Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

KlimLandRP

Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz

Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald in Rheinland-Pfalz

Schlussbericht Modul Wald

Teilbericht Waldschutz & Klimawandel

Laufzeit:	01.04.2008-30.09.2011 (3,5 Jahre)
Berichtszeitraum:	August 2008 - September 2011
Homepage:	www.klimlandrp.de

Projektpartner:

Universität Trier

Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz

Johannes Gutenberg Universität Mainz

Landesforsten Rheinland-Pfalz

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Uni Freiburg

P I K

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht

RLP AgroScience

Autorenverzeichnis

Modul Wald Teilbericht Waldschutz und Klimawandel

Dr. Horst Delb

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Waldschutz
Wonnhaldestraße 4, 79100 Freiburg
E-mail: horst.delb@forst.bwl.de
Telefon: +49 (0) 761-4018-222
Fax: +49 (0) 761-4018-333

Zitierhinweis:

DELB, H. (2013): Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald in Rheinland-Pfalz. Teilbericht Waldschutz und Klimawandel – RHEINLAND-PFALZ KOMPETENZZENTRUM FÜR KLIMAWANDELFOLGEN [HRSG.]: Schlussberichte des Landesprojekts Klima- und Landschaftswandel in Rheinland-Pfalz (KlimLandRP), Teil 4, Modul Wald: 59 S.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 7
1.1 Allgemein ... 7
1.2 Klimatische Größen und extreme Wetterereignisse aus der Retrospektive ... 8
2 Material und Methode der Schädlingserfassung von 1959 bis 2011 ... 11
3 Ergebnisse und Diskussion ... 14
3.1 Schadorganismen an Nadelholz ... 14
3.1.1 Fichte und Borkenkäfer ... 14
3.1.2 Kiefer ... 21
3.1.3 Gefahren für die Douglasie ... 25
3.2 Schadorganismen an Laubholz ... 31
3.2.1 Eiche ... 31
3.2.2 Buche ... 40
3.3 Weitere Schadorganismen ... 41
3.3.1 Waldmaikäfer ... 41
3.3.2 Eschentriebsterben ... 42
3.4 Quarantäne Schadorganismen ... 42
4 Schlussfolgerungen ... 45
4.1 Bewertung der Retrospektive ... 45
4.2 Szenarien der prospektiven Schädlingsentwicklung ... 46
4.3 Erste Handlungsmöglichkeiten ... 49
5 Zusammenfassung ... 51
6 Literaturverzeichnis ... 52

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Relative Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) in der Vegetationszeit (Mai bis Sept.) 1876 bis 2011 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 an den DWD Messstationen Karlsruhe (bis Okt. 2008) und Rheinstetten (ab Nov. 2008) in der Oberrheinebene (von 1944 und 1945 liegen nur unvollständige Werte vor); die von 1876 bis 2008 bestehende Zeitreihe der Station Karlsruhe kann mit den Daten aus Rheinstetten fortgesetzt werden, da die von 1994 bis 2007 zeitgleich gemessenen Monatswerte der beiden 7,5 km auseinander liegenden Messstationen auf nahezu gleicher Höhenlage sehr eng miteinander korreliert sind (Temperaturwerte: R2 = 0,99 und Niederschlagswerte R2 = 0,98 Niederschlag) 9

Abb. 2: Anteile der Baumartengruppen an den durch Insekten verursachten Schadhölzern in Rheinland-Pfalz von 1996 bis 2011 14

Abb. 3:..... Durch Insekten verursachte Schadholzmenge (in Tausend Festmeter) über alle Baumarten im Staats- und Körperschaftswald Rheinland-Pfalz von 1989 bis 2011; der Fichtenanteil liegt aufgrund von Borkenkäferbefall in der Summe von 1996 bis 2011 bei rund 96% (Quelle: Landesforsten Rheinland-Pfalz: Jahresberichte der Landesforstverwaltung 1989 bis 1994; Meldungen des Ministeriums für Umwelt und Forsten an die FVA Baden-Württemberg 1995 bis 1997; Meldungen an das Statistische Bundesamt 1998 bis 2011); die Zeitpunkte der Störungen durch Orkane (Tab. 1) und Dürren sind jeweils mit Linien markiert.....16

Abb. 4: Relative Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) im Juni und Juli von 1951 bis 2011 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 am Beispiel der DWD Messstation Deuselbach im Hunsrück, eine Region mit hohen Fichtenanteilen 17

Abb. 5: Entwicklung der befallenen Flächen (Hektar) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III 19

Abb. 6: Abweichung der Tagesgradsummen (degree days sum = DDS) von April bis Oktober vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 für Deuselbach im Hunsrück, eine Region mit hohen Fichtenanteilen; hier werden die Tagesgrade artunspezifisch betrachtet, weshalb der Schwellenwert bei 0°C liegt (die Tagesgrade wurden über die Triangulationsmethode mit den Tagesminima und -maxima ermittelt, UC IPM 2012) 21

Abb. 7: Entwicklung der von Kiefern-Großschädlingen: Kiefernspinner, Forleule, Kiefernspanner und Kiefernschwärmer (*Dendrolimus pini, Panolis flammea, Bupalus piniarius, Sphinx pinastri*) befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III 22

Abb. 8: Entwicklung der von Kiefern-Blattwespen (*Diprion* spec.) befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in

Kap. 2 beschriebenen und unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III 23

Abb. 9: Entwicklung der von der Douglasienschütte befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III 30

Abb. 10: Entwicklung der vom Frostspanner und Eichenwickler befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III; die Ordinatenachsen der beiden Abbildungen sind unterschiedlich skaliert 33

Abb. 11: Von den Forstämtern (Rheinland-Pfalz) und Unteren Forstbehörden (Baden-Württemberg) gemeldete Vorkommen des Eichenprozessionsspinners mit bedeutenden Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen in den Wäldern Südwestdeutschlands von 2006 bis 2011 35

Abb. 12: Ergebnis der landesweiten Überprüfung geschädigter Eichenbestände auf Eichenprachtkäferbefall, Rheinland-Pfalz 1999 bis 2001; Befallsintensität: 0 = ohne Befall; 1 = schwach ausgeprägte Symptome; 2 = deutlicher Befall; 3 = starker Befall, 4 = sehr starker Befall 38

Abb. 13: Entwicklung der vom (a) Eichenprachtkäfer befallenen Flächen (ha) im Vergleich zu den (b) Schwammspinner-, (c) Frostspanner/Eichenwickler- und (d) Eichenprozessionsspinner- Befallsflächen anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die Ordinatenachsen der Abbildungen sind unterschiedlich skaliert 39

Abb. 14: Entwicklung des Schwärmbeginns des Waldmaikäfers (●) und des Feldmaikäfers (○) in der Oberrheinebene 42

Abb. 15: Durchschnittstemperaturen im Juli und August von 1876 bis 2011 am Beispiel der DWD Messstationen Karlsruhe (bis Oktober 2008) und Rheinstetten (ab November 2008) in der Oberrheinebene 44

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Relative Anteile zu warmer und zu trockener Jahre in der Vegetationszeit (Summe der Temperaturen und Niederschläge von Mai bis September) im Vergleich zum langjährigen Mittel 1971 bis 2000 in den Perioden von 1876 bis 1987 (112 Jahre) und 1988 bis 2011 (24 Jahre) an den DWD Messstationen Karlsruhe (bis Oktober 2008) und Rheinstetten (ab November 2008) in der Oberrheinebene (von 1944 und 1945 liegen nur unvollständige Werte vor); die von 1876 bis 2008 bestehende Zeitreihe der Station Karlsruhe kann mit den Daten aus Rheinstetten fortgesetzt werden, da die von 1994 bis 2007 zeitgleich gemessenen Monatswerte der beiden 7,5 km auseinander liegenden Messstationen auf nahezu gleicher Höhenlage sehr eng miteinander korreliert sind (Temperaturwerte: R2 = 0,99 und Niederschlagswerte R2 = 0,98 Niederschlag) 8

Tab. 2: Winterorkane in Rheinland-Pfalz mit landesweit oder regional bedeutenden Schäden im Wald (Landesforsten Rheinland-Pfalz 2011) 10

Tab. 3: Räumlicher Bezug der vorliegenden Schädlingsmeldungen und Veränderungen in der Anzahl der Forstämter von 1959-2011 13

Tab. 4: Relative Anteile zu warmer und zu feuchter Winter (Summe der Temperaturen und Niederschläge von Dezember bis März) im Vergleich zum langjährigen Mittel 1876 bis 2011 in den Perioden von 1876 bis 1985 (110 Jahre) und 1986 bis 2011 (25 Jahre) an den DWD Messstationen Karlsruhe (bis Oktober 2008) und Rheinstetten (ab November 2008) in der Oberrheinebene (von 1944 und 1945 liegen nur unvollständige Werte vor) 23

Tab. 5: An der Douglasie in Nordamerika, Neuseeland und Europa (NA = Nordamerika, NZ = Neuseeland, EU = Europa) vorkommende und in Zusammenhang mit Schäden häufig genannte Insekten; die Arten mit physiologischem Schadpotenzial im Bast oder an den Nadeln sind grau hervorgehoben (siehe Text) (*Dendroctonus pseudotsugae* = Douglas-fir beetle; *Orgyia pseudotsugata* = Douglas-fir tussock moth; *Choristoneura fumiferana* = Western Spruce budworm; *Dioryctria abietivorella* = Fir coneworm; *Leptoglossus occidentalis* = Western Conifer seed bug; *Megastigmus spermotrophus* = Douglas-fir seed chalcid wasp) 26

1 Einleitung

1.1 Allgemein

Im Zusammenhang mit den in vergleichsweise kurzer Zeit prognostizierten klimatischen Veränderungen (IPPC[1] 2007) können im Wald die Wechselbeziehungen zwischen Bäumen und ihren Gegenspielern in vielen Fällen erheblich verändert werden (Dale et al. 2001, Wulf 2008). In Bezug auf die klimatischen Bedingungen sind im Wesentlichen folgende Veränderungen zu erwarten:

- Anstieg der durchschnittlichen Jahrestemperaturen,
- Zunahme von Sommer- und Hitzetagen,
- längere Vegetationszeiten,
- spürbarer Anstieg der Niederschläge im Winter und geringer Rückgang im Sommer,
- häufigere Wetterextreme.

Insbesondere bei zunehmender Frühjahrs- und Sommertrockenheit werden die Abwehrmechanismen der Bäume geschwächt. Gleichzeitig finden bei einem Anstieg der Temperaturen Insekten, aber auch Pilze und andere Pathogene oft günstigere Entwicklungs- und Überlebensbedingungen vor. So kann es zu Veränderungen bei den Interaktionen zwischen Bäumen und ihren Gegenspielern kommen. Die Empfindlichkeit der Bäume gegenüber biotischen Schadfaktoren wird generell steigen. Zudem werden in Bezug auf die Schadorganismen Immigrationen aus wärmeren Regionen, Adaptionen zum Beispiel an bisher nicht betroffene Baumarten und Einschleppungen immer wahrscheinlicher.

Für das Auftreten von gravierenden Massenvermehrungen von Schadorganismen sind Wetterextreme wie Orkane, Hagelstürme und besonders Dürren in der Vegetationszeit von besonderer Bedeutung. Diese häufiger zu erwartenden Ereignisse lassen sich aber hinsichtlich des zeitlichen und räumlichen Auftretens kaum vorhersagen.

Ziel dieser Arbeit ist eine qualitative Bewertung der Gefährdung der Wälder durch biotische Schadorganismen im Klimawandel. Hierzu werden aus der Retrospektive gemessene klimatischen Größen und extreme Wetterereignisse in Bezug zur Schädlingsentwicklung in Rheinland-Pfalz gesetzt. Darauf aufbauend wird unter Einbeziehung aktueller Entwicklungen und

1 IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change

des heutigen Wissenstandes eine baumartenweise Einschätzung möglicher Risiken im Klimawandel gegeben. Die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen sollen Handlungsfelder und Anpassungsstrategien aufzeigen.

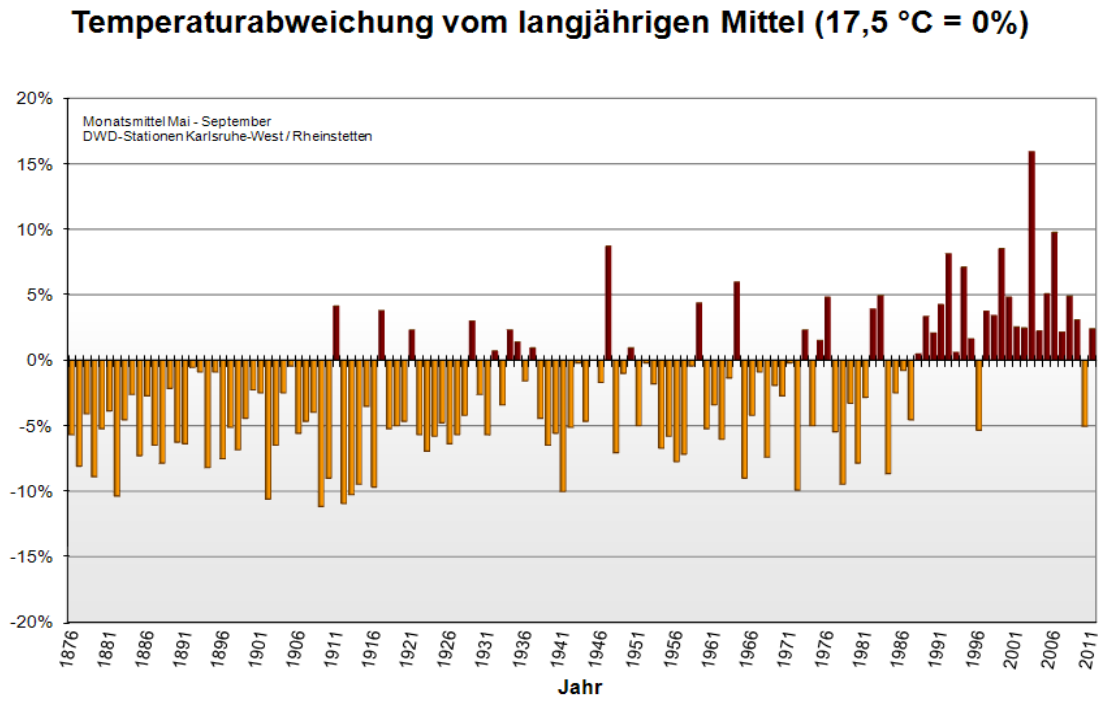
1.2 Klimatische Größen und extreme Wetterereignisse aus der Retrospektive

Im Hinblick auf die Temperaturabweichungen zum langjährigen Mittel in der Vegetationszeit (Mai bis September) ist in den letzten 136 Jahren (1876 bis 2011) am Beispiel der klimasensiblen Oberrheinebene besonders auffällig, dass seit 1988 mit zwei Ausnahmen in 1996 und 2010 nur noch zu warme Jahre gemessen wurden (Tab. 1, Abb. 1). Diese Feststellung korrespondiert mit weltweiten Beobachtungen, wonach die globale Erwärmung bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten stattfindet (UBA[2] 2011). Dabei ragt in diesem Zeitraum das extreme Dürrejahr 2003 mit seinem Wert deutlich aus allen anderen Jahren heraus. Die Niederschlagsabweichungen zeigen bezüglich der Defizite in den letzten Jahren ein weniger auffälliges Bild, wenn auch der Anteil zu trockener Jahre ebenfalls deutlich zugenommen hat. Mit Blick auf die Abwehrkräfte der Bäume und auf das Entwicklungspotenzial opponierenden Schaderreger ist die Kombination zu warmer und gleichzeitig zu trockener Vegetationszeiten besonders problematisch. Auch der Anteil derartig kritischer Jahre ist in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegen (Tab. 1).

Tab. 1: Relative Anteile zu warmer und zu trockener Jahre in der Vegetationszeit (Summe der Temperaturen und Niederschläge von Mai bis September) im Vergleich zum langjährigen Mittel 1971 bis 2000 in den Perioden von 1876 bis 1987 (112 Jahre) und 1988 bis 2011 (24 Jahre) an den DWD Messstationen Karlsruhe (bis Oktober 2008) und Rheinstetten (ab November 2008) in der Oberrheinebene (von 1944 und 1945 liegen nur unvollständige Werte vor); die von 1876 bis 2008 bestehende Zeitreihe der Station Karlsruhe kann mit den Daten aus Rheinstetten fortgesetzt werden, da die von 1994 bis 2007 zeitgleich gemessenen Monatswerte der beiden 7,5 km auseinander liegenden Messstationen auf nahezu gleicher Höhenlage sehr eng miteinander korreliert sind (Temperaturwerte: R2 = 0,99 und Niederschlagswerte R2 = 0,98 Niederschlag)

Zeitraum	zu warme Jahre	zu trockene Jahre	zu warm und gleichzeitig zu trocken
1876-1987	15%	39%	11%
1988-2011	88%	63%	54%

2 UBA = Umweltbundesamt



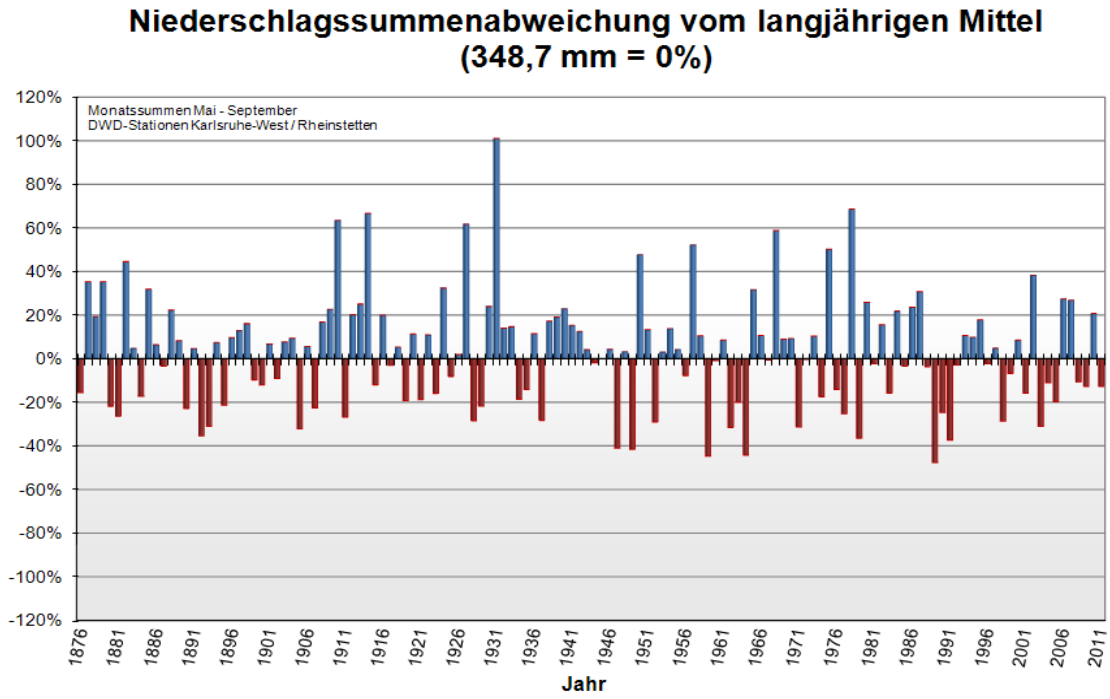


Abb. 1: Relative Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) in der Vegetationszeit (Mai bis Sept.) 1876 bis 2011 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 an den DWD Messstationen Karlsruhe (bis Okt. 2008) und Rheinstetten (ab Nov. 2008) in der Oberrheinebene (von 1944 und 1945 liegen nur unvollständige Werte vor); die von 1876 bis 2008 bestehende Zeitreihe der Station Karlsruhe kann mit den Daten aus Rheinstetten fortgesetzt werden, da die von 1994 bis 2007 zeitgleich gemessenen Monatswerte der beiden 7,5 km auseinander liegenden Messstationen auf nahezu gleicher Höhenlage sehr eng miteinander korreliert sind (Temperaturwerte: R2 = 0,99 und Niederschlagswerte R2 = 0,98 Niederschlag)

Bezug zu Kap. 3.2.1.1, Thema Schwammspinner: die eingezeichneten senkrechten Hilfslinien markieren den Zeitpunkt der im Bienwald dokumentierten Schwammspinner-Massenvermehrungen in den Jahren 1887/88, 1929 und 1993/94

In den letzten 22 Jahren sind in Rheinland-Pfalz nach winterlichen Orkanereignissen im Wald sehr häufig Sturmschäden entstanden (Tab. 2). Eine bundesweite Auswertung seit 1920 zeigt einen eindeutigen Anstieg der Häufigkeit der Sturmschäden und der angefallenen Holzmengen (Majunke et al. 2008). Dabei wurde festgestellt, dass von 1988 bis 2007 in zwanzig Jahren deutlich mehr Sturmholz angefallen ist, als insgesamt in den siebenundsechzig davor liegenden Jahren von 1920 bis 1987.

Tab. 2: Winterorkane in Rheinland-Pfalz mit landesweit oder regional bedeutenden Schäden im Wald (Landesforsten Rheinland-Pfalz 2011)

Name	Jahr	Datum	Sturmholzmenge	
Vivian, Wiebke	1990	25./26.2., 28.2./1.3.	12	Mio. Fm
Lothar	1999	26.12.	0,5	Mio. Fm
Kyrill	2007	18./19.01.	2	Mio. Fm
Emma	2008	29.02./01.03.	0,6	Mio. Fm
Xynthia	2010	27./28.02.	3,3	Mio. Fm

Neben diesen landesweit oder regional bedeutenden Winterorkanen (Tab. 2), die geworfene und gebrochene Bäume zur Folge haben, sind in den letzten Jahren gehäuft auch lokale Sommerstürme aufgetreten. Letztere sind oft gepaart mit erheblichen Hagelschäden an der Rinde, an den Trieben, an Nadeln und Blättern. Hervorzuheben sind diesbezüglich Ereignisse, die 2002 im Bienwald, in den Jahren 1999, 2008 und 2010 im Pfälzerwald, im Jahr 2010 in der Nordpfalz und im Jahr 2011 an der Mosel stattgefunden haben.

2 Material und Methode der Schädlingserfassung von 1959 bis 2011

Die seit 1959 im Aktenarchiv der FVA[3] vorliegenden jährlichen Schädlingsmeldungen der rheinland-pfälzischen Forstämter wurden gesichtet, aufgearbeitet und in einen gemeinsamen räumlichen Bezug gestellt. Dabei wurden zur Erstellung konsistenter Zeitreihen alle Daten den seit 2004 bestehenden gegenwärtigen Grenzen der Forstämter zugeordnet. Die Grenzen der Forstämter früherer Zeiten wurden aus Klimetzek (1972), MUF[4] (1994) und ZdF[5] (2004) entnommen. Sie schneiden oft die Grenzen nach heutiger Ausdehnung. Deshalb mussten diese Daten entsprechend der Flächenanteile den heutigen Forstämtern prozentual zugeteilt werden. Die Ermittlung der Anteile erfolgte mit Hilfe einer einfachen Planimetrierung in einem optischen Overlay-Verfahren über einem Leuchttisch. Anschließend erfolgte die Überführung in eine digitale Datenbank. Danach wurden die Daten auf ihre Plausibilität geprüft und ausgewertet.

Damit konnte das aus der Retrospektive ersichtliche Schädlingsgeschehen der letzten 52 Jahre mit gemessenen klimatischen Veränderungen in Verbindung gebracht werden, um daraus hinsichtlich der Klimaprognosen qualitative Rückschlüsse auf die weitere Schädlingsentwicklung in der Prospektive ziehen zu können.

