeit des Waldschutzteam des LFE mit der Firma BlackBridge Planet Labs durch Abgleich der satellitenbildgestützten Analyse mit der terrestrischen Frasskartierung vor Ort entwickelte satellitenbildgestützte Monitoringsystem für Kiefern großschädlinge seit 2013 erfolgreich angewendet wird, Abbildung 7.

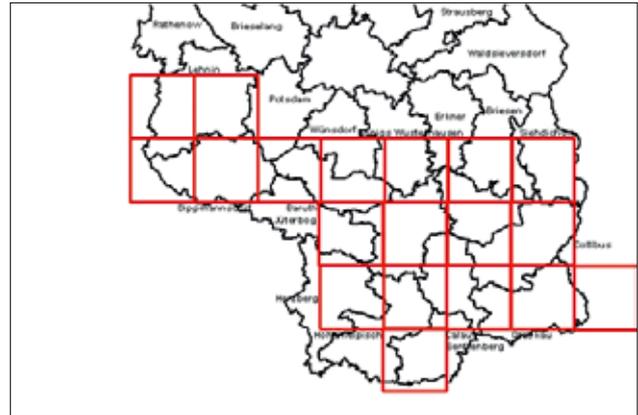


Abbildung 7: Auftrag LFB an BlackBridge AG zur Rapid Eye Frassanalyse (Red Edge NDVI) für die hier dargestellten Kacheln 2014 (hier durch Nonne und Kiefernspinner verursacht).

Schädlingsabhängig werden nach dem vom LFE vorgegebenen Aufnahmetermin Rapid Eye Satellitenbildkacheln von der Firma BlackBridge Planet Lab zur Lokalisation der zuvor per Winterbodensuche und anderer terrestrischer Waldschutzmonitoringverfahren eingegrenzten potentiellen Schadgebiete in Brandenburgs Wäldern per NDVI – Vegetationsindex (Frassanalyse) bzw. Veränderungsanalyse (change detection) ausgewertet und als klassifiziertes Schadklassenshape (GIS-Layer) im Spatial Commander zur Verfügung gestellt, Abbildung 4. Seit 2016 wird dieser GIS Layer in das neu aufgebaute WebOffice <http://10.202.20.191:8080/WebOffice/> eingestellt und bildet die Grundlage für die Vorbereitung von Insektizidmaßnahmen in den Oberförstereien. **Aufgrund des hohen Schadanteils von Kiefern der Schadklasse 3 (Frassschäden 50 – 90 %) und der von den Kollegen des Waldschutzes getätigten Prognose eines bis zu vier Jahre nachlaufenden Schadverlaufs wäre ein digitaler Bildflug als Wiederholungsbefliegung für ein qualifiziertes Monitoring, nachfolgender zeitnaher waldbaulicher Planung und Erfolgskontrolle in den nächsten Jahren sinnvoll.**

## 2. Nutzungsmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten für waldbauliche Planungen im Geoportals Forst Brandenburg

Während Satellitenbilddaten für die Waldschutzüberwachung auf der Basis der Frass- und Veränderungsanalyse als operationales Werkzeug auf Ebene des Landesbetriebes seit 2013 erfolgreich im Spatial Commander und Web Office angewendet werden, stehen die Color-Infrarot-Luftbilder (CIR) der LFB – Sonderbefliegungen, die zur Schadquantifizierung erfolgten, nur sehr eingeschränkt der Praxis zur Verfügung. Die Ursache lag bisher an der Größe der Dateien und der fehlenden Hard- und Software in den Forstdienststellen. Seit Februar 2016 ist es dank der Unterstützung durch Herrn Torsten Hass (LFE) möglich, unter der Intranetadresse <http://lfebs038.forst.lvnbb.de/LFB/client/> im internen Geoportals Forst Brandenburg hochauflösende CIR Luftbilder aus Sonderbefliegungen einzusehen und für waldbauliche Planungen nachzunutzen, Abbildung 8.

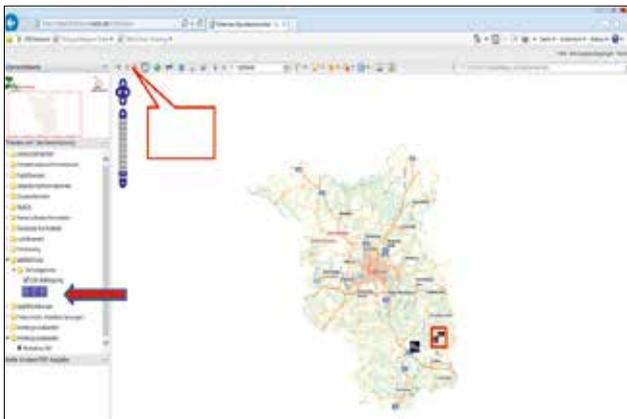


Abbildung 8: Bildschirmkopie vom Geoportals Forst Brandenburg mit „CIR – Ablage“.

Hier, unter dem Ordner Waldschutz, Unterordner Schadgebiete, sind CIR Luftbilder mit gerechneter 40 cm Auflösung der Befliegungen des Oberspreewalds und Lieberose 1 und 2 eingestellt und als Hintergrundbild mit anderen Themen, so z. B. der Forstgrundkarte, überlagerbar, Abbildung 9.

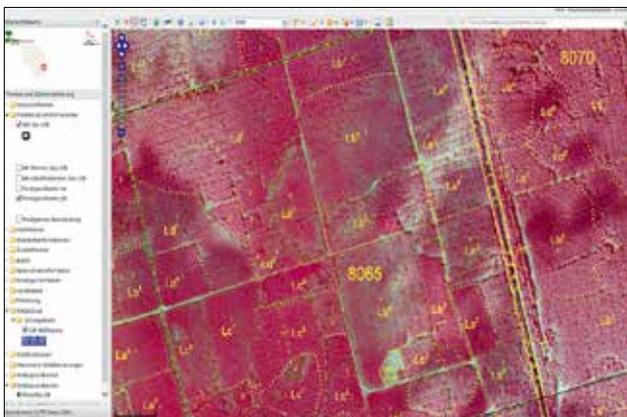


Abbildung 9: Kopie des Geoportals Forst Brandenburg mit FGK und CIR Luftbild.

Unter Nutzung des maximalen Zoomfaktors sind Einzelbaumkronen gut erkennbar, (graue bzw. weiße Kronen signalisieren komplette Entnadelung). Mit Hilfe der im Geoportals vorhandenen Werkzeuge lassen sich Flächen und Linien messen, Abbildung 10.



Abbildung 10: Messfunktion im Geoportals Forst Brandenburg (Abteilung 8065).

Neben dem Messwerkzeug ist auch das Zeichnen von Punkten, Linien und Flächen möglich, Abbildung 11. Diese können mit Sachdateninformationen versehen und nahfolgend exportiert oder als PDF-file ausgedruckt werden, Abbildung 12.

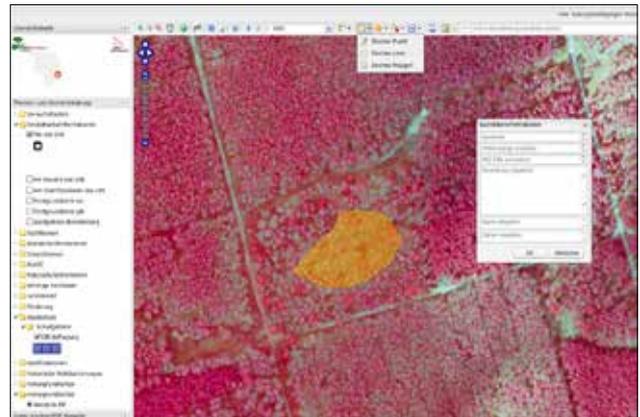


Abbildung 11: Zeichnen von Flächen (Polygonen) im Geoportals Forst Brandenburg.

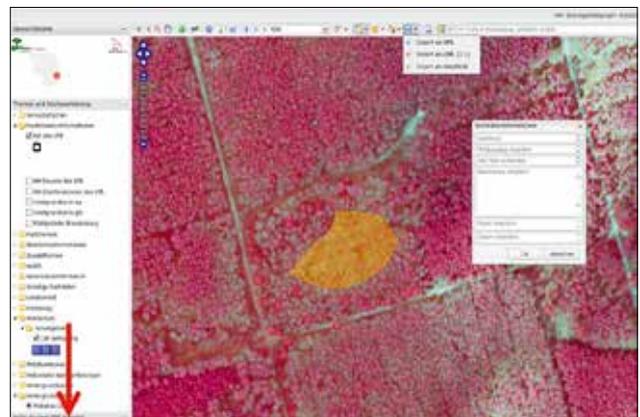


Abbildung 12: Exportmöglichkeit und Druckmöglichkeit als PDF-file von zuvor auf der Basis des Orthobildes gezeichneten Flächen im Geoportals Forst Brandenburg.

Das Geoportal Forst Brandenburg bietet die Möglichkeit der Forstpraxis die hochauflösenden Fernerkundungsdaten als Planungswerkzeug zur Verfügung zu stellen. Eine kleinflächige bzw. femelartige Verjüngungsplanung der geschädigten Kiefernbestände wird damit unterstützt. Unter der Adresse [www.brandenburg-forst.de/test-mobile/lfb\\_mobile.html](http://www.brandenburg-forst.de/test-mobile/lfb_mobile.html) ist es möglich, diese Bilder auch auf den kürzlich in der Forstpraxis angeschafften mobilen Außendienstgeräten (Smartphone und Getac TabletPC) einzusehen. Als weitere Nutzungsmöglichkeit von Fernerkundungsdaten für die Forstpraxis wird gegenwärtig an der Einstellung von Metainformationen der beim Landesbetrieb Geobasis Brandenburg vorhandenen historischen Luftbilder (Datum des Fluges, Art des Luftbildes (sw, RGB, RGBI), analog, digital sowie Bildgrenze) gearbeitet. Erste Gespräche mit den Verantwortlichen beim Landesbetrieb Geobasis Brandenburg fanden im Dezember 2015 statt.

### 3. Die Las Punktwolke – eine neue Informationsquelle aus digitalen Bildflügen

Die Ermittlung der Höhe eines Waldbestandes gehört in der Forsteinrichtung zu den wichtigsten, zeitaufwendigsten und damit kostenintensivsten Arbeiten. Deshalb hat die Möglichkeit der Nutzung von luftgestützten Laserdaten zur Gewinnung von messbaren Informationen der dreidimensionalen Kronenstruktur des Waldes, siehe Vortrag von KÖRNER et al. (2013), KÖRNER (2014), die Forstinventuren weltweit nach VAN LEEUWEN & NIEUWENHUIS (2010) revolutioniert. Laserbefliegungen sind jedoch (gegenwärtig) im Vergleich zu digitalen Bildflügen teuer und nach der Erstbefliegungskampagne, die in Brandenburg in den Jahren 2008 bis 2012 stattfand, ist eine Wiederholungsinventur zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht erkennbar. Daten aus digitalen Bildflügen der Landesvermessungsverwaltungen finden bundesweit im dreijährigen Turnus statt, STRAUB (2014), und stehen den Forstverwaltungen im Rahmen der Rahmenverträge kostenfrei zur Verfügung. Diese digitalen Bildflugdaten auf ihre Geeignetheit für die Gewinnung genauer Oberflächenmodelle der Waldflächen zu prüfen, steht aktuell im Focus mehrerer Forstverwaltungen, STRAUB et al. (2011), COENRADIE et al. (2012), WHITE et al. (2013), Hoffmann (2014). Voraussetzung für die Gewinnung von Höheninformationen aus Oberflächenmodellen ist eine genügend große Überlappung des zu messenden Waldbestandes, siehe Abbildung 13, die mindestens 60% Längs- und 40 % Querüberlappung betragen sollte. Ähnlich der beim menschlichem Sehvorgang jedem aus täglicher praktischer Erfahrung bekannten Prinzipien des räumlichen Sehens ist es möglich, ein Objekt, welches aus mindestens zwei unterschiedlichen Perspektiven (z. B. unseren beiden Augen) aufgenommen wird, dreidimensional im Raum abzubilden, d. h., beim menschlichen Sehvorgang eine relative Lageeinschätzung – näher oder ferner – zu einem anderen Objekt im Bild zu geben.

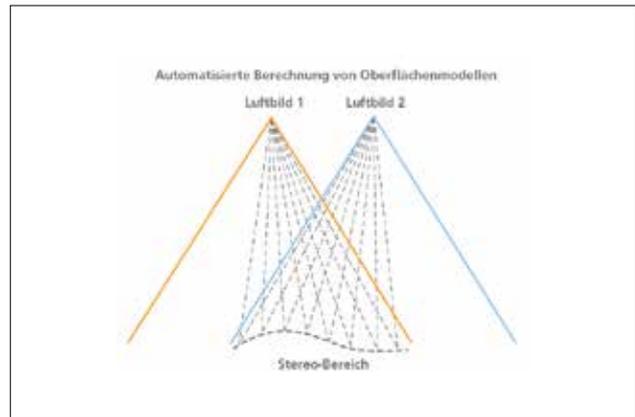


Abbildung 13: Exportmöglichkeit und Druckmöglichkeit als pdf-file von zuvor auf der Basis des Orthobildes gezeichneten Flächen im Geoportal Forst Brandenburg.

Dies geschieht über die Bestimmung sogenannter homologer Punkte, d. h., gemeinsamer, aus beiden Perspektiven sichtbarer, Punkte. Moderne Fernerkundungssoftware gekoppelt mit leistungsstarker Rechentechnik erlaubt bei erfolgter Georeferenzierung und Entzerrung der überlappenden Luftbilder die automatisierte Erkennung von identischen Bildausschnitten und die Berechnung der homologen Punkte und Export als sogenannte Las – Punktwolke, Abbildung 14.

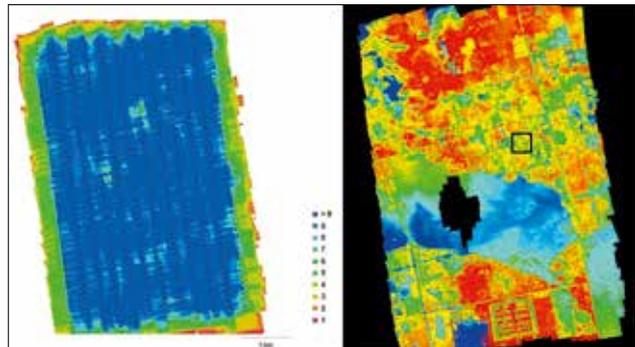


Abbildung 14: Befliegungsgebiet Lieberose 1, links: Kameraposition (Punkte) mit durch Farbwahl skaliert wiedergegebene Anzahl der Bildüberlappungen; rechts: Las-Punktwolke, eingefärbt nach Z-Wert, mit Darstellung der Lage des Ausschnitts der Abbildung 15.

Im vorliegenden Fall wurde mit einer Längsüberlappung von 80 Prozent und einer Querüberlappung von 60 Prozent eine sehr hohe Überlappung bewusst gewählt, die nach WEIDENBACH (2008) der Qualität eines Laserhöhenmodells durch die Zentralperspektive („most nadir“) nahe kommt. Diese Las-Punktwolke stellt quasi die Rohform eines digitalen Oberflächenmodells (DOM), hier mit ursprünglich 0,37 m Rasterweite dar, Abbildung 15. Es wurden von der russischen Software Agisoft Photoscan Professional in den knapp über 2727 Hektar insgesamt über 277 Millionen homologer Punkte bestimmt. Diese Punkt wolke wurde auf 1m Rasterabstand neu gerastert und gespeichert.

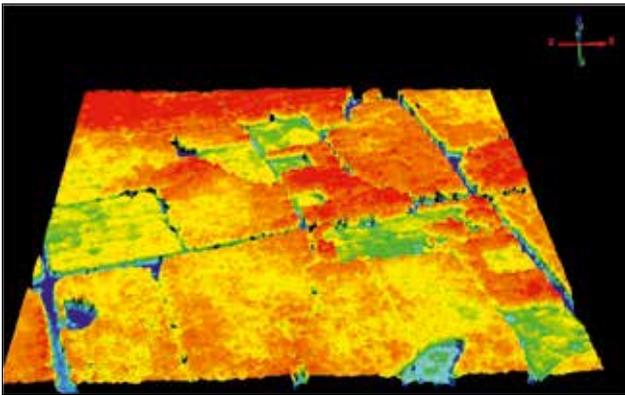


Abbildung 15: 500 m x 500 m Ausschnitt der Las Punktwolke (Abb. 14 rechts) dargestellt mit der Software QTRReader.

In einem zweiten Schritt wird ein digitales Geländemodells (DGM) aus den vom Landesbetrieb Geobasis Brandenburg im ASCII – Format (X, Y, Z) als Rohdaten bezogenen 2 km 2km Kacheln erstellt, Abbildung 16.

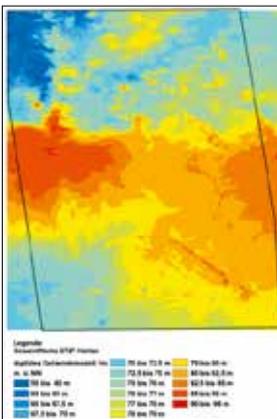


Abbildung 16: Digitales Geländemodell 1m (DGM 1m) des Waldgebiets Lieberose 1 (Befliegungsfläche schwarz umrahmt) Bezug: Landesbetrieb Geobasis Brandenburg.

Durch die Subtraktion des digitalen Geländemodells (DGM) vom digitalen Oberflächenmodell (DOM) wird das normalisierte Oberflächenmodell (nDOM) berechnet, das in der Forstlichen Fernerkundung aus Verständnisgründen als Vegetationshöhenmodell (VHM) bezeichnet wird, Abbildung 17.

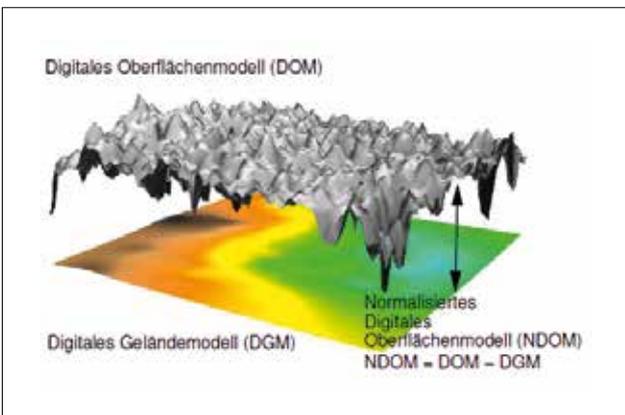


Abbildung 17: Schema zur Berechnung des Vegetationshöhenmodells (VHM) (VHM = nDOM) aus Fuchs (2003).

Das Vegetationshöhenmodell stellt ein Rasterbild dar, welches für jedes Bildpixel einen Höhenwert über Grund beinhaltet. Durch eine Klassifizierung der Höhenwerte können Baumhöhenklassen ausgeschieden werden, Klassenbildung und deren Farbwahl nach HOFFMANN (2014), Abbildung 18.



Abbildung 18: Aus dem Vegetationshöhenmodell durch Klassifizierung ausgeschiedene Baumhöhenklassen für die Fläche Lieberose 1 (Gesamtfläche ca. 2727 Hektar) nach HOFFMANN (2014).

Durch grüne Farbsignatur (4 verschiedene Grüntöne) wird der Höhenklassenbereich von 2 m bis einschließlich 18 m wiedergegeben. Höhenwerte über 18 m sind in violetten Farben (ebenfalls vier differenzierte Farben) dargestellt. Innerhalb der in der Forstgrundkarte in seinen Grenzen dargestellten kleinsten räumlichen Einheit, der Bestandeseinheit (BHE), sind die natürlichen Höhenunterschiede zwischen einzelnen Bäumen und Baumgruppen erkennbar. Um eine erste Qualitätseinschätzung des erzeugten Höhenmodells vornehmen zu können, wurde für die in der Abbildung 18 mit schwarzer Umrandung eingegrenzte Teilfläche von 566 Hektar Größe eine Validierung mit aktuellen Daten des Datenspeicher Wald 2 vorgenommen, Abbildung 19.



Abbildung 19: Gegenüberstellung: links – Baumhöhenklassifizierung aus Vegetationshöhenmodell (VHM = nDOM) - rechts: Baumhöhenklassifizierung aus dem Datenspeicher Wald 2 (rechts) mit eingetragenen Mittelhöhen im Beschriftungsfeld der Forstgrundkarte (gleicher Klassifizierungsalgorithmus).

Hierzu wurde die Attributtabelle der Forstgrundkarte um ein Wertefeld erweitert, in der die Mittelhöhen aus dem DSW 2 für jede Bestandeseinheit (BHE) übertragen wurden. D.h., jede Rasterzelle ein und derselben Bestandeseinheit erhielt die gleiche Höheninformation. Anschließend erfolgte in Analogie zum Vegetationshöhenmodell die Klassifikation in Baumhöhenklassen bei gleicher Farbwahl. Ein Vergleich des aus der LAS - Punktwolke gerechneten Vegetationshöhenmodell, Abbildung 19 (links), mit dem Höhenmodell aus dem DSW 2, Abbildung 19 (rechts), zeigt zunächst starke Ähnlichkeiten zwischen den nach beiden Modellen klassifizierten Baumhöhenklassen. Gleichzeitig zeigt das aus der LAS-Punktwolke gerechnete Vegetationshöhenmodell, Abbildung 19 (links), ein für jede Bestandeseinheit differenziertes Bestandeshöhenmodell, welches im Unterschied zu den DSW 2 Höhenmodell, Abbildung 19 (rechts), kleinflächige Höhenunterschiede erkennen lässt. Um die absoluten Höhenunterschiede zwischen beiden Modellen sichtbar zu machen, wurde mit dem Werkzeug Oberflächendifferenz der Fernerkundungssoftware ERDAS Imagine 2014 pixelweise die Höhen des Vegetationshöhenmodells (VHM), Abbildung 19 (links), abzüglich der Mittelhöhen aus dem DSW 2, Abbildung 19 (rechts), gerechnet und in einem Differenzhöhenbild, Abbildung 20, dargestellt.

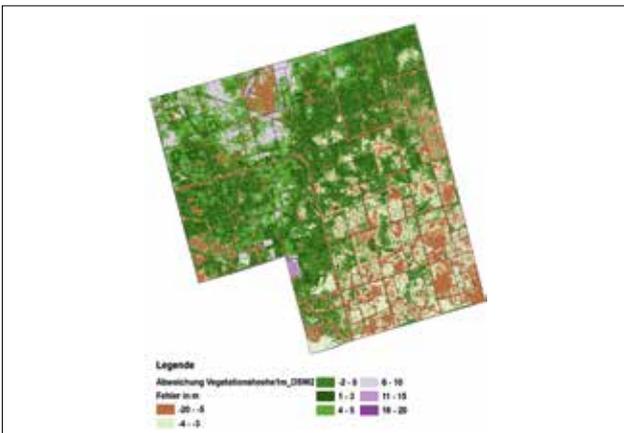


Abbildung 20: Gerechnete Höhendifferenzen zwischen den errechneten Höhenwerten aus dem nDOM und den Mittelhöhen aus dem DSW 2 zur Qualitätseinschätzung.

In dieser Abbildung sind die Höhenabweichungen von -2 m bis +5 m zwischen den beiden Höhenmodellen durch mittel – und dunkelgrüne Farbtöne dargestellt. Die zu erwartende Höhenabweichung des Vegetationshöhenmodells (Abbildung 19 (links) – was eher einer Oberhöhe entspricht – von den Mittelhöhen des DSW 2<sup>2</sup> (Klasse + 1 bis + 3 m), Abbildung 19 (rechts) ist dunkelgrün in der Abbildung 20 dargestellt. Diese Klasse macht den größten Flächenanteil aus, Abbildung 21. In diesen Arealen entspricht die ermittelte Vegetationshöhe den Angaben des DSW2 schon sehr gut. Problematisch sind die im Südosten der Abbildung 20 flächig mit blass grün bis ockerfarbenen wiedergegebenen negativen Höhendifferenzen zwischen Vegetationshöhenmodell und DSW 2 Höhenmodell, siehe auch Darstellung der negativen Höhenabweichungen in der Abbildung 21. Sie erklären sich aus dem Überwiegen der Bodensicht im Prozess des „Image Matching“ infolge starker Entnadelung der Kiefern (bzw. flächenhafter Nutzung).

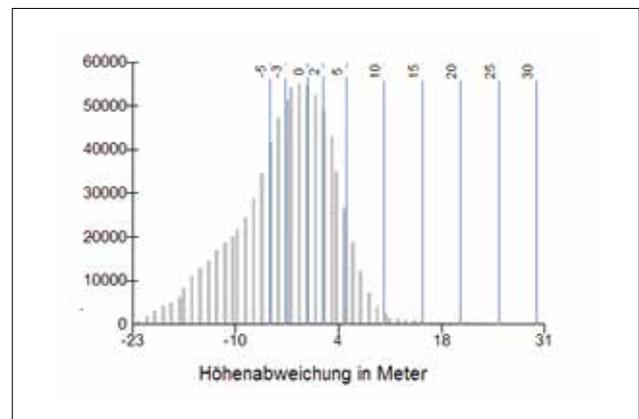


Abbildung 21: Histogramm der berechneten Differenzhöhen (nDOM – DSW2).