Im Rahmen der Schädlingsmeldungen werden für jeden erfassten Schadorganismus im Wesentlichen folgende Angaben erfasst:

- Schadfläche in Hektar,
- Schadgrad.

Das Spektrum der in den Meldebögen abgefragten Schadorganismen änderte sich über die Jahre. Zudem wurden Schadorganismen im Laufe der Jahre auch zu Erregergruppen zusammengefasst. Darüber hinaus bestand jederzeit die Möglichkeit, nicht aufgeführte Schadorganismen in Textzeilen zu ergänzen. Wesentliche Veränderungen in den Meldebögen er-

3 FVA = Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

4 MUF = Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz

5 ZdF = Zentralstelle der Forstverwaltung Rheinland-Pfalz

folgten 1969 und 1995 etwa zeitgleich mit Organisationsreformen der Forstämter, die 2005 und 2009 nochmalig nachgebessert wurden.

Die Meldungen erfolgten im Zeitraum von 1959 bis 1968 mehrmals im Jahr. Seit 1969 werden sie einmal im Jahr mit Termin zum 01. November jeden Jahres abgegeben.

Die betrachteten Zeitreihen beginnen mit dem Jahr 1959 und enden mit den letzten Schädlingsmeldungen im Jahr 2011. Allerdings müssen die Erfassungszeiträume von 1959 bis 1968 (Erfassungszeitraum I), von 1969 bis 1977 (Erfassungszeitraum II) und von 1978 bis 2011 (Erfassungszeitraum III) grundsätzlich voneinander getrennt betrachtet werden.

Auf der einen Seite beziehen sich die Meldungen dieser Erfassungszeiträume auf unterschiedliche räumliche Einheiten und sind deshalb nicht direkt vergleichbar (Tab. 3). So liegen im Erfassungszeitraum I nur Meldungen der Forstämter aus dem Regierungsforstamt Neustadt an der Weinstraße im Regierungsbezirk Pfalz vor. Mit Bildung des Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz aus den Regierungsbezirken Pfalz und Rheinhessen kamen dann im Erfassungszeitraum II die Forstämter Alzey und Bingen hinzu. Erst seit 1978 erfolgen die Schädlingsmeldungen im Erfassungszeitraum III landesweit über ganz Rheinland-Pfalz.

Auf der anderen Seite sind die Zahlen des Erfassungszeitraumes I mit den Zahlen aus den Erfassungszeiträumen II und III auch aus methodischen Gründen nicht vergleichbar. Denn die von den jeweiligen Schadorganismen betroffenen Schadflächen wurden von 1959 bis 1968 lediglich in Klassen (Klasse I: bis 5 ha; Klasse II: über 5 bis 25 ha; Klasse III: über 25 ha) abgefragt, während seit 1969 die tatsächlich betroffene Fläche in ganzen Hektar eingeschätzt und gemeldet wird. Zur Darstellung der Ergebnisse im Zeitraum 1959 bis 1968 werden jeweils die oberen Klassenwerte und bei der Klasse III ein Wert von 50 ha unterstellt, damit die Entwicklung der Befallsflächen der Schadorganismen in Relation der Jahre zueinander deutlicher abgebildet wird.

Die Schadgrade eins bis vier werden wie folgt definiert: Schadgrad 1 („unbedeutender Befall“): sichtbares Auftreten eines Schädlings über dem Niveau des „eisernen Bestandes“, das aufgrund seiner geringen Intensität aber noch keine forstwirtschaftliche Relevanz besaß; Schadgrad 2 („wirtschaftlich fühlbare Schäden“): dies ist eingetreten, wenn der Waldbesitzer zum Abweichen vom geplanten Vorgehen gezwungen ist, oder besondere Maßnahmen erforderlich sind, wie z. B. Nachbessern, Auspflanzen von Bestandeslücken, vorzeitiger Einschlag nicht hiebsreifer Bäume oder Umsortieren von Holz; Schadgrad 3 („bestandesbedrohende Schäden“): das Betriebsziel der betroffenen Bestände kann nicht mehr erreicht werden, eine Auflösung der Bestände ist zu befürchten; Schadgrad 4 („alarmierender Neubefall“): dieser Schadgrad wurde vergeben, wenn im Laufe des Jahres ein beachtenswerter Befall aufgetreten ist, der zuvor nicht erkannt wurde (FVA 1995, schriftl. Mitt. Seemann 1996).

Tab. 3: Räumlicher Bezug der vorliegenden Schädlingsmeldungen und Veränderungen in der Anzahl der Forstämter von 1959-2011

Erfassungs-zeitraum	Räumlicher Bezug	Meldejahre	Anzahl Forstämter
I	Regierungsbezirk Pfalz - Regierungsforstamt Neustadt/Weinstraße	1959-1960	49
		1961	51
		1962-1967	49
		1968	48
II	Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz - Forstdirektion	1969	45
		1970-1971	44
		1972	42
		1973-1977	41
III	Gesamt Land Rheinland-Pfalz	1978-1995	106
		1996	94
		1997	92
		1998	90
		1999	89
		2000-2003	88
		2004-2011	45

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden die Schädlingsentwicklungen im Folgenden anhand der Schadflächen (Hektar) trotz unterschiedlicher räumlicher Bezugsgrößen und Methoden dennoch für den gesamten Zeitraum von 1959 bis 2011 in einer Abbildung dargestellt. Dabei sind die Grenzen der unterschiedlich zu betrachtenden Zeiträume jeweils mit senkrechten Linien in den Grafiken markiert. Die für die Interpretation wichtigen Abundanzschwankungen können so, auch wenn die Zeiträume absolut nicht miteinander vergleichbar sind, zumindest innerhalb der Erfassungszeiträume relativ zueinander betrachtet werden. Auf eine Unterscheidung der Schadgrade wird bei der Darstellung der Schädlingsentwicklungen verzichtet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Schadorganismen an Nadelholz

3.1.1 Fichte und Borkenkäfer

3.1.1.1 Retrospektive

Für die in Rheinland-Pfalz auf 22% der Waldfläche (Landesforsten Rheinland-Pfalz 2012) weit verbreiteten Fichtenwälder stellen rindenbrütende Borkenkäfer die größte Gefährdung dar. Dies gilt insbesondere nach Sturmschäden und in Zusammenhang mit Dürrejahren. Dabei spielt der **Buchdrucker** (*Ips typographus*) eine herausragende Rolle. Aber auch der **Kupferstecher** (*Pityogenes chalcographus*) ist unter diesen Rahmenbedingungen von besonderer Bedeutung.

Im Durchschnitt von 1996 bis 2011 hatte die Fichte mit 96% den weitaus größten Anteil an den jährlich aufgrund von Insektenbefall verbuchten Schadhölzer (Abb. 2). Dies verdeutlicht die besondere Empfindlichkeit und die besondere Gefährdung der Baumart Fichte gegenüber Schadorganismen, insbesondere gegenüber den genannten Käferarten.

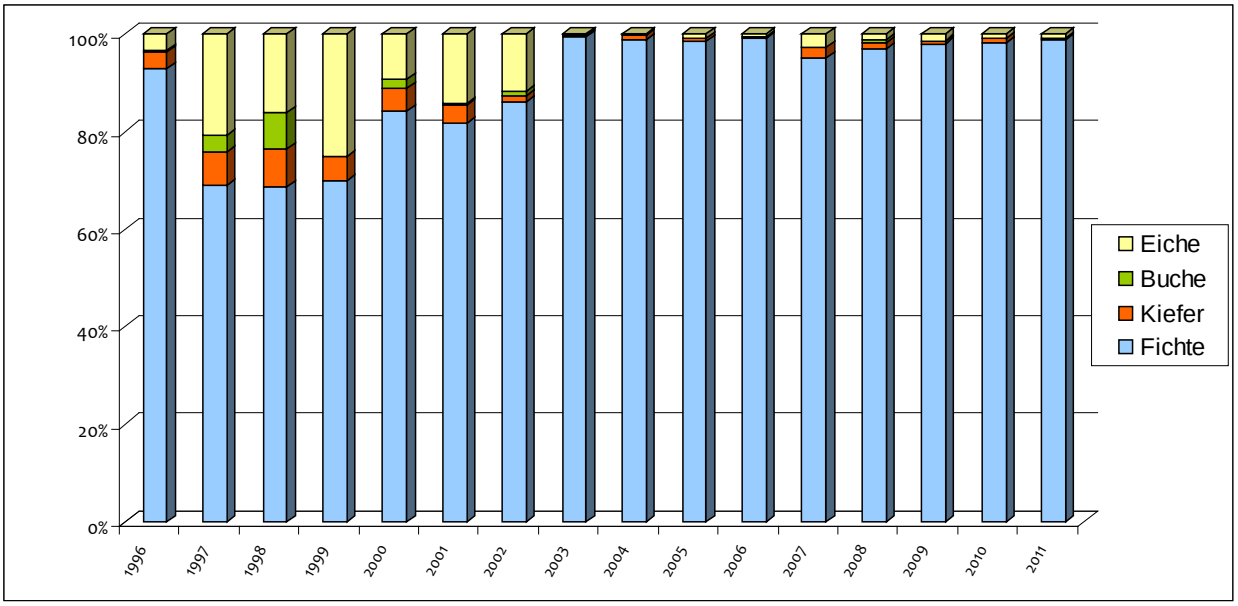


Abb. 2: Anteile der Baumartengruppen an den durch Insekten verursachten Schadhölzern in Rheinland-Pfalz von 1996 bis 2011

Aus Stürmen resultieren geworfene oder gebrochene Schadhölzer, die als ideales Brutmaterial in der ersten Vegetationszeit nach dem Schadereignis den Ausgangspunkt für Massenvermehrungen von Borkenkäfern bilden können. Nachdem der Brutraum in den Schadhölzern verbraucht worden ist, können aufgrund der dort entstandenen hohen Käfermengen in den danach folgenden Jahren auch umstehende, vitalere Fichten befallen und zum Brutgeschäft erfolgreich besiedelt werden. Dies hat in der Regel das Absterben der betroffenen stehenden Fichten zur Folge.

Ein wesentlicher Faktor für den Bruterfolg von Borkenkäfern an stehenden Fichten ist der Verlauf der Witterung während der Vegetationsperiode. Bei Betrachtung der zur Verfügung stehenden Wärmesummen wird deutlich, dass die Entwicklungsbedingungen für die Käfer bereits seit Ende der achtziger Jahre deutlich günstiger geworden sind (siehe Abb. 6a, Kap. 4.1.2). Bei trocken-warmen Verhältnissen vermindert sich zudem die Harzkraft der stehenden Fichten, so dass sie einem intensiven Käferbefall nur wenig entgegensetzen können (Lobinger 2002). Deshalb können extreme Trockenphasen gepaart mit hohen Temperaturen auch unabhängig von Sturmschäden ebenfalls einen wesentlichen Impuls zu gefährlichen Massenvermehrungen geben. Das zeitliche Aufeinandertreffen von Sturmschäden und Dürren kann sich verheerend auswirken.

Der Zusammenhang zwischen Sturmschäden, Dürrejahren und Käferholzanfall spiegelt sich in den letzten 23 Jahren in der Statistik des Holzeinschlages in Rheinland-Pfalz deutlich wider (Abb. 3). Dabei löst der Borkenkäfer nach Orkanereignissen zumeist erst in der übernächsten Vegetationsperiode nachdem das liegende Schadholz als Brutmaterial aufgebracht ist einen Schadholzeinschlag an stehenden Fichten aus. In Dürrejahren erfolgt dies erfahrungsgemäß bereits im gleichen Jahr. So sind die Schadholzmengen zum Beispiel im Zusammenhang mit den Orkanen „Vivian und Wiebke“ 1990 aufgrund Borkenkäferbefalls auch erst in den Jahren danach gravierend angestiegen. Demgegenüber hat die Dürre im Jahr 2003 bereits im gleichen Jahr, aber auch in den Jahren danach erhebliche Insekten bedingte Schadholzanfälle verursacht. Dies wurde im Sommer 2006 verursacht durch die trockene und heiße Sommerwitterung in den für die Borkenkäferentwicklung oft entscheidenden Monaten Juni und Juli deutlich verstärkt.

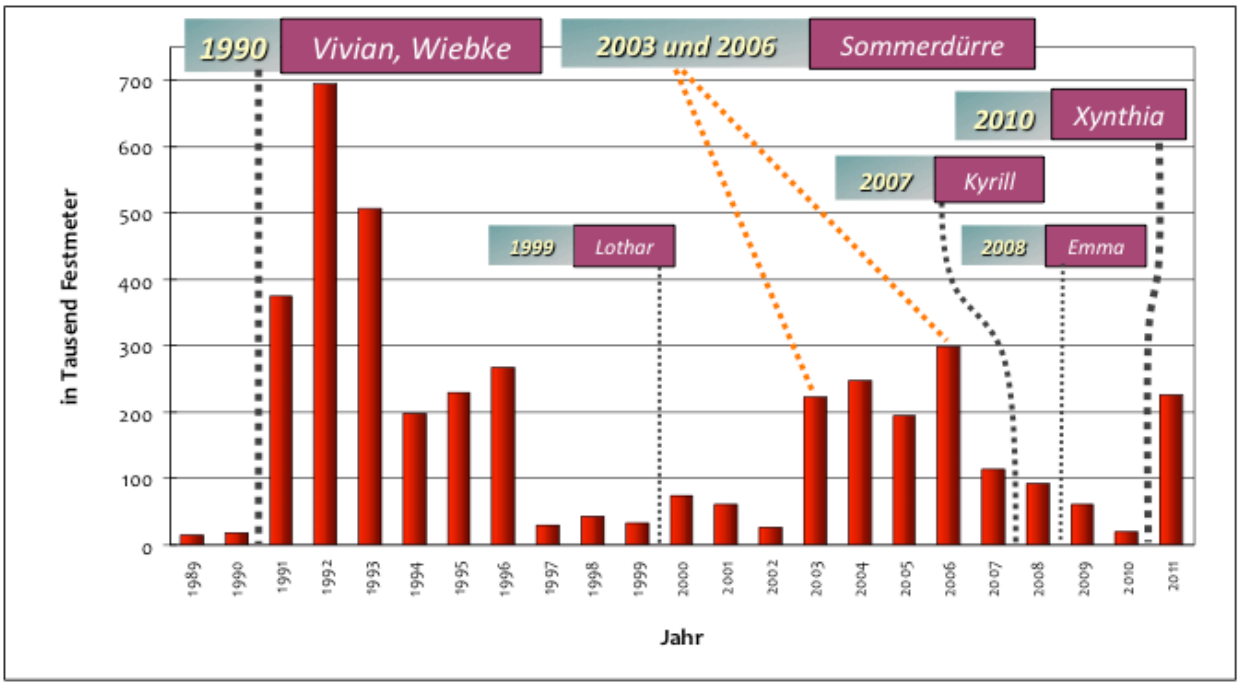


Abb. 3: Durch Insekten verursachte Schadholzmenge (in Tausend Festmeter) über alle Baumarten im Staats- und Körperschaftswald Rheinland-Pfalz von 1989 bis 2011; der Fichtenanteil liegt aufgrund von Borkenkäferbefall in der Summe von 1996 bis 2011 bei rund 96% (Quelle: Landesforsten Rheinland-Pfalz: Jahresberichte der Landesforstverwaltung 1989 bis 1994; Meldungen des Ministeriums für Umwelt und Forsten an die FVA Baden-Württemberg 1995 bis 1997; Meldungen an das Statistische Bundesamt 1998 bis 2011); die Zeitpunkte der Störungen durch Orkane (Tab. 1) und Dürren sind jeweils mit Linien markiert

Entgegen allen Befürchtungen ist nach den Stürmen „Kyrill“ 2007 und „Emma“ 2008 der in den Folgejahren erwartete hohe Käferholzanfall ausgeblieben. Dies kann hauptsächlich auf die in den Folgejahren vor allem 2007 und 2009 für das Baumwachstum vorteilhafte und für die Entwicklung der Käfer ungünstige, regenreichere Sommerwitterung zurückgeführt werden (Abb. 4).

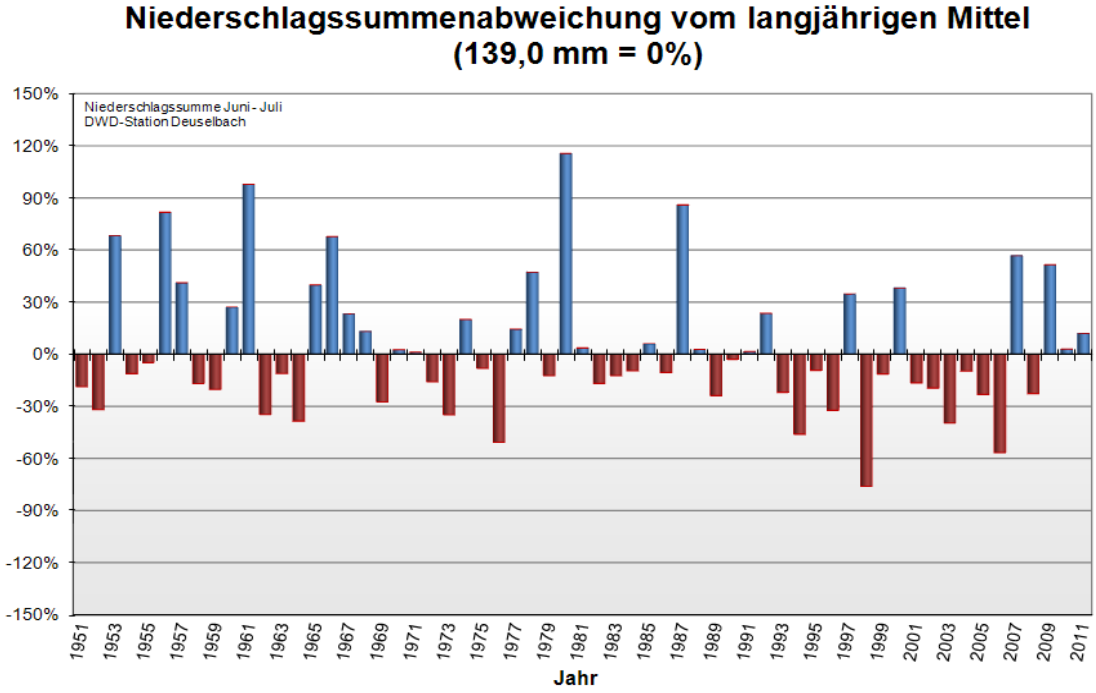


Abb. 4: Relative Temperatur- (oben) und Niederschlagsabweichung (unten) im Juni und Juli von 1951 bis 2011 vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 am Beispiel der DWD Messstation Deuselbach im Hunsrück, eine Region mit hohen Fichtenanteilen

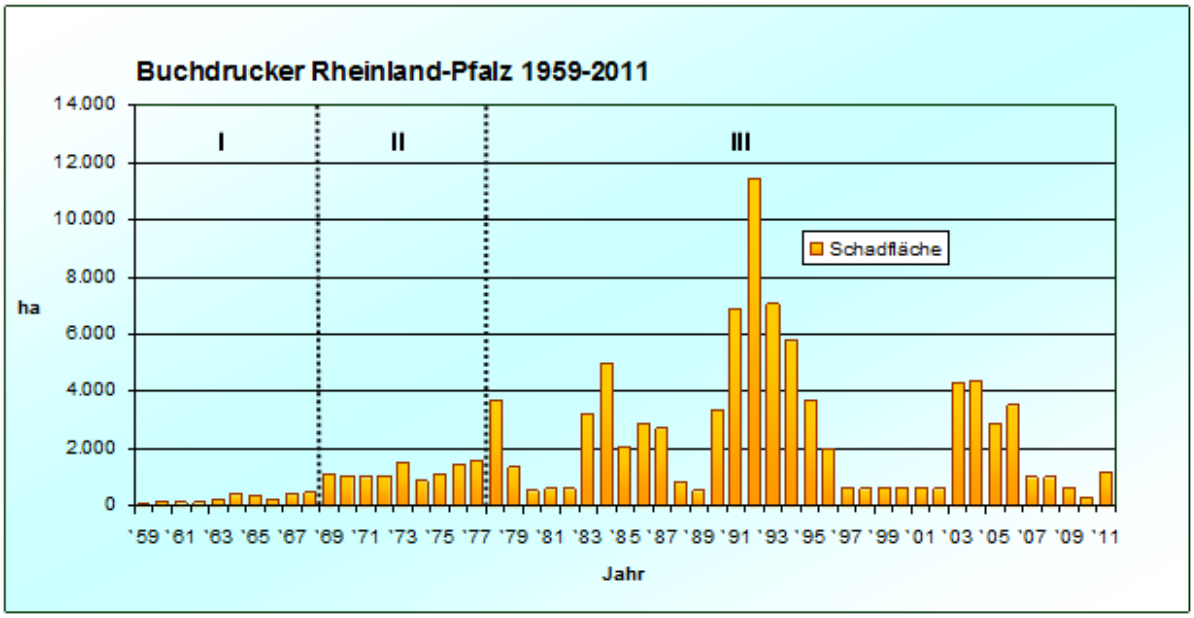
Die Wetterbedingungen von Ende Juni bis Ende Juli sind für die Entwicklung von Massenvermehrungen des Borkenkäfers von besonderer Bedeutung. Dabei spielt die Anlage von Geschwisterbruten in Abhängigkeit von der vorherrschenden Witterung für die Entstehung von Massenvermehrungen oft eine entscheidende Rolle (Postner 1974). Von einer Geschwisterbrut wird gesprochen, wenn nach Beendigung der Eiablage durch die Altkäfer dieselben noch einmal eine weitere Brut anlegen.

Daraus zeigt sich der entscheidende Einfluss der Witterung während der Vegetationszeit als ein wesentlicher Faktor für das Ausmaß der Borkenkäferschäden, auch wenn die konsequente Aufarbeitung und rasche Abfuhr des Sturm- und Käferholzes einen großen Teil zur Begrenzung der Schäden beigetragen kann. In den letzten Jahren haben der fließende Holzabsatz, die rationelle und schnelle mechanisierte Aufarbeitung und die Nutzung des Restholzes im Energieholzsektor in Bezug auf die Umsetzung einer „Borkenkäferstrategie“ grundsätzlich für günstige Rahmenbedingungen gesorgt. Dennoch konnte im Jahr nach dem Orkan „Xynthia“ 2010 auch mit der besonderen Aufmerksamkeit der Waldbesitzer und Forstleute aufgrund des vor allem im Frühjahr außergewöhnlich trocken-warmen Witterungsverlauf nicht verhindert werden, dass die Käferholzmengen 2011 gegenüber dem Vorjahr wieder erheblich angestiegen sind (Abb. 3).

Die Entwicklungen der von 1959 bis 2011 von Buchdrucker- und Kupferstecher in den rheinland-pfälzischen Forstämtern befallenen Schadflächen unterstreichen die bei den Käferholzmengen aufgezeigten Zusammenhänge (Abb. 5). Offensichtlich steht der in den Jahren 1978 und 1983/84 landesweit deutlich gestiegene Befall in Zusammenhang mit trocken-

warmen Perioden in den Vegetationsperioden 1976 und 1982/83 (Abb. 1 und 4). Allerdings waren im Gegensatz zu den Jahren 1982/83 im Dürrejahr 1976 und ein Jahr danach wider Erwarten kaum Veränderungen bei den Befallsflächen festzustellen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass in dem betroffenen Erfassungszeitraum II bis 1977 nur Meldungen aus Rheinhessen-Pfalz vorliegen, wo der Fichtenanteil im Vergleich zu den übrigen Landesteilen geringer ist. Damit ist der sprunghafte Anstieg von 1977 nach 1978 zu erklären, da erst seit 1978 landesweite Meldungen vorliegen (vgl. Kap. 3).