Dieses Phänomen ist bei der Berechnung von Oberflächenmodellen aus Luftbildern, die Laubholzbestände im winterkalten Zustand abbilden, bekannt. Die Bereiche mit stark negativen Höhendifferenzen identifizieren (neben auch bereits erfolgten flächigen Nutzungen, so z. B. im Norden der Abbildung 20) somit gleichzeitig die flächig am stärksten geschädigten, da entnadelten Bestandesteile. Diese (Boden bzw. Gelände) – Höhenwerte gilt es ebenso wie jene entlang der Abteilungslinien und Gestelle (braune Signatur in der Abbildung 20) zukünftig zur Verbesserung des Modells herauszufiltern. Die mit sehr geringem Flächenanteil (Abbildung 21) zu beobachteten mit mehr als 5 m Höhendifferenz deutlich überschätzten Höhen, in der Abbildung 20 mit violetten Farben dargestellt, treten geklumpt im Norden auf. Höhendifferenzen von 6 bis 20 m zwischen dem Vegetationshöhenmodell und den Höhenmodell des DSW 2 sprechen für ein „Flattern“ des Höhenmodells an dieser Stelle infolge nicht ausreichender Passpunktzahl bei der Orthorektifizierung. In dem konkreten Fall befindet sich im Norden der Fläche ein Niederungsbereich von Geländehöhen um die 60m, während das Geländereief mit Geländehöhen von etwa 60 m bis 95m schwankt, vergleiche Abbildung 16 und Abbildung 18. In diesen schmalen Niederungsbereich hätte ein weiterer luftbildsichtbarer Passpunkt zur Verhinderung von Überschätzungen der Vegetationshöhen gesetzt werden müssen. Dies ist eine neue Erkenntnis, denn: Für die „normale“

<sup>2</sup> Die Höhenabweichung bei der Baumart Kiefer beträgt im Ertragstafelmodell zwischen Oberhöhe und Mittelhöhe maximal 1,6 m, Degenhardt (2016)

Orthorektifizierung der Luftbilder sind vier luftbildsichtbare Passpunkte in den jeweiligen Bildecken für qualitativ gute Othobilder ausreichend. Die nachfolgende Berechnung von Oberflächenmodellen verlangt anscheinend neben den vier Eckpasspunkten eine zusätzliche Passpunkteanlage nach dem zuvor analysierten digitalen Geländemodell.

## Resümee

Die Nutzung leistungsfähiger Fernerkundungssoftware, wie z. B. pix4D, Agisoft Photoscan, ermöglicht unter Verwendung schneller Hardwarerechner und potenter Speicherkapazität die Berechnung von Oberflächenmodellen aus digitalen Bildflügen bei ausreichender Bildüberlappung aus denen sich zur Unterstützung der Forsteinrichtung Baumhöhenklassen ableiten lassen. Dies ist auch für den Waldschutz – Stichwort Sturmereignisse, Vorratschätzung – von Belang. Die Ableitung von Baumhöhenklassen zur laufenden Unterstützung der Forsteinrichtung muss aufgrund der anfallenden Datenmengen in einen automatisierten Prozess (workflow) erfolgen. Dies kann bei der gegenwärtigen Personal- und Technikausstattung des Landesbetrieb Forst Brandenburg nur über Werkverträge und in Kooperation mit den Fernerkundungsspezialisten und Forsteinrichtern der benachbarten Landesforstverwaltungen geschehen. Erfahrungen aus Sachsen (Projekt Gesamtwald Sachsenforst – Start war im Jahr 2011) zeigen, dass es hierzu eines langen Atem bedarf. Diese moderne Soft- und Hardware ermöglicht mit der perspektivischen Nutzung von Drohnen, Starrflüglern und Ultraleichtflugzeugen für Waldflächen bis etwa 100 Hektar schnellere und kosteneffizientere digitale Befliegungen. Dies wäre durch Kooperationspartner, wie dem Studiengang Forest Information Technology der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (Professor Mund) und der Landesforst Mecklenburg – Vorpommern, die derartige Träger- und Kamerasysteme vorhalten, möglich.

## Zusammenfassung

Moderne Fernerkundungsverfahren bieten zunehmende Anwendungsmöglichkeiten im Forst zu den unterschiedlichsten Themenbereichen, ob nun Waldschutz, Waldbau, Forsteinrichtung, Waldkundeforschung oder hoheitliches Handeln. Dank Computerisierung, Vernetzung und Mobilfunk haben diese digitalen Daten Einzug in den Forstalltag gehalten. Mit dem zu erwartenden weiteren Infrastrukturausbau in Brandenburgs ländlichen Räumen wird die Möglichkeit ihrer Nutzung aber auch die Nachfrage nach ihnen weiter steigen. Um sie erfolgreich zur Anwendung zu bringen, benötigt die Forstverwaltung Brandenburgs als auch der einzelnen Bundesländer neben einem kleinen Kreis an Spezialisten, die in einem ständigen Erfahrungsaustausch untereinander und mit der Forstpraxis stehen, stabile, langfristige Strukturen. Dies gilt sowohl für das IT - Konzept (einschließlich turnusmäßiger Hardwareerneuerung) als auch für das Forstpersonal. Nur so wird der hierfür notwendige kontinuierlicher Wissenserwerb gewährleistet und bei der dazu notwendigen kontinuierlichen Gesamtinvestitionen deren erfolgreiche, effektive Anwendung im volkswirtschaftlichen Sinne erreicht.

## Danksagung

Dem Fachteam Waldschutz (Frau Dr. Katrin Möller, Herr Matthias Wenk und Herr Frank Pastowski) sowie Herrrn Alexander Marx von der Firma BlackBridge Planet Labs möchte ich für die Überlassung der Satellitenbilddaten, hilfreichen Erläuterungen und Informationen über das Schadensgeschehen in Lieberose danken. Herr Torsten Haß (LFE) hat mit der Entwicklung des Geoportals Forst Brandenburg als zukünftiges Werkzeug zur Visualisierung von raumbezogenen Daten einen hohen Anteil am Zustandekommen dieses Vortrages. Ihm sowie Herrn Dipl.-Ing./ Markscheider Wolfgang Aleithe von der Firma Glückauf Vermessung, Niederlassung Bautzen und meinem Fernerkundungskollegen, Herrn Dipl. Forsting. Kai Jütte, aus der Landesforstanstalt A. ö. R. Schwerin, danke ich für die Möglichkeit des ständigen fachlichen Gedankenaustauschs. Gleiches gilt auch an meine Kollegen Wiebke Köpp und Frank Becker, LFE.

## Literatur

- BAUMGARTEN, R. (1990): Untersuchungen zur Waldschadensklassifizierung der Buche an Hand multispektraler Scannerdaten. Oberpfaffenhofen: DLR Institut für Optoelektronik, 1990 (Forschungsbericht DLR-FB90-56)
- BUSCHMANN, C.; NAGEL, E. (1992): Reflexionsspektren von Blättern und Nadeln als Basis für die physiologische Beurteilung von Baumschäden. Karlsruhe: KFK-PEF, 1992 (Forschungsbericht 90)
- GITELSON, A. A. & MERZLYAK, M. N. (1996): Remote estimation of chlorophyll content in higher plant levels. / *International Journal of Remote Sensing* 18 (12): 2691–2697
- COENRADIE, B.; HAAG, L.; HOFFMANN, K. (2012): Erhebung von Waldzustandsdaten mit Methoden der Fernerkundung für den Gesamtwald. Pilotprojekt Gesamtwald. AFL – Tagung Wien. 15.–17.10.2012
- DEGENHARDT, A. (2016): mündliche Mitteilung
- FUCHS, H. – J. (2003): Methodische Ansätze zur Erfassung von Waldbäumen mittels digitaler Luftbilddauswertung. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Göttingen
- HILDEBRANDT, G. (1974): Luftbilddauswertung 1887 – zwei Dokumente aus den Anfängen der forstlichen und landeskulturellen Luftbildinterpretation. -Symp. on Remote Sensing and Photointerpretation, ISP Comm. VII, Banff, Kanada, 507–513
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung: für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Heidelberg: Wichmann
- Hildebrandt, G. (2010): Anfänge der forstlichen Luftbildmessung und -interpretation in Deutschland nach 1945. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart* (4): 235–242

- HOFFER, R. M. (1978): Biological and Physical Considerations in Applying Computeraided Analysis Techniqueto Remote Sensor Dat, in: Remote Sensing, The Quantitative Approach, by Philip H. Swain/Shirley M. Davis, mc. Graw-Hill 1978: 227–289
- HOFFMANN, H.; KIRCHHOFF, W. (1989): Vergleichende reflexionsspektroskopische Vegetationsmessungen im Labor und Gelände an Rotbuchen- und Fichtenzweigen: Teil I. Versuchsaufbau, Labormessungen, Modellierung. Oberpfaffenhofen: Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft und Raumfahrt, 1989 (DLR-IB-552-8/89)
- HOFFMANN, K. (2014): Die Erfassung von Bestandesparametern mit Hilfe von Fernerkundung. Vortrag anlässlich der Tagung der AG Forsteinrichtung in Weimar am 22.10. 2014 (unv.)
- KADRO, A. (1981): Untersuchung der spektralen Reflektionseigenschaften verschiedener Vegetationsbestände. Inaugural–Dissertation Forstwiss. Fakultät Freiburg i. Br.
- Koch, B. (1987): Untersuchungen zur Reflexion von Waldbäumen mit unterschiedlichen Schadsymptomen auf der Grundlage von Labor- und Geländemessungen, Forstliche Fakultät, Universität München, Dissertation, 1987
- KURZ, F. (2003): Schätzung von Vegetationsparametern aus multispektralen Fernerkundungsdaten. Dissertation. TU München
- KÖRNER, M.; KÄRGEL, S.; KLINNER, S. (2013): Zur Anwendung von Fernerkundungsverfahren für die Forstwirtschaft Nordostdeutschlands. EFS Band 51. Beiträge zum 8. Winterkolloquium am 21. Februar 2013: 50–57
- KÖRNER, M. (2014): Airborne Laserscanning–Ein Werkzeug zur Unterstützung forstwirtschaftlicher Aufgaben. Vortrag zur Abschlussstagung INTERREG IV A Projekt. Eberswalde vom 8.05.2014. (unv.)
- LANDAUER, G.; VOSS, H. H. (Hrsg. 1989): Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung: Abschlussdokumentation. Oberpfaffenhofen : DLR, 1989
- MANSBERGER, R.: Ein System zur visuell-digitalen Zustandsbeurteilung von Baumkronen auf Farb-Infrarot-Luftbildern. Wien, Universität für Bodenkultur, Wien, Fachgruppe Forst- und Holzwirtschaft: 97, Dissertation, 1992
- MARX, A. (2010): Erkennung von Borkenkäferbefall in Fichtenreinbeständen mit multi-temporalen Rapid Eye-Satellitenbildern und Datamining–Techniken in: Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart (4): 243–252
- MARX, A., MÖLLER, K., KEGEL, K. (2014): Interpretationshilfen zur Satelliten - basierten Frasskartierung. BlackBridge AG Berlin/ Landesforstbetrieb Brandenburg/Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde unv.
- REINHOLD, A. (1970): Stand und Entwicklungsmöglichkeiten der Aufnahme- und Auswertetechnik von Luftinformationen bei Inventuren der Erdoberfläche in: Luftbildanwendung. Beiträge für die Forstwirtschaft III/1970. (4). Deutsche Akademie für Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde: 4–6
- ROCK, B. ; HOSHIZAKI, T. ; MILLER, J. R. (1988): Comparison of In Situ and airborne spectral measurement of the blue shift associated with forest damage. In: Remote Sensing of Environment 24 (1988), S. 109–127
- STRAUB, CH., SEITZ, R.; TROYCKE, A. (2011): Dreidimensionale Vermessung von Wäldern aus dem Flugzeug. LWF aktuell 84/2011: 44–46
- STRAUB, CH. (2014): Umfrage zur Verfügbarkeit von digitalen Luftbildern bei den Vermessungsverwaltungen der Bundesländer (unv.) Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
- VAN LEEUWEN, M.; NIEUWENHUIS, M. (2010): Retrieval of forest structural parameters using LiDAR remote sensing. Eur. J. For. Res. 2010, 129, 749–770.
- WEIDENBACH, M. (2008): Generierung von Informationen für die Forsteinrichtung auf Basis von Airborne Laser Scanning Daten (ALS) und digitalen Farbinfrarotbildern (CIR) am Beispiel on zwei Untersuchungsflächen in Sachsen. Vortrag anlässlich der sachsenforst Tagung „Laserscanning - ein Werkzeug für die Forsteinrichtung“ 4.3.2008
- WENK, M.; PASTOWSKI, F. (2015): Mitarbeiter des Fachteams Waldschutz des LFE. mündliche Mitteilung
- WHITE, J. C.; WULDER, M. A.; VASTARANTA, M.; COOPS, N. C.; PITT, D.; WOODS, M. (2013): The Utility of Image-Based Point Clouds for Forest Inventory: A Comparison with Airborne Laser Scanning. Forests 2013, 4: 518–536
- YUAN, X; KING, D.; VLCEK, J. (1991): Sugar maple decline assessment based on spectral and textural analysis of multispectral aerial videography. In: Remote Sensing of Environment 37 (1991), S. 47–54

# Vielfalt kontra Kahlfraß – Zum Einfluss der Bestandesstruktur auf die Fraßintensität der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Brandenburg: Ergebnisse aus dem Waldklimafonds-Projekt „DSS-RiskMan“

RAINER HENTSCHEL, ALINE WENNING, JENS SCHRÖDER, KATRIN MÖLLER

## 1. Einleitung

Viele Schadinsekten des Waldes, so auch die Nonne, sind wärmeliebend und damit voraussichtliche Gewinner des Klimawandels (MÖLLER 2014). Während der letzten drei Jahrzehnte wurde in Brandenburg ein deutlicher Anstieg der Populationsdichten von Kieferngrößschädlingen und hiermit verbundenem Nadelfraß beobachtet (Abb. 20 in ZIESCHE 2016). Insbesondere der Larvenfraß der Nonne, die etwa alle zehn Jahre eine Massenvermehrung durchlebt (MAJUNKE et al. 2004), führte zu massiven Schädigungen von Kiefernbeständen. Die Schadausmaße wurden zudem durch das zeitlich synchrone oder anschließende Auftreten des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.) verstärkt (MÖLLER und ENGELMANN 2008). Nach Unterschreitung einer Restbenadelung von 10 % ist mit einer zunehmenden Mortalität der Kiefer zu rechnen (WENK und MÖLLER 2013), weshalb vielerorts lediglich der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) einen Bestandesverlust verhindern konnte.

Neben den finanziellen Kosten des Walderhalts durch PSM stellt diese Maßnahme immer eine ökologische Belastung dar, die es zu vermeiden gilt. Nicht desto weniger hat der Walderhalt oberste Priorität, weshalb ein zielgerichtetes Monitoring eine entsprechende Vorhersage der Bestandesgefährdung und ggf. die Anordnung eines PSM-Einsatzes elementare Aufgaben des Waldschutzes darstellen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss der Bestandesstruktur auf den Nonnenfraß abzubilden und entsprechende Risikogebiete zu identifizieren. Aufgrund der voranschreitenden Waldentwicklung und einer hohen Mobilität der Nonnenfalter ist mit einer kontinuierlichen Verschiebung der Schadgebiete zu rechnen. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit ein dynamisches Überwachungsnetz zu etablieren, welches in Abhängigkeit von den Bestandesstrukturen bevorzugte Fraßgebiete der Nonne abdeckt und die Überwachung angepasst an die aktuelle Populationsdichte der Nonne intensiviert.

Neben den Herausforderungen eines zielgerichteten Monitorings stellt sich die Aufgabe, langfristige Anpassungsstrategien zu entwickeln und die Bestandesgefährdung gegenüber so genannter Kieferngrößschädlingen (KGS) zu reduzieren. In diesem Zusammenhang spielt die Förderung der biologischen Vielfalt eine wichtige Rolle (MAJUNKE et al. 2005, MÖLLER 2008). Inwieweit ein ökologischer Waldumbau das Risiko gegenüber KGS mindern kann, soll im Rahmen einer weiterführenden Risikomodellierung geprüft und entsprechend quantifiziert werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit geschaffene Datengrundlage stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Risikomodellierung dar. Neben Bestandes- und Standortinformationen wurden Kennwerte verschiedener Einflusszonen her-

geleitet und mit den historischen Daten der Fraßkartierung verschnitten. Hierdurch konnten eine Vielzahl potenzieller Einflussfaktoren untersucht und auf Landschaftsebene bewertet werden.

## 2. Material und Methoden

Als Grundlage dieser Untersuchung diente die terrestrische Fraßkartierung der Landesforstverwaltung Brandenburg aus den Jahren 2002 bis 2013. Aufgrund des erhöhten Auftretens der Nonnen im Süden Brandenburgs, und für eine übersichtlichere Darstellung, beschränken sich die Auswertungen auf diesen Teil des Landes (Hochwert < 5810000 für UTM Zone 33N, Projektion ETRS89).

### 2.1 Fraßkartierung

Der von den zuständigen Förstern festgestellte Fraß wurde als Flächenanteil an der von Kiefer bestockten Fläche der Forstabteilung angegeben und als *merklich* (30–50 % Nadelverlust), *stark* (51–90 % Nadelverlust), *kahl* (> 90 % Nadelverlust) klassifiziert. Aufgrund des vermehrten Auftretens der so genannten Kiefernfraßgemeinschaft wurden alle Erhebungen mit Beteiligung der Nonne berücksichtigt. Zudem wurden alle mit PSM behandelten Flächen, aufgrund eines zuvor prognostizierten Bestandesverlust, der Kategorie *kahl* zugeordnet.

Für die Analyse der Einflussfaktoren des Nonnenfraßes wurde ein *Fraßindex* hergeleitet. Durch die Gewichtung des relativen Anteiles der befallenen Kiefernfläche innerhalb der Abteilung entsprechend der Fraßintensität, ergibt sich für alle Abteilungen ein vergleichbarer Wert von 0 bis 3:

$$\text{Fraßindex} = 1 \times \text{merklich} + 2 \times \text{stark} + 3 \times \text{kahl}$$

Für die Prognose der Risikogebiete wurde lediglich zwischen den Kategorien „Fraß“ und „kein Fraß“ unterschieden.

### 2.2 Einflussfaktoren

Für die Analyse der Einflussfaktoren des Nonnenfraßes wurden Boden-, Klima- und Bestandeskennwerte herangezogen. Ziel war es, einen möglichst großen Satz potentieller Einflussfaktoren zusammenzustellen, der für ganz Brandenburg abrufbar bzw. anwendbar ist.

Die Bodenkennwerte (*Boden*) wurden anhand eines entsprechend der Datengrundlage optimierten Regionalisierungsansatzes berechnet (RIEK und RUSS 2014, RUSS 2015). Als Datengrundlagen gingen hierbei Flächen- (z. B. forstliche Standortskarte) und Inventurdaten (z. B. Bodenzustandserhebung) sowie Simulationsergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung nach dem TUB-BGR-Verfahren (WESSOLEK et al. 2008, 2009) ein. Die in dieser

Untersuchung berücksichtigten Bodenkennwerte (Nährstoffklasse, nutzbare Feldkapazität, pflanzenverfügbares Bodenwasser, mittlere potentielle Verdunstungsrate, mittlere aktuelle Verdunstungsrate) wurden jeweils für den geografischen Mittelpunkt der Abteilung hergeleitet.

Als Klimadaten (*Klima*) wurden regionalisierte Tageswerte der Temperatur und des Niederschlages basierend auf Messwerten der DWD-Stationen in Brandenburg herangezogen (KÖHLER et al. 2015). Aus Gründen der Datenmengen wurden die regionalisierten Kennwerte bisher nur für die 487 Monitoringpunkte in den Wäldern Brandenburgs (s. WOLFF und RIEK 2005) abgefragt. Jeder Abteilung wurde der nächstgelegene Monitoringpunkt zugeordnet, wobei diese in Einzelfällen bis zu 20 km entfernt sein können. Die Klimakennwerte sind daher mit Unsicherheiten belastet und repräsentieren das Regionalklima, nicht aber das tatsächliche Bestandesklima der Schadflächen. Um den Einfluss auf die Populationsdynamik der Nonne zu untersuchen, wurden die mittlere Temperatur und die Niederschlagssumme der Vegetationsperiode (01.04. bis 30.09.) des aktuellen Jahres (Einfluss auf die Larve) und des Vorjahres (Einfluss auf den Falter) berücksichtigt.

Die Bestandeskennwerte wurden entsprechend der Zielvariablen zu Abteilungskennwerten aggregiert. Hierzu wurden entsprechende Inventurdaten der einzelnen Bestände und Bestandesschichten aus dem „Datenspeicher Wald“ der Version DSW2 (LFB und LFMV 2015) abgerufen. Die Inventurdaten der früheren Version DSW1 (2001 bis 2007) wurden entsprechend harmonisiert. Es wurden vier Variablengruppen unterschieden:

- **Alter:** Flächenanteile von Beständen im Alter 0–39, 40–99 und  $\geq 100$  Jahre
- **Fläche:** Summe der Flächenanteile der Eigenschaften Bestandestyp, Mischungstyp, Bestandesschichtung, Laubholzanteil und Verjüngung
- **Diversität:** Anzahl der vorkommenden Struktureinheiten, Bestandestypen, Baumarten und Altersklassen
- **Kiefer:** Mittelwerte von Alter, Brusthöhendurchmesser, Höhe, Grundfläche, Bonität, Schlussgrad, Zuwachs und Vorrat der vorkommenden Kiefernbestände

Für die Berücksichtigung des Nachbarschaftsraumes der Bestände und in Anlehnung an die Flächenrepräsentanz im stufigen Überwachungsverfahren (siehe unten), wurden die vier zuvor beschriebenen Variablengruppen außerdem für 1000, 200 und 100 ha große Einflusszonen bzw. „Buffer“ berechnet (*bu1000*, *bu200* und *bu100*). Die entsprechenden „Buffer“ sind kreisförmige Flächen, die konzentrisch um den geografischen Mittelpunkt der betrachteten Forstabteilung liegen.

### 2.3 Überwachungsdaten

Das stufige Überwachungsverfahren der Nonne (MAJUNKE et al. 2004, LFE Waldschutzordner von 2010) setzt sich primär aus der Überwachung männlicher Falter mit Pheromonfallen, der Erfassung weiblicher Falter an Zählstammgruppen und der Eisuche am Stamm der Kiefern zusammen (Abb. 1).

In Abhängigkeit der Überwachungsergebnisse und der kritischen Zahlen nach RICHTER (1960) verdichtet sich das Überwachungsnetz ausgehend von einem Repräsentationsbereich der Pheromonfalle von 1000 ha, hin zu einem 200 ha großen Überwachungsraum der Zählstammgruppen und schließlich zu einer Feinerschließung der Überwachung von 100 ha anhand der Eisuche. Sollte auch das dritte Überwachungsverfahren, die Eisuche, die kritische Zahl überschreiten, wird in Abhängigkeit vom Benadelungsprozent des jeweiligen Kiefernbestandes eine so genannte Gefährdungsziffer berechnet. Diese gibt an, ob bzw. wie oft der Kiefernbestand theoretisch kahl gefressen würde. Im Falle einer Kahlfraßprognose erfolgt eine stichprobenartige Laboruntersuchung des Parasitierungsgrades der Nonneneier und nur wenn keine nennenswerte Parasitierung festgestellt wurde, erfolgt die Erwägung eines PSM-Einsatzes.

Für die vorliegende Untersuchung wurde in Abhängigkeit der Flächenrepräsentanz (*bu1000*, *bu200* und *bu100*) jeder Abteilung der mittlere und maximale Zählwert des jeweiligen Überwachungsverfahrens und der Gefährdungsziffer zugeordnet. Die Verknüpfung mit der Fraßkartierung erfolgte entsprechend der Prognosestellung über die Zählraten des Vorjahres (Jahr 2 in Abb. 1) bzw. des vorvorletzten Jahres im Falle der Pheromonfallenfänge (Jahr 1 in Abb. 1). Als weitere Überwachungsdaten wurden die Fraßereignisse des Vorjahres berücksichtigt. Hierbei wurden die Anzahl der Schadflächen und die maximale Intensität entsprechend der drei zuvor beschriebenen Einflusszonen (*bu1000*, *bu200* und *bu100*) den Abteilungen zugeordnet.

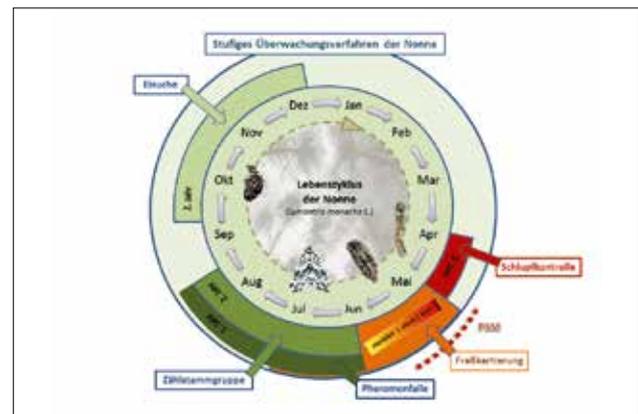


Abb. 1: Lebenszyklus und stufiges Überwachungsverfahren der Nonne.

### 2.4 Datenverarbeitung

Im Zuge der Datenbankentwicklung wurden Boden-, Klima- und Bestandeskennwerte (inklusive Einflusszonen) sowie Überwachungsdaten der Nonne mit der Fraßkartierung verknüpft. Sämtliche Aufbereitungs- und Analyseschritte wurden in R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) realisiert, mittels QGIS ([www.qgis.org](http://www.qgis.org)) visualisiert und über die PostGIS Erweiterung ([www.postgis.net](http://www.postgis.net)) in eine PostgreSQL Datenbank ([www.postgresql.org](http://www.postgresql.org)) überführt.