Im Jahr 1984 haben am 22. und 24. November orkanartige Stürme in allen Landesteilen insbesondere in Nadelholzbeständen in Einzel- und Flächenwürfen einen vergleichsweise hohen Schadholzanfall von etwa 2 Mio. Festmeter verursacht (MLWF[6] 1986). Trotz der ungünstigen Ausgangslage mit ausgedehnten Befallsflächen im Jahr 1984 hat sich dies entgegen der bekannten Zusammenhänge in den Jahren 1986 und 1987 aber nur in einem leichten Anstieg der Borkenkäfer-Schadflächen ausgewirkt. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass der Sturm noch vor dem Winter stattgefunden hat und deshalb bis zur nächsten Flugperiode des Borkenkäfers das Holz weitestgehend aufgearbeitet werden konnte. Bei Betrachtung einer höheren Auflösung (hier nicht dargestellt) scheinen sich im Regierungsbezirk Pfalz auch die trocken-warmen Jahre 1959 und 1964 auf die Entwicklung der Befallsflächen der Borkenkäfer ausgewirkt zu haben.



6 MLWF = Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten

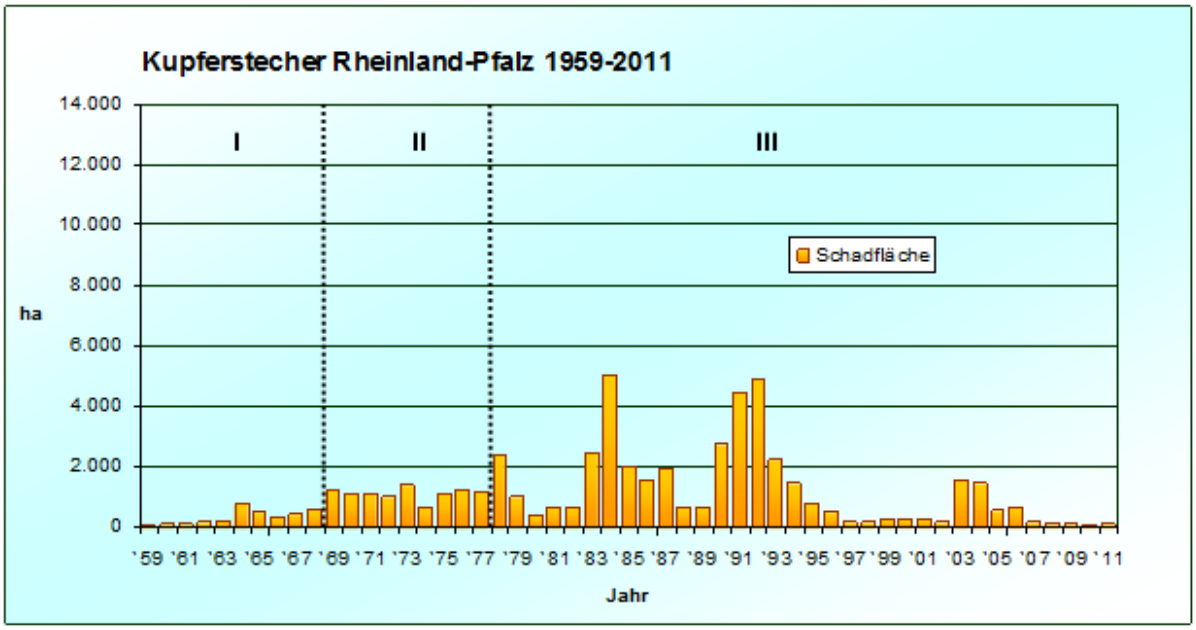


Abb. 5: Entwicklung der befallenen Flächen (Hektar) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III

a) Buchdrucker (*Ips typographus*)

b) Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*)

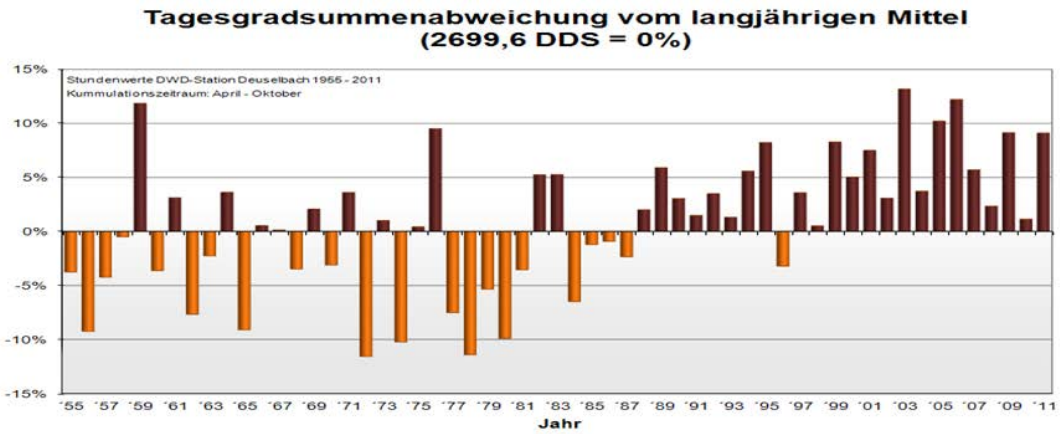
3.1.1.2 Prospektive

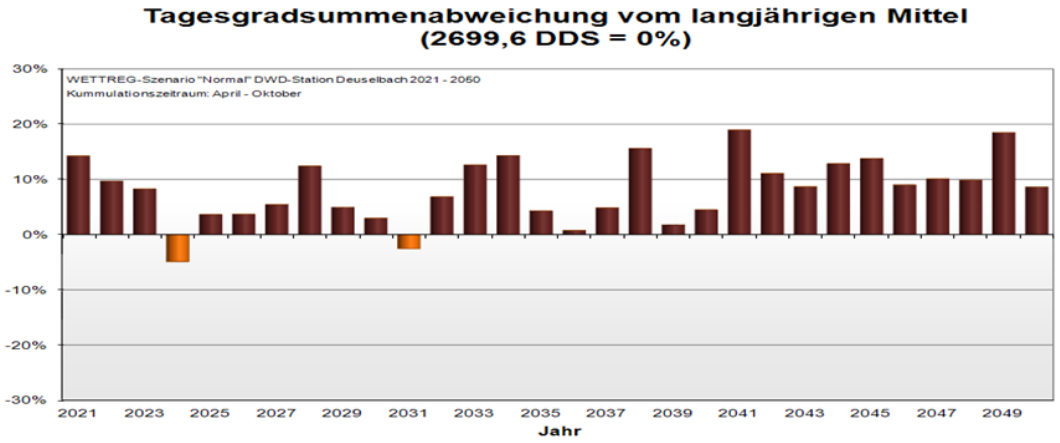
Das Wärmeangebot in der Vegetationszeit ist für die Entwicklungsgeschwindigkeit und somit für das Populationswachstum des Buchdruckers sehr bedeutend (Schopf 1997). Die Wärmesummen bestimmen insbesondere die Entwicklungsgeschwindigkeit vom Ei bis zum fertigen Käfer und damit im Zusammenspiel mit den Strahlungsbedingungen und Tageslängen (Photoperiode) auch die Anzahl der sich innerhalb eines Jahres entwickelnden Generationen.

Ausgehend von einem Entwicklungsnullpunkt (unterer Schwellenwert) und einer artspezifischen Maximaltemperatur (oberer Schwellenwert), ab der die Entwicklung zu stoppen beginnt, werden in modellhaften Betrachtungen anhand der gemessenen Temperaturen sogenannte Tagesgrade ermittelt und den Werten, die für das Zustandekommen einer Generation vom Beginn der Eiablage des Mutterkäfers bis zum Schlüpfen der Jungkäfer notwendig sind (Gradtage), gegenübergestellt (Baier et al. 2007). In der Arbeit von Baier et al. (2007) werden beispielsweise 557 Gradtage bei einem unteren Schwellenwert von 8,3°C und einem oberen Schwellenwert von 38,9°C genannt. Zur Ermittlung der Tagesgrade werden die stündlich gemessenen Temperaturen herangezogen (Stundengrade). Solange der Schwellenwert nicht überschritten wird, liegen die Stundengrade bei einem Wert von null. Beim Überschreiten des Schwellenwertes wird die Differenz zum Schwellenwert als Stundengrad ermittelt, solange die Maximaltemperatur nicht erreicht wird. Die Summe aller über einen Tag gemessene Stundengrade dividiert durch 24 Stunden ergibt die Tagesgrade.

Mit jeder weiteren Generation innerhalb eines Jahres potenziert sich die Anzahl der Käfer und somit die Gefährdung für die Fichten erheblich. Bei gleichzeitig ausbleibenden Niederschlägen wird zugleich die Abwehrkraft der Wirtsbäume erheblich geschwächt. Dieser Zusammenhang dürfte grundsätzlich für alle Rindenbrüter auch in Bezug auf andere Baumarten zutreffen.

Anhand der Klimaprognosen muss davon ausgegangen werden, dass sich die Tagesgrade während der Vegetationszeiten in Zukunft deutlich erhöhen werden (Abb. 6), ohne dass die Maximaltemperatur über längere Zeiträume erreicht oder sogar überschritten wird. Damit werden die Entwicklungsbedingungen für den Buchdrucker in Zukunft potenziell erheblich günstiger.





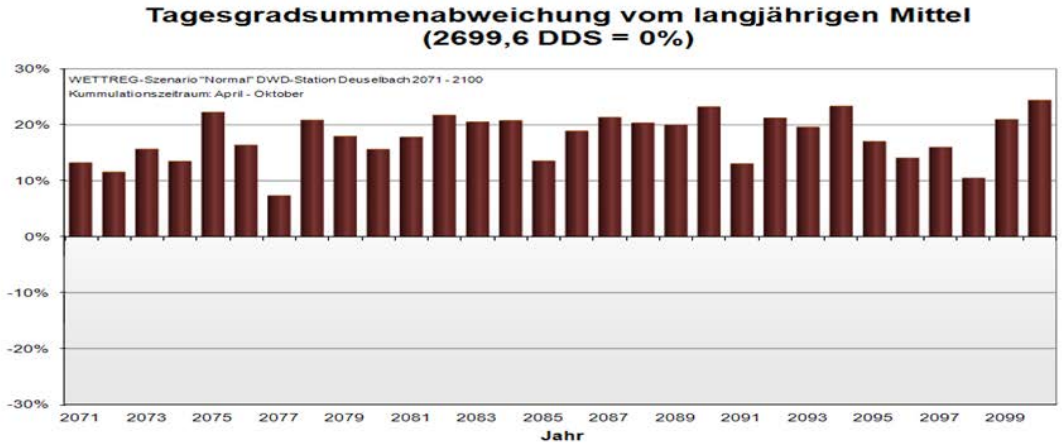


Abb. 6: Abweichung der Tagesgradsummen (degree days sum = DDS) von April bis Oktober vom langjährigen Mittel 1971 bis 2000 für Deuselbach im Hunsrück, eine Region mit hohen Fichtenanteilen; hier werden die Tagesgrade artunspezifisch betrachtet, weshalb der Schwellenwert bei 0°C liegt (die Tagesgrade wurden über die Triangulationsmethode mit den Tagesminima und -maxima ermittelt, UC IPM 2012)

a) 1955 bis 2011, Messdaten der DWD-Klimastation, 478 m. ü. N.N.

b) 2021 bis 2050, Wettreg: Interpolationen der Zukunftsprojektion Realisation „normal“ A1B im 1x1 km Raster, 415-475 m ü. N.N

c) 2071 bis 2100, Wettreg: Interpolationen der Zukunftsprojektion Realisation „normal“ A1B im 1x1 km Raster, 415-475 m ü. N.N.

3.1.2 Kiefer

3.1.2.1 Insekten

Die Kiefer kommt in Rheinland-Pfalz vor allem in den südlichen Landesteilen vor und nimmt insgesamt einen Anteil von 11% der Waldfläche ein (Landesforsten Rheinland-Pfalz 2012).

Noch bis in die siebziger Jahre des letzten Jahrhunderts sind in den Kieferngebieten die sogenannten **Kiefern-Großschädlinge**: Kiefernspinner, Forleule, Kiefernspanner und Kiefernschwärmer (*Dendrolimus pini, Panolis flammea, Bupalus piniarius, Sphinx pinastri*) häufiger aufgetreten. Seitdem werden sie jedoch kaum noch als Schädlinge gemeldet und haben wesentlich an Bedeutung verloren (Abb. 7).

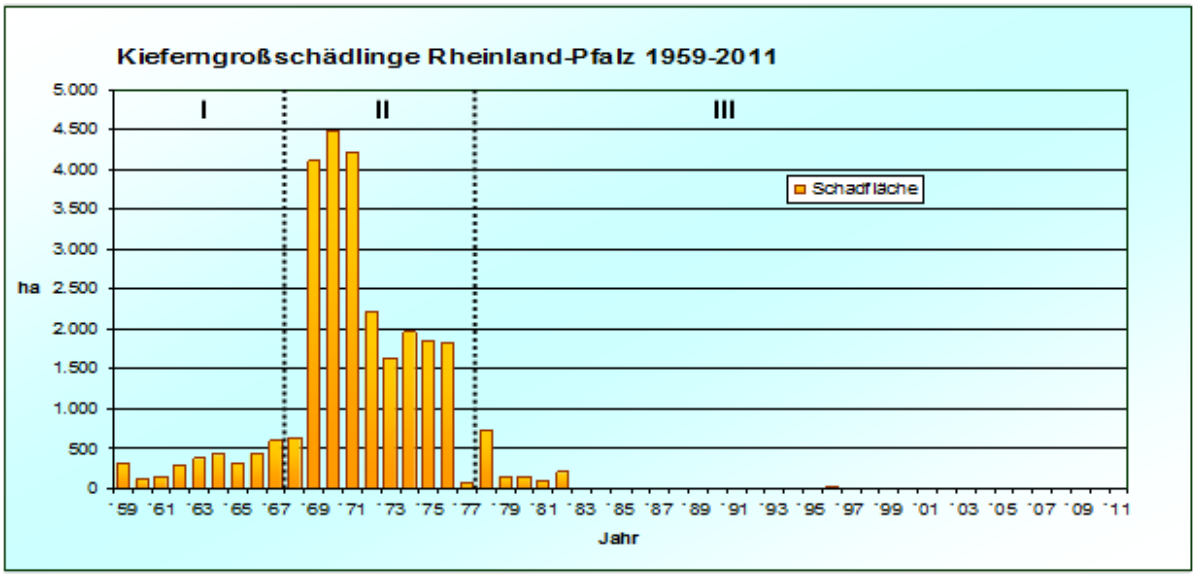


Abb. 7: Entwicklung der von Kiefern-Großschädlingen: Kiefernspinner, Forleule, Kiefernspanner und Kiefernschwärmer (*Dendrolimus pini, Panolis flammea, Bupalus piniarius, Sphinx pinastri*) befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III

Ein Schwerpunkt der seit 1959 gemeldeten Schadflächen lag in der südlichen rheinland-pfälzischen Oberrheinebene. Dort sind im Forstamt Bienwald noch bis 1978 größere Schadflächen aufgetreten. Darüber hinaus sind aus den Regionen Pfälzerwald und Nordpfalz nennenswerte Vorkommen gemeldet worden. Dabei wurden um 1970 die größten Flächen aus den Forstämtern Kaiserslautern, Kusel und Otterberg sowie in geringerem Umfang aus den Forstämtern Bad Dürkheim, Wasgau und Haardt gemeldet.

Die **Kiefern-Blattwespen** (*Diprion spec.*) waren Ende der siebziger und Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts fast ausschließlich im Forstamt Pfälzer Rheinauen festzustellen. In dem betroffenen Waldgebiet westlich von Speyer bei Dudenhofen wurden die Bodensuchen nach den Kokons der Blattwespen zu Prognosezwecken aufgrund lang anhaltender Fehlanzeigen vor kurzem eingestellt. Die letzten Schadflächen wurden nach einer langen Unterbrechung im Jahr 2006 aus dem Forstamt Bienwald gemeldet (Abb. 8).

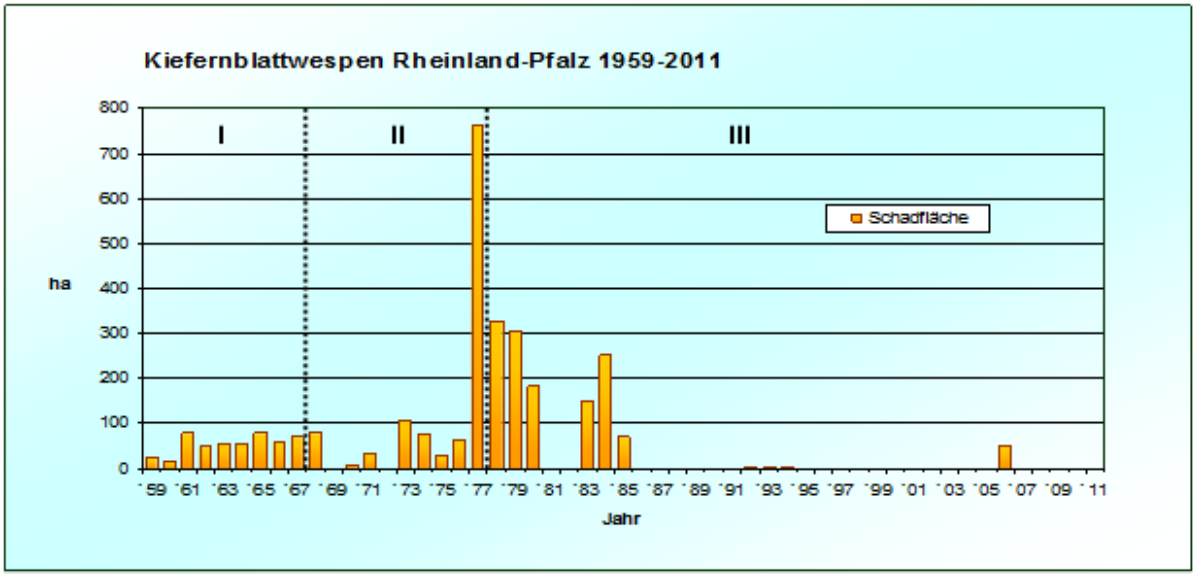


Abb. 8: Entwicklung der von Kiefern-Blattwespen (*Diprion* spec.) befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen und unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III

Der in der Oberrheinebene festgestellte Rückgang der Kiefern-Großschädlinge und Kiefern-Blattwespen wird wesentlich auf die Verbesserung des Kleinklimas durch die Einbringung von Laubholz, insbesondere von Buchen unter die hauptständigen Kiefern zurückgeführt (Lüdge 1971, Klimetzek 1972).

Aber auch großklimatische Veränderungen könnten für die Dezimierung dieser Schadorganismen und das Ausbleiben von Massenvermehrungen in den letzten beiden Jahrzehnten verantwortlich sein. Beispielsweise verbessern sich durch ein milderes und feuchteres Klima im Winterhalbjahr die Bedingungen für Insekten pathogene Pilze, die während der Überwinterungsphase die Larven und Puppen in der Bodenstreu oder in den obersten Bodenschichten zersetzen (Möller 2005). Die Tatsache, dass der Anteil zu warmer und gleichzeitig zu feuchter Winter seit dem Rückgang der Kiefern-Großschädlinge und der Blattwespen Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts im Vergleich zu den 110 davor liegenden Jahren in der Oberrheinebene tatsächlich deutlich zugenommen hat (Tab. 4), unterstützt diese Vermutung.

Tab. 4: Relative Anteile zu warmer und zu feuchter Winter (Summe der Temperaturen und Niederschläge von Dezember bis März) im Vergleich zum langjährigen Mittel 1876 bis 2011 in den Perioden von 1876 bis 1985 (110 Jahre) und 1986 bis 2011 (25 Jahre) an den DWD Messstationen Karlsruhe (bis Oktober 2008) und Rheinstetten (ab November 2008) in der Oberrheinebene (von 1944 und 1945 liegen nur unvollständige Werte vor)

Zeitraum	zu warme Winter	zu feuchte Winter	zu warme und gleichzeitig zu feuchte Winter
1876-1985	47%	50%	26%
1986-2011	84%	60%	56%

Bei den Kiefern-Großschädlingen und Blattwespen sind klimatische Bedingungen für die Entstehung von Massenvermehrungen offenbar von besonderer Bedeutung. Somit besteht die Gefahr, dass in Anbetracht der prognostizierten Veränderungen des Großklimas die potenziellen Risiken durch diese Schadorganismen wieder ansteigen können. Hinzu kommt, dass der Waldmaikäfer (vgl. Kap. 5.1) in den Kiefernbeständen der Oberrheinebene vermehrt die Buchen im Unterstand dezimiert und so neben dem Klimawandel für Kiefern-Großschädlinge und Blattwespen auch kleinklimatisch wieder günstigere Bedingungen schafft (Delb et al. 2010).

Falls es wieder zu Massenvermehrungen dieser Schadorganismen kommen sollte, könnten unter den Bedingungen einer anhaltenden Schwächung der Kiefern durch Nadelfraß insbesondere bei warmen Temperaturverhältnissen Rindenbrüter (vgl. Kap. 3.1), wie beispielsweise der Zwölfzähnige Kieferborkenkäfer (*Ips sexdendatus*) oder der Blaue Kiefern-Prachtkäfer (*Phaenops cyanea*), als Folgeschädlinge wieder ein höheres Schadpotenzial entwickeln (Nierhaus-Wunderwald und Forster 2000).

3.1.2.2 Pilzbefall nach Hagelschlag

In den letzten Jahren treten vermehrt Sommerstürme mit Hagelschlag auf, die örtlich zu großen Schäden führen (vgl. Kap. 2). Nach Ereignissen im Pfälzerwald in den Jahren 1999 und 2008 sowie im Bienwald im Jahr 2002 sind die Kronen der betroffenen Kiefern binnen weniger Wochen in weiten Teilen oder komplett abgestorben. In diesen Waldregionen waren derartige Folgen in einem solchen Ausmaß zuvor nicht beobachtet worden. Eingehende Untersuchungen haben daraufhin ergeben, dass das Diplodia-Triebsterben die Ursache für diese Schäden war (det. Metzler[7] 1999, 2002 und 2008).

Diese Krankheit wird durch Infektionen des Rindenpilzes *Sphaeropsis sapinea* (Syn. *Diplodia pinea*) ausgelöst. Der Pilz löst erst nach einer Disposition des Wirtes durch Hagelschlag oder Insektenfraß in Verbindung mit Witterungsstress durch ungewöhnlich warme und trockene Sommer sowie milde Wintertemperaturen als Wund- und Schwächeparasit Erkrankungen aus (Wulf 2008, NW-FVA[8] 2008, Blaschke und Cech 2009). Nach Einschätzung von Langer et al. (2011) kommt er „... zunächst symptomlos im Gewebe (endophytisch) von Nadel und Trieben vitaler Koniferen ...“ vor. Dass er in jüngerer Zeit immer häufiger pathogene Eigenschaften entwickelt, könnte auf veränderte klimatische Verhältnisse zurückzuführen sein. Die in den letzten Jahren zunehmenden Probleme sind möglicherweise auch auf die Einschleppung aggressiverer Pathotypen aus der südlichen Hemisphäre über den internationalen Handel zurückzuführen (Langer et al. 2011). Nach eigenen Beobachtungen sind im wärmebegünstigten Bienwald nach dem Hagelschlag die nicht unmittelbar infolge des Pilzbefalls abgestorbenen Kiefern in den Jahren danach unter wesentlicher Beteiligung von rindenbrütenden Folgeschädlingen zugrunde gegangen. Daran waren der Zwölfzähnige Kieferborken-

7 Berthold Metzler, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württemberg

8 NW-FVA = Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

käfer (*Ips sexdendatus*) und der Blaue Kiefern-Prachtkäfer (*Phaenops cyanea*) wesentlich beteiligt.