Für die Analyse der Einflussfaktoren wurde der parameterfreie Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet (*stats-package*: R CORE TEAM 2015). Hierdurch wurde, angewandt auf den gesamten Datensatz, die Signifikanz des Zusammenhangs zum *Fraßindex* geprüft.

Für die Identifikation der Risikogebiete wurde das Klassifikationsverfahren „Random Forest“ angewandt (BREIMAN 2001). Diese Erweiterung des klassischen Entscheidungsbaummodells erlaubt es, große Datenmengen mit vielen Variablen zu verarbeiten. Anstelle eines einzelnen Entscheidungsbaumes (Abb. 2), der zu Beginn alle Variablen enthält und anschließend auf die wichtigsten reduziert wird („Pruning“), werden eine Vielzahl (hier 500) unabhängiger Entscheidungsbäume anhand einer festgelegten Anzahl (hier 11; optimiert nach LIAW und WIENER 2002) zufällig gezogener Variablen konstruiert. Die abschließende Klassifizierung wird dann als Mehrheitsentscheid aller Bäume getroffen und führt im Vergleich zu anderen Klassifikationsverfahren zu einer sehr hohen Prognosegenauigkeit (FERNÁNDEZ-DELGADO et al. 2014). Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit zur Quantifizierung der Variablenbedeutung (SANDRI und ZUCCOLOTTI 2006, POGGI et al. 2010, GENUER et al. 2012).

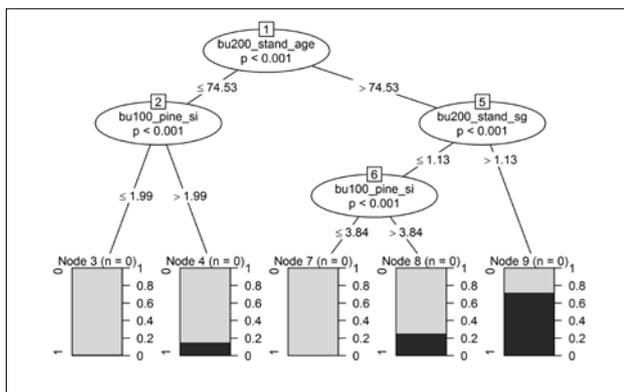


Abb. 2: Beispielhafte Darstellung eines Entscheidungsbaumes mit nur drei Variablen: Das mittlere Bestandsalter der Abteilungen eines 200 Hektar großen Suchraumes (*bu200\_stand\_age*), der mittlere Schlussgrad dieser Abteilungen (*bu200\_stand\_sg*) und die mittlere, relative Bonität der Kiefernbestände in einem 100 Hektar großen Suchraum (*bu100\_pine\_si*). Die Verzweigungsregeln bzw. die Teilungs-Kriterien des Datensatzes werden durch die Zahlen in den Graphen wiedergegeben. Die dunkel grauen Balken geben die Wahrscheinlichkeit an nach der für diesen Pfad mit einem Kahlfraß gerechnet werden kann.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Fraßschäden der letzten beiden Nonnengradationen

Im Vergleich zu den historischen Nonnenschadgebieten nach APEL et al. (2004) zeigte sich während der letzten beiden Massenvermehrungen der Nonne eine deutliche Südost-Verlagerung (Abb. 3). Nebenschadgebiete des vorherigen Jahrhunderts sind nicht mehr als solche zu bezeichnen und im gesamten südlichen Brandenburg ist mit dem Auftreten der Nonne zu rechnen. Die Gründe hierfür sind neben einer klimatischen Begünstigung der Nonne jüngster Vergangenheit (MÖLLER 2014) auch in der Waldentwicklung zu suchen. In Südbrandenburg stellten 2015 Kiefernwälder der Altersklasse III und IV (hier 40–79 Jahre bezogen auf das mittlere Alter aller Kiefernbestände innerhalb einer Abteilung), dem bevorzugten Altersklassen der KGS (SCHWENKE 1978, 1994), einen Anteil von 58 % aller Abteilungen mit Kiefernvorkommen dar.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass sich das Verbreitungsgebiet der Nonne aber nicht über eine einfaktorielle Betrachtung erklären lässt, zumal während einer Massenvermehrung alle Altersklassen befallen werden können (FUNKE und MAJUNKE 2003). Auch wird angenommen, dass das vermehrte Auftreten von Massenvermehrungen in dichten ungepflegten Kiefernbeständen eher auf mikro- bzw. mesoklimatische Bedingungen zurückzuführen ist (MAJUNKE et al. 2004). Zudem wird der Wirtswechsel der Schädlinge in solchen Beständen erleichtert (SCHOWALTER et al. 1986). Betrachten wir nun noch den potentiellen Einfluss des physiologischen Zustands der Wirtspflanze (HABERMANN et al. 1997, KÄTZEL und LÖFFLER 1996) sowie die Wirkung von natürlichen Gegenspielern (MAJUNKE et al. 2005, MÖLLER et al. 2007, MÖLLER 2008), wird schnell deutlich, dass die Populationsdynamik der Nonne einem komplexen Wirkungsgefüge biotischer und abiotischer Faktoren folgt.

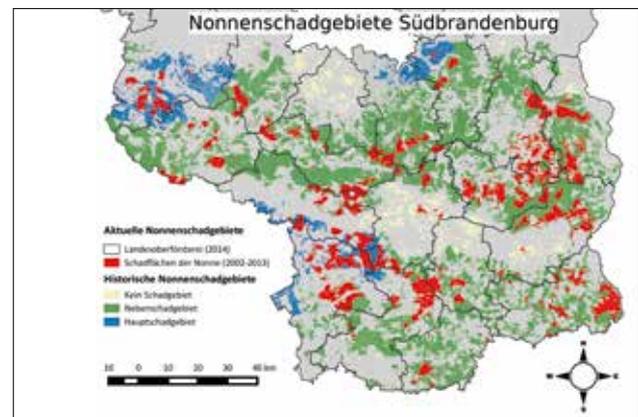


Abb. 3: Historische und aktuelle Schadgebiete der Nonne. Letzteres (rot) setzt sich aus den Erhebungen der Fraßkartierung und der Dokumentation vorgenommener PSM-Einsätze zusammen.

Die letzten beiden Massenvermehrungen haben das große Schadpotential der Nonne erneut verdeutlicht (Abb. 4). Sind die ersten dokumentierten Massenvermehrungen der Nonne in Deutschland auch bereits im 15. Jahrhundert datiert (ZEDERBAUER 1911), lassen sich die Ausmaße der Schadergebnisse aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethoden jedoch kaum vergleichen. Festzuhalten ist, dass Länge und Häufigkeit der Gradationen der Nonne im Nordostdeutschem Tiefland während der letzten Jahrzehnte zugenommen haben (Abb. 2 in GRÄBER et al. 2012).

In Brandenburg stieg die durch die KGS verursachte Schadfläche seit den 1990er Jahre drastisch an (Abb. 20 in ZIESCHE 2016), was zum Teil durch den Verzicht des Einsatzes von DDT erklärt sein mag (ZIESCHE 2016). Entscheiden ist aber auch die veränderte Schadschwelle. Seit 1990 sind nicht mehr erwartete Fraßschäden entscheiden für den PSM-Einsatz, sondern die Prognose Kahlfraß, also Waldverlust.

Die extrem hohe Befallsfläche (91.000 ha) der Nonnengradation von 2002 bis 2006 in Südbrandenburg, in der eine Schadfläche von ca. 33.000 ha dokumentiert wurde und zusätzlich ca. 58.000 ha mit PSM behandelt werden mussten (Abb. 4), legt den Verdacht nahe, dass das extreme Trockenjahr 2003 begünstigend gewirkt hat. In der Tat gelten Witterungsextreme mit fehlenden Niederschlägen bei hohen Sommertemperaturen als auslösende Faktoren

im Massenwechselgeschehen der Nonne (WALDMANN 1999). Warmes trockenes Klima ist insbesondere für Falterflug, Eiablage und die Entwicklung der Junglarven und damit für die Populationsentwicklung der Nonne von großer Bedeutung (MAJUNKE et al. 2004). Die letzte Nonnengradation (2012 bis 2013) war deutlich schwächer ausgeprägt (21.500 ha), wobei die Schadfläche ca. 7.500 ha und die PSM-Fläche ca. 14.000 ha betrug.

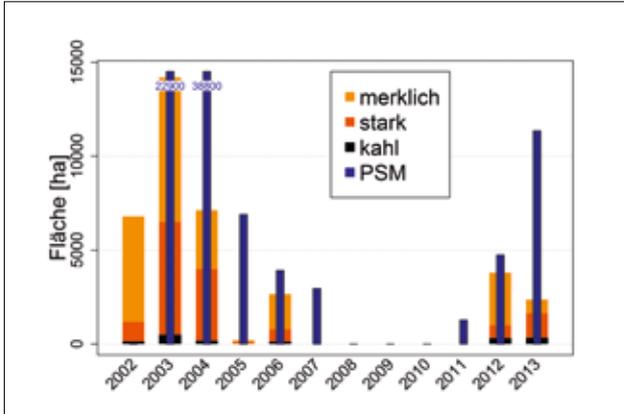


Abb. 4: PSM- und Schadfläche der Nonne in Südbrandenburg von 2002 bis 2013.

### 3.2 Einflussfaktoren des Nonnenfraßes

Die parameterfreie Korrelationsanalyse nach Spearman, angewandt auf den kompletten Datensatz ( $n=4325$ ), offenbarte eine Vielzahl signifikanter Zusammenhänge zwischen einzelnen Variablen mit dem *Fraßindex*. Die höchsten Korrelationsmaße wurden für die Variablengruppen *Fläche*, *Klima*, *Diversität* und *Kiefer* beobachtet (Abb. 5). Das Korrelationsmaß fiel allgemein gering aus (Maximum = 0,179). Letzteres ist auf ein hohes „Rauschen“ der Daten und das angesprochene multifaktorielle Wirkungsgefüge der Populationsdynamik der Nonne zurückzuführen. Insbesondere die Variablen für die Einflusszonen (*bu100*, *bu200* und *bu1000*) fielen sehr gering aus.

Trotz der hohen Heterogenität des Datensatzes konnten signifikante und biologisch plausible Zusammenhänge herausgestellt werden. Als wichtigste Variablengruppe gemessen an den Einzelkorrelationen ging die Gruppe *Kiefer* ein. Wie auch aus der Literatur bekannt (MAJUNKE et al. 2004, ZIESCHE 2016), waren dichte Kiefernbestände schlechter Bonität positiv mit der Fraßintensität korreliert. Bei der Gruppe *Klima* zeigte sich, dass die mittlere Temperatur der vorjährigen Vegetationsperiode positiv und der Niederschlag des aktuellen Jahres negativ wirkten. Dieser Umstand lässt sich durch günstige (warme) Bedingungen während des Falterfluges im Vorjahr und ungünstige Bedingungen während des Raupenfraßes (Gefahr des „Herunterspülens“ durch Niederschläge) erklären. Hinsichtlich der Vielfalt wiesen alle Variablen der Gruppe *Diversität* eine negative Korrelation auf. Dieser Umstand wird auf eine höhere Abundanz von Antagonisten zurückgeführt, die als populationsreduzierende Faktoren gelten (KRATOCHWIL und SCHWABE 2001). In der Gruppe *Fläche* zeigte sich des Weiteren, dass Kiefern in homogenen Abteilungen mit hohem Reinbestandsanteil vornehmlich befallen werden bzw. Mischbestände und ein hoher Laubholzanteil fraßhemmend wirken.

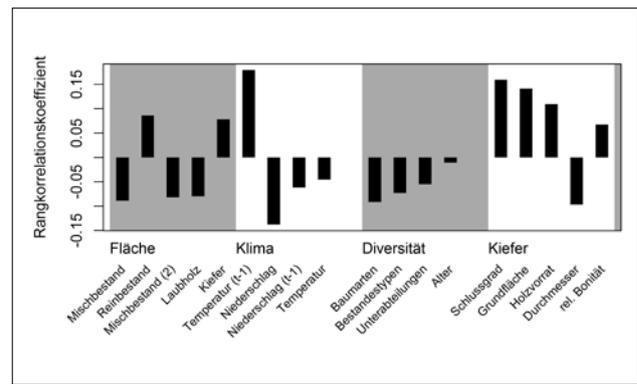


Abb. 5: Signifikante Rangkorrelationen mit dem Fraßindex, getrennt nach Variablengruppe und sortiert nach absoluter Höhe des Korrelationskoeffizienten.

### 3.3 Risikogebiete

Die Ausweisung von Risikogebieten hat höchste Relevanz für eine zielgerichtete Überwachung der Populationsentwicklung der Nonne und damit für eine wirksame Bekämpfung während einer bestandesgefährdenden Massenvermehrung.

Um die Zählraten der Überwachung noch effektiver nutzen zu können, wird angestrebt eine automatisierte Auswahl gefährdeter Bestände im Einflussbereich der Überwachungspunkte zu treffen. Zu diesem Zweck wurde das Klassifikationsverfahren „Random Forest“ angewandt (BREIMAN 2001).

Unter Berücksichtigung aller potentiellen Einflussvariablen ( $n=143$ ) ergab die Klassifizierung eine Fehlerquote von 17%. Hierbei wurde im Trainingsdatensatz des Klassifizierungsverfahrens die gleiche Anzahl an Flächen mit und ohne Fraß berücksichtigt. Auf diese Weise konnten, anhand der Daten von 13 Jahren Fraßkartierung, Muster erkannt werden, die für bzw. gegen das Eintreten eines Nonnenfraßes sprechen.

Betrachtet man die Variablenbedeutung für diese Klassifizierung (Abb. 6a), so zeigt sich, dass die Klimakennwerte der Vegetationsperiode (blau) und die aus der Wasserhaushaltsmodellierung abgeleiteten Verdunstungsraten (orange) den höchsten Erklärungsbeitrag lieferten. Dieses mag zum einen regionale Unterschiede der Wetterlagen widerspiegeln, verweist aber auch auf den zeitlichen Trend der Fraßereignisse. So gingen auch das Beobachtungsjahr bzw. der Gradationsverlauf als Variable hoher Bedeutung in die Klassifizierung ein.

Interpretieren wir die vorangegangenen Variablen als Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Musters in unserem Datensatz, schließen sich nun die Pheromonfallenfänge des vorvorletzten Jahres und die Fraßereignisse des Vorjahres den Entscheidungsregeln an. Hierbei zeigte sich, dass der Einflussbereich von 1000 ha für die Klassifizierung schwerer wiegt als die für 200 und 100 ha große Suchräume beobachteten Zählstammdaten, Eisuchen oder Fraßereignisse.

Zur Untersuchung des Einflusses der Bestandesstruktur wurde in einem weiteren Schritt die Klassifizierung unter Ausschluss der zuvor genannten Variablen durchgeführt (Abb. 6b). Wie auch schon in Abb. 6a ersichtlich, hatte die Variablengruppe *Kiefer* den höchsten Erklärungsbeitrag. Dieses deckt sich auch mit den Ergebnissen der Korrelationsanalyse (Kapitel 3.2) und bestätigt die Präferenz der Nonne hinsichtlich dichter Kiefernbestände mittleren Alters und schlechter Bonität. Ebenso zeigte sich, dass der Flächenanteil von Rein- bzw. Mischbeständen, Laub- bzw. Nadelholz (rot) und die Anzahl vorkommender Baumarten (blau), für eine gute Klassifizierung von Bedeutung sind. Als letzter Block der wichtigsten Variablen wurden die bereits genannten Variablen auch in ihrer Ausprägung in den Einflusszonen (*bu100*, *bu200* und *bu1000*) als Entscheidungsregeln herangezogen.

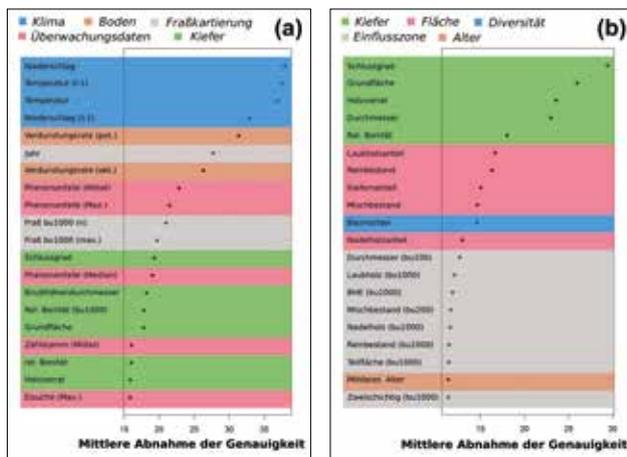


Abb. 6: Variablenbedeutung der „Random Forest“ Klassifikation (a) für den gesamten Datensatz und (b) für einen reduzierten Variablensatz von Bestandeskennwerten. Die mittlere Abnahme der Genauigkeit gibt den Genauigkeitsverlust der Klassifizierung aufgrund der Nicht-Berücksichtigung der jeweiligen Variablen an.

Als Beispiele für eine Vorhersage des Fraßgeschehens wurden die beiden Gradationsjahre 2003 und 2013 einer Klassifizierung unterzogen. Es zeigte sich, dass der zuvor anhand des gesamten Datensatzes trainierte „Random Forest“ 45 % der 2003 befallenen Abteilungen fälschlicherweise als nicht gefährdet einstufte (Abb. 7a). Für das Jahr 2013 lag diese Fehlerquote bei 25 % (Abb. 7b).

Das schlechte Klassifizierungsergebnis für das Jahr 2003 war ernüchternd (Abb. 7a). Zum Teil lässt sich die Fehlklassifizierung der Befallsflächen (blau) durch eine fehlende oder fehlerhafte Datengrundlage erklären. So fehlten teilweise Bestandeskennwerte und Überwachungsdaten angrenzender Bundesforsten und Privatwälder, oder des Nachbarlandes Polen. Grundsätzlich sei auf die große Heterogenität des Datensatzes und hierin enthaltene Unsicherheiten der verschiedenen Kenngrößen verwiesen. Des Weiteren war 2003 auch in Hinsicht auf die Nonnenkalamität ein Ausnahmejahr, in dem es zu einer explosionsartigen Populationsentwicklung kam. Die extrem erfolgreiche Reproduktion des polyphagen Schädling hat hier wohlmöglich die bewährte Mustererkennung außer Kraft gesetzt.

In 2013 zeigte der „Random Forest“ Ansatz sehr zufriedenstellende Ergebnisse (Abb. 7b). Mit nur einigen Ausnahmen wurden die Befallsherde erkannt (lila). Auch wurden einige Gebiete, in denen kein Fraß stattgefunden hat, als gefährdet eingestuft (braun), was durchaus erwünscht und im Sinne der Überwachung ist.

Abschließend sei noch gesagt, dass es sich bei dem angewendeten Verfahren um ein statistisches Modell handelt. Die Güte der Vorhersage ist daher an die Datengrundlage gebunden und der „Random Forest“ muss fortwährend trainiert werden, damit die Mustererkennung auf einem aktuellen Stand bleibt. Neben einem soliden Datenbankmanagement ist die Entwicklung von Evaluierungsroutinen unumgänglich, um vertrauenswürdige Ergebnisse zu erzeugen und auf Landschaftsebene operieren zu können.

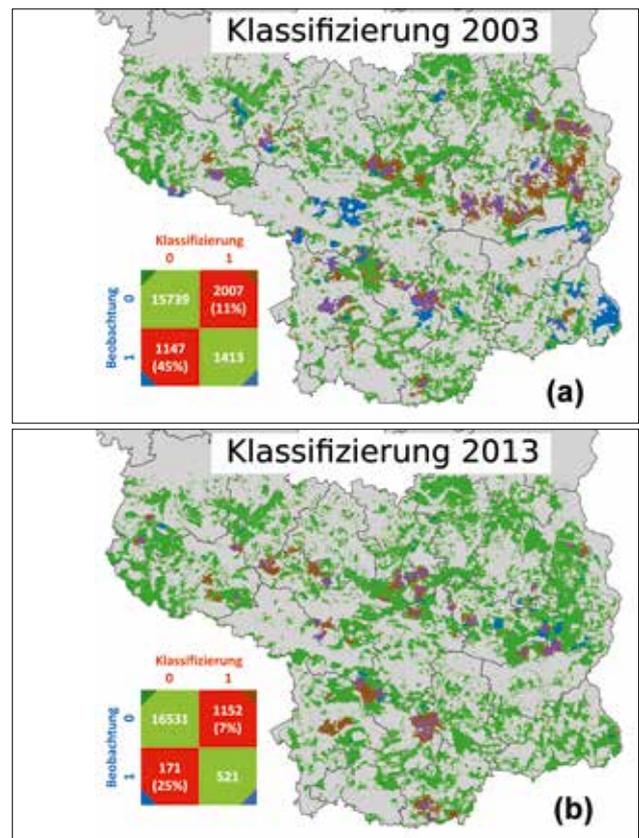


Abb. 7: Fraßkartierung und -klassifizierung des Jahres 2003 und 2013.

### 3.4 Vielfalt kontra Kahlfraß

Die im Sinne des ökologischen Waldumbaus stehende Förderung der Biodiversität, insbesondere strukturarmer Kiefernreinbestände, stellt eine Erhöhung des Potenzials zur Selbstregulation dar (ALTENKIRCH et al. 2002). Das spielt auch im Massenwechsel der Kiefern großschädlinge eine entscheidende Rolle (SCHWENKE 1994, SCHWERDTFEGER 1941, 1981). Während der Latenz des Hauptwirtes verlieren spezialisierte Antagonisten die Nahrungsgrundlage und folgen in ihrer Populationsdynamik einer klassischen Räuber-Beute-Beziehung. Eine Erhöhung der Biodiversität fördert dem entgegen eine höhere Anzahl an Nebenwirten und Generalisten, so dass bereits während der Progradation einer Massenvermehrung eine Regulation wirksam werden kann.

Verschiedene Studien belegen eine geringere Fraßschädigung von Kieferbeständen durch den Einfluss höherer Struktur- und Baumartenvielfalt, Laubwaldnähe und des Vorkommens von Eichen (MÖLLER 2008). So fördert beispielsweise eine hohe Alterklassenspreite von Kiefernwäldern die faunistische Diversität und, wie im Naturwald „Kienhorst“ untersucht, eine höhere Abundanz parasitoider Hautflügler (MÖLLER 2000). Auch zeigten sich Laubwaldnähe und Habitatfragmentierung als hemmende Faktoren eines Befalls durch die Forleule (*Panolis flammea*). Letzteres wurde auf günstigere Lebensbedingungen der Raupenfliege *Panzeria rudis* zurückgeführt (Rös et al. 2004). In einer Untersuchung in Südbrandenburg (Neusorgefeld) konnte zudem gezeigt werden, dass die Individuenzahl der Raupenfliege in Umbaubeständen signifikant höher war als in Reinbeständen (Abb. 2 in MAJUNKE et al. 2005). Das Einbringen von Eichen in Umbaubeständen zeigte sich als besonders effektive Förderung von Gegenspielern der Schadinsekten (JÄKEL und ROTH 2004). Des Weiteren zeigte Untersuchungen in Finnland eine geringere Dichte der Blatthornbuschwespe (*Neodiprion sertifer*) in Mischbeständen im Vergleich zu Kiefernreinbeständen, was auf eine höhere Abundanz von Ameisen zurückgeführt wurde (KAITANIEMI ET AL. 2007).

Inwieweit diese Ergebnisse auf die Landschaftsebene übertragen werden können, hängt von einem komplexen Wirkungsgefüge biotischer und abiotischer Faktoren ab. Sowohl Schadinsekten als auch deren Antagonisten reagieren auf das Mikroklima des Bestandes, welches im Falle einer stärkeren Habitatfragmentierung höheren Schwankungen unterliegt (MAJUNKE et al. 2005). Auch zeigte sich, dass sich die positive Wirkung von Voranbauten erst mit fortschreitendem Alter einstellt (SCHULZ et al. 2004). Des Weiteren können sich räumliche Unterschiede hinsichtlich der Befallsschwerpunkte der Kieferngrößschädlinge zeigen. Beispielsweise zeigte sich für die Forleule, die normalerweise Kiefernbestände schlechter Bonität bevorzugt, ein Befallszentrum im Südosten Brandenburgs mit höchsten Flächenanteilen in Beständen besserer Bonität (Rös et al. 2004).

Für die Nonne zeigten sich auf der Betrachtungsebene von Südbrandenburg eine Vielzahl signifikanter Einflussfaktoren der Fraßintensität. Neben der vorgestellten Korrelationsanalyse (Kapitel 3.2) und der Klassifizierung (Kapitel 3.3), wurde auch durch eine hier nicht gezeigte Regressions- und Hauptkomponentenanalysen eines deutlich: Laubholzanteil und Strukturvielfalt der Abteilung (gemessen an der Anzahl an Struktureinheiten und der damit verbundenen Mischung an Bestandestypen, Baumarten und Altersklassen) haben eine negative Wirkung auf die Fraßintensität.

Neben den von der Nonne favorisierten Bestandesstrukturen (dichte, mittelalte Kiefernbestände schlechter Bonität; Abb. 5), zeigte sich auch ein Einfluss der für die drei Einflusszonen ermittelten Strukturkennwerte (Abb. 6b). Die kausalen, und biologisch plausiblen, Zusammenhänge der einzelnen Variablen konnten jedoch nicht weiter aufgedeckt werden, da das komplexe Wirkungsgefüge biologischer Organismen mit ihrer Umwelt auf Landschaftsebene nicht weiter untersucht werden konnte.

Die Heterogenität der Landschaft mag auch dafür verantwortlich sein, dass die positive Wirkung von Eichenbeständen nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte. Es liegt nahe, dass in Schadregionen, in denen die Eiche gänzlich fehlt, andere Faktoren stärker wirken und damit der Einfluss des Eichenvorkommens auf Landschaftsebene überdeckt wird.

Es bleibt festzuhalten, dass der für den Waldschutz zwingend erforderliche Blick auf die Landschaftsebene auch dazu dienen muss, regionale Unterschiede aufzudecken und in waldbaulichen Entscheidungen zu berücksichtigen (WAINHOUSE 2004). Hierzu müssen im Nachgang ggf. kleinräumige Strukturen untersucht und Einflussfaktoren neu evaluiert werden. Die physiologischen und ökologischen Prozesse welche die Populationsdynamik von Forstschädlingen bedingen, finden zu meist auf kleinräumigeren Ebenen statt (NEUVONEN und VIRTANEN 2015). Die Modellierung der Fraßgefährdung stellt hierbei ein wichtiges Werkzeug, um lokale Beobachtungen auf der Landschaftsebene darzustellen. Ein weiteres wichtiges Ziel ist es, die Effekte des Waldumbaus und der hiermit verbundenen Erhöhung der Biodiversität modelhaft abzubilden und die Auswahl potenzieller Umbauflächen hinsichtlich ihrer Wirkung auf das Nonnenrisiko zu optimieren. Grundsätzlich ist von einer geringeren Gefährdung von Mischwäldern gegenüber Forstschädlingen im Vergleich zu gleichaltrigen Reinbeständen zu rechnen (BJÖRKMAN et al. 2015).

#### 4. Fazit

Es war und ist möglich, verschiedenste Datenquellen des LFE zusammenzuführen und somit eine große Datenbasis für eine multifaktorielle Analyse bereitzustellen.

Wichtige Einflussfaktoren für die Populationsdynamik der Nonne konnten herausgestellt werden und dienen als Eingangsgrößen für eine weiterführende Modellentwicklung.

Ein hoher Laubholzanteil sowie der Struktureichtum innerhalb der Abteilung senken die Gefährdung gegenüber Kahlfraß.

Bestandesstruktur und Klima haben einen großen Einfluss auf die Populationsdynamik der Nonne und entscheiden über zukünftige Risikozentren.

Aufgrund der voranschreitenden Waldentwicklung und der zu erwarteten Klimaveränderungen bedarf es einer kontinuierlichen, flächendeckenden Neubewertung der Fraßgefährdung durch die Nonne.

#### Danksagung

Einen großen Dank möchten wir den Revierförstern aussprechen, die über Jahre terrestrischer Fraßkartierung und Kontrolle der Überwachungsbestände wertvolle Informationen zusammengetragen haben. Auch möchten wir dem Waldschutz-Team des LFE für die Bereitstellung der Daten und die fachliche Beratung danken. Finanziert wird das Forschungsvorhaben durch das vom BMEL und BMUB im Rahmen der Waldklimafonds geförderte DSS-RiskMan Projekt (Förderkennzeichen: 28WB401501).

## Literatur

- ALTENKIRCH, W.; MAJUNKE, C.; OHNESORGE, B. (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Ulmer, Stuttgart.
- APEL, K-H.; HAUSWIRTH, M.; RÖS, M.; WENK, M. (2004) Schadgebiete der wichtigsten nadelfressenden Forstschadinsekten der Kiefer und Risikobewertung von Waldgebieten für das Nordostdeutsche Tiefland. Beitr. Forstw. Landsch. ökologie, 38: 14–18.
- BJÖRKMAN, C.; BYLUND, H.; NILSSON, U.; NORDLANDER, G.; SCHROEDER, M. (2015) Effects of new forest management on insect damage risk in a changing climate. C. Björkman, P. Niemelä (Hrsg.), Climate change and insect pests. CABI, Oxfordshire, UK, S. 248–266.
- BREIMAN, L. (2001) Random Forests. Mach. Learn., 45: 1–33.
- FERNÁNDEZ-DELGADO, M.; CERNADAS, E.; BARRO, S.; AMORIM, D. (2014) Do we Need Hundreds of Classifiers to Solve Real World Classification Problems? J. Mach. Learn. Res., 15: 3133–3181.
- FUNKE, M.; MAJUNKE, C. (2003) Untersuchungen zum Fraßverhalten von Raupen der Nonne (*Lymantria monacha* L.) an Mai- und Altnadeln der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). Beitr. Forstw. Landsch.ökologie, 37: 173–175.
- GENUER, R.; POGGI, J.; TULEAU-MALOT, C. (2012) Variable selection using Random Forests. Pattern Recogn. Lett., 31: 2225–2236.
- GRÄBER, J. (2013) Zum Gradationsgeschehen von Kiefern-schadinsekten im Norddeutschen Tiefland. Eberswalder Forstl. Schriftenr., 51: 15–33.
- GRÄBER, J.; ZIESCHE, T.; MÖLLER, K. (2012) Gradationsverlauf der Kiefern-schadinsekten im Norddeutschen Tiefland. AFZ – Der Wald, 9: 1–4.
- HABERMANN, M.; BESTER, R. (1997): Einfluss von Bestandesstrukturen und Nadelphysiologie auf die Entstehung von Massenvermehrungen der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris*). Allg. Forst- u. J. Ztg., 168: 157–162.
- JÄKEL, A.; ROTH, M. (2004) Umwandlung einschichtiger Kiefernmo- nokulturen in strukturierte (Misch)bestände: Auswirkungen auf parasitoide Hymenoptera als Schädlingsantagonisten. Mitteilungen der Dtsch Gesellschaft für Allg. und Angew. Entomol., 14: 265–268.
- KAITANIEMI, P.; RIIHIMÄKI, J.; KORICHEVA, J.; VEHVILÄINEN, H. (2007) Experimental evidence for associational resistance against the European pine sawfly in mixed tree stands. Silva Fenn., 41: 259–268.
- KÄTZEL, R.; LÖFFLER, S. (1996): Ökophysiologische Untersuchungen zum Einfluss stickstoffbelasteter Kiefern auf *Bupalus piniarius* und *Dendrolimus pini* (beide Lepidoptera). Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Entomol. 10: 63–65.
- KÖHLER, M.; AHREND, B.; MEESENBERG, H. (2015): Wie gut ist einfach? Evaluierung verschiedener Verfahren zur Regionalisierung täglicher Wetterdaten. Poster zum „Tag der Hydrologie 2015“ 19.–20.03.2015 in Bonn.
- KRATOCHWIL, A.; SCHWABE, A. (2001): Ökologie der Lebensgemeinschaften. UTB Wissenschaft.
- LIAW, A.; WIENER, M. (2002) Classification and Regression by randomForest. R News, 2: 18–22.
- 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.
- LFE (2010): Waldschutzordner-Anleitung für die Forstpraxis in Brandenburg. Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompentenzentrum Forst Eberswalde.
- MAJUNKE, C.; DREGER, F.; SCHULZ, U.; RÖS, M.; TORKLER, F. (2005) Zur Bedeutung des Waldumbaus für die Erhöhung von Biodiversität und der Selbstregulation – Potenziale in kieferndominierten Waldbeständen. In: BMBF-Forschungsverbund „Zukunftsorientierte Waldwirtschaft“: Ökologischer Waldumbau im nordostdeutschen Tiefland. MLUL, 121–138.
- MAJUNKE, C.; MÖLLER, K.; FUNKE, M. (2004) Die Nonne (*Lymantria monacha* L., Lepidoptera, Lymantriidae). Waldschutz-Merkblatt, 52: 1–24.
- MÖLLER, K. (2000) Inhalte und Stand der Untersuchungen zur Beschreibung der Arthropodenfauna in Kiefernforsten Brandenburgs. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent., 12: 79–82.
- MÖLLER, K. (2008) Was bringt biologische Vielfalt für den Waldschutz? Eberswalder Forstl. Schriftenr., 36: 41–47.
- MÖLLER, K. (2014) Klimawandel und integrierter Waldschutz – Risikomanagement mit mehr Unbekannten und weniger Möglichkeiten. Eberswalder Forstl. Schriftenr., 55: 59–65.
- MÖLLER, K.; ENGELMANN, A. (2008) Die aktuelle Massenvermehrung des Kiefernspinners, *Dendrolimus pini* (Lep., Lasiocampidae) in Brandenburg. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent., 16: 243–246.
- MÖLLER, K.; WALTER, C.; ENGELMANN, A.; HIELSCHER, K. (2007) Die Gefährdung der Gemeinen Kiefer durch Insekten. Eberswalder Forstl. Schriftenr., 32: 245–257.
- NEUVONEN, S.; VIRTANEN, T. (2015) Abiotic factors, climatic variability and forest insect pests. C. Björkman, P. Niemelä (Hrsg.). Climate change and insect pests. CABI, Oxfordshire, UK, S. 154–172.
- POGGI, J-M.; GENUER, R.; TULEAU, C. (2010) Variable Selection using Random Forests. Pattern Recogn. Lett., 31: 177–180.

- R CORE TEAM. (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RICHTER, D. (1960) Über Nadelmassen der Kiefer und kritische Zahlen von Schadinsekten. Arch. Forstw., 9: 859–900.
- RIEK, W.; RUSS, A. (2014) Regionalisierung des Bodenwasserhaushaltes für Klimaszenarien als Grundlage für die forstliche Planung. Eberswalder Forstl. Schriftenr., 55: 20–30.
- RUSS, A. (2015): Regionalisierung des Wasser- und Kohlenstoffhaushalts für die Waldfläche Brandenburgs - Entwicklung von Regionalisierungsansätzen unter besonderer Berücksichtigung der forstlichen Standortskarte, Bodenökologie und Bodengene. Dissertation. Technische Universität Berlin.
- RÖS, M.; SCHULZ, U.; MAJUNKE, C.; TORKLER, F. (2004) GIS-gestützte Analyse einer Massenvermehrung der Forleule (*Panolis flammea*) in Kiefernforsten: Einfluss der Laubholznähe und Habitatfragmentierung. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent., 14: 253–256.
- SANDRI, M.; ZUCCOLOTTI, P. (2006) Variable Selection Using Random Forests. S. Zani, A. Cerioli, M. Riani, M. Vichi (Hrsg.), Data Analysis Classification and the Forward Search. Springer, Berlin Heidelberg. S. 263–270.
- SCHOWALTER, T.D.; HARGROVE, W.W.; CROSSLEY, D.A. (1986) Herbivory in Forested Ecosystems. Ann. Rev. Entomol., 31: 177–196
- SCHULZ, U.; DREGER, F.; MAJUNKE, C. (2004) Arthropoden in Kiefernforsten und jungen Umbauflächen. Beitr. Forstw. Landsch.ökologie, 38: 87–94.
- SCHWENKE, W. (1978) Die Forstschadlinge Europas. Band III. Verlag Paul Parey, Hamburg U. Berlin.
- SCHWENKE, W. (1994) Über die Grundlagen der Entstehung und Begegnung von Insekten-Massenvermehrungen im Walde. Anz. Schädlingsk., Pflanzenschutz, Umweltschutz, 67: 120–124.
- SCHWERDTFEGGER, F. (1941) Über die Ursachen des Massenwechsels der Insekten. Z. ang. Ent., 28: 183–211.
- SCHWERDTFEGGER, F. (1981) Die Waldkrankheiten. 4. Aufl., Paul Parey Hamburg und Berlin.
- WAINHOUSE, D. (2004) Ecological methods in forest pest management. OUP, Oxford.
- WALDMANN, R. (1999) Einfluß von Bestandesstruktur und waldbaulicher Behandlung auf die Entstehung großflächiger Massenvermehrungen nadelfressender Kieferninsekten am Beispiel der Nonne (*Lymantria monacha* L.) in Dauerschadgebieten des Niedersächsischen Tieflandes. Dissertation. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Göttingen.
- WENK, M.; MÖLLER, K. (2013) Prognose Bestandesgefährdung – Bedeutet Kahlfraß das Todesurteil für Kiefernbestände? Eberswalder Forstl. Schriftenr., 51: 9–14.
- WESSOLEK, G.; DUJNISVELD, W.; TRINKS, S. (2008) Hydro-pedotransfer functions (HPTFs) for predicting annual percolation rate on a regional scale. J. Hydrol., 356: 17–27.
- WESSOLEK, G.; DUJNISVELD, W.H.; TRINKS, S. (2009) Hydro-Pedotransferfunktionen zur Berechnung der Sickerwasserrate aus dem Boden – das TUB-BGR-Verfahren. M. Renger, K. Bohne, G. Wessolek (Hrsg.), Bodenphysikalische Kennwerte und Berechnungsverfahren für die Praxis. Bodenökologie und Bodengene. Techn. Univ., Selbstverlag, Berlin. S. 66–80.
- WOLFF, B.; RIEK, W. (2005) Modellierung von Klimakennwerten für Monitoringpunkte in Wäldern Brandenburgs. Gersdorf.
- ZEDERBAUER, E. (1911) Klima und Massenvermehrung der Nonne (*Lymantria monacha* L.) und einiger anderer Forstschadlinge. Mitt. forstl. Versuchswesen in Österreich, 36: 1–20.
- ZIESCHE, T. (2016) Risikobewertung und Risikomanagement für phyllophage Insekten mit ökologisch und ökonomisch bedeutsamem Massenwechsellpotential in Wäldern. Abschlussbericht zum BMBF-Verbundprojekt „NaLaMa-nT“.

# Rückkehr eines Provokateurs: Was steuert die Ausbreitungsdynamik des Eichenprozessionsspinners in Brandenburg? Ergebnisse aus dem Waldklimafonds-Projekt „WAHYKLAS“

JENS SCHRÖDER, ALINE WENNING, RAINER HENTSCHEL UND KATRIN MÖLLER

## 1. Einführung

Der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.; EPS) ist nicht nur eine der bedeutsamsten Schmetterlingsarten, die im nordostdeutschen Tiefland Fraßschäden an Eichen verursachen (Abb. 1). Die pathogene Wirkung seiner Larven auf den Menschen hat außerdem über den forstsanitären Bereich hinaus zu einem hohen Maß an Öffentlichkeitswirksamkeit geführt (SOBCZYK 2014). Seit Beginn des Jahrtausends belegen die Flugbeobachtungen, Fraßkartierungen und Nachweise von Gesundheitsproblemen in Siedlungsnähe eine deutliche Zunahme der Verbreitungsfläche des EPS im Bundesland Brandenburg (MÖLLER 2010, 2013).



Die relevanten Fragen werden schwerpunktmäßig für Brandenburg, in Kooperation mit den anderen Partnern aber auch für den gesamten Gradienten bearbeitet.

Als Ausschnitt aus der vielfältigen Projektarbeit stellt der folgende Artikel die jüngste Vergangenheit, den aktuellen Stand und die Perspektiven der forstlichen Auseinandersetzung mit dem Eichenprozessionsspinner in Brandenburg vor. Der EPS ist als „Schlüsselart“ besonders markant, weil er in seinem Auftreten eine besondere Dynamik zeigt, die sich in einen plausiblen Zusammenhang mit Veränderungen in den Witterungsverhältnissen bringen lässt (CUSTERS 2003). Entsprechend der Einordnung der Art als wärmeliebenden „Gewinner“ im Klimawandel (MEURISSE



Abb. 1: Falter (links) und Larven des Eichenprozessionsspinners *Thaumetopoea processionea* L. (Fotos: Lobinger und Möller).

Die möglichen Ursachen für die Ausbreitung des EPS, ihre Dynamik und die daraus ableitbaren Trends gehören zu den Untersuchungsthemen im Verbundprojekt „WAHYKLAS“, das vom „Waldklimafonds“ der Bundesregierung gefördert wird<sup>1</sup>. In diesem Vorhaben haben sich zehn Institutionen zusammengefunden, um gemeinsam „Waldhygienische Anpassungsstrategien für das steigende Potential von Schadorganismen in vulnerablen Regionen unter Berücksichtigung von Klimawandel und zunehmenden Restriktionen“ zu erarbeiten. Als vulnerabel gelten in diesem Kontext aktuell oder zukünftig von überdurchschnittlicher Trockenheit bedrohte Gebiete, in denen schwerpunktmäßig die Wirkungen ausgewählter biotischer Schaderreger auf die Baumarten Kiefer und Eiche analysiert werden. Die beteiligten Institutionen arbeiten dazu auf einem Gradienten ähnlicher Standortsbedingungen, der sich vom Oberrhein im Südwesten der Bundesrepublik bis in die Uckermark im Nordosten erstreckt. In diesem Rahmen setzt sich das Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) vorrangig mit den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen auseinander, die von den „Fraßgemeinschaften“ weit verbreiteter Schadinsekten in Kiefern und Eichen ausgehen.

et al. 2012) konzentrieren sich die Analysen vor allem auf die Wirkungen der Witterungsverhältnisse auf die Populationsdynamik des EPS. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den Bedingungen in physiologisch sensitiven bzw. für die Individualentwicklung besonders wichtigen Phasen, deren Definition unter Nutzung entsprechender Fachliteratur erfolgte. Zusätzlich wird auf die Interaktionen mit anderen Arten der Eichenfraßgemeinschaft sowie mögliche Wirkungen von Antagonisten bzw. Parasitoiden eingegangen. Abschließend sollen die gefundenen Zusammenhänge diskutiert und ein Ausblick auf zu erwartende Entwicklungen in der Zukunft gegeben werden.

## 2. Daten und Methoden

Entsprechend den komplexen Zusammenhängen zwischen abiotischen und biotischen Umweltfaktoren müssen Analysen zur Populationsdynamik des EPS Informationen aus verschiedenen Themenbereichen berücksichtigen. Dabei geht es nicht nur um einzelne isolierte Zeitpunkte, sondern um ein Gradationsgeschehen mit zum Teil zeitversetzten Einflüssen aus Vorjahren oder bestimmten fixen bzw. gleitenden Perioden (ALTENKIRCH et al. 2002). Der Untersuchungszeitraum umfasst in Übereinstimmung mit

<sup>1</sup> Der Waldklimafonds ist Programmbestandteil des Sondervermögens Energie- und Klimafonds und auf der Grundlage eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter gemeinsamer Federführung des Bundeslandwirtschafts- (BMEL) und des Bundesumweltministeriums (BMUB) eingerichtet worden ([www.waldklimafonds.de](http://www.waldklimafonds.de), [www.fva-bw.de/forschung/ws/wahyklas/wahyklas.html](http://www.fva-bw.de/forschung/ws/wahyklas/wahyklas.html)).

dem allgemeinen Ansatz des WAHYKLAS-Projekts die Zeit seit Beginn des Jahres 2001. Für diese Periode können alle Informationen konkreten Punkten im Raum zugeordnet werden („Verortung“). Das Untersuchungsgebiet ist das Land Brandenburg mit den hier bekannten Befallsschwerpunkten des EPS.

Als Indikator für das Auftreten bzw. die Ausbreitung des EPS dient im Folgenden der Blattfraß der Raupen, der durch die abteilungsbezogene „Fraßkartierung“ als Teil des Waldschutz-Meldesystems im gesamten Land Brandenburg erfasst wird. Nachdem bis einschließlich 2007 nur auf Revierebene erfasst wurde, wo der EPS auffällig geworden war, setzte in Reaktion auf die zunehmende Befallsfläche 2008 auch für dieses Insekt die abteilungsgenaue Erfassung der Fraßschäden in den Stufen „leicht“, „merklich“, „stark“ und „kahl“ ein. Die Stufen entsprechen geschätzten Werten von weniger als 30 %, 30-50 %, 50-90 % bzw. über 90 % Blattverlust in Bezug auf die ungeschädigte Blattmasse. Im Rahmen der Erfassung übermitteln die Reviere jährlich die in den betroffenen Forstabteilungen geschädigten Flächengrößen. Eine weitere Untersetzung der Informationen in die Unterabteilung, Teilfläche oder Behandlungseinheit ist hierbei nicht möglich. Ergänzende Angaben zum Blattfraß der „klassischen“ Eichenfraßgesellschaft speisen sich aus der ebenfalls abteilungsbezogenen jährlichen Fraßkartierung durch die Revierversantwortlichen (MÖLLER et al. 2015). Alle Daten sind inzwischen zentral über die „Fraß-Datenbank“ der Hauptstelle Waldschutz verfügbar. Neben der Fraßkartierung kommen auch Eigelegezählungen im Winter in den Befallsschwerpunkten sowie Schlupfkontrollen als Überwachungsverfahren zur Anwendung (MÖLLER 2013). Letzteres umfasst erstens die Beobachtung des Raupenschlupfes aus den in den Befallsgebieten gewonnenen Eiern, die unter Laborbedingungen auch auf Parasitierung geprüft werden, zweitens die Erfassung des jährlichen Schlupfzeitpunktes an einzelnen Eidepots im Freiland.

Der Waldzustand im Sinne der in den Abteilungen stockenden Baumarten, ihres Alters, der mittleren Durchmesser und Höhen, der Bonität sowie weiterer Parameter wurde für die Zwecke des Vorhabens aus dem „Datenspeicher Wald“ in der Version DSW<sup>2</sup> abgerufen (LFB und LFMV 2015). Für den hier vorgestellten Untersuchungsbereich waren vorerst nur die Baumart, das Alter und der Mischungsanteil von Bedeutung. Mit diesen Daten wurden Teilflächen identifiziert, in denen a) Trauben- oder Stiel-Eiche stocken, die b) älter als 20 Jahre sind und c) einen Mischungsanteil der Eiche(n) von mindestens 20 % aufweisen. Die Informationen liegen für alle Eigentumsarten vor und können dadurch auf der kompletten im DSW<sup>2</sup> erfassten Fläche mit den Fraßdaten abgeglichen werden, die die Brandenburger Revierförsterinnen und Revierförster im Rahmen ihrer hoheitlichen Tätigkeit ebenfalls flächendeckend ermitteln. Informationen zum Witterungsverlauf sind aus zwei Quellen in die Auswertungen eingeflossen. Zum einen waren das Daten für eine Auswahl an Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in täglicher Auflösung, die kostenfrei über die Website des DWD abgerufen werden können (DWD 2016). Sie dienen vorrangig dazu, die langfristige Witterungsentwicklung in Brandenburg seit 1950 zu veranschaulichen. Außerdem liefern sie die Eingangsgrößen für die weiter unten vorgestellten phänologischen Modelle.

Die zweite Datenquelle sind regionalisierte Monatswerte wesentlicher Witterungsparameter für 487 auf der gesamten Waldfläche verteilte Messpunkte in Brandenburg. Sie wurden im Rahmen des ebenfalls durch den Waldklimafonds geförderten „DSS-RiskMan“1-Projekts auf Basis von DWD-Daten aufbereitet und unserem Vorhaben zur Verfügung gestellt (KÖHLER et al. 2015). Die Anwendung in diesem Beitrag umfasst den Vergleich zwischen dem bisher durch den EPS besiedelten Gebiet in Brandenburg und dem noch nicht betroffenen „Restgebiet“.

Zur Beschäftigung mit dem EPS gehört auch die Auseinandersetzung mit Jägern und Parasitoiden als biotischen Gegenspielern. Die Informationen in diesem Abschnitt sind den Arbeiten von SOBczyk (2014) und KÜHNE (2015) sowie persönlichen Mitteilungen von MÖLLER (2016) entnommen. Sie erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und werden vor allem diskutiert, um das aktuelle Geschehen besser einordnen sowie zukünftige Entwicklungen abschätzen zu können.

Die Aufbereitungen und Analysen im Projekt wie für diesen Beitrag erfolgten hauptsächlich im geografischen Informationssystem „QGIS“ im Zusammenspiel mit dem Datenbank-Managementsystem „PostgreSQL“. Beide Programme sind Freeware, ebenso wie das Programm „R“, das für alle statistischen Auswertungen sowie zur Modellierung und Visualisierung genutzt wurde (QGIS DEVELOPMENT TEAM 2015, R CORE TEAM 2015, THE POSTGRESQL DEVELOPMENT GROUP 2015). Die einheitlichen, georeferenzierbaren Datenbanken für die Hauptstelle Waldschutz am LFE als wichtige Grundlage der Projektarbeit wurden in enger Zusammenarbeit mit „DSS-Riskman“ (siehe oben) erstellt. Sie sollen über die begrenzte Laufzeit der Drittmittelvorhaben hinaus die Basis der langfristigen Sammlung, Haltung und Aufbereitung aller waldschutzrelevanten Daten am LFE bilden.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Verbreitung des Eichenprozessionsspinners in Brandenburg

Aus historischen Quellen haben GROENEN und MEURISSE (2012) die geografische Verbreitung des EPS in den vergangenen zweieinhalb Jahrhunderten rekonstruiert. In den folgenden Diagrammen (Abb. 2) ist zusammengefasst, in welchen Jahrzehnten es Mitteilungen bzw. Aufzeichnungen zum Vorkommen des EPS an bestimmten Orten gab. Für das letzte Jahrzehnt bis 2010 wurden die im Waldschutzmeldewesen von Brandenburg erfassten Vorkommen ergänzt. Um die Darstellbarkeit zu verbessern, wurden die Angaben der diversen Quellen räumlich einem Gitternetz mit einer Kantenlänge von einem Grad zugeordnet. Die Studie zeigt anhand einer Quantilsregression, dass das Kerngebiet des EPS-Auftretens ebenso wie dessen Nordgrenze über die Zeit stabil geblieben ist. Die Daten belegen seit 1940 eine Ausbreitung in südliche Richtung (Abb. 2a), während sich die horizontale Ausdehnung der EPS-Vorkommen über die Zeit leicht nach Westen sowie in noch stärkerem Maße nach Osten vergrößert (Abb. 2b). Für das Gebiet des heutigen Bundeslandes Brandenburg sind spätestens seit Ende des 19. Jahrhunderts immer wieder Vorkommen des EPS belegt.