3.1.2.3 Mistelbefall

Der seit den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts vor allem in der Oberrheinebene zu beobachtende intensive Befall der Waldkiefern (*Pinus sylvestris*) durch Misteln (*Viscum album* ssp. *austriacum*) dehnt sich in der Zwischenzeit auch auf höheren Lagen im Pfälzerwald aus. In Verbindung mit Trockenperioden kann dieser Xylem- oder Halbparasit infolge des Wasser- und Nährelemententzuges zu Stress und Befall durch Folgeschädlinge wie zum Beispiel Rindenbrüter führen, wodurch die Kiefernwälder erheblich gefährdet sind (Nierhaus-Wunderwald und Lawrenz 1997, Janssen und Wulf 1999). Nach Köchle-Oberle (2005) profitiert die Mistel während der Samenreifung und -verbreitung durch Vögel sowie während der Keimung ganz besonders von warmen Wintern und warmen Frühjahrstemperaturen.

3.1.3 Gefahren für die Douglasie

3.1.3.1 Vorbemerkungen

In Rheinland-Pfalz besitzt die Douglasie einen Anteil von 6% der Waldfläche (Landesforsten Rheinland-Pfalz 2012). Damit ist diese Baumart hier im Vergleich zu anderen Bundesländern am weitesten verbreitet (Anteil in Deutschland: 2%). Ihr wird auf vielen Standorten insbesondere aufgrund ihrer hohen Wuchsleistungen eine besondere Bedeutung zugemessen. Im Zusammenhang mit dem prognostizierten Klimawandel wird die Douglasie in jüngerer Zeit oft gegenüber der Fichte bevorzugt. Dies wird unter anderem damit begründet, dass sie im Gegensatz zur Fichte nicht wesentlich durch rindenbrütende Borkenkäfer (vgl. Kap. 3.1) gefährdet ist. Aber auch gegenüber anderen Schadorganismen wird ihr gemeinhin eine große Stabilität zugeschrieben. Im Folgenden wird eine Einschätzung gegeben, welche Risiken für die Douglasie von bereits vorhandenen und potenziellen Schadorganismen ausgehen können. In diese Betrachtung werden sowohl die in Mitteleuropa als auch die in ihrem Ursprungsgebiet in Nordamerika heimischen Erreger einbezogen. Neben den Risiken durch Einschleppungen von Arten aus Übersee wird auch die Möglichkeit von Einwanderungen aus Südeuropa oder Asien betrachtet.

3.1.3.2 Schadorganismen

3.1.3.2.1 Insekten

Für die Douglasie spricht besonders, dass die in Mitteleuropa heimischen Borkenkäfer in ihrer Rinde bisher kaum erfolgreich brüten können. Nach bisherigem Kenntnisstand werden in Südwestdeutschland nur liegende und aufgrund anderer Ursachen, wie zum Beispiel extreme Dürreereignisse, stark geschwächte Bäume insbesondere vom Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) und Furchenflügligen Fichtenborkenkäfer (*Pityophthorus pityographus*) befallen. Auch in Bayern wurde der Furchenflüglige Fichtenborkenkäfer im Zusammenhang mit Ausfällen an jungen Douglasien beobachtet (Blaschke et al. 2008). An liegenden Douglasien ist mitunter Befall durch den Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*) festzustellen. Roques

(2010) führt den bisher vergleichsweise geringen Befall von in Europa heimischen Schadorganismen an der Douglasie auch auf die stammesgeschichtliche Distanz der Douglasie zu den europäischen Koniferenarten zurück. Trotzdem sind in Zukunft Anpassungen zwischen Wirt und Parasit, die eine höhere Gefährdung der Douglasie darstellen könnten, nicht ausgeschlossen. Denn die Koevolution der Douglasie mit mitteleuropäischen Schadorganismen dauert seit ihrer Einbürgerung erst etwa 150 Jahre an (Blaschke et al. 2008). So ist der heimische Große Braune Rüsselkäfer (*Hylobius abietis*) bereits seit langem als Schädling in der An- und Jungwuchsphase sehr bedeutend. Darüber hinaus gibt es bereits eine Vielzahl von heimischen Käfern, die im Holz der Douglasie brüten. Dazu gehören zum Beispiel der in Mitteleuropa weit verbreitete Linierte Nadelnutzholzborkenkäfer (*Xyloterus lineatus*) oder der Sägehörnige Werftkäfer (*Hylecoetus dermestoides*).

Auf Grundlage einer eingehenden Recherche nach allen in Nordamerika, Neuseeland und Europa an der Douglasie vorkommenden Schadorganismen aus der Klasse der Insekten wurden in 255 verfügbaren Quellen (Printmedien und Internet) 388 verschiedene Arten identifiziert und in einer Datenbank erfasst (Disch 2011). Davon kommen 378 Arten in der nordamerikanischen Heimat der Douglasie vor. Altenkirch et al. (2002) berichten von mehr als 140 Insektenarten, die dort in irgendeiner Weise mit der Douglasie verbunden sind. Nach Roques (2010) kommen an der Douglasie in ihrer Heimat mehr als 250 Arten vor.

Aus dieser großen Anzahl der mit der Douglasie in Verbindung stehenden Insekten konnten allerdings ausschließlich in Nordamerika heimische Arten als besonders gefahrenträchtig identifiziert werden (Tab. 4).

Tab. 5: An der Douglasie in Nordamerika, Neuseeland und Europa (NA = Nordamerika, NZ = Neuseeland, EU = Europa) vorkommende und in Zusammenhang mit Schäden häufig genannte Insekten; die Arten mit physiologischem Schadpotenzial im Bast oder an den Nadeln sind grau hervorgehoben (siehe Text) (*Dendroctonus pseudotsugae* = Douglas-fir beetle; *Orgyia pseudotsugata* = Douglas-fir tussock moth; *Choristoneura fumiferana* = Western Spruce budworm; *Dioryctria abietivorella* = Fir coneworm*; Leptoglossus occidentalis* = Western Conifer seed bug; *Megastigmus spermotrophus* = Douglas-fir seed chalcid wasp)

Art	Ordnung	Ursprung	Eingeschleppt	Schadpotenzial
Dendroctonus pseudotsugae	Coleoptera (Käfer)	NA	/	Bast
Orgyia pseudotsugata	Lepidoptera (Schmetterlinge)	NA	/	Nadeln
Choristoneura occidentalis	Lepidoptera (Schmetterlinge)	NA	/	Nadeln
Dioryctria abietivorella	Lepidoptera (Schmetterlinge)	EU, NA	/	Zapfen
Leptoglossus occidentalis	Hemiptera (Schnabelkerfe)	NA	EU	Zapfen

Megastigmus spermotrophus	Hymenoptera (Hautflügler)	NA	EU, NZ	Zapfen

Aus der Ordnung der Käfer (Coleoptera) hebt sich der „Douglas-fir beetle“ (*Dentroctonus pseudotsugae*) besonders hervor. Aus der Ordnung der Schmetterlinge (Lepidoptera) sind dies die „Douglas-fir tussock moth“ (*Orgyia pseudotsugata*) sowie der „Western Spruce budworm“ (*Choristoneura occidentalis*). Alle anderen häufig genannten Arten haben nach bisherigen Erkenntnissen kein außerordentliches Schadpotenzial als Bast oder die Nadeln schädigende Organismen. Dieser Befund deckt sich mit den Angaben der FAO[9] (2009) über die im natürlichen Verbreitungsgebiet in Nordwestamerika an Douglasien als „destruktiv“ bezeichneten Insekten. Sie sind auch bei der Pflanzenschutzorganisation für Europa und den Mittelmeerraum als derzeit noch nicht in der Region vorkommende Schädlinge mit großem Gefahrenpotenzial in der sogenannten A1 Liste aufgeführt (EPPO[10] 2012a). Um den Eintritt dieser Organismen zu vermeiden, wird den Mitgliedsstaaten empfohlen, sie als Quarantäne-Schadorganismen zu behandeln.

Der „**Douglas-fir beetle**“ (*Dendroctonus pseudotsugae*) kann in Nordamerika nach abiotischen Störungen zum Beispiel durch Sturm oder Trockenheit ausgeprägte Massenvermehrungen durchlaufen. Dann kommt es zu aggressivem Primärbefall, wobei der Käfer wirtsspezifisch ist. Eine zufällige Verschleppung nach Europa ist grundsätzlich nur mit Holzmaterial, dem noch die Rinde anhaftet, möglich. Mit Holz wurde er bereits nach China importiert, wogegen er in Europa bzw. in der EPPO- Region noch nicht zu beobachten war (EPPO 2012c).

Die „**Douglas-fir tussock moth**“ (*Orgyia pseudotsugata*) kommt neben der Douglasie auch an der Küstentanne (*Abies grandis*) und weiteren Koniferenarten vor. Ihre Heimat ist die Pazifikküste Nordamerikas. Dort treten ausgeprägte Massenvermehrungen mit beträchtlichen Schäden durch Kahlfraß der Nadeln auf. Dabei kann es nach wiederholtem Fraß auch zu Ausfällen der betroffenen Douglasien kommen. Eine zufällige Verschleppung nach Europa wäre insbesondere über das Eistadium an Pflanzen und Pflanzenteilen möglich (EPPO 2012d).

Der „**Western Spruce budworm**“ (*Choristoneura occidentalis*) kommt in Nordamerika neben der Douglasie an mehreren Koniferenarten vor. Er kann ausgeprägten Kahlfraß verursachen und deshalb zu empfindlichen Schäden bis hin zum Absterben der betroffenen Bäume führen. Eine Verschleppung könnte vor allem im ersten unscheinbaren und überwinternden Larvenstadium über Pflanzen und Pflanzenteile erfolgen (EPPO 2012e).

Auch wenn die genannten Schadorganismen bisher nicht nach Europa verschleppt wurden, kann in Anbetracht des ungebrochenen und stetig zunehmenden Warenverkehrs zwischen den Kontinenten ein Eindringen aus der Heimat der Douglasie nach wie vor nicht ausgeschlossen werden.

9 FAO = Food and Agriculture Organisation of the United Nations

10 EPPO = European and Mediterranean Plant Protection Organisation

Von den genannten Beispielen Zapfen schädigender Insekten (Tab. 4), die bereits in der Europäischen Union (EU) vorkommen, hat die Amerikanische Zapfenwanze („Western Conifer seed bug“, *Leptoglossus occidentalis*) insbesondere aufgrund der Tatsache, dass sie in kühleren Jahrszeiten gelegentlich in Wohnungen und Häusern als harmloser Lästling vorgefunden wird, auch hierzulande einen gewissen Bekanntheitsgrad erreicht. Weitere aus Nordamerika nach Europa eingeschleppte Arten sind die Douglasienwolllaus (*Gilletteella cooleyi*), die Douglasien-Samenwespe (*Megastigmus spermotrophus*) und der Amerikanische Nutzholzborkenkäfer (*Gnathotrichus materiarius*). Diese Arten haben im südwestdeutschen Wald, im Gegensatz zu den Erfahrungen aus anderen Bundesländern (Möller und Heydeck 2009), bisher noch kein außergewöhnliches Ausmaß an Schäden angerichtet. Auch der im Holz brütende „Golden Buprestid“ (*Buprestis aurulenta*) ist der Douglasie aus Nordamerika nach Europa gefolgt, wo er bisher aber nur sehr selten gefunden wird (Schönherr 1974, Altenkirch et al. 2002).

Eine weitere Gefahr liegt in der Verwandtschaft einiger mitteleuropäischer Arten zu in Nordamerika an der Douglasie gefährlich auftretenden Insekten. Die Möglichkeit einer Anpassung zum Beispiel des in Rheinland-Pfalz heimischen Riesenbastkäfers (*Dendroctonus micans*), des Schlehenspinners (*Orgyia antiqua*) oder des Tannentriebwicklers (*Choristoneura murianana*) an den neuen Wirt Douglasie kann deshalb nicht außer Acht gelassen werden. So berichtet Roques (2010) bereits von einer Massenvermehrung des Schlehenspinners in Europa, die in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts in Polen an der Douglasie stattgefunden hat. Nach seiner Einschätzung könnte die Klimaerwärmung den Prozess der Anpassung heimischer Insekten an die Douglasie in Europa grundsätzlich beschleunigen. In Laubwäldern eingemischte Douglasien werden vom Schwammspinner (*Lymantria dispar*) als polyphage Schmetterlingsraupe bei Massenvermehrungen immer wieder befressen (z.B. Delb 1999). Aus Norddeutschland liegen bereits Erfahrungen vor, wonach er auch in Douglasien-Reinbeständen Fraßschäden anrichtet (mündl. Mitt. Habermann 2011).

Darüber hinaus bleibt abzuwarten, ob im Zusammenhang mit dem Klimawandel nicht auch aus anderen Teilen Europas oder Asiens Schadorganismen einwandern und sich an die Douglasie anpassen (Blaschke et al. 2008). Ein Beispiel hierfür stellt der bisher im Mittelmeerraum heimische Pinienprozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa*) dar. Dieser mit seinen Larven im Winter aktive Schmetterling wandert in den letzten Jahrzehnten offenbar begünstigt durch wärmere Temperaturen in Frankreich beharrlich nordwärts und hat mittlerweile die französischen Anbaugebiete der Douglasie erreicht (Robinet et al. 2010, Roques 2010). Er legt seine Eier in Paketen vorzugsweise um die festen Nadeln von Schwarzkiefern (*Pinus nigra*) ab. Die Nadeln der Douglasie sind im Gegensatz hierzu nicht stabil genug. Doch hat sich dieser Schmetterling nach Roques (2010) bereits angepasst, indem zur Eiablage schwache Triebe der Douglasie ausgesucht werden.

Aus dem nördlichen Asien droht der Sibirische Kiefernspinner (*Dendrolimus sibiricus*) auch in den mitteleuropäischen Raum einzuwandern (Kehr et al. 2004, EPPO 2005). In seiner Heimat tritt dieser Schädling in Massenvermehrungen auf und gilt als ein für die betroffenen Koniferen sehr gefährlicher Schädling. Er ist als ein bereits in der EPPO- Region vorkommen-

der aber noch nicht weit verbreiteter und offiziell kontrollierter Quarantäne-Schädling mit großem Gefahrenpotenzial in der sogenannten A2 Liste aufgeführt (EPPO 2012b). Die Douglasie ist den Untersuchungen von Kirichenko et al. (2011) zufolge als Wirt für diesen Schadorganismus besonders gut geeignet.

Der aus Ostasien stammende Schwarze Nutzholzborkenkäfer (*Xylosandrus germanus*) stand in Südwestdeutschland bis vor kurzem im Ruf, nicht an Holz der Douglasie vorzukommen. Doch wurde er zwischenzeitlich auch in Rheinland-Pfalz nachweislich an dieser Baumart beobachtet.

3.1.3.2.2 Pilzliche Schaderreger

Douglasienschütte

In ganz Europa muss den aus Nordamerika stammenden Nadelkrankheiten, die Rostige Douglasienschütte (*Rhabdocline pseudotsugae*) und die Rußige Douglasienschütte (*Phaeocryptopus gaeumannii*) (Stephan 1981), eine große Bedeutung zugemessen werden. Der **Rostigen Douglasienschütte** konnte durch die Vermeidung des Anbaus von darauf empfindlichen Inlandsherkünften entgegen gewirkt werden. In Bezug auf die als weniger gefährlich geltende **Rußige Douglasienschütte** sind jedoch alle drei bekannten Douglasien-Rassen: die Grüne oder Küsten-Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*), die Blaue oder Inland-Douglasie (var. glauca) und als Übergangsform die Graue Douglasie (var. *caesia*) gleich anfällig. Durch eine richtige Standortswahl unter Ausschluss von luftfeuchten und windarmen Muldenlagen sowie der Vermeidung von Dichtstand kann diesem pilzlichen Schaderreger entgegengewirkt werden. Im Jahr 2003 wurde der starke Befall auf besonders feuchte Witterungsverhältnisse während des Infektionszeitraums von Mitte Mai bis Anfang Juli in den Jahren 2001 und 2002 sowie auf die Symptom verstärkende Einflüsse von Frost und Trockenheit zurückgeführt (Metzler 2003). Nach strengen Barfrösten wie zum Beispiel 1996 traten die Symptome in Rheinland-Pfalz tatsächlich schlagartig und großflächig verstärkt auf (Abb. 9). Daraus wird deutlich, dass auch hier die klimatischen Rahmenbedingungen bezüglich des Ausmaßes und der Auswirkungen dieser pilzlichen Erkrankung eine bedeutende Rolle spielen.

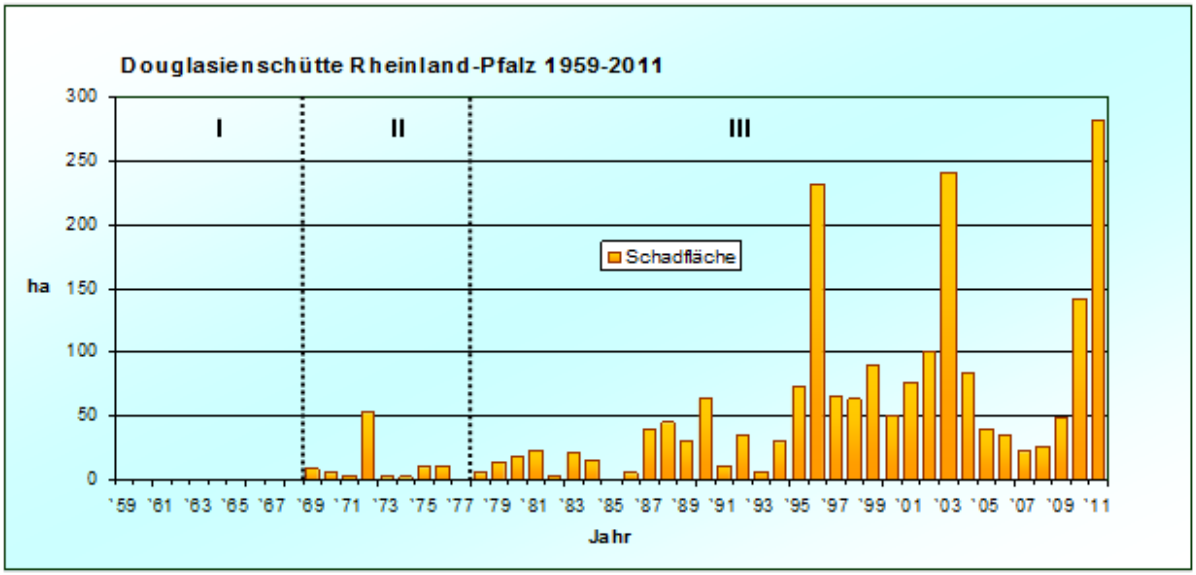


Abb. 9: Entwicklung der von der Douglasienschütte befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III

Sonstige pilzliche Schaderreger

Die Fao (2009) hebt unter vielen Krankheitserregern die pilzlichen Wurzelfäulen „Shoestring root rot“ (*Armillaria mellea sensu lato*) (Hallimasch) und „Laminated root rot“ (*Phellinus weirii*) (Laminierte Wurzelfäule) als besondere Bedrohung für junge Bestände hervor. In Bezug auf Kernfäulen hat nach deren Angaben die „Red ring rot“ (*Porodaedalea pini*) an der Douglasie bezüglich auftretender Schäden die größte Bedeutung. Während Hallimasch-Arten auch in Europa heimisch sind und unter besonderen Bedingungen an Douglasien Schäden anrichten können, kommen die anderen genannten Arten hier noch nicht vor. Indessen gibt es auch in Europa Arten des Feuerschwamms (*Phellinus sensu lato*), die oft baumartenspezifisch sind und noch nicht an Douglasien vorgefunden werden. Metzler (mündl. Mitt. 2012) schätzt jedoch das Risiko der Einschleppung der Laminierten Wurzelfäule (*Phellinus weirii*) höher ein als das einer Anpassung der europäischen Feuerschwämme. Demgegenüber können der Douglasie hierzulande insbesondere der heimische Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum sensu stricto*) und heimische Kernfäulen wie zum Beispiel die Krause Glucke (Sparassis crispa) oder der Kiefernbraunporling (*Phaeolus schweinitzii*) zusetzen. Auch die Phomopsis-Krankheit der Douglasie (*Phomopsis pseudotsugae*) führt mit ihrem typischen Rindenbrand immer wieder zu beachtenswerten Schäden (Möller und Heydeck 2009, Metzler 2010).

3.1.3.2.3 Zwergmistel

Der Douglasie macht in ihrer Heimat mitunter auch die parasitische Lebensweise einer Zwergmistelart „Douglas-fir dwarf mistletoe“ (*Arceuthobium douglasii Englem.*) erheblich zu schaffen (Janssen und Wulf 1999, Eppo 2012d). In Nordamerika richtet diese Mistel angefangen von Zuwachsreduktionen über Holzqualitätsverluste bis hin zum Absterben von Bäumen teils erhebliche Schäden an. Deshalb ist auch dieser derzeit noch nicht in der EPPO-

Region bzw. EU vorkommende Organismus mit großem Gefahrenpotenzial ebenfalls in der sogenannten A1 Liste aufgeführt. Er kann aber sehr wahrscheinlich nur mit infiziertem Pflanzen und Pflanzenteilen auf größere Distanzen verbreitet werden, weshalb empfohlen wird, den Import solchen Materials zu verbieten.

3.1.3.3 Fazit

Anhand der dargestellten Schadorganismen und Szenarien wird ersichtlich, dass es durchaus nicht garantiert ist, dass die Douglasie weitere 150 Jahre ohne gravierende biotische Risiken im Baumholzalter aufwachsen kann. Der Douglasie steht eine große Anzahl potenzieller Schadorganismen gegenüber (Altenkirch et al. 2002, Bußler und Blascke 2004, Blaschke et al. 2008, Lemme 2009, Möller und Heydeck 2009, Metzler 2010, Roques 2010).

Aufgrund des Klimawandels ist eher damit zu rechnen, dass sie über Anpassungen europäischer Arten zunehmend Probleme mit Schadorganismen bekommen wird. Das Potenzial einer Anpassung heimischer Arten ist aufgrund der phylogenetischen Nähe bei an Nadelhölzer vorkommenden polyphagen Arten vermutlich am höchsten. Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlich hierfür auch mit der Ausweitung des Anbauareals dieser Baumart steigt. So geht zum Beispiel Goßner (2004) davon aus, dass der Artenreichtum der Arthropoden an der Douglasie in den nächsten Jahren noch zunehmen wird und „… in Zukunft weitere Anpassungsprozesse der einheimischen Arthropoden an die eingeführte Douglasie ablaufen werden“ (Goßner 2008). Aber auch eingeschleppte nordamerikanische Arten können genauso wie aus Südeuropa oder Asien einwandernde Schadorganismen der Douglasie potenziell sehr gefährlich werden. Nach Anpassungen heimischer oder Etablierung und Anpassung gebietsfremder Schadorganismen wird sich die Frage stellen, in welcher Geschwindigkeit und mit welchem Erfolg sich Gegenspieler einstellen werden. Dies bestimmt ganz entscheidend ihr Schadpotenzial.