<sup>2</sup> <https://www.nw-fva.de/index.php?id=591>

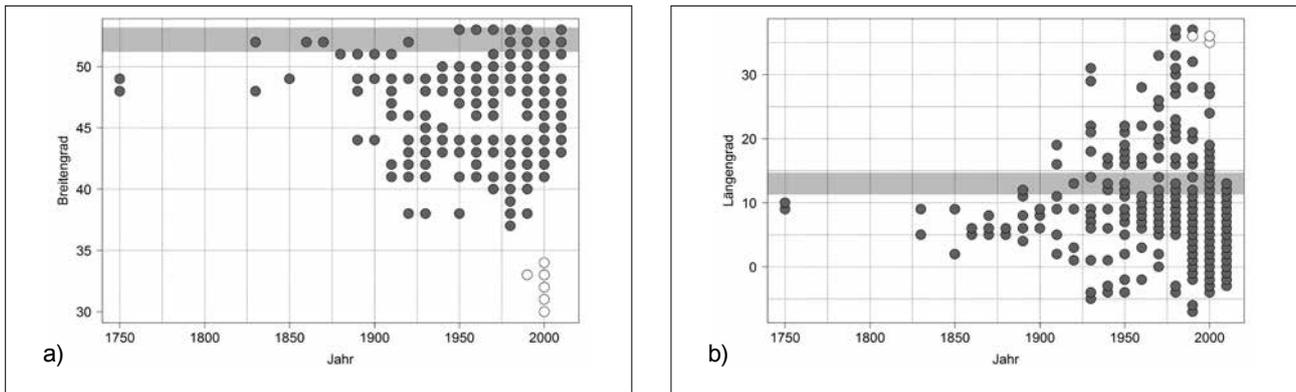


Abb. 2: Räumlich-zeitliche Verbreitung des Eichenprozessionsspinners in Europa anhand historischer und aktueller Aufzeichnungen (nach GROENEN und MEURISSE (2012), leicht verändert). Der Koordinatenbereich des Bundeslandes Brandenburg ist grau hinterlegt. Die weiß ausgefüllten Punkte repräsentieren Vorkommen der Unterart *T. processionea pseudosolitaria* im östlichen Mittelmeerraum.

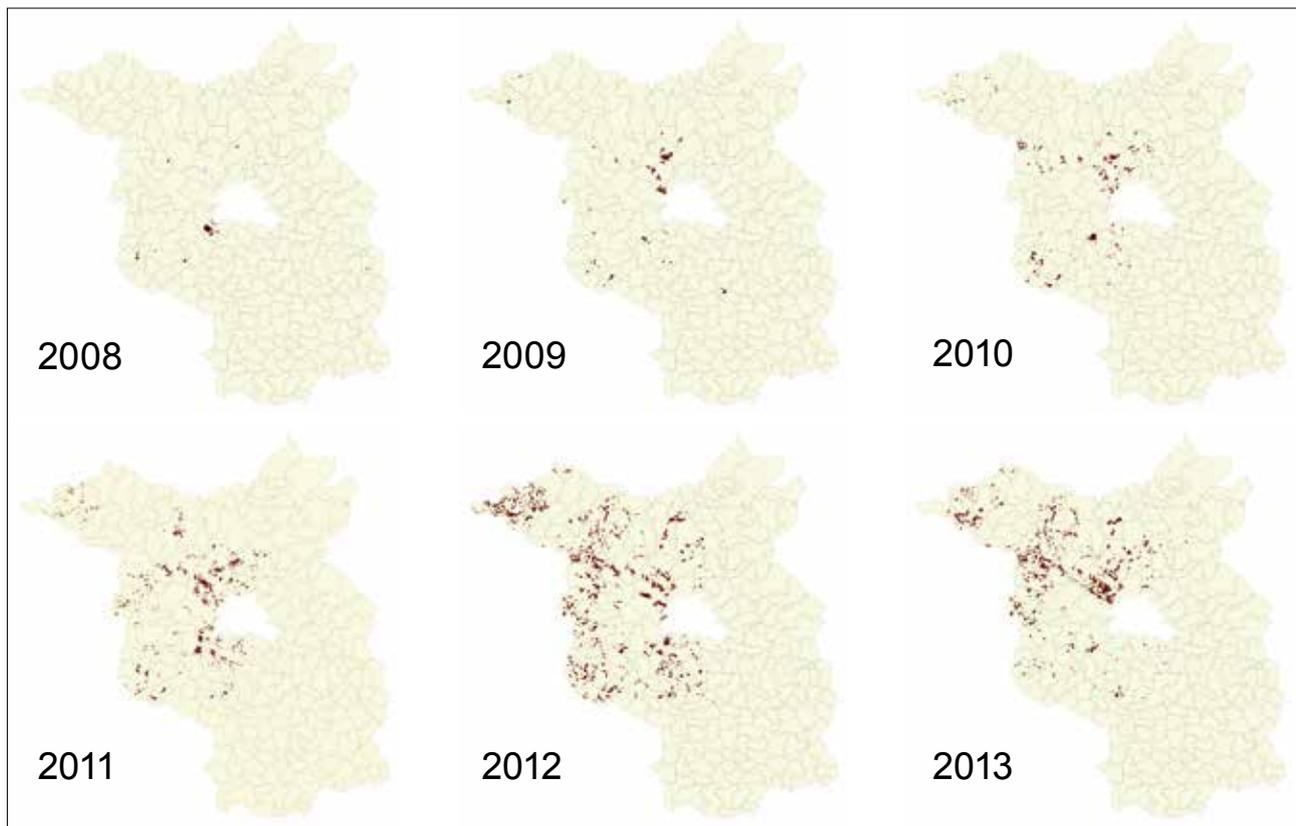


Abb. 3: Entwicklung der von Blattfraß des Eichenprozessionsspinners betroffenen Flächen in Forstabteilungen des Landes Brandenburg 2008 bis 2013 (Daten der Fraßkartierung auf Ebene der Reviere, deren Grenzen grau hinterlegt sind).

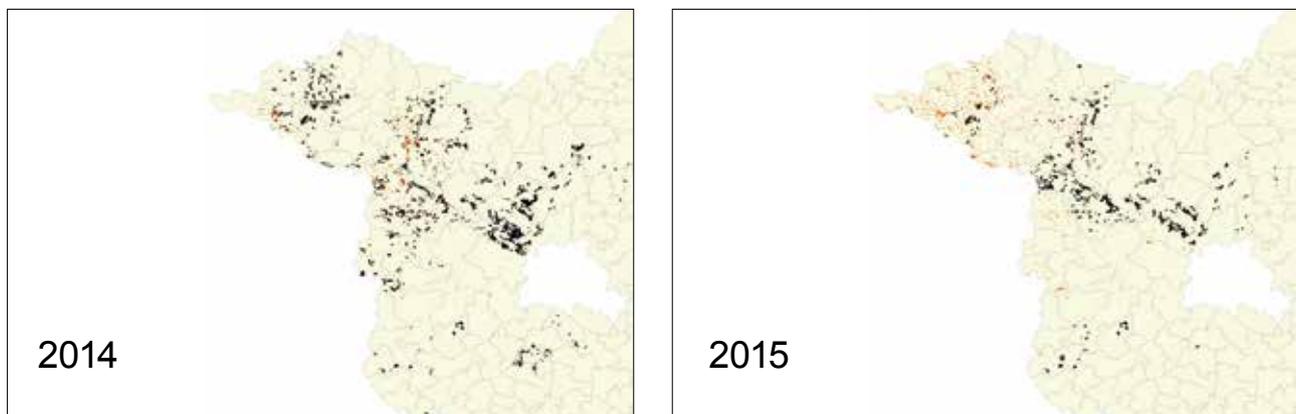


Abb. 4: Waldflächen mit auffälligem Fraß des Eichenprozessionsspinners (schwarz) und Bekämpfungsflächen (rot) im Nordwesten des Landes Brandenburg 2014 und 2015.

Nach SOBCZYK (2014) sind für den EPS in Brandenburg seit den 1950er Jahren, in denen er relativ häufig auftrat, nur noch sporadische Meldungen aus dem äußersten Nordwesten der Region vorhanden. Seit Anfang der 2000er Jahre ist die aktuelle Gradation aktiv, die sich bis 2013 sehr dynamisch entwickelt hat.

Um die räumliche Zunahme der befallenen Fläche zu zeigen, enthält die folgende Abb. 3 Darstellungen der durch die Fraßkartierung gemeldeten Abteilungen mit mindestens „leichtem“ Blattverlust durch den EPS für die Jahre 2008 bis 2013.

Die Situation in den Jahren 2014 und 2015 ist in Abb. 4 für den vom EPS betroffenen Nordwesten von Brandenburg dargestellt. In anderen Teilen des Bundeslandes gab es in diesen Jahren weder forstlich relevante Fraßmeldungen noch Bekämpfungsmaßnahmen. Die Karten zeigen neben dem Fraß in Schwarz zusätzlich in Rot die Flächen, auf denen „Dipel ES“ als Pflanzenschutzmittel oder als Biozid zum Gesundheitsschutz in Bereichen nahe Siedlungen und Verkehrswegen ausgebracht wurde.

Den optischen Eindruck eines Rückgangs der Fraßfläche seit 2012 bestätigen Abb. 5 und die absoluten Zahlen aus den einzelnen Jahren in Tab. 1. Sie sind der Zusammenstellung von MÖLLER (2013) bzw. den Waldschutz-Daten des Landes Brandenburg entnommen. Der sprunghafte Anstieg der Insektizid-Behandlungsfläche von 2012 zu 2013 ist zum Teil dadurch zu erklären, dass hohe Abstandsauflagen und andere Einschränkungen in den Vorjahren zu kleine Applikationsflächen bzw. das Auslassen intensiv befallener Flächen nach sich zogen. Dadurch konnte dem Schädgeschehen nur ungenügend begegnet werden. Erst seit 2013 kann das von Seiten des Waldschutzes verwendete Pflanzenschutzmittel Dipel ES auch als Biozid zur Abwehr von Gesundheitsgefährdungen durch den EPS eingesetzt werden. Dadurch war die zusammenhängende Behandlung von Befallsschwerpunkten auch in die Bereiche hinein möglich, die sonst der Bekämpfung entzogen waren und dadurch als Rückzugsgebiete für den EPS fungierten (MÖLLER 2013).

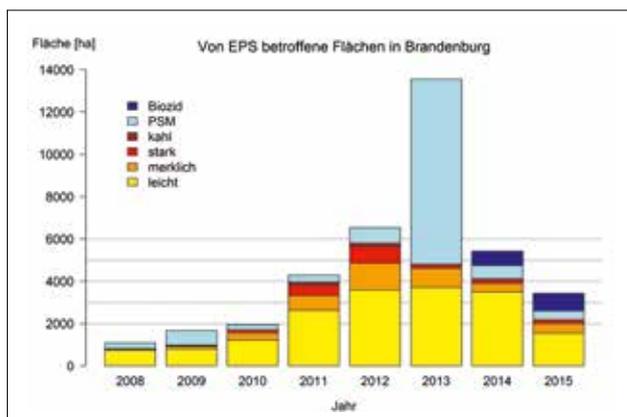


Abb. 5: Entwicklung der Waldfläche in Brandenburg, die im Zeitraum 2008-2015 vom Fraß des EPS in verschiedenen Intensitätsstufen sowie durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) bzw. Bioziden betroffen war. Die entsprechenden Zahlen enthält Tab. 1.

Tab. 1: Flächengrößen der von EPS-Fraß und Bekämpfungsmaßnahmen erfassten Eichenbestände in Brandenburg 2008–2015 (Quelle: Waldschutz-Meldewesen des Landes Brandenburg)

Fläche [ha]	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Fraß leicht	745	794	1.209	2.620	3.589	3.697	3.486	1.542
merklich	55	134	340	699	1.257	903	408	450
stark	11	15	138	486	788	174	166	186
kahl	3	31	11	147	159	20	41	1
gesamt	814	974	1.698	3.952	5.793	4.794	4.101	2.179
PSM	269	684	263	339	738	8.747	637	419
Biozid							682	825

Die in jüngster Zeit stark gewachsene Befallsfläche und -intensität des EPS legt die Frage nahe, welche Faktoren sich im Vergleich zur Vergangenheit so verändert haben könnten, dass diese Dynamik möglich wurde. Als Ursachen kommen allein oder in Kombination mit anderen Ebenen folgende Einflüsse auf die Populationsdichten in Frage:

- Standorts- bzw. Witterungsfaktoren,
- Dichte und Entwicklungs-Synchronität von Antagonisten und Konkurrenten,
- Eigenschaften der Nahrungspflanze (Eiche) bzw. des Habitats (Bestand) insgesamt.

Entsprechend dem aktuellen Arbeitsstand werden anschließend vor allem der erste und ausschnitthaft auch der zweite Punkt betrachtet. Veränderungen in den Bestandeseigenschaften und an den Nahrungsbäumen sollen Thema zukünftiger Publikationen sein.

### 3.2 Klima und Witterung als Einflüsse auf die Populationsdynamik

Das regionale Klima in Brandenburg war in den Jahrzehnten seit 1951 durch etwa konstante Niederschlagssummen und ansteigende Temperaturen sowohl in der Jahresbilanz als auch in der Vegetationsperiode gekennzeichnet. Die folgenden Diagramme zeigen dies anhand der ausgewählten Stationen in Neuruppin, Angermünde, Cottbus und Potsdam für den Zeitraum 1951–2015 (Abb. 6).

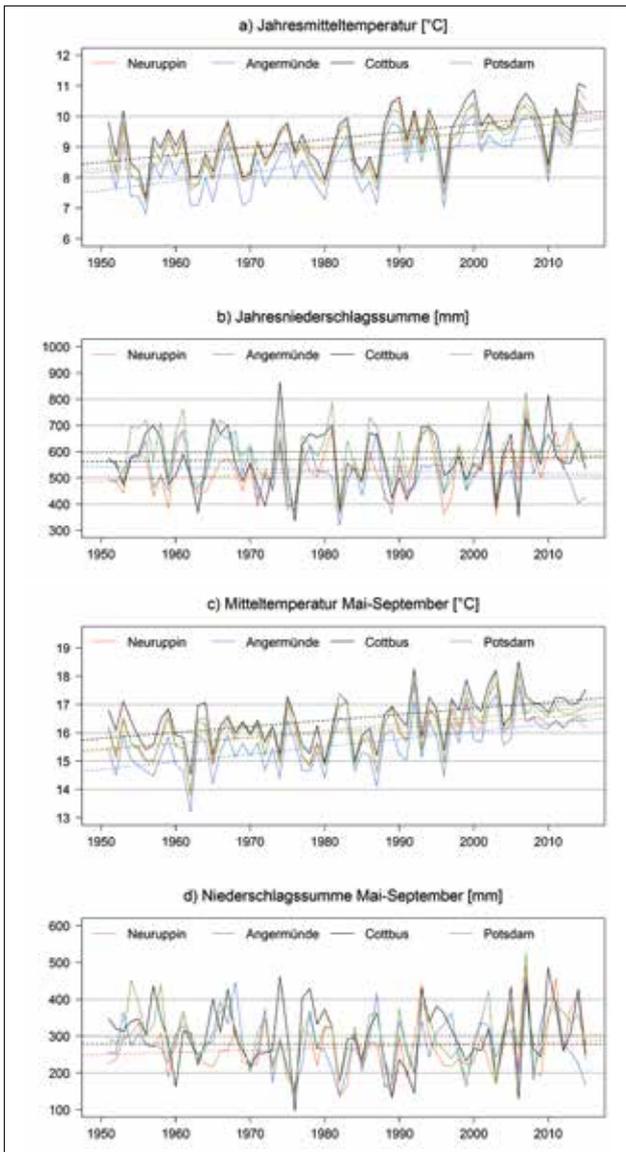


Abb. 6: Temperatur und Niederschlag an ausgewählten Stationen in Brandenburg seit 1951 als Jahreswerte (a und b), und als Werte für die Monate Mai bis September (c und d). Die farbigen gestrichelten Linien zeigen den linearen Trend über den Gesamtzeitraum bis 2015 (Quelle: DWD [2016]).

Der stationäre Trend der Niederschlagssumme im Jahr (Abb. 6b) und in der Vegetationsperiode (Abb. 6d) findet sich auch bei der Mehrzahl der Einzelmonate wieder. Eine der Ausnahmen ist der April, für den in der Zeit seit 1951 bis heute ansteigende Durchschnittstemperaturen bei gleichzeitigem Absinken der Niederschlagssumme zu beobachten sind (Abb. 7a). Betrachtet man die mittleren Werte über die vier ausgewählten Stationen hinweg für die Zeit bis 1990 und seit 1990, so zeigen sich statistisch signifikant höhere Mitteltemperaturen. Die Niederschlagssumme hat sich im Mittel zwischen den beiden Perioden zwar um rund ein Viertel verringert, auf Grund der hohen Variabilität von Jahr zu Jahr unterscheiden sich die Mittelwerte im statistischen Sinne jedoch nicht. Abb. 7b stellt diese Sachverhalte in Form von Boxplots dar. Darin enthalten die „Boxen“ 50 % der Beobachtungen („Interquartilsbereich“ IQB vom 25% bis zum 75% Quartil), die „Whiskers“ (senkrechte Linien mit waagerechten Begrenzungen) umgrenzen das

Anderthalbfache des IQB (bzw. den darin liegenden Wertebereich), der Median ist als waagerechte Linie in den Boxes markiert.

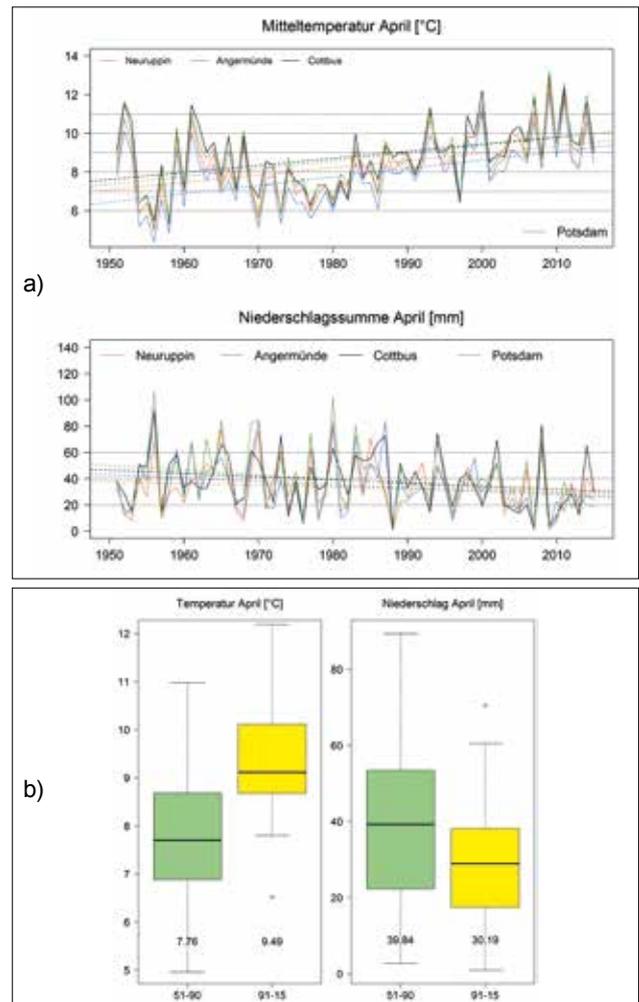


Abb. 7: Temperatur und Niederschlag im April an ausgewählten Stationen in Brandenburg für die Jahre seit 1951 (a) sowie im Vergleich der Perioden 1951–1990 und 1991–2015 (b). Die farbigen gestrichelten Linien in a) zeigen den linearen Trend über den Gesamtzeitraum, die Zahlen in den Boxplots (siehe Text) in b) geben die arithmetischen Periodenmittel an (Quelle: DWD [2016]).

Der April ist von zentraler Bedeutung für die Populationsdynamik des EPS in Brandenburg, da sich sowohl der Schlupf der Raupen als auch der Laubaustrieb der Eichen in diesem Monat vollziehen. Nach verschiedenen Studien liegt der Schlupfzeitpunkt meist in der zweiten Aprilhälfte (CUSTERS 2003, WAGENHOFF et al. 2013), während die Eichen meist Ende April bis Anfang Mai austreiben (LÖFFLER 2011). Die Beobachtungen an sogenannten Eidepots im Land Brandenburg zeigen jedoch seit acht Jahren Schlupftermine fast ausschließlich in der ersten Aprilhälfte.

Nach MEURISSE et al. (2012) sind die geschlüpften Eirauen in der Lage, Perioden von bis zu 18 Tagen ohne Nahrungsaufnahme zu überstehen, ohne dass es zu nennenswerten Sterberaten kommt. Bei hohen Temperaturen verringert sich dieser Zeitraum infolge von „Witterungsstress“ durch größeren Energieverbrauch. WAGENHOFF et al. (2014) haben die zeitliche Übereinstimmung zwischen EPS-Schlupf und

Austrieb der Eiche in Südwestdeutschland untersucht, um zu prüfen, ob sich als Folge veränderter Witterungsbedingungen die Diskrepanz zwischen den beiden Ereignissen („Mismatch“) erhöht hat. Nach ihren Ergebnissen haben sich in den Jahren seit etwa 1990 beide Ereignisse zeitlich nach vorn verlagert. Eine wachsende „Versorgungslücke“ der Raupen durch zu spät austreibende Eichen ließ sich nicht feststellen. Obwohl auch in der betrachteten Region die Durchschnittstemperaturen gestiegen sind, hat sich als Folge des zeitigeren Schlüpfens der Witterungsstress für die jungen Raupen (gemessen als Wärmesumme für die zwölf Tage nach dem Schlupftermin in der ausgewerteten Periode 1960–2012) nicht verändert.

**3.3 Modellbildung zur Schätzung des Schlupftermins**

Im Folgenden werden die methodischen Grundlagen der Arbeit von WAGENHOFF et al. (2014) auf die Bedingungen in Brandenburg angewandt. Neben der Überprüfung dieser Ansätze auf Anwendbarkeit auf Daten einer anderen Region soll dadurch auch untersucht werden, ob sich für Schlupf und Austrieb zeitliche Trends abzeichnen, die zur Erklärung der gesteigerten Aktivität des EPS beitragen können. Die Analysen beziehen sich räumlich vor allem auf den Nordwesten Brandenburgs mit der Klimastation Neuruppin. Hier wurde der EPS in der gegenwärtigen Gradation zuerst im scheinbar „neuen“ Befallsgebiet registriert, und hier liegt nach wie vor ein Schwerpunkt seiner Aktivität (MÖLLER 2010, 2013).

Als wesentliche Steuergrößen für den Raupenschlupf wie auch für den Austrieb der Bäume gelten Temperatur- bzw. Wärmesummen und die Anzahl von Frosttagen in einem bestimmten Intervall (MENZEL und FABIAN 1999, VISSER und HOLLEMAN 2001, LÖFFLER 2011). Für den EPS haben WAGENHOFF et al. (2014) den Schlupftermin auf Basis folgender meteorologischer Parameter modelliert:

- Anzahl der Tage mit einer Minimaltemperatur < 0 °C seit 01.09. (Frosttage)
- Summe der Tagesmitteltemperaturen über 2,6 °C seit 21.12. (Wärmesumme)

Die Werte für beide Variable beziehen sich jeweils auf die dem Schlupf direkt vorausgehende Vegetationsruheperiode. Der Schwellenwert von 2,6 °C entspricht der unteren Grenze physiologischer Aktivität, wie sie von CUSTERS (2003) für den EPS postuliert wurde. Zwischen beiden Größen besteht eine indirekt proportionale Abhängigkeit, sowohl unter den südwestdeutschen Ausgangsbedingungen von Wagenhoff et al. (2014) als auch bei Betrachtung der Daten für die Station Neuruppin (Abb. 8).

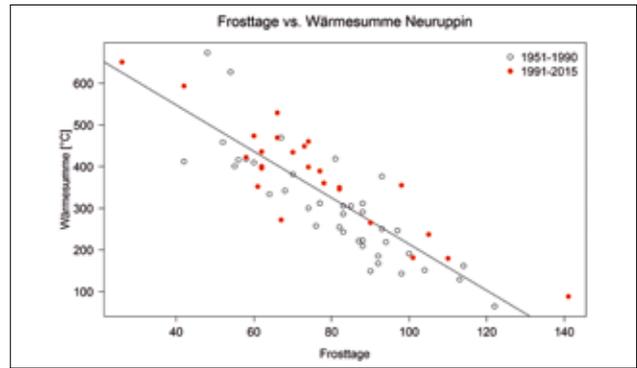


Abb. 8: Anzahl der Frosttage in der Periode 01.09.–15.04. und Wärmesumme vom 21.12.–15.04. an der Station Neuruppin in Nordwestbrandenburg. Die Jahre seit 1991 sind rot hervorgehoben.

Obwohl das Verhältnis zwischen Frosttagen und Wärmesummen im Zeitraum 01.09.–15.04. bzw. 21.12.–15.04. über die vergangenen 65 Jahre stabil geblieben ist, hat sich in dieser Zeit die Anzahl der Frosttage tendenziell verringert (Abb. 9a), während die Wärmesumme zugenommen hat (Abb. 9b). Dies gilt nicht nur für die hier exemplarisch dargestellte Station Neuruppin, sondern auch für die anderen in Abb. 6 betrachteten Klimastationen in Brandenburg. Beide Trends sind mit fünfprozentiger Irrtumswahrscheinlichkeit statistisch signifikant.