Trotz der dargestellten potenziellen Gefahren kann nach derzeitigem Kenntnisstand nicht mit hinreichender Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die Risiken der Douglasie die der heimischen Nadelbaumarten wie zum Beispiel der Fichte in Zukunft übertreffen werden. Deshalb kann aus Gründen des Waldschutzes nicht grundsätzlich von einem maßvollen Anbau der Douglasie abgeraten werden.

3.2 Schadorganismen an Laubholz

3.2.1 Eiche

Die Eiche hat in Rheinland-Pfalz einen Anteil von 20% (Landesforsten Rheinland-Pfalz 2012) und gilt im Rahmen des Klimawandels aufgrund der natürlichen Verbreitung von Stiel- und Traubeneichen bis in submediterrane Gebiete als „Hoffnungsträger“ (Burschel und Huss 1997). Auch andere Autoren weisen der Eiche als „Zukunftsbaum“ eine besondere Rolle zu, da sie flexibel auf Trockenheit und Wärme reagiert (Eidg. Forschungsanstalt WSL 2011). Gleichwohl besteht bei der Eiche in Verbindung mit einschlägigen Schadorganismen ein Vielzahl besonderer Risiken, die seit den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts unter

dem Stichwort „Eichensterben“ intensiv diskutiert werden (z.B. Schlag 1994, Wulf und Kehr 1996, Seemann 1996, Hartmann 1996, Delb & Block 1999, Möller 2006)).

3.2.1.1 Schmetterlingsraupen

Für die Gesundheit der europäischen Eichenarten spielen insbesondere phyllophage Schmetterlinge, deren Raupen zu erheblichen Fraßschäden am Blattwerk führen können, eine bedeutende Rolle. Hierzu gehören insbesondere

- Schwammspinner,
- Frostspanner,
- Eichenwickler und
- Eichenprozessionsspinner.

Der **Schwammspinner** (*Lymantria dispar* L.) ist in den Jahren 1993 und 1994 in den rheinland-pfälzischen Laubwäldern in einem bis dahin nicht gekannten Ausmaß aufgetreten (siehe Abb. 11b, Kap. 5.1.2). Aus dem in der südpfälzischen Oberheinebene gelegenen Bienwald sind Massenvermehrungen bereits in den Jahren 1887/88 und 1929 bekannt geworden, die jedoch in Verbindung mit eher ausgeglichenen Witterungsverhältnissen bei weitem nicht das Ausmaß der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts erreichten (siehe Abb. 1, Kap. 2). So wurden 1887/1888 eine Kahlfraßfläche von etwa 80 ha und 1929 von 3 ha dokumentiert, die einer potenziellen Kahlfraßfläche von rund 3.000 ha in den Jahren 1993/94 gegenüberstehen (Delb 1999). Das erheblich größere Ausmaß bei der letzten Massenvermehrung Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts kann in Zusammenhang mit den Entwicklungsbedingungen zum Ende der achtziger und Beginn der neunziger Jahre gesehen werden. So wiesen die fünf vor der Massenvermehrung liegenden Jahre von 1988 bis 1992 eine bisher in den letzten 135 Jahren einmalige Aneinanderreihung von Jahren mit überdurchschnittlichen Temperaturen und Niederschlagsdefiziten in der Vegetationszeit auf, die sich auf eine gerade in der Progradation befindliche Population des Schwammspinners besonders günstig ausgewirkt hat. Dieses Beispiel unterstreicht die Bedeutung klimatischer Parameter für die Dynamik von Schädlingspopulationen. Gemessen am Wärmeangebot werden sich die Entwicklungsbedingungen für Insekten und somit auch für den Schwammspinner im Rahmen der Klimaszenarien verbessern, so dass Massenvermehrungen auch in Zukunft nicht ausgeschlossen werden können.

Die sogenannte **Eichenfraßgesellschaft** wird in Südwestdeutschland mit wechselnden Anteilen im Wesentlichen durch zwei Frostspanner-Arten, den Eichenwickler und fallweise von Frühlingseulen geprägt (Frostspanner: Kleiner -: *Operophthera brumata*., Großer -: *Erannis defoliaria*, Eichenwickler: *Tortrix viridana*, Kleine Kätzcheneule: *Orthosia cruda* usw.). Auf europäischer Ebene treten Massenvermehrungen des Frostspanners (*O. brumata*) in Zyklen von 9-10 Jahren auf (Tenow et al. 2013). In Rheinland-Pfalz waren bisher gemessen am landesweiten Flächenumfang in Abständen von 7-9 Jahren die Höhepunkte der spürbar zu beobachteten Gradationen festzustellen (1966, 1973, 1980, 1988, 1996 und 2005) (Abb. 10a). Demnach wäre bis 2014 wieder mit einem über das gesamte Land weit verbreiteten

Massenvorkommen zu rechnen. Bei näherer Betrachtung auf Forstamtsebene fällt auf, dass zum Beispiel im Pfälzerwald nicht jede auf Landesebene feststellbare zyklische Gradation auch dort zu spürbaren Fraßschäden geführt hat (Abb. 10b). Vermutlich liegen in den Höhenlagen des Pfälzerwaldes während der Progradationsphase nicht immer für eine Massenvermehrung günstige Witterungsverhältnisse vor. Denn der Frostspanner ist wie viele andere phyllophage Arten insbesondere auf die Koinzidenz des weitgehend von den Temperaturen gesteuerten Raupenschlupfs und Eichenaustriebs angewiesen. Verzögert sich nach dem Schlüpfen der Raupen der Blattaustrieb infolge eines Kälteeinbruchs, fehlt ihnen die überlebenswichtige Nahrung.

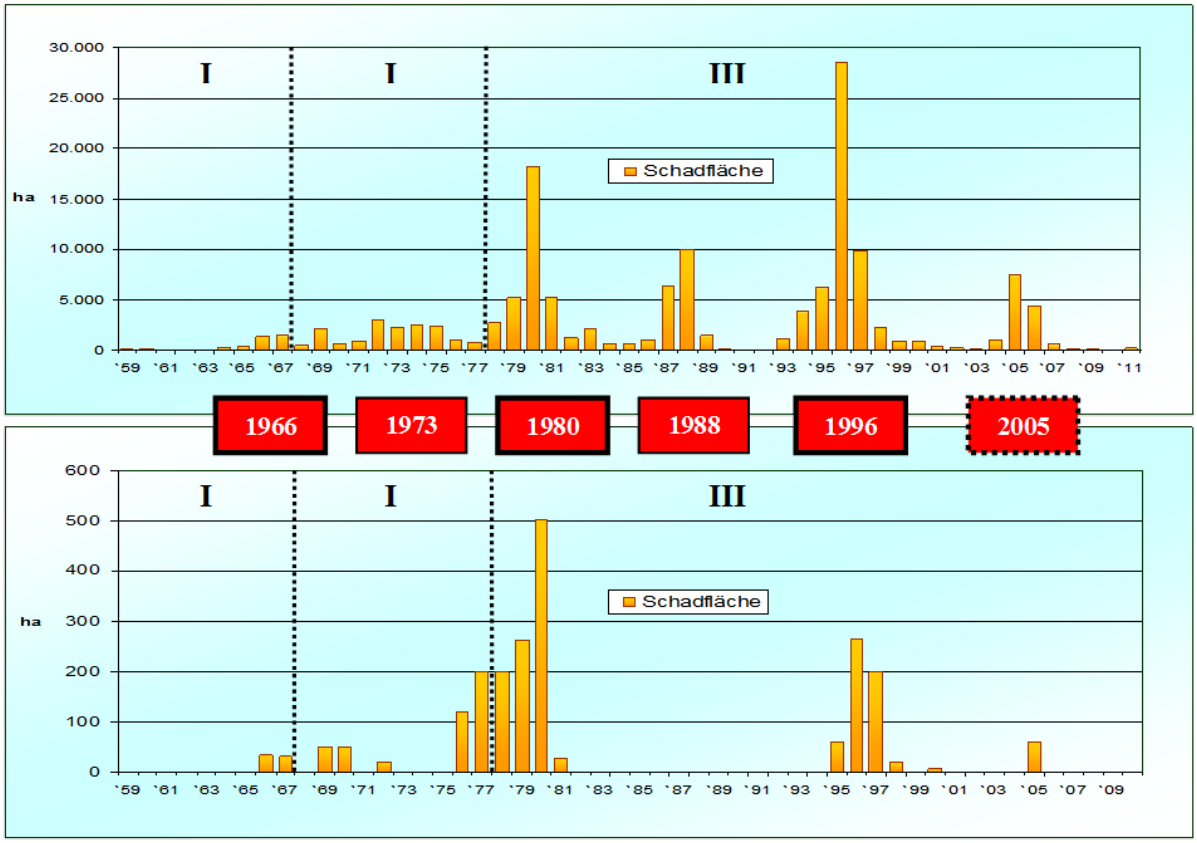


Abb. 10: Entwicklung der vom Frostspanner und Eichenwickler befallenen Flächen (ha) anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011; die beiden senkrechten Linien markieren die drei in Kap. 2 beschriebenen, unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I bis III; die Ordinatenachsen der beiden Abbildungen sind unterschiedlich skaliert

a) Land Rheinland-Pfalz

b) Forstamt Hinterweidenthal, Pfälzerwald

Den Untersuchungen von Visser und Holleman (2001) zufolge können klimatische Veränderungen die Koinzidenz bzw. die Synchronisation der Phänologie von Eichen und Frostspanner empfindlich stören. Sie stellen im Zusammenhang mit wärmeren Frühjahrestemperaturen von 1975 bis 2000 im Blattaustrieb und Raupenschlupf Veränderungen fest. Die zeitliche Vorverlegung des Schlüpfens erfolgte dabei in einem größeren Maße als die des Austriebs. Da der Frostspanner nur wenige Tage zu hungern vermag, könnte dies dem schädlichen

Schmetterling zum Verhängnis werden. Ihren Ausführungen zufolge sind diese Veränderungen in so kurzer Zeit zu erwarten, dass dieses zunehmende Missverhältnis nicht in gleicher Geschwindigkeit durch genetische Anpassungen kompensiert werden kann. Doch schließen sie grundsätzlich nicht aus, dass geographische Rassen einwandern, die wiederum an das veränderte Austriebsverhalten der Eiche angeglichen sind.

In Südwestdeutschland führt der **Eichenprozessionsspinner** (*Thaumetopoea processionea*) (EPS) seit etwa zwanzig Jahren bei Waldbesuchern und Forstpersonal vermehrt zu teils erheblichen gesundheitlichen Problemen (Karte 1). Davon sind in Rheinland-Pfalz vor allem die südlichen Landesteile in Rheinhessen und in der Pfalz betroffen. Die Brennhaare der älteren Raupen enthalten das Nesselgift Thaumetopein, das Haut- und Augenreizungen bis hin zu schweren Allergien auslösen kann. Jedoch sind in rheinland-pfälzischen Eichenbeständen im Gegensatz zu anderen Ländern (z.B. Wolf und Petercord 2012) bisher keine nennenswerten Fraßschäden aufgetreten, die an den betroffenen Bäumen Folgeschäden auslösen können.

Der Anstieg der Abundanz dieses wärmeliebenden Nachtfalters seit Mitte der neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts ist vermutlich auf die für die Entwicklung kontinuierlich günstigeren klimatischen Verhältnissen zurückzuführen. Deshalb scheint es widersprüchlich, dass aus den Eichenwäldern der wärmebegünstigten Flusstäler an Mittelrhein, Mosel, Saar, Nahe, Lahn und Ahr bisher noch keine bedeutenden Vorkommen gemeldet wurden. Während der EPS zum Beispiel am Niederrhein im benachbarten Nordrhein-Westfalen und im Saarland Probleme verursacht, sind entgegen aller Befürchtungen bisher aus dem nördlichen Rheinland-Pfalz keine Schwierigkeiten gekannt geworden.

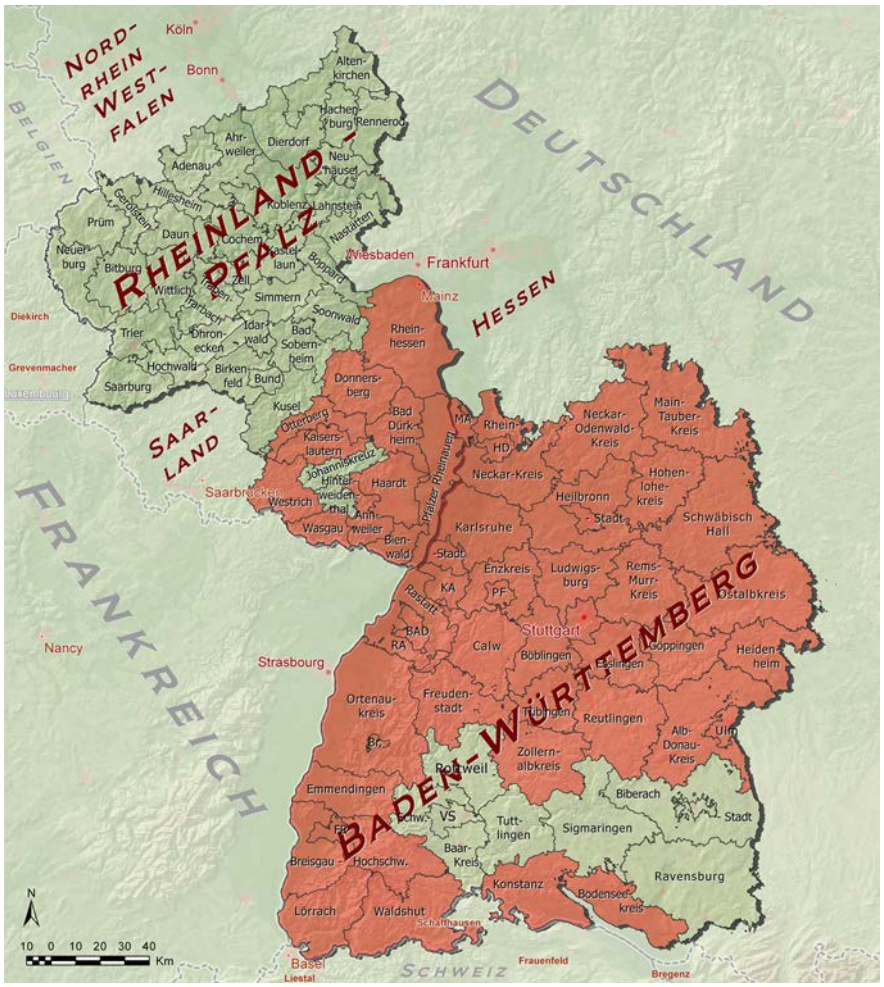


Abb. 11: Von den Forstämtern (Rheinland-Pfalz) und Unteren Forstbehörden (Baden-Württemberg) gemeldete Vorkommen des Eichenprozessionsspinners mit bedeutenden Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen in den Wäldern Südwestdeutschlands von 2006 bis 2011

Zumindest von der Mosel in der Nähe der Ortschaften Kröv und Zell gibt es aus den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts aber eindeutige Hinweise auf historisch bedeutende Vorkommen mit Kahlfraßereignissen (Zillig 1938). Aus diesem Grund wurde im Sommer 2010 überprüft, ob der EPS in den nördlichen Landesteilen tatsächlich nicht vorzufinden ist. Hierzu wurden in Eichenwäldern am Mittelrhein, an der Mosel und an der Saar Pheromonfallen ausgebracht. Das Ergebnis zeigte an Rhein, Mosel und Saar in den Forstämtern Koblenz (3 Falter), Boppard (3 Falter), Cochem (1 Falter) und Saarburg (1 Falter) männliche Falter in die Fallen. Die Anzahl der vorgefundenen Schmetterlinge lag allerdings deutlich unter den Werten, die zum Beispiel in Südbaden bei einem spürbaren und problematischen Vorkommen gemessen werden (2010 bei Freiburg im Breisgau im Durchschnitt 39 Falter). Diese Befunde machen plausibel, dass der EPS in den letzten Jahren nur aus den südlichen Landesteilen, Rheinhessen und Pfalz, gemeldet wird. Angesichts dieses Unterschieds zwischen wärmebegünstigten Landesteilen liegt die Vermutung nahe, dass außer dem generellen Wärmeangebot noch andere, bisher weitgehend unbekannte Faktoren die Entwicklung des EPS steuern. Meurisse et al. (2012) weisen darauf hin, dass insbesondere in höheren Lagen

und an den nördlichen Grenzen des Verbreitungsgebietes bei extrem niedrigen Winter- und Frühjahrestemperaturen die Entwicklung der Eier und vor allem der ersten Larvenstadien durch direkte und indirekte Einflüsse empfindlich gestört werden kann. Demnach können die prognostizierten klimatischen Veränderungen im Umkehrschluss durchaus zu besseren Bedingungen für den EPS führen. In Anbetracht der europaweiten Entwicklung (FAO 2009, JKI[11] 2011), der in früheren Jahren beobachteten Gradation (Zillig 1938) und der Bestätigung einer derzeit bereits vorhandenen Population könnte die Abundanz des EPS aufgrund klimatischer Veränderungen deshalb auch an der Mosel bald wieder spürbar steigen. Dieser Rückschluss bestätigt die Folgerungen von Groenen und Meurisse (2011), wonach es sich bei der Ausbreitung des EPS in den letzten Jahrzehnten um einen Wiederanstieg oder eine Wiederbesiedlung bereits in früherer Zeit bestehender Vorkommen handelt. Für eine in den letzten Jahrzehnten im Zusammenhang mit dem Klimawandel stehende generelle Ausbreitung des EPS in nördlichere Breiten gibt es nach Ansicht dieser Autoren unter Berücksichtigung von Nachweisen, die bis ins 18. Jahrhundert reichen, keine Anhaltspunkte.

Um an die qualitativ hochwertige Nahrung junger Blätter zu geraten, schlüpfen die Raupen des EPS vor dem Laubaustrieb der Eichen (Wagenhoff und Veit 2011, Wagenhoff und Delb 2011, Meurisse et al. 2012, Wagenhoff et al. 2012). Je nach Witterung kann danach die Ausbildung der Blätter verzögert erfolgen, so dass sie bisweilen lange hungern müssen. Die Raupen des EPS sind im Vergleich zu anderen früh schlüpfenden Schmetterlingen länger in der Lage, diese Phase zu überstehen. Doch reicht dieses Vermögen nicht wesentlich über zwei Wochen hinaus. Darauf kann vermutlich der Einbruch der Abundanz des EPS in Südwestdeutschland 2008 zurückgeführt werden, da in diesem Frühjahr eine derart lange Phase ohne Nahrung in Verbindung mit hohen Mortalitätsraten der Raupen gemessen wurde (Wagenhoff und Veit 2011). In einer modellhaften Betrachtung kommen Meurisse et al. (2012) für mitteleuropäische Verhältnisse zu dem Schluss, dass der zeitliche Abstand zwischen dem Raupenschlupf des EPS und dem Laubaustrieb in den letzten Jahren tendenziell immer größer wird. Aus diesen asynchronen Veränderungen der Phänologie des Raupenschlupfes und des Blattaustriebes könnte im Kontext zu klimatischen Veränderungen mittelfristig auch eine Gefahr für die Entwicklung der Raupen des EPS bestehen. Dann würde die Anzahl von Jahren mit hohen Mortalitätsraten der jungen Eiraupen vermutlich zunehmen und die Populationsdichten tendenziell wieder absinken.

3.2.1.2 Eichenprachtkäfer

Der in der Rinde brütende Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*) (EPK) (Wachtendorf 1955) spielt seit Mitte der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts in Bezug auf den Gesundheitszustand der rheinland-pfälzischen Eichenwälder eine zentrale Rolle (Delb 2002, weitere nicht veröffentlichte eigene Befunde). Dies steht ganz offensichtlich in Zusammenhang mit Massenvermehrungen phyllophager Schmetterlingsraupen wie Schwammspinner, Frostspanner, Eichenwickler und auch Eichenprozessionsspinner (EPS) (Hartmann und Blank 1992, Lobinger 1999, Delb 1999, Delb 2012) (Abb. 11).

11 JKI = Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen

Der Kahlfraß durch Raupen führt zu einer Schwächung der Eichen, die dieser Folgeschädling auszunutzen vermag. Demnach ist der EPK insbesondere nach Frostspanner- und Eichenwickler- Massenvermehrungen auch in früheren Jahrzehnten nachweislich immer wieder einmal aufgetreten. Doch das in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts erreichte Ausmaß eines ausgeprägten Folgebefalls durch diesen wärmeliebenden Käfer wurde nach bisherigem Wissenstand in Rheinland-Pfalz wie auch in ganz Deutschland (Wulf 2008) bisher noch nie zuvor beobachtet. Deshalb liegt ein Zusammenhang mit den im Rahmen des Klimawandels seit Ende der siebziger Jahre gemessenen wärmeren Witterungsverhältnissen (UBA 2011) nahe.

Eine in den Jahren 1999 bis 2001 landesweit durchgeführte Überprüfung geschädigter Eichenbestände ergab, dass der EPK in unterschiedlichem Ausmaß überall vorhanden war (Karte 2) (Delb 2002). Dabei wurden in allen rheinland-pfälzischen Forstämtern mit einem Eichenanteil von über 10% (n = 35) jeweils die beiden am stärksten geschädigten Eichenbestände begutachtet.

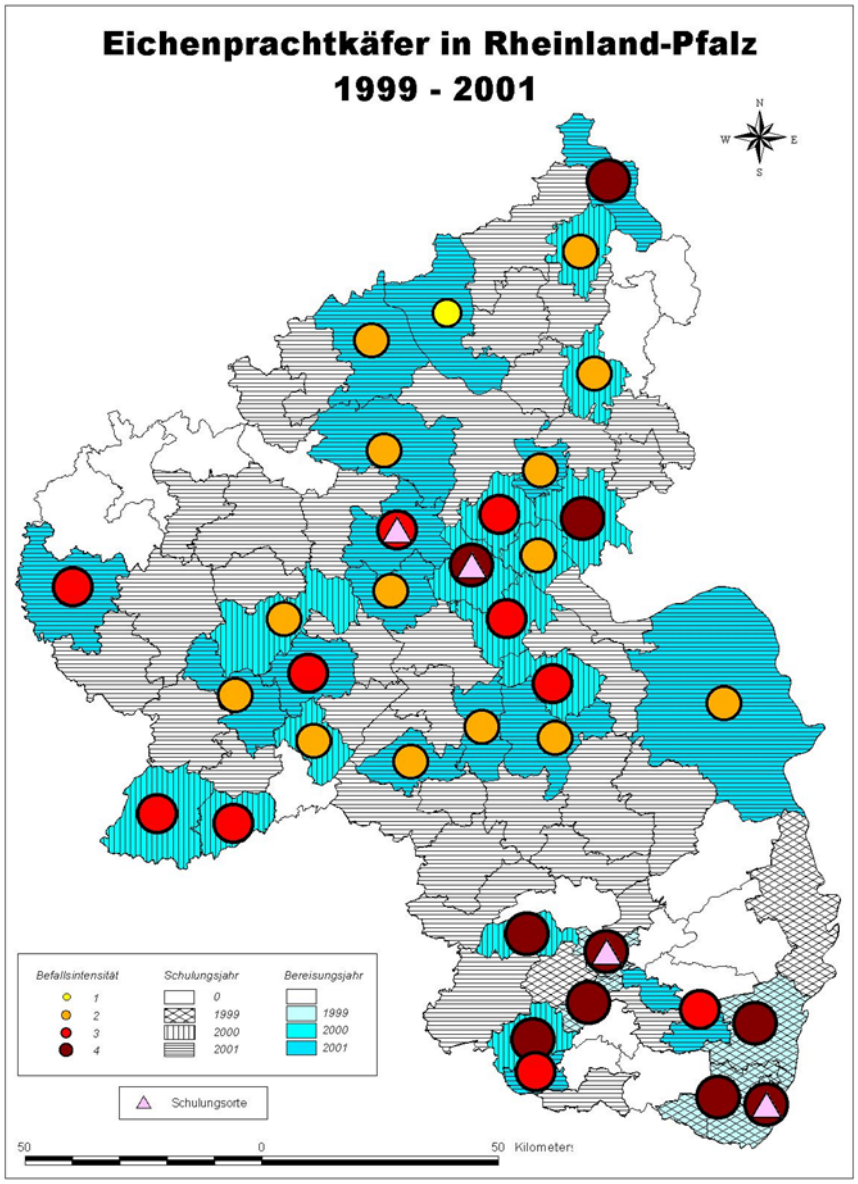
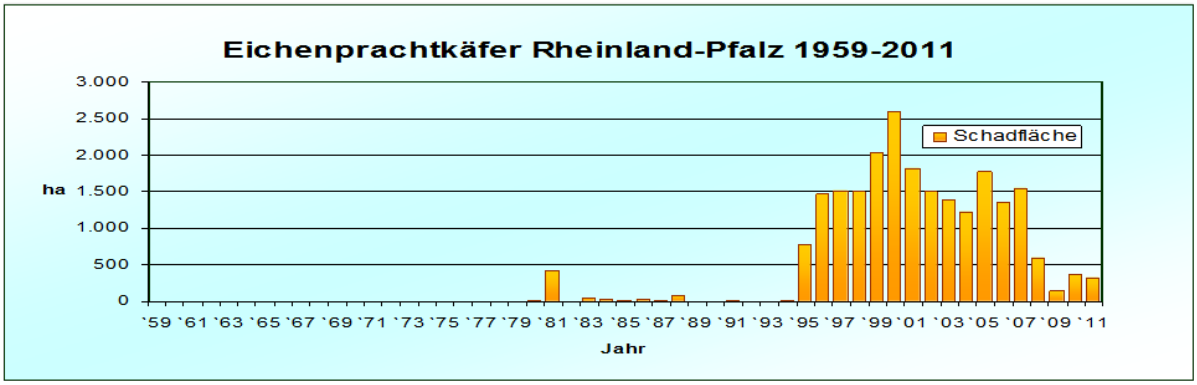
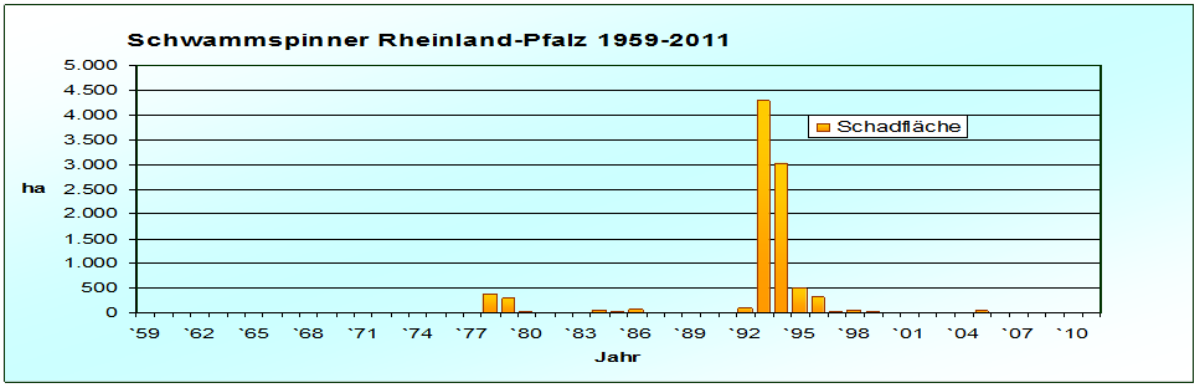
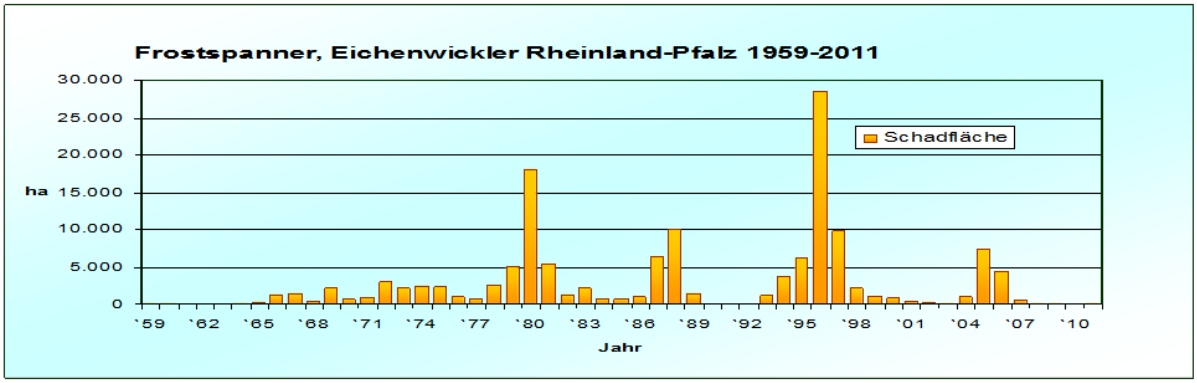


Abb. 12: Ergebnis der landesweiten Überprüfung geschädigter Eichenbestände auf Eichenprachtkäferbefall, Rheinland-Pfalz 1999 bis 2001; Befallsintensität: 0 = ohne Befall; 1 = schwach ausgeprägte Symptome; 2 = deutlicher Befall; 3 = starker Befall, 4 = sehr starker Befall

Die für die Bäume günstigen Witterungsbedingungen in den Jahren 2007 bis 2009 haben in Verbindung mit einem weiteren Abstand zur letzten Gradation der genannten Schmetterlingsarten dazu geführt, dass 2009 ein seit 1994 nicht mehr erreichter Tiefstand der gemeldeten Schadfläche zu verzeichnen war. Dies zeigt, wie bedeutend die Witterungsverhältnisse und der schadauslösende Schmetterlingsfraß für die Entwicklung des EPK sind.







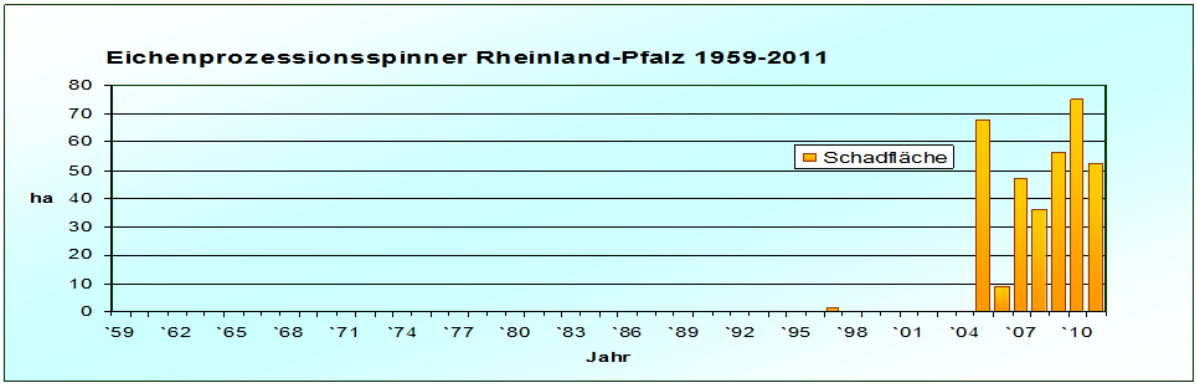


Abb. 13: Entwicklung der vom (a) Eichenprachtkäfer befallenen Flächen (ha) im Vergleich zu den (b) Schwammspinner-, (c) Frostspanner/Eichenwickler- und (d) Eichenprozessionsspinner- Befallsflächen anhand der jährlichen Meldungen der Forstämter von 1959 bis 2011, Land Rheinland-Pfalz; die Ordinatenachsen der Abbildungen sind unterschiedlich skaliert

[aus Gründen der Übersichtlichkeit sind hier die drei in Kap. 2 beschriebenen, grundsätzlich unterschiedlich zu betrachtenden Erfassungszeiträume I (bis 1968), II (1969 bis 1977) und III (ab 1978) nicht markiert]

3.2.2 Buche

Die Rotbuche nimmt in Rheinland-Pfalz 21% der Waldfläche ein und stellt die wichtigste Baumart der natürlichen Waldgesellschaften dar. Die aus biotischen Ursachen entstandenen Schäden nahmen in den letzten Jahren auch hier zu. Es wurden häufiger der Befall durch holz- und rindenbrütende Borkenkäfer sowie Prachtkäfer und besonders auch Krankheiten wie die Buchenrindennekrose beobachtet (Block 2008).

Bei der Buche wirken sich extreme Wetterereignisse wie das Dürrejahr 2003 auf ihren Gesundheitszustand wesentlich aus (Delb 2005 und 2006). Demzufolge wurde nach der Dürre und Hitze im Sommer 2003 vielerorts ein ansonsten seltener Befall durch Rindenbrüter festgestellt. Daran waren der **Kleine Buchenborkenkäfer** (*Taphrorychus bicolor*) und der **Buchenprachtkäfer** (*Agrilus viridis*) wesentlich beteiligt. Wenn auch Rheinland-Pfalz davon weniger betroffen war, geben die Verhältnisse in Baden-Württemberg Aufschluss darüber, welche Folgen potenziell möglich sind. Durch den Orkan „Lothar“ wurden 1999 zahlreiche Buchenbestände aufgerissen. Dort ist nach der Aufarbeitung des Sturmholzes viel Schlagabraum liegen geblieben, sodass der als Totholzbewohner bekannte Kleine Buchenborkenkäfer in den Folgejahren vermutlich eine hohe Populationsdichte aufbauen konnte. Nachdem die Wasserversorgung der Buchen im Sommer 2003 äußerst angespannt war, konnte dieser bereits in hoher Dichte vorhandene Käfer auch stehende Bäume zum Teil erfolgreich befallen. So ist es zu erklären, dass der Befall in Nachbarschaft zu Sturmschadensflächen deutlich intensiver war, als in geschlossenen Beständen. Nachdem der Stehendbefall durch den Kleinen Buchenborkenkäfer in den darauf folgenden Jahren rasch wieder abgeklungen ist, profitierte der Buchenprachtkäfer deutlich länger von der noch einige Jahre danach vorhandenen Disposition der Buchen und den lichten Beständen (Petercord et al. 2007). Diese Entwicklung wurde von dem trocken-heißen Sommer 2006 noch einmal verstärkt. Allerdings hat sich die Situation bei der Buche mit wachsen des zeitlichen Abstandes zu diesen Extremereignissen bei einer weitaus günstigeren Witterung in den letzten Jahren wieder weitgehend beruhigt. Hier hat das Zusammentreffen einer sturmbedingten Störung der Bestandesstrukturen mit einer vergleichsweise kurz danach folgenden extremen Dürre bei der Buche zum Befall durch ansonsten weniger auffällige Schadorganismen geführt. Dies macht deutlich, dass es in Zukunft auch von der zeitlichen Abfolge auftretender Extremereignisse abhängig sein wird, wie stark die Wälder von biotischen Schaderregern betroffen sein werden.

In Rheinland-Pfalz hatte die **Buchenrindennekrose** zu Beginn des letzten Jahrzehnts wieder große Bedeutung erlangt (Petercord und Block 2006). Die **Buchwollschildlaus** (*Cryptococcus fagisuga* Lind.) und Rindenpilze der Gattung ***Nectria*** dürften als wesentliche Auslöser dieser Krankheit auch von warm-trockenen klimatischen Bedingungen profitieren. Auch wenn die Krankheit in den letzten Jahren abgeklungen ist, müssen deshalb nach Einschät-

zung von Block (2008) die Buchenbestände hinsichtlich des Auftretens und des Verlaufs der Erkrankung weiterhin sorgfältig überwacht werden.

Nahezu zeitgleich mit dem Auftreten der Buchenrindennekrose war ein Stehendbefall augenscheinlich vital erscheinender Buchen durch den als „Lagerholzschädling“ eingestuften **Buchennutzholzborkenkäfer** (*Xyloterus domesticus*) festzustellen (Parini und Petercord 2006). Dies wird auf eine zeitlich begrenzte besondere Disposition der Buchen zurückgeführt, deren Ursache nicht bekannt ist. Da Hinweise auf die Ausbildung einer bisher nicht beobachteten zweiten Generation innerhalb eines Jahres vorliegen, könnte sich das Gefährdungspotential durch diesen Schadorganismus für die Buche bei einem künftig wärmeren Klima deutlich erhöhen.

Wenn auch **Phytophthora**- Pilzbefall (*P. cambivora, P. citricola* u.a. Arten) in Rheinland-Pfalz bisher keine besondere Rolle spielt, dürfte dieser sich im Boden verbreitende Pilz von warm-feuchten Wintern profitieren. Gleichzeitig werden die Buchen durch Trockenperioden im Sommer gegenüber einem Befall disponiert. Da solche Witterungsbedingungen den Klimaprognosen zufolge künftig häufiger auftreten werden, sollte in den Buchenbeständen weiterhin sorgfältig auf Symptome dieses Schadorganismus geachtet werden.

3.3 Weitere Schadorganismen

3.3.1 Waldmaikäfer

In der rheinland-pfälzischen Oberrheinebene steigen die Populationsdichten des Waldmaikäfers (*Melolontha hippocastani*) seit den achtziger Jahren wieder deutlich an. Gleichzeitig dehnen sich die Befallsgebiete im Bienwald und bei Germersheim von Flugjahr zu Flugjahr immer weiter aus. Der Käfer fliegt alle vier Jahre und führt seinen Reifungsfraß im Frühling an Laubbäumen durch. Der Larvenfraß an den Wurzeln hat in der Zwischenzeit nicht nur an jungen Buchen und Eichen sondern auch an Kiefern und Douglasien spürbare Vitalitätseinbußen bis hin zum Absterben zur Folge. Während früher in den Befallsgebieten nur eines der vier Entwicklungsstadien zum gleichen Zeitpunkt anzutreffen war, werden in den letzten Jahren immer häufiger mehrere Stadien nebeneinander festgestellt. Dabei liegt die Vermutung nahe, dass ein Teil der Individuen aufgrund verbesserter Lebensbedingungen durch wärmere Temperaturen und trockenere Verhältnisse infolge klimatischer Veränderungen sich schneller entwickeln kann. Die daraus entstehenden so genannten Nebenflüge könnten künftig dazu führen, dass Erholungsphasen für die betroffenen Jungbestände, in denen das kritische dritte Entwicklungsstadium des Engerlings im Boden fehlt, in Zukunft ausfallen werden.

Der Schwärmbeginn des Waldmaikäfers erfolgt in den letzten Jahren aufgrund der immer häufiger auftretenden trocken-warmen Frühjahre tendenziell immer früher (Abb. 12). Extrem waren die Verhältnisse im Jahr 2011, als bereits am 07. April erste Individuen beobachtet wurden. In diesem Jahr wäre eher die Bezeichnung „Aprilkäfer“ zutreffend gewesen. Die anschließend weiter anhaltend günstigen Flugbedingungen bei trocken-warmem Wetter haben dazu geführt, dass sich der Käfer im Bienwald schneller als erwartet über die gesamte als Habitat geeignete Waldfläche ausgebreitet hat. Auch dieses Beispiel zeigt, wie stark Insek-

ten von warm-trockenen Witterungsbedingungen in ihrer Entwicklung und Ausbreitung begünstigt werden.

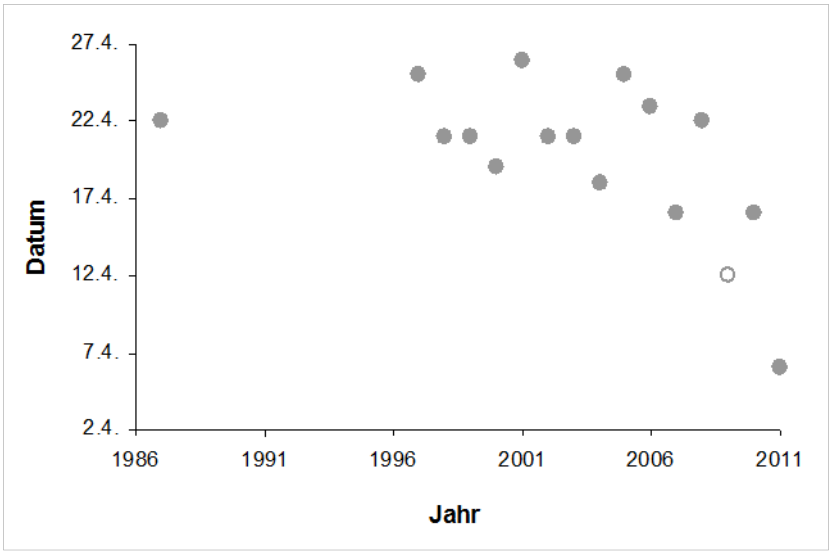


Abb. 14: Entwicklung des Schwärmbeginns des Waldmaikäfers (●) und des Feldmaikäfers (○) in der Oberrheinebene

3.3.2 Eschentriebsterben

Das Eschentriebsterben ist in Rheinland-Pfalz weit vorangeschritten und stellt diese Baumart erheblich in Frage (Metzler 2012). Der erst kürzlich als Erreger identifizierte Pilz ist das „Falsche Stängelbecherchen“ (*Hymenoscyphus pseudoalbidus*), das seine Sporen über die Luft verbreitet. Die Triebe lebender vitaler Eschen werden infiziert und bei Bäumen aller Altersstufen treten Welkeerscheinungen auf. Damit ist diese als relativ trockenstresstolerant geltende Baumart, auf die im Rahmen des Klimawandels große Erwartungen gesetzt wurden, erheblich bedroht. Dies macht deutlich, wie rasch die Erwartungen aufgrund eines Schadorganismus gedämpft werden können. Überraschend ist allerdings die Beobachtung, dass Eschen oft unter gleichen Bedingungen sehr unterschiedlich stark von der Krankheit befallen werden. Direkt neben abgängigen sind oft noch fast vollständig gesunde Exemplare zu beobachten. Dies lässt auf einzelbaumweise Resistenzen hoffen.

3.4 Quarantäne Schadorganismen

Vor allem aufgrund des weltweiten Warenverkehrs sind unsere heimischen Wälder erheblichen Risiken durch die Einschleppung von Schadorganismen aus anderen Teilen der Erde ausgesetzt. Der Klimawandel verstärkt die Gefahr der Etablierung solcher Organismen erheblich, da die Wahrscheinlichkeit, dass diese gebietsfremden Arten auf günstige Lebensbedingungen stoßen, dadurch deutlich erhöht wird.

Ein Beispiel für bereits eingeschleppte Organismen ist der **Esskastanienrindenkrebs** (*Cryphonectria parasitica*), der sich in Rheinland-Pfalz bereits etabliert hat (Peters et al. 2012). Vermutlich wurde dieser gefährliche pilzliche Schaderreger mit befallenem Pflanzenmaterial

aus Südeuropa eingeschleppt. In den Wäldern der pfälzischen Haardt hat er sich besonders im Dürrejahr 2003 ausgebreitet und zum Teil erhebliche Schäden verursacht. Darüber hinaus breitet sich auch die **Japanische Esskastaniengallwespe** (*Dryocosmus kuriphilus*) (Schröder und Weigerstorfer 2007) aus Südeuropa kommend immer weiter aus. Sie tauchte bereits in zwei Baumschulen in den Kantonen Bern und Aargau in der Nordschweiz an Jungbäumen auf (Forster et al. 2011), so dass die Vermutung nahe liegt, dass dieses vor allem die Fruchtbildung hemmende Insekt bald auch schon in Rheinland-Pfalz vorkommen wird.

Der in Ostasien heimische **Asiatische Laubholzbockkäfer (ALB)** (*Anoplophora glabripennis*) ist ein besonders gefährlicher Schädling, der in Deutschland bereits mehrfach aufgetreten ist. Auch in Rheinland-Pfalz wurden am Flughafen Zweibrücken im Frühjahr 2009 in Verpackungsholz Larven des ALB gefunden. Kontrollen an den umliegenden Alleebäumen brachten jedoch keine Hinweise auf eine Ausbreitung dieses Insekts. Zur Vorsorge wurden die Forstleute, Waldbesitzenden und Baumpfleger in der Erkennung der Befallssymptome geschult. Ein enger Verwandter des ALB ist der **Citrusbockkäfer** (*Anoplophora chinensis*) (CLB), der 2008 mit befallenen Zierbäumen aus China nach Deutschland verschleppt wurde. Offenbar ist es aber gelungen, eine Ausbreitung dieses Schädlings zu verhindern. Demgegenüber scheint sich der CLB in Norditalien bereits etabliert zu haben (Schröder 2008).

Ein weiteres Beispiel für die Gefährdung unseres Waldes durch das Einschleppen und die Etablierung eines Schädlings ist der **Kiefernholznematode** (*Bursaphelenchus xylophilus*) (KHN). Dieser Fadenwurm ist ursprünglich in Nordamerika beheimatet, wo er allerdings an den dort heimischen Baumarten keine Schäden anrichtet. Anfang des 20. Jahrhunderts wurde er in Japan eingeschleppt und verursachte an den dort heimischen Baumarten einen jährlichen Schadholzanfall von etwa 1 Million Kubikmeter (Schröder 2004a). In Europa wurde der KHN erstmals 1999 an Seestrandkiefern (*Pinus pinaster*) in Portugal festgestellt. Trotz umfangreicher Gegenmaßnahmen gelang es dort nicht, diesen Quarantäneschädling einzudämmen. Der KHN wird wesentlich über befallenes Verpackungsholz über weite Entfernungen verschleppt. Die Verbreitung von Baum zu Baum erfolgt über Bockkäfer der Gattung *Monochamus*, besonders über den auch in unseren Kiefernwäldern vorhandenen Bäckerbock (*Monochamus galloprovincialis*). Der KNH befällt neben Kiefernarten auch viele andere Nadelbäume wie Fichten, Tannen und Lärchen. Um sein pathogenes Potential entwickeln zu können, sind allerdings Sommertemperaturen von durchschnittlich über 20° C in den Monaten Juli und August notwendig (Rutherford et al. 1990, Schröder 2004b). Die Häufigkeit der Jahre, in denen diese Bedingungen vorliegen, hat in der Oberrheinebene seit 1990 aber deutlich zugenommen. Während dies zwischen 1876 und 1989 nur bei 15% der Jahre zugetroffen hatte, erreichten von 1990 bis 2011 bereits 59% der Jahre diese Durchschnittstemperaturen (Abb. 13). Den Klimaszenarien zufolge könnten in Rheinland-Pfalz diese Durchschnittstemperaturen auch in anderen Kieferngebieten zum Beispiel im Pfälzerwald künftig häufiger oder dauerhaft erreicht werden.