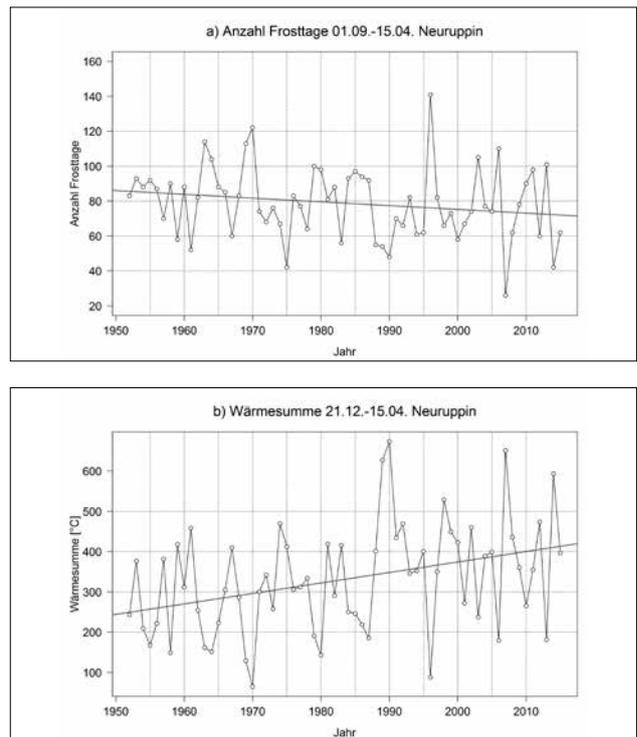


Abb. 9: Anzahl von Frosttagen seit 01.09. (a) und kumulierte Wärmesumme seit 21.12. (b) jeweils bis 15.04. für die Jahre 1952–2015 an der Station Neuruppin (DWD [2016]).

Das von WAGENHOFF et al. (2014) entwickelte Modell zur Prognose des Schlupfdatums berechnet eine spezifische Wärmesumme (WSS), die abhängig von der Anzahl von Frosttagen (FT) ist und bei deren Erreichen die Raupen schlüpfen:

$$WSS = -3,327 \times FT + 575,66$$

Aus den tagesaufgelösten Witterungsdaten wurden für die Jahre seit 1952 die Anzahl der Tage abgeleitet, an denen der Wert von WSS jeweils erreicht ist. Der entsprechende Kalendertag markiert den modellierten Schlupftermin im betrachteten Jahr. Im Verlauf der entstehenden Zeitreihe fällt ein markanter Bruch um das Jahr 1990 auf (Abb. 10a). Die Temperaturentwicklung in diesem Jahr ist gekennzeichnet durch eine vergleichsweise sehr milde absolute Minimaltemperatur und durch den bis heute wärmsten Februar der gesamten Beobachtungsperiode. Bildet man die linearen Ausgleichsfunktionen für die Zeit bis 1989 und seit 1990, so ergibt sich ein Trendsprung von rund 13–14 Tagen zwischen beiden Perioden. Seit 2009 liegen Beobachtungsdaten zum Schlupftermin des EPS in Brandenburg vor (Abb. 10a, „Beob.daten BB“). Ihre hohe Übereinstimmung mit den Modelldaten untermauert die Plausibilität der Berechnungen.

In Abb. 10b ist parallel die Zeitreihe der Austriebsdaten für die Eiche nach einem Modell von MENZEL und FABIAN (1999) auf Basis der Berechnungen von LÖFFLER (2011) mit Witterungsdaten der Station Potsdam dargestellt. Auch hier ist ein Bruch im langfristigen Trend zu beobachten, der in das Jahr 1990 fällt. Er beträgt nach diesem Modell etwa 7–8 Tage. Die Vorverlagerung des Austriebstermins wird durch das kontinuierliche phänologische Monitoring in Brandenburg seit 2006 bestätigt (KÄTZEL et al. 2016): Im Vergleich zu Untersuchungen Ende des 19. Jahrhunderts treiben die Eichen im Schnitt 8–13 Tage früher aus.

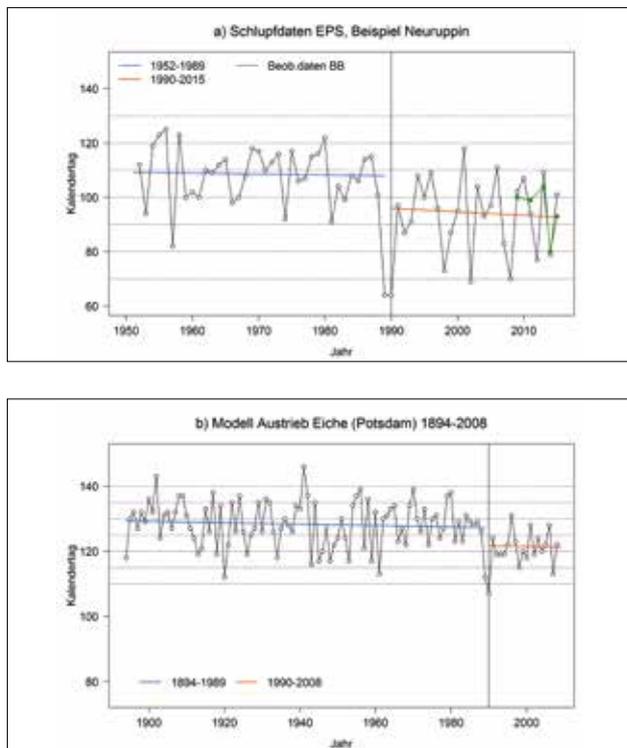


Abb. 10: Schlupf des Eichenprozessionsspinners nach dem Modell von Wagenhoff et al. (2014) in den Jahren 1952–2015 an der Station Neuruppin (a) und modelliertes Austriebsdatum der Eiche nach Löffler (2011) auf Basis von Daten der Station Potsdam (b). In beiden Diagrammen ist das Jahr 1990 durch eine senkrechte Linie markiert, außerdem sind jeweils die linearen Regressionsgeraden für die Perioden bis 1989 (blau) und seit 1990 (rot) sowie in a) die Schlupftermine aus Beobachtungen in Brandenburg (grün) enthalten.

Als Maß für den Stress, dem die EPS-Raupen nach ihrem Schlupf ausgesetzt sind, verwenden Wagenhoff et al. (2014) die Summe der positiven Temperaturen in den zwölf Tagen nach dem Schlupfdatum. Sie gehen davon aus, dass eine größere Wärmesumme zu einer stärkeren physiologischen Aktivität mit größerem Energieverbrauch bei den Tieren führt, der wiederum – wenn die verbrauchten Reserven nicht durch Fraß ersetzt werden können – die Periode des „Hungernkönnens“ verkürzt. Abb. 11 stellt die Werte dar, die sich aus den Messdaten der Klimastation Neuruppin ergeben, wenn man die modellierten Schlupfdaten nach Abb. 10a zugrunde legt. Es wird deutlich, dass der wärmeinduzierte Stress für die Raupen tendenziell seit Beginn der Zeitreihe eher etwas abgenommen hat, wenn auch der lineare Trend nicht statistisch gesichert ist. Die Ursache für die leicht geringeren Wärmesummen in der jüngsten Vergangenheit liegt in der Vorverlagerung der Schlupftermine, die dazu führt, dass die Zwölf-Tages-Summen immer zeitiger im Jahr gebildet werden.

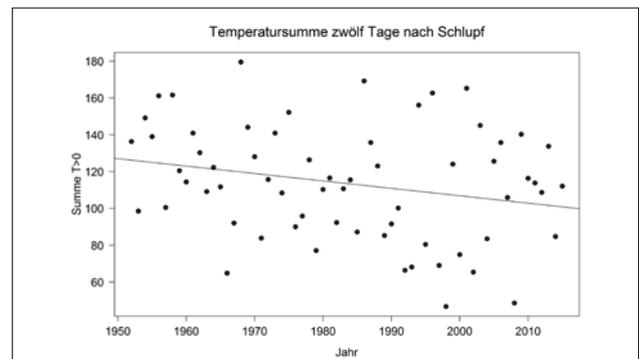


Abb. 11: Summe der positiven Temperaturen für die zwölf Tage nach dem jeweils modellierten Schlupfdatum für die Station Neuruppin in Nordwestbrandenburg. Die Steigung der mit dargestellten linearen Ausgleichsfunktion ist statistisch nicht signifikant von Null verschieden.

Der hier aufgezeigte Zusammenhang bekräftigt die Hypothese, dass die Witterungsbedingungen für den EPS günstiger geworden sind. Unterstellt man das höchste Mortalitätsrisiko (bzw. die größte physiologische Sensitivität) der EPS-Raupen für die ersten zwei-drei Wochen nach dem Schlupf, so begünstigt der fallende Trend in Abb. 11 das Überleben des ersten Larvenstadiums und damit die gesamte Populationsentwicklung.

### 3.4 Zusätzliche limitierende Parameter

Neben den Witterungsbedingungen im Frühjahr, die für das Überleben und die Weiterentwicklung der Raupen ausschlaggebend sind, ist auch die Intensität der Winterfröste als Regulativ für die Populationsdynamik des EPS anzusehen (MEURISSE et al. 2012). Laborversuche haben gezeigt, dass die Mortalität der überwinternden Eier stark zunahm, wenn die Temperatur unter  $-18\text{ °C}$  abgesenkt wurde. Die Dauer der Frosteinwirkung war für die Sterberate unerheblich. Die auf diese Weise festgestellte Kälteschwelle könnte die geographische Ausbreitung des EPS beeinflussen bzw. begrenzen. Deshalb haben wir untersucht, wie sich die jährlichen Temperaturminima in den vergangenen Jahrzehnten an den ausgewählten Klimastationen entwickelt haben und ob dabei zeitliche Trends zu beobachten sind (Abb. 12).

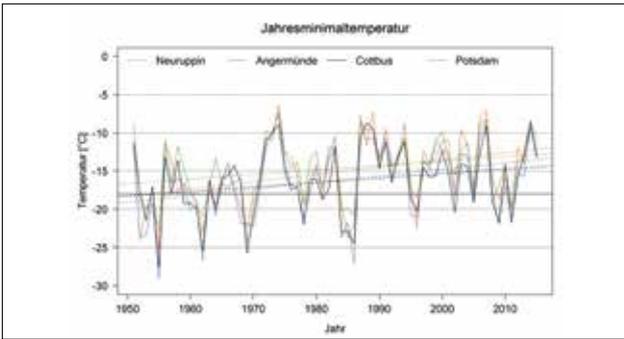


Abb. 12: Temperaturminima in den Perioden 01.10.–31.03. für die Jahre 1951 bis 2015 an ausgewählten Stationen in Brandenburg. Die farbigen gestrichelten Linien zeigen die linearen Trends, die graue waagerechte Linie markiert die Temperatur von -18 °C (vgl. MEURISSE et al. 2012).

Die rückblickende Betrachtung zeigt eindeutige Trends in Richtung ansteigender Winter-Minimaltemperaturen für die Periode 1951–2015. Es lässt sich also auch hinsichtlich des Absterbens der Eier durch Starkfrost eine für den EPS günstige Tendenz feststellen. Am deutlichsten ausgeprägt ist diese Entwicklung in Neuruppin, die Station Cottbus zeigt die geringste Zunahme. Die tiefsten Temperaturen werden in der Regel in Angermünde und Cottbus erreicht, also in Gebieten Brandenburgs, die klimatisch stärker subkontinental geprägt sind als der subatlantisch beeinflusste Nordwesten und Westen des Landes.

Abschließend sollen in diesem Abschnitt mögliche Unterschiede in den wesentlichen abiotischen Bedingungen geprüft werden, die zwischen dem bisher schon vom EPS besiedelten Gebiet („Fraßgebiet“) und den Regionen, aus denen es bisher noch keine Nachweise der Art gibt („Restgebiet“), eventuell bestehen. Dazu wurden die monatsbezogenen Klimadaten genutzt, die auf 487 Messpunkte in ganz Brandenburg regionalisiert wurden (siehe Abschnitt Daten und Methoden sowie KÖHLER [2015]). Als Fraßgebiet wurden entsprechend den Daten der Fraßkartierung die Stationen mit einem Nordwert von mehr als 5764 km und einem Ostwert von weniger als 407 km (UTM-Zone 33, bezogen auf ETRS89) betrachtet (Abb. 13).

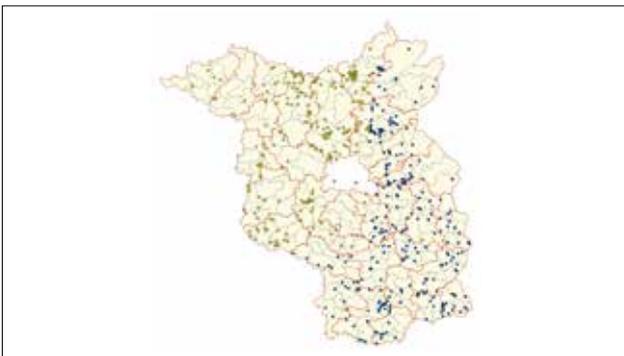


Abb. 13: Lage von 487 Messpunkten ökologischer Kenngrößen in unterschiedlichen Untersuchungsnetzen (ICP-Level-I und II, Ökologische Waldzustandskontrolle, Bodenzustandserhebung) in Brandenburg, an denen regionalisierte Witterungsparameter vorliegen. Die Stationen in dem Gebiet, für das EPS-Fraß im Zeitraum 2008–2015 gemeldet wurde, sind gelb eingefärbt (n=218), alle anderen blau (n=269).

Die in der geografischen Lage begründeten Unterschiede zwischen den Fraß- bzw. Schadgebieten und dem übrigen Brandenburg spiegeln vor allem den Gradienten vom eher subatlantischen Nordwesten zum subkontinentalen Osten und Südosten wider. Im Vergleich der Jahreswerte und der Werte der Vegetationsperiode zeigen sich etwas wärmere Sommer und kühlere Winter im „Restgebiet“, während sich die Niederschläge in den einzelnen Perioden so gut wie nicht unterscheiden (Abb. 14).

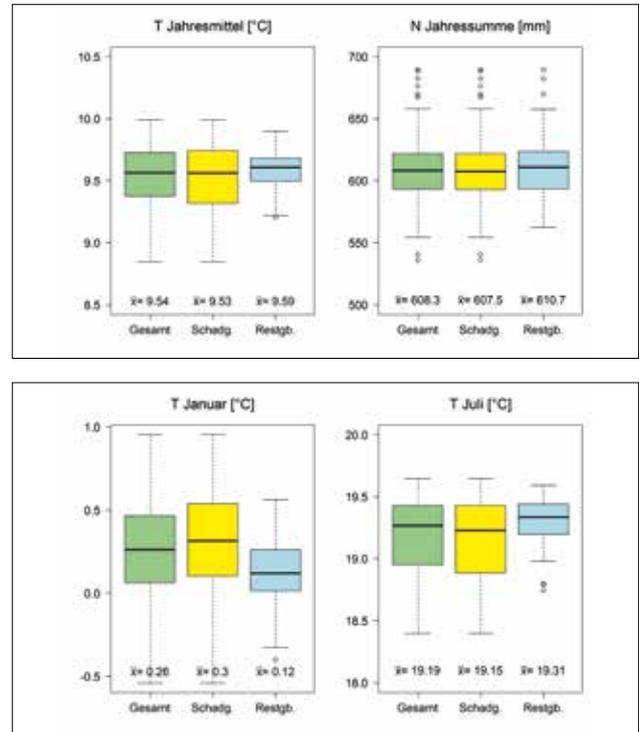


Abb. 14: Mitteltemperaturen (T) und Niederschlagssummen (N) für das Gesamtjahr sowie für die Monate Januar und Juli im Zeitraum 2000-2013 im Mittel für die 487 Stationen in Brandenburg („Gesamt“, siehe Abb. 13) sowie für die Stationen in den vom EPS betroffenen Gebieten („Schadg.“) und im übrigen Land („Restgb.“). Die Zahlen am unteren Rand der Diagramme geben die arithmetischen Mittel an.

Neben Differenzen in der Kontinentalität sind im Vergleich der Waldgebiete auch durchschnittlich größere geografische Höhen in den bisher nicht durch EPS-Fraß betroffenen Regionen zu beobachten: Während die mittlere Höhe der Forstabteilungen in Brandenburg bei etwa 67 m. ü. NN liegt, beträgt sie im Fraßgebiet rund 59 und im Restgebiet rund 95 m. ü. NN. Diese Mittelwerte unterscheiden sich – wie auch die Mitteltemperaturen einiger Monate – im statistischen Sinne signifikant zwischen den beiden Gebieten. Dafür ist zum Teil auch der hohe Stichprobenumfang mit insgesamt 40.005 untersuchten Abteilungen verantwortlich. Trotzdem kann man die Differenzen als Anhaltspunkt für Tendenzen sehen, die das Ausbreitungsverhalten des EPS (mit) beeinflussen.

### 3.5 Biotische Gegenspieler – wo bleiben die Antagonisten?

Das Waldschutzmeldewesen und die Fraßkartierung belegen von etwa 2004 bis 2013 stetig wachsende Flächen mit Befall durch den EPS. Eine derart lange Gradationsphase ist gerade im Vergleich mit anderen forstlich rele-

vanten Schmetterlingsarten eher ungewöhnlich (ALTENKIRCH et al. 2002; MÖLLER 2013). Im Einklang mit der Theorie ökologischer Nischen und ihrer Besetzung hätten Räuber und Parasitoide die Individuenzahlen des EPS seit einigen Jahren deutlich reduzieren können. Aus anderen Regionen sind Parasitierungen bei 20–30 % (Bogenschütz et al. 1988) bzw. bis zu 75 % der Raupen nachgewiesen (Stigter 1997). Nach SOB CZYK (2014) können Parasiten vor allem in der Latenz- und Progradationsphase die Abundanz des EPS regulieren, während sie in der Gradationsphase nur wenig Einfluss ausüben. Die Gesundheitsuntersuchungen der Hauptstelle Waldschutz am LFE erbringen regelmäßig extrem hohe Überlebensraten der EPS-Eier, an denen Parasitoide nur als „absoluter Einzelfall“ (MÖLLER 2013) aufgetreten sind.

In einer Masterarbeit hat B. KÜHNE (2015) die in der Fachliteratur vorhandenen Informationen über natürliche Gegenspieler des EPS in Europa zusammengefasst und die diesbezüglichen Verhältnisse in Brandenburg untersucht. Ihre Ergebnisse zeigen, dass es in Deutschland regional wirksame Antagonisten mit teilweise nachweisbarem Einfluss auf die EPS-Populationen gibt. Die folgende Tab. 2 fasst Teilergebnisse dieser Arbeit zur Situation hinsichtlich ausgewählter Räuber und Parasitoide in Bezug auf Brandenburg zusammen.

Tab. 2: Ausgewählte Räuber und Parasitoide des Eichenprozessionsspinners und deren aktuelle Situation in Brandenburg (nach KÜHNE 2015)

<p><b>Erzwespe</b> <i>Anastatus bifasciatus</i> GEOFFROY</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vermutlich wichtigster Eiparasitoid des EPS</li> <li>• bisher keine Nachweise in Brandenburg</li> <li>• in EPS-Eiern nur Entwicklung von Männchen, Vermehrung bzw. Effektivität ist von Alternativwirt abhängig (z. B. Pinienprozessionsspinner <i>Thaumetopoea pityocampa</i>) DENIS &amp; SCHIFFERMÜLLER</li> </ul>
<p><b>Raupenfliege</b> <i>Pales processionea</i> RATZEBURG</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Südeuropa und Süddeutschland häufige Antagonistenart für den EPS</li> <li>• zwei Generationen: In Südeuropa ist Frühjahrs-generation stärker ausgeprägt als Sommergeneration, in Mitteleuropa umgekehrt, dann steht EPS als Wirt aber nicht mehr zur Verfügung</li> </ul>
<p><b>Raupenfliege</b> <i>Phorocera grandis</i> RONDANI</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Bayern und in anderen Ländern Europas als effektive Gegenspieler beobachtet (Roques 2015)</li> <li>• bisher kein Nachweis in Brandenburg</li> </ul>
<p><b>Puppenräuber</b> <i>Calosoma sycophanta</i> L.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unspezifischer Räuber, in den Niederlanden mit Zunahme des EPS ansteigende Zahlen</li> <li>• in Brandenburg bisher unauffällig, aber in älterer Literatur ebenfalls als gekoppelt mit Dichte des EPS beschrieben (SOB CZYK 2014)</li> </ul>

Nach MÖLLER (2013) sind Schlupfwespen der Gattung *Pimpla* sowie Raupenfliegenkokons an Nestern lokal bzw. an einzelnen Vorkommen des EPS auffällig gewesen. Außerdem nehmen Singvögel wie Meisen, der Pirol oder der Kuckuck EPS-Raupen auf (SOB CZYK 2014). Im großen Maßstab haben aber bisher keine Antagonisten eine wesentliche Rolle gespielt. Für weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet stellt KÜHNE (2015) fest, dass dabei die Wechselbeziehungen im komplexen Ökosystem Wald wie der Einfluss einzelner Witterungsfaktoren oder des Nahrungs- und Habitatsangebotes für Gegenspieler auf die Dichte entsprechender Arten berücksichtigt werden müssen.

#### 4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Während SCHWERDTFEGER (1981) noch die Gesundheitsgefahren für den Menschen in den Mittelpunkt der Beschäftigung mit dem Eichenprozessionsspinner stellte, haben die vergangenen zehn Jahre gezeigt, dass die Raupen auch schwerwiegende und flächige Schäden an Eichenbeständen verursachen können. Vor allem auf Grund der Tatsache, dass der EPS durch Fraß in aufeinanderfolgenden Jahren Bäume zum Absterben bringen kann, ist die Art als Bestandesschädling einzustufen (MÖLLER 2010). Seine Bekämpfung durch Pflanzenschutzmittel im Wald bzw. durch Biozide im siedlungsnahen Bereich erfolgt aktuell mit „Dipel ES“, einem Bakterienpräparat, das selektiv auf blattfressende Schmetterlingsraupen wirkt. Als günstig in Bezug auf Gegenspieler ist zu bewerten, dass das Mittel nur eingeschränkt auf Arten wirkt, die als Nebenwirte für potenzielle Parasitoide in Frage kommen (MÖLLER 2013). Da die Toxine in der Regel ein bis zwei Wochen nach der Ausbringung unwirksam werden, schont die zeitige Ausbringung gegen den EPS die erst später aufkommende artenreiche Zönose in den Eichenkronen (ZIESCHE et al. 2011). Wird die Anwendung von PSM grundsätzlich ausgeschlossen, so droht in vielen Fällen langfristig ein Totalverlust der häufig ökologisch und landschaftsbezogen sehr wertvollen Eichenbestände. Aus forstlicher, humanmedizinischer und letztlich auch ökosystemarer Sicht wird deshalb für eine verantwortungsbewusste, fallweise zu entscheidende Bekämpfung auf der Basis eines umfassenden und kontinuierlichen Monitorings des EPS plädiert. Die Auswirkungen der Alternativen „PSM-Anwendung oder Verzicht“ lassen sich an vielen Beispielen im Land Brandenburg deutlich beobachten (MÖLLER 2010 und Abb. 15)



Abb. 15: Beispiele für die Wirkung mehrjährigen Fraßes (links) und des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (rechts) in Eichenbeständen der Oberförsterei Gadow in Nordwestbrandenburg. Auf der Fläche links ging nach wiederholtem EPS-Befall durch massives Absterben der Bestand komplett verloren, rechts sieht man einen geschlossenen, vitalen Eichenbestand.

Ob die in den letzten Jahren zurückgehende Fläche deutlicher Schäden primär auf eine verringerte Aktivität des EPS zurückzuführen ist, kann mit Hilfe der bisher zugänglichen Daten und Modelle nicht mit Sicherheit bestätigt werden (Abb. 5). Denkbar ist auch, dass gerade die Bestände, die in den Vorjahren deutliche Schäden aufwiesen, als Folge von Absterben und Bestandesauflösung nicht mehr erfasst werden. Andererseits kann die konsequentere Bekämpfung in den Befallsschwerpunkten, wie sie seit 2013 auch in Siedlungs- oder Waldrandnähe möglich war, die Populationsgrößen doch spürbar reduziert haben, da dadurch der Rückzug und das Überdauern der Tiere in angrenzenden Flächen erschwert wurden. An Beispielbeständen lässt sich demonstrieren, dass der für die Eichen verhängnisvolle über mehrere Jahre wiederholte Fraß durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln vermeidbar ist und den Beständen damit wirksam geholfen werden kann. Zusätzliche Stressursachen wie Witterungsextreme beeinträchtigen die Vitalität der Eiche ohnehin schon zunehmend (KÄTZEL et al. 2013, SCHRÖDER 2015). Deshalb sollte im Interesse der Eichenförderung alles getan werden, um das Regenerationsvermögen der Kronen zu unterstützen und die vielfältigen Waldfunktionen zu sichern, die von sich auflösenden Beständen nicht mehr erfüllt werden können.

Anhand der vorliegenden Daten lässt sich nicht entscheiden, ob für die Ausbreitung des EPS in der jüngsten Vergangenheit eher die Ausdehnung aus Restpopulationen vor Ort oder die Expansion aus geografisch weiter entfernten Refugien bestimmend war. Die Wanderungs- beziehungsweise Ausbreitungsgeschwindigkeit der Weibchen ist mit 5–20 km/Jahr (STIGTER et al. 1997) eher gering. Günstige Windverhältnisse und der Transport befallenen Holzes oder einzelner Falter können zwar dazu führen, dass die Ausbreitung deutlich rascher verläuft – trotzdem spricht einiges dafür, dass der EPS in geringen Populationsdichten lange Latenzphasen durchläuft, in denen er quasi unbemerkt überdauern kann, um dann „plötzlich“ wieder in Regionen aufzutauchen, in denen man ihn vorher nicht vermutete (CUSTERS 2003, ROQUES 2015). GROENEN und MEURISSE (2012) nehmen an, dass die langfristige Dynamik durch „lokale Zyklen wechselnder Dichte und Verbreitung“ bestimmt wird. Auch für Brandenburg erscheint es nach diesen Überlegungen wahrscheinlich, dass gegenwärtig keine Neubesiedelung stattfindet, sondern vielmehr eine Rückkehr in historisch bereits mehrfach besiedelte Gebiete (SOBCZYK 2014).

Die Untersuchungen zu den Witterungseinflüssen auf Ausbreitung und Populationsentwicklung des EPS haben eine Reihe neuer Erkenntnisse geliefert und Felder für weitere Analysen aufgezeigt. Die bereits häufiger konstatierte Begünstigung zunehmender Abundanz der Tiere durch die sich ändernden Witterungsbedingungen ist vor allem an der langfristigen Temperaturzunahme und der Niederschlagsverringerung im April sichtbar, die landesweit zu beobachten ist. Neben der Temperatur beeinflussen auch Wind, Spätfröste und Niederschläge das Überleben der ersten Larvenstadien des EPS. Die abnehmenden Niederschläge im Frühjahr könnten so die Lebensbedingungen in jüngster Vergangenheit zusätzlich verbessert haben. Der Schlupftermin stellt aus Anpassungssicht ein Optimierungsproblem dar: Ein zeitiger Schlupf kann für die Raupen die höchste Nahrungsqualität und -verfügbarkeit si-

chern, aber auch zum Verhungern auf Grund eines späten Austriebs der Eichen führen. Die große „Hungertoleranz“ des EPS, die nur in Ausnahmefällen überschritten wird (BOGENSCHÜTZ 1988), ist ein Hinweis auf hohe Anpassbarkeit der Art an die individuelle phänologische Varianz ihrer Nahrungspflanze (ROQUES 2015). Die von MEURISSE et al. (2012) beschriebene Empfindlichkeit der Eier gegenüber Winterfrost ist abhängig von dessen Eintrittsdatum: Je später tiefe Temperaturen erreicht werden, desto gefährlicher ist das für die noch nicht geschlüpften Eiräupchen. Bei Betrachtung der Daten seit 1951 ist für Brandenburg kein Trend zu erkennen, in der Regel sind die tiefsten Temperaturen in den ersten beiden Januardekaden zu verzeichnen gewesen.

Da der Schlupfzeitpunkt der EPS-Raupen den gleichen meteorologischen Steuergrößen (Frosttage und Wärmesummen) unterliegt wie der Austrieb der Bäume, ist eine relativ zulässige Kopplung beider Ereignisse gewährleistet (WAGENHOFF et al. 2012). Trotzdem sind offenbar Verschiebungen in diesem Verhältnis möglich: Die Anwendung eines Modells zur Schätzung der Schlupftermine, das WAGENHOFF et al. (2014) in Baden-Württemberg entwickelt haben, auf Witterungsdaten in Nordwestbrandenburg ergab für die Jahre seit 1990 eine mittlere Vorverlagerung des Termins um 13–14 Tage. Der Austrieb der Eiche trat im selben Zeitraum um etwa 7–8 Tage im Vergleich zum langjährigen Mittel früher ein (LÖFFLER 2011, KÄTZEL et al. 2016). Der zeitigere Schlupf könnte dazu führen, dass sich die Raupen noch eher an den Knospen einstellen und den frischen Austrieb verzehren können. Die anhand der Modelle sich ergebende große Differenz von bis zu 25 Tagen steht jedoch im Widerspruch zu der u. a. von MEURISSE et al. (2012) festgestellten Obergrenze von 18–20 Tagen für die Hungertoleranz der EPS-Raupen. Möglich ist, dass die Raupen eine höhere Überdauerungsfähigkeit zeigen als angenommen oder sich während der Versorgungslücke ersatzweise von Knospen ernähren. Für Letzteres spricht, dass in den vergangenen Jahren vielfach Knospenfraß beobachtet wurde. Eine weitere Erklärung könnte die Anwendung von in einer anderen Region kalibrierten Modellen auf Brandenburger Verhältnisse sein, die unzutreffende Zahlen ergibt. Um hier Abhilfe zu schaffen, sind die Fortsetzung der Schlupfbeobachtung und der phänologischen Aufnahmen zum Eichenaustrieb sowie die anschließende Überarbeitung der Modelle dringend geboten. Die seit 2009 gewonnenen Beobachtungsdaten deuten im Vergleich mit den modellierten Schlupfterminen, die eine hohe Streuung aufweisen, auf ein engeres zeitliches Intervall hin, was die Notwendigkeit einer regionalen Modellanpassung unterstreicht.

Im Hinblick auf das Potenzial an natürlichen Antagonisten des EPS wird in einer Zusammenfassung des aktuellen Forschungsstandes (ROQUES 2015) festgestellt, dass zu spezifischen Feinden des EPS nur wenig bekannt ist. Auch MÖLLER (2013) und SOBCZYK (2014) betonen die dominierende Rolle von polyphagen Räubern und Parasitoiden (Generalisten) für die Beeinflussung des Gradationsgeschehens des EPS. Die bei der rückblickenden Betrachtung seiner Auftretenshäufigkeit nicht nur in Brandenburg auffallende „Langwelligkeit“ in der Populationsdynamik (GROENEN und MEURISSE 2012) könnte eine Anpassung der Art zur Vermeidung von Mortalität durch Gegenspieler darstellen. Auch

wenn sie auf Parasitoide beschränkt und nur durch wenige Feldstudien flankiert sind, so liefert die gründliche Literaturstudie von KÜHNE (2015) doch wertvolle Hinweise zum Verständnis des bisher so auffallend geringen Befalls des EPS durch natürliche Antagonisten in Brandenburg. Umso wichtiger ist es, die Lebensbedingungen für die Generalisten (und möglicherweise hinzukommende Spezialisten) optimal zu gestalten. Dies umfasst die Vergrößerung des Habitatangebots für Neben- und Zwischenwirte wie auch für Räuber bis hin zu Vogelarten, unter anderem durch die dauerhafte Schaffung von mehr Vielfalt und Strukturdiversität im Wald, in Siedlungen und im öffentlichen Grün (ALTENKIRCH et al. 2002, MÖLLER 2013).

Untersuchungen zu möglichen Steuergrößen auf die Populationsdynamik von Arten wie dem EPS bewegen sich in einem komplexen Ökosystem mit intensiver „Verflechtung der abundanzdynamischen Faktoren“ (SCHWERDTFEGER 1981). Die Konzentration auf Witterungseinflüsse in diesem Beitrag soll nicht den Eindruck erwecken, als seien damit die wesentlichen Parameter für die Dynamik der Art benannt. Abiotische Größen wie Temperatur und Niederschlag können begrenzend und modifizierend wirken, das wirkliche Ausmaß oder die Dichte der Populationen werden aber noch von vielen anderen interdependenten Faktoren bestimmt. Insofern sind die hier dargelegten Modelle nur stark vereinfachende Annäherungen an die Realität und sollen das Verständnis der Entwicklung auf Landschaftsebene fördern. Zusätzliche Themen für nachfolgende Studien betreffen u. a. Eigenschaften der Nahrungsarten (Eichen) in ihrer Wirkung auf die Entwicklung des EPS (Laubqualität, Kronengröße und -vitalität, Abwehrreaktionen durch sekundäre Pflanzenstoffe, räumliche Verteilung), Wechselwirkungen mit Fraßkonkurrenten oder Gegenspielern sowie Differenzen in den die Populationsdynamik bestimmenden Faktoren zwischen Nordostdeutschland und anderen Schadgebieten wie Südeuropa. Gerade im Hinblick auf die Forstpraxis muss es auch darum gehen, ob eine Prävention oder Schadensminimierung durch waldbauliche Steuerung möglich ist und was ggf. dafür zu tun ist.

Die Identifikation der Faktoren, die für die Ausbreitung und die Populationsdynamik des EPS ausschlaggebend sind, und die Ableitung aufbauender Prognosemodelle werden vor allem dadurch erschwert, dass die dafür nötigen Daten in sehr diverser Quantität, Qualität und räumlicher Auflösung zur Verfügung stehen. Einflussgrößen mit hoher Dynamik wie die aktuelle Witterung oder die Ausprägung der Gegenspielerfauna sind genauso zu berücksichtigen wie räumlich gering aufgelöste, relativ statische Parameter, zum Beispiel die Baumarten- und Altersstruktur der Bestände oder die Nährkraft und Wasserversorgung des konkreten Standortes. In der Auswertung gehen dann zwar auch Messwerte wie Temperatur und Baumdurchmesser ein, der Hauptteil der Daten stammt jedoch aus Einschätzungen, visuellen Ansprachen oder stark zusammenfassenden Verfahren, die anfällig sind für subjektive Fehler oder die Vernachlässigung wichtiger, aber nicht erfassbarer Einflüsse. Informationen zum Waldzustand im „Datenspeicher Wald 2“ (LFB und LFMV 2015) zum Beispiel können im Einzelfall veraltet oder unvollständig sein und dadurch nicht den tatsächlichen Bestand repräsentieren; die Fraßkartierung kann Laubverluste irrtümlicherwei-

se dem EPS zuschreiben, obwohl dieser im betreffenden Bestand vielleicht nicht zur Entfaltung kam und umgekehrt. Diese extreme Vielfalt bzw. der hohe Anteil von „Rauschen“ (noise) in den Daten führt dazu, dass statistische Modelle zum einen vergleichsweise geringe Erklärungsbeiträge aufweisen (müssen) und zum anderen ihre Ergebnisse mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren sind. Drittens spricht die beschriebene Ausgangslage dafür, angepasste Systeme des stufigen Monitorings, ggf. des PSM-Einsatzes und der Erfolgskontrolle für alle Waldflächen unbedingt aufrechtzuerhalten und unter Berücksichtigung aktueller Forschungsergebnisse weiterzuentwickeln.

## Danksagung

Unser Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen in den Oberförstereien und Revieren, die mit ihrer Arbeit den flächendeckenden Waldschutz in Brandenburg und den Aufbau enorm wertvoller Datenreihen ermöglicht haben. Außerdem bedanken wir uns beim gesamten Team der Hauptstelle Waldschutz des LFE für die Überlassung der Daten und die fachliche Unterstützung. Das Forschungsvorhaben wird durch das vom BMEL und BMUB über den Waldklimafonds geförderte Projekt „WAHYKLAS“ finanziert (Förderkennzeichen: 28-W-C-4-031-01).

## Literatur

- ALTENKIRCH, W.; MAJUNKE, C.; OHNESORGE, B. (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Stuttgart, Eugen Ulmer.
- BOGENSCHÜTZ, H.; SCHWARTZ, G.; LIMBERGER, S. (1988): Auftreten und Bekämpfung des Eichenprozessionsspinners, *Thaumetopoea processionea* L., in Südwestdeutschland 1986 bis 1988. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 245: 427–428.
- CUSTERS, C. J. L. (2003): Climate change and trophic synchronization. A case study of the Oak Processionary Caterpillar. Studentsverlag Wageningen University.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2016): Gemessene Witterungsparameter an DWD-Stationen. Zugang über FTP-Server bzw. Climate Data Center unter <http://www.dwd.de/DE/leistungen/cdcftp/cdcftp.html> (Zugriffe im Februar 2016).
- GROENEN, F.; MEURISSE, N. (2012): Historical distribution of the oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* in Europe suggests recolonization instead of expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, 14: 147–155.
- KÖHLER, M.; AHREND, B.; MEESENBERG, H. (2015): Wie gut ist einfach? Evaluierung verschiedener Verfahren zur Regionalisierung täglicher Wetterdaten. Poster zum „Tag der Hydrologie 2015“ 19.–20.03.2015 in Bonn.
- KÜHNE, B. (2015): Einflussfaktoren auf die Befallsentwicklung des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea* L.). Universität Potsdam, Institut für Biochemie und Biologie, Masterarbeit.

- 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.
- KÄTZEL, R.; KALLWEIT, R.; LÖFFLER, S.; MÖLLER, K.; BECK, W.; SCHRÖDER, J. (2016): Zur Klimaplastizität der Wälder in Brandenburg. *AFZ – Der Wald* 71 (3), 19–24
- KÄTZEL, R.; LÖFFLER, S.; SCHRÖDER, J. (2013): Sterben vor der Zeit – das „Eichensterben“ als Komplexkrankheit. In: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (Hrsg.), *Die Eiche – Chancen und Risiken einer Charakterbaumart im nordostdeutschen Tiefland*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, 53: 21–34.
- LÖFFLER, S. (2011): Klimaveränderungen erlebbar – phänologische Untersuchungen in Brandenburgs Wäldern. In: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (Hrsg.), *Wissenstransfer in die Praxis – Beiträge zum 6. Winterkolloquium am 24.02.2011 in Eberswalde*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, 47: 9–13.
- MENZEL, A.; FABIAN, P. (1999): Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659.
- MEURISSE, N.; HOCH, G.; SCHOPF, A.; BATTISTI, A.; GRÉGOIRE, J.-C. (2012): Low temperature tolerance and starvation ability of the oak processionary moth: implications in a context of increasing epidemics. *Agricultural and Forest Entomology*, 14: 239–250.
- MÖLLER, K. (2010): Wem schadet der Eichenprozessionsspinner – Wer muss handeln? Argumente für die aktuelle Waldschutzstrategie. In: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (Hrsg.), *Wissenstransfer in die Praxis – Beiträge zum 5. Winterkolloquium am 23.02.2010 in Eberswalde*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, 44: 71–81.
- MÖLLER, K. (2013): Eichenprozessionsspinner und Frühjahrsfraßgemeinschaft – Gefährdungspotenzial und Risikomanagement. In: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (Hrsg.), *Die Eiche – Chancen und Risiken einer Charakterbaumart im nordostdeutschen Tiefland*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, 53: 35–46.
- MÖLLER, K.; HEYDECK, P.; HIELSCHER, K.; DAHMS, C.; WENK, M. (2015): Waldschutzsituation 2014 in Brandenburg und Berlin. *AFZ – Der Wald*, 70 (7): 42–45.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM (2015): QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- 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/>.
- ROQUES, A. (ed., 2015): *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. Dordrecht u. a., Springer.
- SCHRÖDER, J. (2015): Zum Einfluss der Witterung auf Wuchsverhalten und Vitalität der Trauben-Eiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart / Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, 34.
- SCHWERDTFEGGER, F. (1981): *Die Waldkrankheiten – Ein Lehrbuch der Forstpathologie und des Forstschutzes*. Hamburg u.a., Parey, 4. Auflage.
- SOBCZYK, T. (2014): Der Eichenprozessionsspinner in Deutschland. Bundesamt für Naturschutz Bonn / Bad Godesberg, BfN-Skripten 365.
- STIGTER, H.; GERAEDTS, W. J. H. M.; SPIJKERS, H. C. P. (1997): *Thaumetopoea processionea* in the Netherlands: present status and management perspectives (Lepidoptera: Notodontidae). *Proceedings of the Section Experimental and Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society*, 8: 3–16.
- THE POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP (2015): The PostgreSQL open source database. <http://www.postgresql.org/>
- VISSER, M. E.; HOLLEMAN, L. J. M. (2001): Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proceedings of The Royal Society B*, 268: 289–294.
- WAGENHOFF, E.; BLUM, R.; ENGEL, K.; VEIT, H.; DELB, H. (2013): Temporal synchrony of *Thaumetopoea processionea* egg hatch and *Quercus robur* budburst. *Journal of Pest Science*, 86: 193–202.
- WAGENHOFF, E.; WAGENHOFF, A.; BLUM, R.; VEIT, H.; ZAPF, D.; DELB, H. (2014): Does the prediction of the time of egg hatch of *Thaumetopoea processionea* (Lepidoptera: notodontidae) using a frost day/temperature sum model provide evidence of an increasing temporal mismatch between the time of egg hatch and that of budburst of *Quercus robur* due to recent global warming? *European Journal of Entomology*, 111 (2): 207–215.
- ZIESCHE, T.; KÄTZEL, R.; SCHMIDT, S. (2011): Biodiversität in Eichenwirtschaftswäldern. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 114. Bonn / Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.).

# **Ausgewählte Posterpräsentationen**



## Luftfahrzeugeinsatz im Land Brandenburg zur Bekämpfung von Forstschadinsekten

### Teil I - Überwachungsverfahren und Prognose

#### Forstschadinsekten in Brandenburg - Gefährdungseinschätzung

Die ausgedehnten, oft gering strukturierten Kiefernwälder des nordostdeutschen Tieflandes weisen sowohl im geschichtlichen Rückblick als auch in der Gegenwart eine deutlich erhöhte Disposition gegenüber dem Massenaufreten nadelfressender Kiefern-schadinsekten auf. Die ungünstigen Baumarten- und Altersstrukturen sind sowohl historisch bedingt oder auch, insbesondere in Südbrandenburg, den extremen Standortverhältnissen geschuldet. Unter den Bedingungen überwiegend nährstoffschwacher und gering wasserversorgter Standorte sowie zunehmend kontinentaler Witterungseinflüsse kommt es in Brandenburg in regelmäßigen Zyklen zu Gradationen insbesondere von Kiefernspinner (*Dendrolimus pini*), Forleule (*Panolis flammea*), Nonne (*Lymantria monacha*), Kiefernspanner (*Bupalus piniaria*) und Kiefernbuschhornblattwespen (*Diprion spec.*) (Abb. 1-5).

Beispiel für einen Klimafolge-schädling ist der Wärme liebende Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*), der in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen hat, sowohl als Gesundheits- als auch Bestandesschädling (Abb. 6).

Um den Beginn einer Massenvermehrung rechtzeitig erkennen und irreversible Bestandesschäden zu minimieren, ist eine flächendeckende Überwachung der Populationsdichte der betreffenden Insektenarten zur Prognose von Populationstrends und Schadfolgen etabliert. Für eine flächige Bekämpfung von Bestandesschädlingen im Wald ist nur die Applikation der Insektizide mit dem Hubschrauber praktikabel.

#### Forstschadinsekten in Brandenburg - Risikomanagement

##### Grundlage des Risikomanagements

Die Überwachung mit dem Ziel der Prognose der zu erwartenden Schäden, um bei Massenvermehrungen rechtzeitig und gezielt Gegenmaßnahmen einleiten zu können, um Bestandesschäden zu verhindern, d. h. über Insektizideinsätze nach ökonomischen und ökologischen Kriterien zu entscheiden.

##### Grundlagen der Prognose

- Erfassung der **Schädlingdichten** mit standardisierten Verfahren und deren Realisierung auf der potenziell gefährdeten Fläche
- Vergleich mit artspezifischen, so genannten „**kritischen Dichten**“ zur Einschätzung der zu erwartenden Blatt- bzw. Nadelverluste
- **Bewertung der zu erwartenden Fraß- und Folgeschäden für den Waldbestand** (Abb. rechts)

##### Schadensschwelle im Waldschutz ist die Bestandesgefährdung, d. h. für die Kiefer z. B. die Prognose Kahlfraß.

Vergleich Insektizidapplikation und mit PSM behandelte Flächen in Brandenburgs Wäldern, bis zu starke Nadelverluste werden geduldet.

Folgt dem Kahlfraß (hier durch Kiefernspinner 2005) ungünstige Witterung (hier Dürresommer 2006) kann es zu Totalverlusten kommen (Einzelbäume erfasst im 20 x 50 m Raster)

#### Bsp. Überwachung der Kiefern-großschädlinge - Prognose - PSM-Planung bei Luftfahrzeugeinsatz

##### Bsp. Winterbodensuchen

Basis des stufigen Verfahrens

**Zielarten:**  
Im Boden überwinternde  
• Kiefernspinnerraupen  
• Kiefernspannerpuppen  
• Forleulenpuppen  
• Kiefernbuschhornblattwespenkokons

**Methode:**  
• 2.076 Standard-suchflächen  
• Zusatzsuchflächen bei Gefährdung

Erhöhung der Genauigkeit der Prognose und die Berücksichtigung der natürlichen Gegenspieler durch Untersuchung des Insektenmaterials im Labor des LFE (Geschlechterverhältnis, Puppengewichte, Mortalität, Parasitierung).

##### Fraßkartierung als Grundlage für die Anpassung der kritischen Zahlen

Terrestrische Kartierung der Nadelmasseverluste durch die Revierförster, seit 2013 Nutzung von nach Satellitenrasterdaten erstellten GIS-Layern zur Dokumentation der Belaubung (Rapid Eye).

##### Gefährdungsziffern als Maß für die Abwägung eines Insektizideinsatzes und die folgende Flächenabgrenzung

Die Gefährdungsziffer (GZ) berücksichtigt die kritische Zahl entsprechend Alter und Bonität des Waldbestandes für die Schädlingsart und die mit der Fraßkartierung ermittelten Nadelmassen (GZ 1=Prognose Kahlfraß). Alle GIS-dokumentierten Überwachungsdaten stehen den Oberförstereien für die PSM-Flächenplanung zur Verfügung. GIS verfügbar sind außerdem topographische Karten, Luftbilder, Schutzgebiete und Waldfunktionen.

##### Offizialberatung durch das Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)

Kontinuierliche Beratung und Anleitung der Forstdienststellen und damit aller Waldbesitzer („Aktuelle Waldschutzinformationen“)

- Empfehlung der Überwachungsverfahren
- Labordiagnosen
- Vor-Ort-Beratung
- Zentrale Datenauswertung und Prognosestellung
- Bereitstellung der GIS-Plattform für die PSM-Planung (Festlegung der Attribute)
- Plausibilitätsprüfung der PSM-Planungsflächen der Oberförstereien (Status 1) vor Übergabe an das LELF (Status 2)
- Ausgabe Flugkarten

**Fazit:** Für einen erfolgreichen Waldschutz ist das bewährte, jeweils an die aktuelle Gefährdungssituation angepasste Monitoringsystem unverzichtbare Grundlage. Umfangreiche Kenntnisse zu den Auswirkungen von Fraßschäden bzw. Insektizidapplikationen sowie die entsprechende Beratung der Förster und Waldbesitzer durch die Waldschutzspezialisten gewährleisten eine Abwägung der Insektizideinsätze sowohl nach ökonomischen als auch ökologischen Kriterien. Dabei dient der Schutz der Kiefernbestände nicht nur dem Erhalt aller Waldfunktionen, sondern ist auch Voraussetzung für den auf stabilere Bestände ausgerichteten Waldbau.





# Pilzinfektionen an Nadeln von Kiefer, Lärche, Douglasie und Fichte



Pilzliche Pathogene können an den Nadeln einheimischer und ausländischer Koniferen bedeutungsvolle Schäden verursachen. Bei intensivem Auftreten werden die photosynthetischen Leistungen der Bäume massiv reduziert. Schwerwiegende Beeinträchtigungen entstehen vor allem an Sämlingen und Jungpflanzen, bei denen es zu umfangreichen Absterbeprozessen kommen kann. Aus dem Befall resultierende Verfärbungen und Nekrosen führen zum Verlust der Schmuckreisigqualität. Bedingt durch die physiologische Schwächung der infizierten Bäume treten oft Folgeparasiten hinzu – besonders wurzelbürtige Pathogene, wie Hallimasch-Arten (*Armillaria mellea* s. l.). Sie können zum vorzeitigen Absterben der betroffenen Gehölze führen.