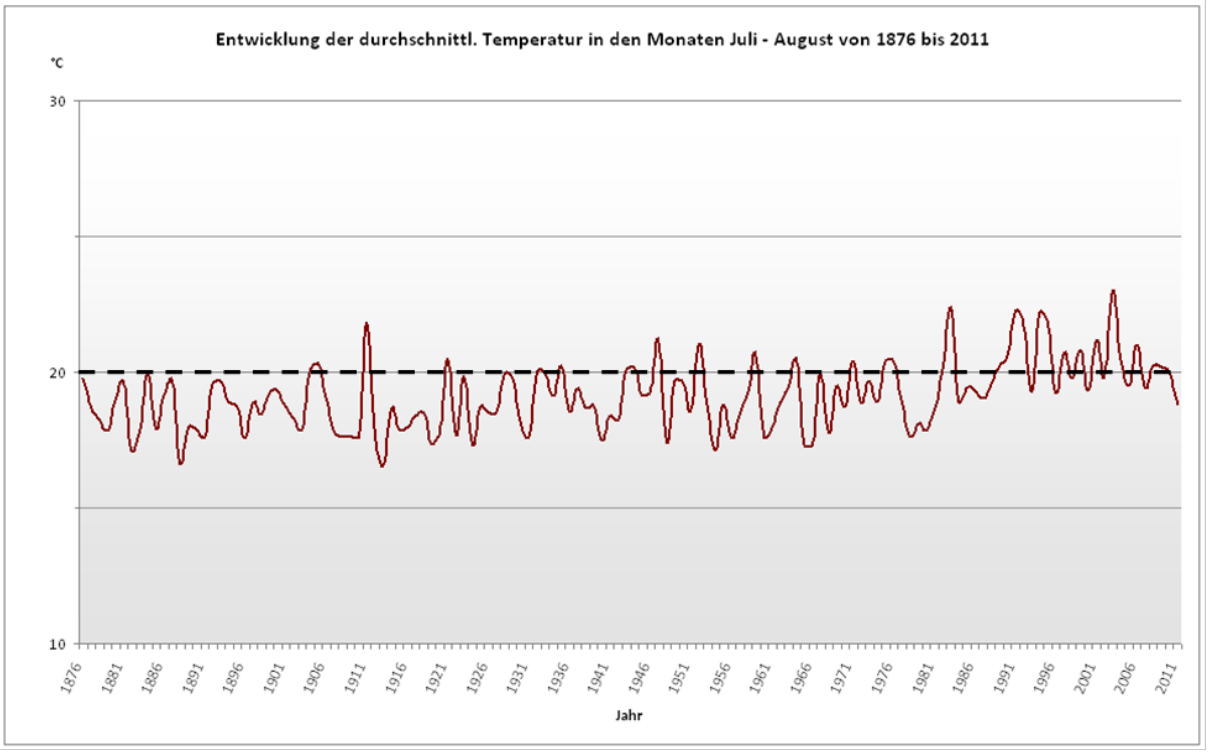


Abb. 15: Durchschnittstemperaturen im Juli und August von 1876 bis 2011 am Beispiel der DWD Messstationen Karlsruhe (bis Oktober 2008) und Rheinstetten (ab November 2008) in der Oberrheinebene

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel stand zu befürchten, dass der im Mittelmeerraum verbreitete **Pinienprozessionsspinner** (*Thaumetopoea pityocampa*) PPS früher oder später über die Burgundische Pforte in die Oberrheinebene einwandern könnte. Diese Befürchtung ist in der Zwischenzeit überholt, da er bereits von Menschen Hand nach Obernai ins französische Elsass verschleppt wurde. Dies erfolgte offenbar schon 2007 wahrscheinlich über für eine Straßenbegrünung in Containern beigeschafftes Pflanzenmaterial, das den PPS im Puppenstadium verschleppte (Pauly 2008). Mittlerweile hat er dort schon mehrere Winter überstanden und scheint sich unter den veränderten klimatischen Bedingungen in der Oberrheinebene bislang etabliert zu haben (Halbig et al. 2012).

4 Schlussfolgerungen

4.1 Bewertung der Retrospektive

Aus der Retrospektive liegen deutliche Hinweise vor, dass der voranschreitende Klimawandel auf die Entwicklung der Schadorganismen und ihr Zusammenspiel mit den Wirtsbäumen bereits nachdrücklich einwirkt. Ungeachtet der Diskussion um die Frage, wie das Klima in einigen Jahren genau aussehen wird, scheint festzustehen, dass sich viele Standorte noch innerhalb der durchschnittlichen Lebenszeiten der Bäume wesentlich verwandeln werden. Damit verbunden ist sehr wahrscheinlich auch eine bedeutende Veränderung des Risikos gegenüber Schadorganismen.

Bei der Aufarbeitung und Auswertung der seit 1959 vorhandenen Schädlingsmeldungen haben sich wesentliche Schwächen des derzeit bestehenden Meldesystems offenbart. Dies sind im Wesentlichen die zeitliche Entkopplung von Schadereignissen und Meldetermin, die geringe räumliche Auflösung der Daten und die über die Jahre mangelnde Konsistenz in der Erfassungsmethode. Derzeit erfolgen die Meldungen auf der Ebene der Forstämter. Die Grenzen dieser Organisationseinheiten reichen aber oft über naturräumlich sinnvolle Aggregations- und Auswertungsräume wie zum Beispiel Wuchsgebiete oder Wuchsbezirke hinaus. Infolge von Organisationsänderungen haben sich ihre Grenzen in den letzten 50 Jahren immer wieder verändert, so dass die räumliche Zuordnung der Daten zur Erstellung von weit zurückreichenden Zeitreihen unterhalb der Landesebene mit großen Schwierigkeiten und Fehlern behaftet ist. Aus diesen Gründen sind räumlich höher aufgelöste Daten wünschenswert, die je nach Fragestellung flexibel aggregiert werden können. Durch immer wieder erfolgte Veränderungen in der Erfassungsmethode, zum Beispiel bei der Klassifizierung von Schadflächen oder beim Katalog der abgefragten Schaderreger, ist die Auswertung der Daten und ihre Interpretation über lange Zeitreihen zudem erheblich erschwert.

Das Instrument zeitnaher, räumlich hoch auflösender, kontinuierlicher und konsistenter Schädlingsmeldungen ist der Kern einer künftigen Anpassungsstrategie zum Klimawandel. So stellt auch das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) in einem Gutachten fest, dass die wenigen für Waldschädlinge bestehenden Populationsmodelle nicht in der Lage sind, „eine komplette Analyse aller durch Klimawandel verursachten Einflüsse und ihrer Auswirkungen auf Schadinsekten zu ermöglichen“. Deshalb wird der Rat gegeben, „am bisherigen Forstschutzwesen festzuhalten“ und „auf keinen Fall das Monitoring schleifen zu lassen“ (Kropp et al. 2009). Darüber hinaus fordern Chornesky et al. 2005 (n. Kropp et al. 2009)

den „Auf- und Ausbau eines Informationsnetzes zu möglichen Arten, ihrer Erkennbarkeit, Ökologie, Schadpotentiale und Bekämpfungsmaßnahmen“. Die Begriffe Monitoring und Überwachung werden in diesem Zusammenhang gleichbedeutend verwendet.

Die Schädlingsüberwachung ist wesentliche Grundlage einer schlagkräftigen Offizialberatung, die im Rahmen der Vorgaben des Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG) in Verbindung mit eingehenden Verordnungen der Europäischen Union (EU) eine herausragende Bedeutung hat. Im „Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“ ist vorgesehen, dass auf Landesebene neben der Erweiterung des Informations- und Beratungsangebotes eine Intensivierung der Schaderregerüberwachung erfolgen soll.

Wesentliche Instrumente der Schädlingsüberwachung im Wald sind die

- Jährlichen Meldungen der Schadorganismen und die
- Differenzierten Verfahren der Schädlingsprognose

Mit Hilfe der daraus zu gewinnenden Informationen wird die Populationsentwicklung und das Gefahrenpotenzial der Schadorganismen abgeschätzt (BML[12] 1998, Delb 2008).

Ein kontinuierliches Web-basiertes Melde- und Berichtswesen mit zeitnahen, räumlichen hoch aufgelösten Erfassungs- und Darstellungsmöglichkeiten soll die Schädlingsüberwachung und die Beratung deutlich verbessern. Über geeignete laufende Routineberichte sollen Informationen für die Steuerung der Forstbetriebe, die Entscheidungsträger, die Politikberatung und die Erstellung von Handlungsempfehlungen sowie die Öffentlichkeit zeitnah und mit räumlichem Bezug in geeigneter Form online abrufbar bereitgestellt werden. Gleichzeitig sollen auch die Prognoseverfahren von Waldschädlingen neu organisiert und verbessert werden. Dies kann durch die Einführung von Waldschutz-Korrespondentinnen und -Korrespondenten an den Forstämtern maßgeblich unterstützt werden.

Ein weiteres wichtiges Instrument der Schädlingsüberwachung ist die Verbuchung der Schadhölzer als sogenannte „zufällige Nutzungen (ZN)“ im Forstbetrieb. Aufgrund methodischer Mängel (siehe Stahl 2007) sollte das Verfahren jedoch überprüft und in Bezug auf die Erfassung und treffende Zuordnung der Schadursachen optimiert werden.

4.2 Szenarien der prospektiven Schädlingsentwicklung

Die Zusammenhänge zwischen dem Klima und der Entwicklung von Schadorganismen sind sehr komplex, wie bereits Schwerdtfeger (1941) beschreibt. So hat die Witterung zum Beispiel auch einen direkten Einfluss auf ihre Gegenspieler. Sollten sich im Rahmen des Klimawandels die Bedingungen beispielsweise für Räuber oder Parasiten wesentlich verbessern, kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich im einen oder anderen Fall die Gefährdung für Waldbäume durch Schadorganismen auch vermindern wird. Der Rückgang der Massenvermehrungen von Kiefern-Großschädlingen und Blattwespen in den letzten Jahrzehnten könnte somit auch auf die im Zuge des Klimawandels milderen und feuchteren Winter, die sich

12 BML = Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

auf ihre pilzlichen Gegenspieler günstig auswirken, zurückgeführt werden (vgl. Kap. 4.2.1). Ein anderes Beispiel potenziell nachteiliger Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung von Schadorganismen stellen möglicherweise die asynchronen Veränderungen der Phänologie von Raupenschlupf und Laubaustrieb bei schädlichen Schmetterlingen dar (vgl. Kap. 5.1.1). Eine sich daraus ergebende zunehmend fehlende Koinzidenz könnte die Entwicklung der betroffenen Arten beträchtlich einschränken.

Nicht nur aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge aller Faktoren eines Massenwechsels ist es sehr schwierig, für die Zukunft raum- und zeitbezogen präzise prospektive Aussagen zur Entwicklung von Schadorganismen zu treffen. Oft ist auch der Wissensstand zu einem Insekt noch bei weitem nicht ausreichend, um die in Bezug auf den Klimawandel entstandenen Fragen zu beantworten. Selbst bei einem sehr intensiv untersuchten Schadorganismus wie dem in Mitteleuropa weit verbreiteten Buchdrucker (*Ips typographus*) sind beispielsweise die Mechanismen der Überwinterung nicht endgültig geklärt. So ist die Ableitung einer mittel- und langfristigen Populationsentwicklung über mehrere Jahre mit Hilfe von Klimadaten zum Beispiel aus dem Modell der Buchdruckerentwicklung nach Baier et al. (2007) problematisch, da es allein die Verhältnisse innerhalb eines Jahres abbildet.

Die Entwicklung und die Überlebensraten von Insekten sind neben den Strahlungsverhältnissen und den Niederschlägen ganz wesentlich von den Temperaturen abhängig (z.B. Bale et al. 2002). Aus diesem Grund werden beispielsweise in den USA vor allem bei Schadorganismen in der Land- aber auch in der Forstwirtschaft Temperatur- bzw. Wärmesummen in Form von Tagesgraden im großen Maßstab bereits für prognostische Zwecke zur Unterstützung der integrierten Schädlingsbekämpfung herangezogen (UC IPM[13] 2012). In Europa werden von einem Schwellenwert abhängige Temperatursummen bereits seit längerer Zeit zum Beispiel zur Vorhersage des Flugbeginns beim Maikäfer herangezogen (Decoppet 1920, Horber 1955). Dieser autökologische Ansatz auf Grundlage von gemessenen Wetterdaten sowie Wettervorhersagen kann einer kurzfristigen Fernprognose des Entwicklungsstadiums, des Käferflugs oder des Schlüpfens der Raupen dienen. Dadurch werden zum Beispiel die Überwachung des Buchdruckers oder die Bekämpfung des Eichenprozessionsspinners optimiert. Für langfristige Modellierungen von Szenarien der Schädlingsentwicklungen in Abhängigkeit von Klimadaten bestehen in absehbarer Zeit für viele wichtige zu berücksichtigende Parameter oft jedoch keine ausreichenden Datengrundlagen für eine hinreichend genauen Einschätzung der komplexen Zusammenhänge. Zudem sind die notwendigen synökologische Betrachtungsweisen aufgrund erheblicher Wissenslücken und Unsicherheiten kaum möglich.

Insbesondere für Schadorganismen, die bisher keine bedeutende Rolle gespielt haben, liegen nur wenige Kenntnisse über die biologischen Grundlagen und Auswirkungen auf den Wald vor. So waren beispielsweise zum Kleinen Buchenborkenkäfer (*Taphrorhychus bicolor*), der infolge der Dürre 2003 in Südwestdeutschland plötzlich massenhaft lebende Buchen befiel, kaum Informationen vorhanden (Postner 1974, Schönherr et al. 1983). Die in der Lite-

13 UC IPM = University of California Agriculture and Natural Resources statewide Integrated Pest Management Program

ratur angegebenen Flugzeiten konnten später in eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden (Delb 2006). Auch daraus wird ersichtlich, dass bezüglich der Bedeutung von Schadorganismen für den Wald im Rahmen des Klimawandels noch viele Fragen offen sind und der oft unter anderen klimatischen Bedingungen ermittelte bisherige Wissensstand nicht mehr unbedingt zutreffend ist.

Deshalb ist es besonders wichtig, die Waldschädlinge intensiver als in der Vergangenheit zu überwachen und die Prognoseverfahren zu optimieren. In dieser Beziehung sollte die zielgerichtete Forschung unbedingt weiter intensiviert werden. So stellt auch das PIK[14] in einem Gutachten fest, dass die wenigen für Waldschädlinge bestehenden Populationsmodelle nicht in der Lage sind, „eine komplette Analyse aller durch Klimawandel verursachten Einflüsse und ihrer Auswirkungen auf Schadinsekten zu ermöglichen“. Deshalb wird der Rat gegeben, „am bisherigen Forstschutzwesen festzuhalten“ und „auf keinen Fall das Monitoring schleifen zu lassen“ (Kropp et al. 2009).

Eine weitere Schwierigkeit für die Erstellung treffender Szenarien für die Entwicklung von Schadorganismen ist der oft enge Zusammenhang von Massenvermehrungen mit extremen Wetterereignissen, deren zeitliches und räumliches Auftreten kaum vorausgesagt werden kann. Denn nach Anfall von Sturmholz oder Schneebruch und infolge anderer Störungen wie zum Beispiel extreme Dürresommer können zum Beispiel beim Borkenkäfer durchaus auch auf weniger disponierten, besser wasserversorgten Standorten Gradationen entstehen, die einen gravierenden Stehendbefall lebender Bäume zur Folge haben.

Eine bundesweite Auswertung seit 1920 zeigt einen eindeutigen Anstieg der Häufigkeit der Sturmschäden und der angefallenen Holzmengen (Majunke et al. 2008). Nach Albrecht et al. (2009) konnte bisher jedoch kein kausaler Zusammenhang zwischen anthropogenen Klimaänderungen und Änderungen der Sturmaktivität in der nordatlantisch-europäischen Region nachgewiesen werden. Sie stellen fest, dass „große interne Schwankungen der Sturmaktivität .. für das Klima der nordatlantisch-europäischen Region charakteristisch und natürlich“ sind. „Die Analyse des Sturmgeschehens bis heute zeigt widersprüchliche Ergebnisse ohne deutliche Änderungen zugunsten eines positiven oder negativen signifikanten Trends. Ebenso widersprüchlich sind die Ergebnisse für die Projektion von Stürmen unter Klimawandelbedingungen des ausgehenden 21. Jahrhunderts. An der größeren Anzahl an Studien mit entsprechenden Ergebnissen festgemacht, wird für die Zukunft eine leichte Tendenz hin zu einer zunehmenden Bedeutung von Winterstürmen erwartet, die mit einer Abnahme von Stürmen während der Sommermonate einhergeht“.

Für die Einschätzung möglicher Reaktionen von aktuellen und potenziellen Waldschädlingen auf den Klimawandel ist in Anbetracht der Komplexität der Zusammenhänge die Betrachtung von durchschnittlichen Veränderungen in der Temperatur oder im Niederschlag in der Regel nicht zielführend. Hier müssen die Verhältnisse während der unterschiedlich empfindlichen Entwicklungsphasen eines Insektes genau analysiert werden. So stellen Visser und Holleman (2001) beispielsweise fest, dass beim Frostspanner die für den Raupenschlupf not-

14 PIK = Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

wendigen Wärmesummen (01.01. bis 15.04.) von der Anzahl der Frosttage (01.12. bis 01.03.) abhängig sind. Je weniger Frosttage, desto größer ist die für den Schlupf notwendige Wärmesumme. Wenn die Frühjahrstemperaturen steigen ohne dass sich die Anzahl der Frosttage entscheidend verändert, erfolgt der Schlupf demnach immer früher. Dies könnte sich bei Verringerung der Frosttage aber auch wieder umkehren. Nach Ansicht der beiden Autoren ist die Analyse des genauen Temperaturverlaufs zur differenzierten Einschätzung der Effekte eines Klimawandels sehr wichtig. Dies gilt für die Einschätzung der Entwicklungspotenziale für Schadorganismen und deren Gegenspieler aber gleichermaßen auch für die Niederschläge und andere Klimaparameter.

4.3 Erste Handlungsmöglichkeiten

Insgesamt ist festzustellen, dass die seit einiger Zeit messbaren Veränderungen des Klimas im Waldschutz bereits deutlich spürbar sind. Dies zeigen die vorstehend aufgeführten Beispiele eines häufigeren, weiter verbreiteten und intensiveren Auftretens von Schadorganismen im Wald.

Deshalb müssen die Baumarteneignungen für viele Standorte grundsätzlich neu überdacht werden. Ein notwendiger Baumartenwechsel sollte jedoch vorsichtig erfolgen, damit der Wald möglichst lange geschlossen bleibt. Dies kann zum Beispiel mit Hilfe eines Voranbaus erreicht werden. Damit wird weitgehend ausgeschlossen, dass schlagartig zu viel Licht und Wärme in die Waldbestände eindringt und sich somit die Entwicklungsbedingungen für Schadorganismen wesentlich verbessern. Eine vertikale Strukturierung der Waldbestände führt bekanntermaßen ebenfalls zu einem kühleren Kleinklima. Darüber hinaus sorgt sie genauso wie eine möglichst vielseitige Baumartenmischung für eine Diversifizierung und Risikostreuung, so dass selbst bei Ausfällen ganzer Baumarten die Waldbestände nicht völlig aufgelöst werden (Roeder 1991). Um das Waldklima nicht zu sehr zu stören, ist es zudem ratsam, Pflegeeingriffe so früh wie möglich zu beginnen und die Holznutzung in den Waldbeständen so behutsam wie zur Erreichung der waldbaulichen Ziele möglich durchzuführen.

In vielen Beständen wird ein Baumartenwechsel nicht innerhalb der in vergleichsweise kurzer Zeit zu erwartenden klimatischen Veränderungen realisierbar sein. Zur Risikominderung müssen deshalb Waldschutzmaßnahmen dazu beitragen, dass die Folgen eines im Rahmen des Klimawandels verstärkten Aufkommens und steigenden Gefahrenpotenzials der Schadorganismen auf den Wald abgeschwächt werden. Dadurch können rasche vorzeitige Waldverluste reduziert und die waldbaulichen Reaktionszeiträume gestreckt werden. Zu den erforderlichen Maßnahmen gehört neben einer effektiven und konstanten Schädlingsüberwachung sowie Quarantäne die konsequente Einhaltung der Waldhygiene. Im äußersten Notfall darf auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zur Erhaltung der Wälder nicht ausgeschlossen sein.

In Anbetracht der in absehbarer Zeit eingeschränkten Möglichkeiten, die Entwicklung von Schädlingspopulationen mit ausreichender Genauigkeit in Modellen zu erfassen, gewinnt die Schädlingsüberwachung eine außerordentliche Bedeutung. Deshalb muss das bestehende Meldewesen unbedingt an die neuen Herausforderungen angepasst werden. Darüber hinaus

sind die Verfahren zur Schädlingsprognose weiter zu entwickeln. Diese Maßnahmen sollten zur Optimierung der Informationsflüsse durch die Implementierung von Waldschutz-Korrespondenten in den Forstämtern ergänzt werden. Darüber hinaus sind eingehende Risikoanalysen notwendig, um die Gefährdung durch Schadorganismen richtig einschätzen und angemessene Gegenmaßnahmen treffen zu können. Ungeachtet dessen sollten bestehende Modelle zur Schädlingsentwicklung auf Basis von Klimadaten für kurzfristige Fernprognosen und für die Beschreibung mittel- oder langfristiger Szenarien weiter optimiert und nach Möglichkeit neu aufgebaut werden.

Eine wesentliche Basis für die Umsetzung dieser Erfordernisse ist ein umfangreiches Expertenwissen in der Biologie, Diagnose und Therapie von Schadorganismen und Waldkrankheiten, das im Rahmen von Beratungen durch Spezialistinnen und Spezialisten in die Forstbetriebe eingebracht wird. Da gerade im Zusammenhang mit dem Klimawandel viele Fragen noch unbeantwortet sind und immer wieder neue Phänomene auftreten, muss der Wissensstand dieser Expertinnen und Experten kontinuierlich aktualisiert werden. Eine gezielte und auf die Forstbetriebe ausgerichtete, handlungsorientierte Forschung stellt hierzu eine weitere wesentliche Grundlage dar.

In Zukunft werden der Waldwirtschaft durch die Folgen des Klimawandels ein Mehraufwand und Mindererlöse entstehen, die neben dem Ziel der Walderhaltung durch angepasste Waldschutzmaßnahmen deutlich reduziert werden können.

5 Zusammenfassung

Die seit einiger Zeit messbaren Veränderungen des Klimas sind im Waldschutz bereits deutlich spürbar. Viele heimische Organismen haben sich im Wald weiter verbreitet als zuvor und ein höheres Schadpotenzial entwickelt. Dazu kommen Bedrohungen gebietsfremder Arten, die einwandern oder eingeschleppt werden und sich unter diesen Bedingungen leichter etablieren können. Darüber hinaus sind erste Anpassungen von Schadorganismen an neue Baumarten zu beobachten. Es liegen allerdings auch Hinweise darauf vor, dass einige Schadorganismen durch den Klimawandel benachteiligt werden könnten.