## Kiefern-Arten



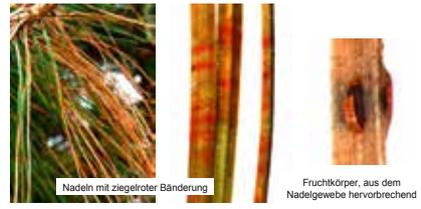
Kiefernshütte in einer jungen Kultur

**Kiefernshütte (*Lophodermium sedditiosum*)**  
 – im Nordostdeutschen Tiefland nach wie vor wichtigste Nadelkrankheit der jungen Kiefer (in Sämlingen, Pflanzungen und Naturverjüngungen sind Absterbeprozesse möglich), niederschlagsreiche Sommer und feuchte Standorte begünstigen Befall, Fungizideinsatz nur in Baumschulen, in Waldbeständen prophylaktische Maßnahmen (Meldung feuchter Lagen, kein Dichtstand, Begleitwachstregulierung), zudem existieren herkunftsbedingte Unterschiede in der Anfälligkeit



Acidien an Nadeln von *Pinus sylvestris*

**Kiefernadelrost (*Coleosporium tussockii*)**  
 – zählt zu den wirtswechselnden Rosspilzen, besonders an jüngeren Bäumen vorkommend; im Frühjahr orangefarbene Acidien, oft in großer Zahl (auffällige Erscheinung); in manchen Jahren sehr häufig (in Brandenburg zuletzt 2012), Dikaryophase auf verschiedenen krautigen Pflanzen, trotz entstehender Nadelverluste ist die wirtschaftliche Bedeutung meist gering



Nadeln mit ziegelroter Bänderung

Fruchtkörper, aus dem Nadelgewebe hervorstechend

**Dothistroma-Nadelbräune, Rotbrandkrankheit (*Dothistroma septosporum*)**  
 – weltweites Vorkommen, besonders auf der Südhälfte; wärmelebender, wirtschaftlich bedeutungsvoller Nadelparasit; kann mehr als 60 *Pinus*-Arten befallen, daneben eine Anzahl weiterer Koniferen; seit 2015 auch im nordostdeutschen Tiefland (hier bisher nur an ausländischen Kiefern, zuletzt noch nicht in Waldbeständen), meldungspflichtiger Schaderegner, Infektionsgefahr für heimische *Pinus* spp. (insbesondere Schwarzkiefer)

## Lärche und Douglasie



Symptome der Lärchenschütte an *Larix decidua*

**Lärchenschütte (*Mycosphaerella laricina*)**  
 – besonders an Europäischer Lärche; anhaltende Niederschläge, hohe Luftfeuchtigkeit, Dichtstand und Lichtmangel begünstigen die Infektion; befallene Bäume werden geschwächt (Zuwachseinbußen)



Intensives Auftreten der Rußigen Douglasienshütte

**Rußige Douglasienshütte (*Phaeocroptopus gaeumannii*)**  
 – befällt alle Douglasien-Varietäten bzw. Herkünfte mit nahezu gleicher Intensität, tritt in allen Altersklassen auf; Entwicklungsgang meist mehrjährig; hohe Luftfeuchtigkeit und Dichtstand begünstigen die Infektion, Auflichtung der Bestände reduziert den Befallsdruck



Fruchtkörper (Pseudothecien) auf der Nadelunterseite



Nadeln mit charakteristischen Infektionsflecken



Fruchtkörper (Hysterothecien)

**Rostige Douglasienshütte (*Rhabdocline pseudotsugae*)**  
 – befällt speziell die „Inlandsform“ der Douglasie (Varietät *glauca*), nicht die grüne „Küstendouglasie“ (Varietät *menziesii*); meist einjähriger Entwicklungsgang, hohe Luftfeuchtigkeit und Niederschläge stimulieren das Infektionsgeschehen; durch den Verzicht auf die anfällige Varietät *glauca* heute nur noch lokal von Bedeutung

## Fichte



Verfärbung und Absterben des jüngsten Nadeljahrgangs

**Fichtennadelrost (*Chrysomyxa abietis*)**  
 – vor allem an Stech-Fichte (*Picea pungens*), Infektion der jüngsten Nadeln, im Gegensatz zu anderen *Chrysomyxa*-Arten nicht wirtswechselnd; gebildet werden ausschließlich orangefarbene Teleutosporienlager (nadelunterseits), daran Basidien mit Basidiosporen, hohe Luftfeuchtigkeit begünstigt Infektion, umfangreiche Nadelverluste möglich; Schäden können in Baumschulen und Weihnachtsbaumplantagen wirtschaftlich bedeutungsvoll sein, dort gelegentlich prophylaktische Anwendung zugelassener Fungizide



Teleutosporienlager auf der Nadelunterseite



*Lirula macrospora* an *Picea abies*



Hysterothecien in reifem Zustand

**Fichtennadelritzenschorf (*Lirula macrospora*)**  
 – Befall an Gemeiner Fichte meist geringfügig, Infektion nur bei permanenter hoher Luftfeuchtigkeit und Dichtstand, auch an unterdrückten bzw. geschwächten Bäumen; bei anderen Fichten-Arten, wie *Picea pungens*, können die Schäden wirtschaftlich bedeutungsvoll sein (Minderung der Schmuckreisigqualität); auf der Nadelunterseite Bildung langgestreckter Fruchtkörper (Hysterothecien)



## Betrachtungen zu mikro- und makromorphologischen Eigenschaften von Sedimenten

Ausgangspunkt für den Ansatz bildet die Annahme, dass oberflächenwirksame und -abhängige Landschaftseigenschaften *natürliche Fraktale* bilden. Dies trifft besonders auf das Oberflächenrelief, aber auch die durch das Wasser (Grund- und Bodenwasser) gebildete Oberfläche zu. Das Phänomen der fraktalen Dimension des Oberflächenreliefs kann durch einen proportionalen Zusammenhang von Mikro- und Makrorelief beschrieben werden. Veränderungen des Maßstabs führen also zu ähnlichen geometrischen Abbildern.

Die also *Selbstähnlichkeit* wurde erstmals für künstliche Fraktale von KOCH (1904) beschrieben. Im landschaftlichen Kontext bezieht sie sich zum Einen auf die *Bodenart*, die als *Mikrorelief* der Körner aufgefasst wird und zum Anderen auf die *Landschaftsoberfläche (Makrorelief)*, das durch die Energie der geologischen Verhältnisse/Prozesse und das Klima geprägt wird. Dies sind im Norddeutschen Tiefland vorrangig das Vorrücken und Abschmelzen des Eises. Nachgeprägt wird das Relief durch Eis (Frostwechsel, Austauen) und durch Wasser und Wind (Erosion und Akkumulation).

Es existiert ein Zusammenhang von Relief- und Akkumulationsenergie, wonach „Berger“ durch sehr große „Körner“ (z.B. Blöcke in Endmoränenzügen) und Täler durch kleine „Körner“ (Auentone) gebildet werden. Gleichkörnige Areale bilden Plateaus. Steigt die Gleichkörnigkeit sinkt die Reliefierung, d.h. die fraktale Dimension wird geringer. Dabei bietet sich künftig ein Vergleich der Kornverteilungskurven und den hypsometrischen Kurven der betrachteten Ausschnitte an.

### 1. KORNGRÖSSEN DER MIKRO- UND MAKROSKALA

Fraktion	Unterfraktion	Kurzzeichen	Max./Min-Größe in mm
Grob-boden	Großblöcke (rund/kantig)	gO, gK	>630
	Blöcke (rund/kantig)	BO, BK	630-200
	Steine (rund/kantig)	St, SK	200-63
Fein-boden	Großkies-grus	gG, gGr	63-20
	Mittelkies-grus	mG, mGr	20-6,3
	Feinkies-grus	fG, fGr	6,3-2
Sand	Grobsand 1	gs1	2-1
	Grobsand 2	gs2	1-0,63
	Mittelsand	ms	0,63-0,2
Schluff	Feinsand	fs1	0,2-0,063
	Feinstand	fs2	0,125-0,063
Schluff	Grobschluff	gu	0,063-0,02
	Mittelschluff	mu	0,02-0,0063
Ton	Feinschluff	fu	0,0063-0,002
	Großton	gt	0,002-0,00063
Ton	Mittelton	mt	0,00063-0,0002
	Feinton	ft	<0,0002

Tab. 1: Korngrößenfraktionen des Fein- und Grobbodens nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5)

Dieser Zusammenhang soll quasi durch die Oberflächendetektion extrem unterschiedlich großer Landschaftsausschnitte (mm- und km-Bereich) untersucht werden. Die Oberflächenerfassung der Landschaft erfolgt derzeit mit Flugzeug gestützten Laserverfahren die hoch aufgelöste Digitale Geländemodelle (z.B. DGM2) liefern. Für die Bestimmung der Bodenart (Korngrößenverteilung) werden Schätzverfahren bzw. laborative Sieb-, Schläm- und Sedimentationsverfahren verwendet. Neuere Verfahren bedienen sich der Laserbeugung oder Bildverarbeitung. Die im folgenden Abschnitt beschriebene Methode versucht die Korngrößenbestimmung über eine Oberflächenerfassung der Probe.

### 2. OBERFLÄCHENMESSUNG VON SEDIMENTEN / BODENPROBEN

Für die Erfassung des Mikroreliefs von Sediment-/Bodenproben wurde ein mikroskopisches Streifenlichtverfahren eingesetzt, das eine horizontale und vertikale Auflösung im Submillimeter-Bereich erlaubt und ein 3D-Abbild der Oberfläche erzeugt. Für die Messung wird ein schräg einfallendes Streifenmuster auf die Oberfläche projiziert. Die Streifen werden durch die Höhenunterschiede verzerrt. Diese Verzerrungen werden gemessen. Mit diesem Verfahren wird versucht die ermittelten statistischen Parameter mit den Korngrößenanalysedaten, die mit konventionellen Verfahren (z.B. KÖHN nach GAFA, 2009) bestimmt wurden, in Beziehung zu setzen. Die Abbildungen 2 und 3 entstammen einem Prüfbericht der BAM (WEISE, 2012).

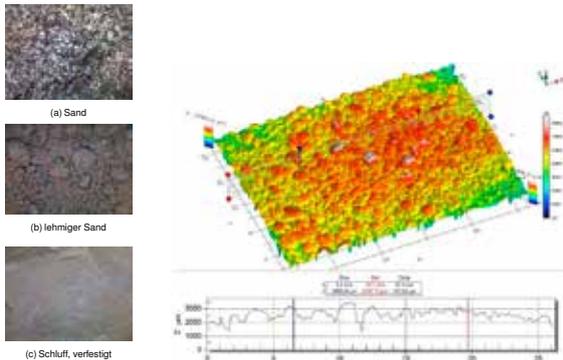


Abb. 1: Mikroskopische Aufnahmen von Bodenproben (L×B:12×6 mm)

Abb. 2: Prinzip der sensorischen Oberflächenerfassung von Bodenproben (L×B: 20×26 mm)

Kernpunkt bildet dabei die These, dass die Oberfläche, die durch die unterschiedlichen Korn- und Partikelgrößen gebildet wird, ein Maß für die Rauheit/Rauhigkeit ist. Ein abzuleitender Rauheitsindex bzw. bestimmte Rauheitskenngrößen (R<sub>1</sub> und R<sub>2</sub> nach DIN EN ISO 4287) sollen dabei die Bestimmung der Bodenart bzw. der Korngrößenverteilung erlauben.

### 3. MIKRORELIEF VON BODENPROBEN

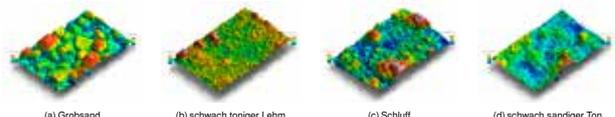


Abb. 3: 3D-Darstellung der Mikrooberfläche von Bodenproben

Die Abbildungen zeigen die erwarteten Unterschiede in der Ausbildung des Mikroreliefs. Parameter der deskriptiven Statistik (Minimum, Maximum, Median, Perzentile, Varianz, Standardabweichung, RMS (Root Mean Square), Schiefe, Kurtosis, Verteilungen etc.) und der Probengeographie/topographie werden zur Charakterisierung herangezogen und bilden den Fingerabdruck der Oberfläche der Probe und damit der Bodenart. Für die Aufstellung einer Rangfolge des Dreikorn-Gemisches (Sand-Schluff-Ton) der Feinbodenart sind die Parameter Steigung SG und Gleichförmigkeit (-körnigkeit) GF, die wie folgt berechnet werden, geeignet (s. Block 5).

### 4. HÖHENWERTEVERTEILUNG DER BODENPROBEN

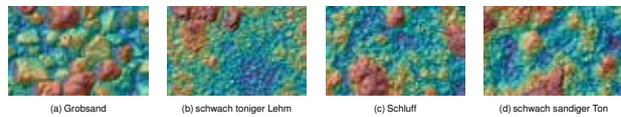


Abb. 4: Mikrooberfläche von Bodenproben (Ausschnitt L×B: 5×3 mm)

Die folgenden Verteilung der Höhenwertedifferenzen der Bodenproben belegen zunächst keinen eindeutigen Zusammenhang zur konventionell bestimmten Bodenart. Gründe hierfür liegen evtl. in den Unterschieden der Verfahren und der Aufbereitungsarten (getrocknet, gestreut) der Proben.

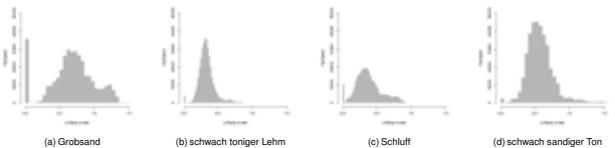


Abb. 5: Häufigkeitsverteilungen der Höhenwerte (Differenzen) der Mikrooberflächen aus Abb. 4

### 5. WEITERE PARAMETER ZUR CHARAKTERISIERUNG DER BODENART

Neben der Höhenwerteverteilung werden zur Charakterisierung der Bodenart die Parameter Steigung SG und Gleichförmigkeit GF herangezogen. Betrachtet werden zunächst nur die Hauptfraktionen. Hohe Steigungswerte zeigen einen hohen Anteil an Sand an, niedrige (negative) einen hohen Tonanteil.

$$SG = \frac{\sum(KF_G - KF_G)(KF_A - KF_A)}{\sum(KF_G - KF_G)^2}$$

mit: KF<sub>G</sub>, KF<sub>A</sub> - Größe, Anteil der Kornfraktion

$$GF = \sqrt{(KF_{AT})^2 + (KF_{AS})^2 + (KF_{AS})^2}$$

mit: KF<sub>AT</sub>, KF<sub>AS</sub>, KF<sub>AS</sub> - Kornfraktionenanteil Ton, Schluff, Sand

Hohe Werte in der Gleichförmigkeit repräsentieren reine Bodenarten (s. Tab. 2). Bezogen auf das Oberflächenrelief bedeuten „enge, spitze“ Verteilungen ebene Oberflächen. „Weite, flache“ Verteilungen stellen stark reliefierte Oberflächen dar.

Lfd.-Nr.	Bodenart	S <sub>100</sub>	U <sub>100</sub>	T <sub>100</sub>	SG <sub>r</sub>	SG	GF <sub>r</sub>	GF
1	T <sub>1,unord</sub>	0	0	100	1	-59	33	100,00
2	T <sub>1</sub>	17,5	17,5	82,5	2	-32,5	30	86,13
3	Tu2	22,5	42,5	55	3	-21,25	19	70,62
4	T <sub>1</sub>	22,5	22,5	55	4	-16,25	8	63,54
5	Tu3	40	57,5	37,5	5	-13,75	16	66,37
6	Tu4	5	70	30	6	-8,75	23	78,32
7	Lt3	20	40	40	7	-10	4	60,00
8	Lt2	37,5	7,5	55	8	-6,75	13	65,99
9	Lt4	9	74	23	9	-6	24	77,45
10	Lt1	19	67,5	23,5	10	-2,25	10	64,96
11	Lt3	11,5	76,5	14,5	11	-1,5	26	78,71
12	Lt2	30	40	30	12	0	2	58,91
13	Lt1,unord	0	100	0	12	0	33	100,00
14	Lt1,unord	23,3	33,3	33,3	13	0	1	57,69
15	Lt2	13,5	78,5	10	13	1,75	27	80,28
16	Lt1	10	60	4	14	3	21	69,64
17	Lt1	42,5	22,5	35	15	3,75	3	58,48
18	Lt3	62,5	7,5	40	16	6,25	12	66,43
19	Lt2	34	45	21	17	6,5	6	60,18
20	Lt1	30	57,5	12,5	18	6,75	19	66,05
21	Lt3	44	35	21	19	11,5	5	60,02
22	Lt1	31	65	4	20	13,5	21	75,15
23	Slt1	42,5	45	12,5	21	13,5	15	77,15
24	Ts4	62,5	7,5	30	22	16,25	17	69,73
25	Ls4	58,5	22,5	21	23	17,75	9	64,34
26	Slt4	60,5	25	14,5	24	23	14	67,05
27	Slt4	31	45	4	25	23,5	15	69,13
28	Slt3	71,5	7,5	21	26	25,25	22	74,90
29	Slt2	65	25	10	27	23,5	18	70,96
30	Slt3	63,5	32,5	4	28	29,75	20	71,45
31	Slt2	76	17,5	6,5	29	34,75	25	78,26
32	Slt2	84	5	11	30	36,5	29	84,86
33	Slt2	89	5,5	2,5	31	38,75	28	81,93
34	Slt1	92,5	5	2,5	32	40,25	32	92,67
35	Slt1,unord	100	0	0	33	50	33	100,00

Tab. 2: Ermittlung des Rangs der Bodenarten nach Steigung und Gleichförmigkeit

(Hier: sortiert nach Rang der Steigung, Tabelle pakörig; S<sub>100</sub>, U<sub>100</sub>, T<sub>100</sub> - Mittelwert Sperrig; Sand, Schluff, Ton; S<sub>100</sub>-Rang bei Steigung; S<sub>100</sub>-Rang nach Umkehrtempo; GF - Rang nach Gleichförmigkeit)



## Betrachtungen zu mikro- und makromorphologischen Eigenschaften von Sedimenten (Fortsetzung)

Fraktale werden als gebrochene Dimension aufgefasst. Demnach bestehen zwischen den geometrischen Primitiven (Punkt: 0-dimensional, Linie: 1-dimensional, Fläche: 2-dimensional, Körper: 3-dimensional) hinsichtlich der Dimensionalität Übergänge bzw. keine ganzzahligen Verhältnisse. Besonders deutlich wird dies z.B. bei einem Fluss, der zunächst sehr geradlinig ist, eine Linie darstellt, und dann sehr stark mäandriert und eine große Fläche einnimmt, also sich der 2. Dimension nähert (vgl. LANG & BLASCHKE, 2007). Im vertikalen Schnitt besitzt ein Auenbereich, der meist aus Tonen gebildet wird, eine fraktale Dimension nahe 1, während Endmoränenzüge, die einen sehr heterogenen Substrataufbau zeigen und eine starke Reliefierung aufweisen, eine fraktale Dimension nahe 2. Mit einem Vergleich des sehr kleinen und sehr großen Maßstabes soll auch der stoffliche und strukturelle Zusammenhang von Sedimenten charakterisiert werden. Dabei spielt die Maßstabtransformation dahingehend eine wichtige Rolle, dass Objekte mit höhergradigen fraktalen Dimensionen eine stärkere Auswirkung erfahren als Objekte mit niedrigeren fraktalen Dimensionen (vgl. LANG & BLASCHKE, 2007). Die Auswertung wird sich nicht nur auf Ausschnitte geologischer Einheiten beziehen, sondern auf die konkret abgegrenzte Fläche. Dabei ist zu analysieren, ob mit Hilfe der fraktalen Geometrie das Mikrorelief über das Makrorelief abgeleitet werden kann bzw. Transformationsfunktionen gefunden werden können. Maßstabtransformationen unter Berücksichtigung der fraktalen Dimension sind auch im Hinblick auf Betrachtungen zu Stoffkonzentrationen, -bilanzen und -flüssen auf Ökosystemebene von Bedeutung und sind ggf. geeignet diese skalierbar auszuweisen.

### 6. MAKRORELIEF DER LANDSCHAFT

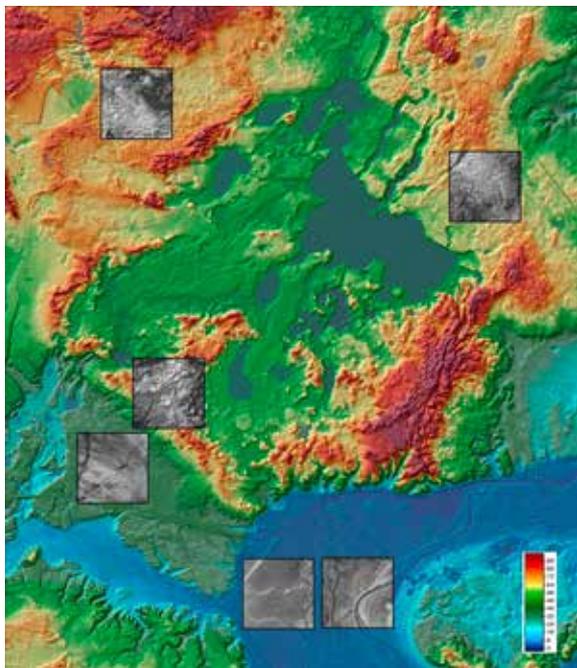


Abb. 6: Landschaftsausschnitt (DGM2) der Region Uckermark / Barnim mit 2x2 km großen Ausschnitten einer Grundmoräne (oben), einer Endmoräne, eines Urstromtalbereiches (Mitte) und eines Auenbereiches (unten); Gesamtausschnitt L x B: ca. 19 x 15 km

### 7. LANDSCHAFTSAUSSCHNITTE

Die folgenden Abbildungen sollen zunächst nur die Ähnlichkeit zu den Oberflächenstrukturen aus Abb. 3 bzw. 4 verdeutlichen. Die Endmoräne verkörpert dominant große Korngrößen, die Flussauenbereiche geringe Korngrößen. Dies widerspiegelt sich auf der Landschaftsebene in korrespondierenden Höhen resp. Höhenverteilungen (vgl. Abb. 6).

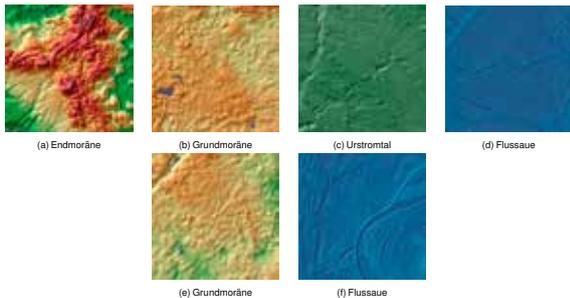
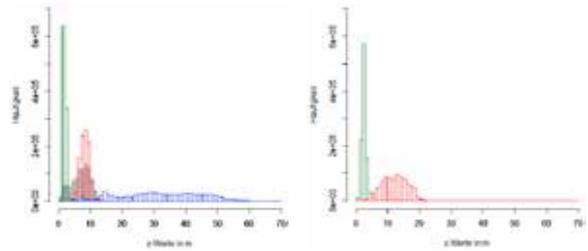


Abb. 7: Makrooberfläche geomorphologischer Einheiten (DGM2, L x B: 2x2 km)

### 8. HÖHENWERTEVERTEILUNG DER LANDSCHAFTSAUSSCHNITTE



(a) nach Abb. 7 e-d (blau: Endmoräne, rot: Grundmoräne, grau: Urstromtal/Auen; grün: Auentone) (b) nach Abb. 7 e-f (grün: Auentone, rot: Grundmoräne)

Abb. 8: Häufigkeitsverteilungen der Höhenwerte (Differenzen) aus Abbildung 7

### 9. FRAKTALE DIMENSION

In Analogie zur Korngrößenverteilung im Millimeter- und Submillimeterbereich existiert eine selbstähnliche Korngrößenverteilung im Meter- und Kilometerbereich.

Fraktale Dimension  $D_{REL} = \frac{\ln(OR)}{\ln(M)}$  mit: OR-Oberflächenrauigkeit, M-Maßstab

Objekte	Korngröße	Gleichförmigkeit	Steigung/Neigung/	Reliefenergie	geomorphologische Einheit
Blöcke, Steine	sehr groß	sehr gering	hoch	sehr groß	Endmoränen
Steine, Lehm	groß	gering	mittel	groß	kuppige Grundmoräne
Kies, sandiger Lehm	mittel	mittel-hoch	gering	mittel	Grundmoräne, Sander
Sande	gering	hoch	sehr gering	gering	Tal-, Flussande
Tone	sehr gering	hoch	extrem gering	sehr gering	Auentone

Tab. 3: Mikro- und Makrorelief wirksame Objekte

### 10. AUSBLICK

Die Gegenüberstellung macht deutlich, dass die Bodenart in der verwendeten Dimension für die Beschreibung des Charakters der Landschaft kaum ausreichend ist. Die Korngrößenzusammensetzung (einschließlich der Steine und Kiese, die einen stark relief- und landschaftsprägenden Charakter besitzen) ist abhängig vom betrachteten Ausschnitt und repräsentiert immer eine mittlere Korngröße. Deshalb ist es zweckmäßig die Korngrößenverteilung stärker im landschaftlichen Kontext zu betrachten. Diese kann in Abhängigkeit vom betrachteten Ausschnitt angegeben werden und integriert damit über die betrachtete Fläche. Die Substratsystematik der KA5 ist hier geeignet Reliefereigenschaften der Landschaft zu charakterisieren, da sie geogenetische und bodenartige Differenzierungen erlaubt.

### 11. QUELLEN

- AG BODENKUNDE (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). - 5. Aufl., 438 S., Hannover.
- DIN EN ISO 4287 (2010): Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren - Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit (ISO 4287:1997 + Cor 1:1998 + Cor 2:2005 + Amd 1:2009); Deutsche Fassung EN ISO 4287:1998 + AC:2008 + A1:2009.
- GAFÄ (2005): Gutachterausschuss Forstliche Analytik (Hrsg.): Handbuch Forstliche Analytik (HFA)-Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMELV), Bonn.
- KOCH, H. (1904): Une courbe continue sans tangente, obtenue par une construction géométrique élémentaire. Arkiv för Matematik 1, 681-704.
- LANG, S. & BLASCHKE, TH. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. Ulmer-Verlag.
- LGB BRANDENBURG (2012): Digitales Geländemodell DGM2
- WEISE, M. (2012): Prüferbericht zur Streifenlichtprojektion - Messung der Oberflächentopographie und flächenhafte Bewertung der Rauheit. Im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg. BAM-Az. 6.7-3920/12, Bundesanstalt für Materialprüfung und -forschung (BAM) Berlin, unveröffentlicht.



## 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 (BW12) – 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 Plagefenn. 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.

Hohenlübichow: Naturgemäße Waldwirtschaft zwischen Verklärung und Realität– Natur- und Landschaftsschutz im Gebiet um Bellinchen/Bielinek und Hohenlübichow/Lu- biechów Górný. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 37.

HEINSDORF, D.; KRAUSS, H.H.: Herleitung von Trockenmassen und Nährstoffspeicherungen in Buchenbeständen. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 38.

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 Band 61.





**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](mailto:lfe@lfb.brandenburg.de)  
Internet: [www.forst.brandenburg.de](http://www.forst.brandenburg.de)

**WALDWIRTSCHAFT  
ABER NATÜRLICH**