Die Erstellung von langfristigen Szenarien der prospektiven Schädlingsentwicklung ist anhand von Modellen in absehbarer Zeit nicht mit hinreichender Genauigkeit möglich. Deshalb erhält die Schädlingsüberwachung eine außerordentliche Bedeutung. Das bestehende Meldewesen muss unbedingt an diese neue Herausforderung angepasst werden. Darüber hinaus sind die Verfahren zur Schädlingsprognose weiter zu entwickeln. Diese Maßnahmen sollten zur Optimierung der Informationsflüsse durch die Implementierung von Waldschutz-Korrespondenten in den Forstämtern ergänzt werden. Darüber hinaus sind eingehende Risikoanalysen notwendig, um die Gefährdung durch Schadorganismen richtig einschätzen und angemessene Gegenmaßnahmen treffen zu können. Ungeachtet dessen sollten bestehende Modelle zur Schädlingsentwicklung auf Basis von Klimadaten für kurzfristige Fernprognosen und für die Beschreibung mittel- oder langfristiger Szenarien weiter optimiert und nach Möglichkeit neu aufgebaut werden.

Eine wesentliche Basis für die Umsetzung dieser Erfordernisse ist ein umfangreiches Expertenwissen zu Schadorganismen und Waldkrankheiten, das im Rahmen von Beratungen durch Spezialistinnen und Spezialisten in die Forstbetriebe eingebracht wird. Eine gezielte und auf die Forstbetriebe ausgerichtete, handlungsorientierte Forschung stellt hierzu eine wesentliche Grundlage dar.

In Zukunft werden der Waldwirtschaft durch die Folgen des Klimawandels ein Mehraufwand und Mindererlöse entstehen, die neben dem Ziel der Walderhaltung durch angepasste Waldschutzmaßnahmen deutlich reduziert werden können.

6 Literaturverzeichnis

ALBRECHT, A., SCHINDLER, D., GREBHAN, K., KOHNLE, U., MAYER, H. (2009): Sturmaktivität über der nordatlantisch-europäischen Region vor dem Hintergrund des Klimawandels - eine Literaturübersicht. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 180. Jg., 5/6, 109-118

ALTENKIRCH, W., MAJUNKE, C., OHNESORGE, B. (2002): Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Eugen Ulmer Verlag, S. 208-209

BAIER, P., PENNERSTORFER, J., SCHOPF, A. (2007): PHENIPS - A comprehensive phenology model of Ips typographus (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. Forest Ecology and Management, Vol. 249, I. 3, 171-18

BALE, J.S., MASTERS, G.J., HODKINSON, I.D., AWMACK, C.†, BEZEMER, T.M., BROWN, V.K., BUTTERFIELD, J., BUSE, A., COULSON, J.C., FARRAR, J., GOOD, J.E.G., HARRINGTON, R., HARTLEY, S., JONES, T.H., LINDROTH, R.L., PRESS, M.C., SYMRNIOUDIS, I., WATT, A.D., WHITTAKER, J.B. (2002): Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. Clobal Change Biol. 8: 1-16

BLASCHKE, M., BUßLER, H., SCHMIDT, O. (2008): Die Douglasie - (k)ein Baum für alle Fälle. LWF Wissen 59, 57-61

BLASCHKE, M., CECH, L. T. (2009): Weißkiefernsterben als Spätfolge des Trockenjahrs 2003? Forstschutz Aktuell 40, 2007, 32-34

BLOCK, J. (2008): Buche - „Mutter des Waldes“ oder Problembaumart? Ann. Sci. Rés. Bios. Trans. Vosges du Nord - Pfälzerwald 14, 2008: 59-77

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BML) (HRSG.) (1998): Überwachungs-, Melde- und Prognoseverfahren ausgewählter Schadorganismen des Waldes. Arbeitsmaterial der BML-Arbeitsgruppe Waldschutz, 101 S. (unveröffentlicht)

BURSCHEL, P., HUSS, J. (1997): Grundriss des Waldbaus. Parey Studientexte 49, 487 S.

BUßLER, H. und BLASCHKE, M. (2004): Die Douglasie - (k)ein Baum für alle Fälle - Waldschutzaspekte bei der Douglasie. LWF-aktuell (10) 46, 14-15.

DALE, V. H., JOYCE, L. A., MCNULTY, S., NEILSON, R. P., AYRES, M. P., FLANNIGAN, M. D., HANSON, P. J., IRLAND, L.C., LUGO, A.E., PETERSON, C.J., SIMBERLOFF, D. F, SWANSON, F. J., STOCKS, B. J., WOTTON, B. M. (2001): Climate Change and Forest Disturbances. BioScience 51 (9) 723-734

DECOPPET, M. (1920): Le Hanneton. Payot, Lausanne, 131 S.

DELB, H. (1999): Folgewirkungen der Schwammspinner-Kalamität 1992 bis 1995 (Lymantria dispar L.) in einem mitteleuropäischen Eichenwaldgebiet am Beispiel des Bienwaldes in Rheinland-Pfalz. Dissertation Universität Göttingen, 154 S. und Anhang

DELB, H. (1999): Schwammspinner-Kalamitäten in Rheinland-Pfalz. In: Delb, H., Block, J. (Hrsg.): Untersuchungen zur Schwammspinner-Kalamität 1992 bis 1994 in Rheinland-Pfalz. Mitt. Forstl. Versuchsanst. Rheinland-Pfalz, Nr. 45/99, S. 2-13

DELB, H. (2002): Gefährdung von Eichenbeständen durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus* [F.]) in Rheinland-Pfalz und Gegenmaßnahmen. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirtsch. 390, 237-238

DELB, H. (2005): Rindenbrüter an Buchen nach der trocken-heißen Witterung im Sommer. In: DUJESIEFKEN, D., KOCKERBECK, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2005, Thalacker Verlag Braunschweig, 203-207

DELB, H. (2006): Bark-breeding beetles on beech in context to the drought of 2003 in Germany. In: CSÓKA, GY., HIRKA, A., KOLTAY, A. (eds.): Biotic damage in forests. Proceedings of the IUFRO (WP 7.03.10 "Methodolgy of forest pest and disease survey in Central Europe") Symposium held in Mátrafüred, Hungary, September 12-16, 2004. Hungarian Forest Research Institute Agroinform Publishing House, p. 28-31

DELB, H. (2008): The Current Practice of Forest Pest Monitoring in the Southwest of Germany. In: HOYER-TOMICZEK, U., FORSTER, B., KNIZEK, M. & WOJCIECH, G. (eds.): Proceedings of the IUFRO-Workshop on "Methodolgy of forest pest and disease survey in Central Europe" (WP 7.03.10), Sept. 11th - 14th, 2006, Gmunden, Austria, p. 86-99

DELB, H. (2012): Eichenschädlinge im Klimawandel in Südwestdeutschland. FVA-einblick, FVA Baden-Württemberg. in Vorbereitung

DELB, H., BLOCK, J. (Hrsg.) (1999): Untersuchungen zur Schwammspinner-Kalamität 1992 bis 1994 in Rheinland-Pfalz. Mitt. Forstl. Versuchsanst. Rheinland-Pfalz 45, 246 S.

DELB, H., OTT, A., HENKE, L. & WAGENHOFF, E. (2010): Fachbeitrag Waldschutz zum Abschlussbericht des Projektes 1014: Evaluierung der Regulierungsmaßnahmen der Waldmaikäfer- Populationen in der nördlichen Oberrheinebene, S. 15-150. www.fva-bw.de (PDF abgerufen am 13. April 2012)

DISCH, H., DELB, H. (2011): Übersicht der an der Baumart Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco) in Nordamerika, Neuseeland, Australien und Europa beschriebenen Insekten (unveröffentlicht)

DELB, H., PONTUALI, S. (eds.) (2011): Biotic Risks and Climate Change in Forests. Proceedings of the IUFRO Working Party 7.03.10 Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe, 10th Workshop September 20th-23rd, 2010, Freiburg, Germany. Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 89, FVA, 198 p.

EIDGENÖSSISCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR WALD, SCHNEE UND LANDSCHAFT (WSL) (HRSG.) (2011): Jahresbericht der Eidg. Forschungsanstalt WSL 2010. 36 S.

EUROPEAN AND MEDITERRANEAN PLANT PROTECTION ORGANISATION (EPPO) (2005): Data Sheets on Quarantine Pests: Dendrolimus sibiricus and Dendrolimus superans. OEPP/EPPO Bulletin 35, 390-395. www.eppo.int/QUARANTINE/listA2.htm (PDF abgerufen am 13. April 2012)

EPPO (2012a): EPPO A1 (A quarantine pest not present in that area) List of pests recommended for regulation as quarantine pests. www.eppo.org/QUARANTINE/listA1.htm (abgerufen am 09. Februar 2012)

EPPO (2012b): EPPO A2 (A quarantine pest present in that area but not widely distributed there and being officially controlled) List of pests recommended for regulation as quarantine pests. www.eppo.int/QUARANTINE/listA2.htm (abgerufen am 13. April 2012)

EPPO (2012c): Data Sheets on Quarantine Pests: Dendroctonus pseudotsugae. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003. www.eppo.org/QUARANTINE/listA1.htm (PDF abgerufen am 09. Februar 2012)

EPPO (2012d): Data Sheets on Quarantine Pests: Orgyia pseudotsugata. www.eppo.org/QUARANTINE/listA1.htm (PDF abgerufen am 09. Februar 2012)

EPPO (2012e): Data Sheets on Quarantine Pests: Choristoneura fumiferana. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003. www.eppo.org/QUARANTINE/listA1.htm (PDF abgerufen am 09. Februar 2012)

EPPO (2012f): Data Sheets on Quarantine Pests: Arceuthobium spp. (non-European). Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003. www.eppo.org/QUARANTINE/listA1.htm (PDF abgerufen am 09. Februar 2012)

FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) (2009): Global review of forest pest and diseases. FAO Forestry Paper 156, Rom, 2009, 222 p.

FORSTER, B., ENGESSER, R., MEIER, F. (2011): Waldschutz Aktuell 2/2011. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Waldschutz Schweiz. http://www.wsl.ch/fe/walddynamik/waldschutz/wsinfo/wsaktuell_DE (abgerufen am 13. März 2012)

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT (FVA) BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Hinweise zur Erstellung der jährlichen Schädlingsmeldung. 7. überarbeitete Auflage, Abteilung Waldschutz, 3 S.

GOßNER, M. (2004): Nicht tot, aber sehr anders! - Arthropodenfauna auf Douglasie und Amerikanischer Roteiche. LWF aktuell 45, S. 10-11

GOßNER, M. (2008): Insektenwelten - Die Douglasie im Vergleich mit der Fichte. LWF Wissen 59, 70-73

GROENEN, F., MEURISSE, N. (2011): Historical distribution of the oak processionary moth Thaumetopoea processionea in Europe suggests recolonization instead of expansion. *Agriculture and Forest Entomolgy*, doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00552.x, 9 p.

HALBIG, P., HENKE, L., KLIMETZEK, D., WAGENHOFF, E., DELB, H. (2011): Monitoring and risk assessment of the Pine Processionary Moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lep., Notodontidae), for the Upper Rhine Valley. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 18, 405-407

HARTMANN, G. (1996): Ursachenanalyse des Eichensterbens in Deutschland - Versuch einer Synthese bisheriger Befunde. In Wulf, A., Kehr, R. (Bearbeiter): Eichensterben in Deutschland. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin Dahlem, Heft 318, S. 125-151.

HARTMANN, G., BLANK, R. (1992): Winterfrost, Kahlfraß und Prachtkäferbefall als Faktoren im Ursachenkomplex des Eichensterbens in Norddeutschland. Forst und Holz 47, 443-452

HORBER, E. (1955): Ökologische und statistische Untersuchungen an Populationen des Feldmaikäfers (*Melolontha vulgaris* F.). Landw. Jahrb. d. Schweiz 69: 197-210

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

JANSSEN, T., WULF, A. (1999): Zur Bedeutung von Misteln im Forstschutz. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirtsch. 369, 142 S.

JULIUS KÜHN-INSTITUT (JKI), BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR KULTURPFLANZEN (2011): Eichenprozessionsspinner. Informationsblatt. www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_veroeff/faltblaetter/ Eichenprozessionsspinner.pdf (abgerufen am 03.05.2012)

KEHR, R., PEHL, L., WULF, A., SCHRÖDER, T., KAMINSKI, K. (2004): Zur Gefährdung von Bäumen and Waldökosystemen durch eingeschleppte Krankheiten and Schädlinge. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 56 (10), 217-238

KIRICHENKO, N., FAMENT, J., BARANCHIKOV, Y., GRÉGOIRE, J.-C. (2011): Ability of Siberian moth to develop on European and North American conifers (a trial on potted trees). In: Delb, H., Pontuali, S. (eds.) (2011): Biotic Risks and Climate Change in Forests. Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 89, p. 61-64

KLIMETZEK, D. (1972): Die Zeitfolge von Übervermehrungen nadelfressender Kiefernraupen in der Pfalz seit 1810 und die Ursachen ihres Rückganges in neuerer Zeit. Zeitschrift für Angewandte Entomologie, Volume 71, Issue 1-4, January/December 1972, pages 414–428,

KLIMETZEK (1972): Veränderungen in der Forstamtseinteilung der Pfalz. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 143. Jg., 7, 150-151

KÖCHLE-OBERLE, K. (2005): Klimaerwärmung: Mistel erobert immer höhere Gebiete. Inf.bl. Forsch.bereich Wald 19, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, S. 5

KROPP, J., HOLSTEN, A., LISSNER, T., ROITHMEIER, O., HATTERMANN, F., HUANG, S., ROCK, J., WECHSUNG, F., LÜTTGER, A., POMPE, S., KÜHN, I., COSTA, L., STEINHÄUSER, M., WALTHER, C., KLAUS, M., RITCHIE, S., METZGER, M. (2009): „Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren“. Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV). Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren. 259 S. und Anhang

LANDESFORSTEN RHEINLAND-PFALZ (2011): Kraege: „Aufarbeitung nach Sturmtief „Xynthia“ erfolgreich abgeschlossen - Klimaangepasste Wiederbewaldung“. www.wald-rlp.de/Aktuelles vom 18.03.2011 (abgerufen am 01. April 2011)

LANDESFORSTEN RHEINLAND-PFALZ (2012): Baumartenverteilung in Rheinland-Pfalz. www.wald-rlp.de/index.php?id=49 (abgerufen am 26. Januar 2012)

LANGER, G., BRESSEM, U., HABERMANN, M. (2011): Diplodia-Triebsterben der Kiefer und endophytischer Nachweis des Erregers *Sphaeropsis sapinea*, AFZ/Der Wald 11/2011, S. 28-31

LEMME, H. (2009): Eine robuste Amerikanerin: Schadinsekten an der Douglasie in Nordamerika und Europa. Was kommt auf uns zu? LWF aktuell 72, S. 22-24

LOBINGER, G. (1999): Zusammenhänge zwischen Insektenfraß, Witterungsfaktoren und Eichenschäden. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Nummer 19, 89 S.

LOBINGER, G. (2002): Wissenswertes über Borkenkäfer. LWFaktuell 22/2002, S. 10-11

LÜDGE, W. (1971): Der Einfluss von Laubholzunterstand auf die Schädlingsdichte in den Kieferbeständen der Schwetzinger Hardt. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 142. Jg., S. 173-178

MAJUNKE, C., MATZ, S., MÜLLER, M. (2008): Sturmschäden in Deutschlands Wäldern von 1920 bis 2007. AFZ/Der Wald 63 (7), S. 380-381

METZLER, B (2010): Waldschutzaspekte bei der Douglasie. FVA-einblick 3/2010, S. 6 - 8

METZLER, B. (2003): Rußige Douglasienschütte. Waldschutz-Info 2/2003, Online-Version Stand: 30.07.2010. www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/pilze_nematoden/fva_douglasienschuette (abgerufen am 10. Februar 2012)

METZLER, B. (2012): Eschentriebsterben: Schadensintensivierung durch Stammfußnekrosen. FVA Waldschutz-Info 3/2012, 4 S.

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. *Agriculture and Forest Entomolgy*, doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00562.x, 12 p.

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN (1986): Jahresbericht der Landesforstverwaltung 1984, 183 S.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (1994): Forstatlas. Mitt. Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz, 12/1994, 104 S.

MÖLLER, K. (2005): Der Kiefernspinner - Informationen für Waldbesitzer. Faltblatt der Landesforstanstalt Eberswalde, Hauptstelle für Waldschutz. http://forst.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2324.de/fb_kiefsp.pdf (abgerufen am 10. Februar 2012)

MÖLLER, K. (2006): Zur Beteiligung der Eichenfraßgesellschaft am Schadgeschehen in den Eichenbeständen 2004 in Brandenburg. Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 15, 209-212

MÖLLER, K. und HEYDECK, P. (2009): Risikopotenzial und akute Gefährdung der Douglasie - biotische und abiotische Faktoren. In: Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Landesbetrieb Forst Brandenburg, Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) (Hrsg.): Die Douglasie im nordostdeutschen Tiefland - Chancen und Risiken im Klimawandel. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 43, S. 49-58

NIERHAUS-WUNDERWALD, D., LAWRENZ, P. (1997): Zur Biologie der Mistel. Merkblatt für die Praxis 28/1997, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, 8 S.

NIERHAUS-WUNDERWALD, D., FORSTER, B. (2000): Rindenbrütende Käfer an Föhren. Merkblatt für die Praxis 31/2000, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, 12 S.

NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (NW-FVA) (2008): Diplodia-Triebsterben der Kiefer. 10. Waldschutz-Info 2008, 2. S.

PARINI, C., PETERCORD, R. (2006): Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. Mitt. Forschungsanst. Waldökol. Forstw. Rheinland-Pfalz 59, S. 63-78

PAULY, H. (2008): Bilan de la santé des forêts en 2007-2008, Processionnaire du pin: des niveaux de populations globalement en baisse malgré la clémence de l'hiver 2007-2008. http://www.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/processionnaire_pin2007-2008_2008.pdf (abgerufen am 14. März 2012)

PETERCORD, R., BLOCK, J. (Hrsg.)(2006): Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern. Mitt. Forschungsanst. Waldökologie Forstw. Rheinland-Pfalz 59, 214 S.

PETERCORD, R., DELB, H., SCHRÖTER, H. (2007): Schwere Schäden durch den Buchen-Prachtkäfer in Baden-Württemberg. AFZ/Der Wald 62 (13), 686-690

PETERS, F.S., HOLWEG, C.I., RIGLING, D., METZLER, B. (2012): Chestnut blight in south-western Germany: multiple introductions of *Cryphonectria parasitca* and slow hypovirus spread. *Forest Pathology*, Blackwell Verlag, doi: 10.1111/j.1439-0329.2012.00773.x

POSTNER, M. (1974): Scolytidae, Borkenkäfer. In SCHWENKE, W. (Hrsg.): Die Forstschädlinge Europas. Zweiter Band: Käfer. Verlag Paul Parey Hamburg Berlin, S. 334-481.

ROEDER, A. (1991): Zum Risikomanagement in Forstbetrieben. Forst und Holz 46; 19, 533-535

ROBINET, C., ROUSSELET, J., IMBERT, C.-É., SAUVARD, D., GARCIA, J., GOUSSARD, F., ROQUES, A. (2010): Le Réchauffement climatique et le transport accidentel par l'homme responsables de l'expansion de la Chenille Processionnaire du Pin. Forêt Wallonnen 108, septembre/octobre 2010, 19-27

ROQUES, A. (2010): Review of present and potential insect pests affecting Douglas-fir in Europe in a context of global change. In: Kohnle, U., Makkonen-Spiecker, K., Spiecker, H., Teuffel, K. (eds.) (2010): Opportunities and risks for Douglas fir in a changing climate. Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 85, 65 p.

RUTHERFORD, T. A.; MAMIYA, Y.; WEBSTER, J. M. (1990) Nematode-induced pine wilt disease: factors influencing its occurrence and distribution. Forest Science 36, 145-155

SCHLAG, M. (1994): Das europäische Eichensterben und seine Ursachen - von einem phytopathologischen Standpunkt aus gesehen. *Cent.bl. gesamte Forstwes.* 4, 243-266

SCHOPF, A. (1997): Möglicher Einfluß einer Klimaänderung auf das Schädlingsauftreten von Forstinsekten. In: Klimaänderung - Mögliche Einflüsse auf den Wald und waldbauliche Anpassungsstrategien, Österreichischer Forstverein, S. 25-34

SCHÖNHERR, J. (1974): Buprestidae, Prachtkäfer. In Schwenke W. (Hrsg.): Die Forstschädlinge Europas. 2. Band: Käfer, Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin, S. 31-55.

SCHÖNHERR, J., KRAUTWURST, K., RÖßLER, W. (1983): Schadinsekten in Buchenaltholzbeständen. Allgemeine Forstzeitschrift, 38. Jg., Nr. 50, S. 1361-1364

SCHRÖDER, T. (2004a): Eingeschleppte Schadorganismen an Bäumen. In: Dujeksiefken, D., Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2004, Thalacker Medien Braunschweig, 30-38

SCHRÖDER, T. (2004b): Der Kiefernholznematode - Zwar noch nicht in Bayern, aber in der EU. LWF aktuell 45/2004, 23-24

SCHRÖDER, T. (2008): Der Citrusbockkäfer *Anoplophora chinensis*. Merkblatt Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, 12 S.

SCHRÖDER, T., WEIGERSTORFER, D. (2007): Die japanische Esskastanien-Gallwespe *Dryocosmus kuriphilus*, ein neuer Schädling der Esskastanie in Europa, Jahrbuch der Baumpflege 2007, Thalacker Verlag Braunschweig, 315-320

SCHWERDTFEGER, F. (1941): Über die Ursachen des Massenwechsels bei Insekten. Z. angew. Ent. 28, S. 254-303

SEEMANN, D. (1996): Biotische Aspekte der Eichenerkrankung. In: Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Waldwirtschaft und Waldökologie, Agrarforschung in Baden-Württemberg, Band 26, Ulmer Verlag Stuttgart, 137-146

STAHL, S. (2007): Die Zufälligen Nutzungen im Laubholz nehmen zu - aber wie viel? Mitt. d. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg 5/07, S. 4-5

STEPHAN, B. R. (1981): Douglasienschütte. Merkblätter der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Nr. 2, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 8 S.

TENOW, O., NILSSEN, A. C., BYLUND, H., BATTISTI, A., †BOHN, U., CAROULLE, F., CIORNEI, C., CSOKA, G., DELB, H., DE PRINS, W., GLAVENDEKIC, M.0, GNINENKO, YU. I., HRAŠOVEC, B., MATOŠEVIĆ, D., MESHKOVA, V., MORAAL, L., NETOIU, C., PAJARES, A., PETTERSSON, R., RUBTSOV, V., TOMESCU, R., UTKINA, I. (2013): Geometrid waves travel across Europe. Journal of Animal Ecology 2013, 82, 84-95, doi: 10.1111/j.1365-2656.2012.02023.x

UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2011): Wie warm war das Jahr 2010. http://www.umweltdaten.de/ publikationen/fpdf-l/4111.pdf (abgerufen am 03.05.2012)

UNIVERSITY OF CALIFORNIA AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES STATEWIDE INTEGRATED PEST MANAGEMENT PROGRAM (UC IPM) (2012): UC IPM ONLINE: How to manage pests: Degree-Days: About degree-days. www.ipm.ucdavis.edu/weather/ddconcepts.html (abgerufen am 26. Januar 2012)

VISSER, M. E., HOLLEMAN, L. J. M. (2001): Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. Proc. R. Soc. Lond. 268, 289-294

WACHTENDORF, W. (1955): Beiträge zur Kenntnis des Eichenprachtkäfers *Agrilus biguttatus* Fabr. und *Coraebus undatus* Fabr.. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 37, S. 327-339.

WAGENHOFF, E., DELB, H. (2011): Current status of *Thaumetopoea processionea* (L.) in South-western Germany. In: Delb, H., Pontuali, S. (eds.) (2011): Biotic Risks and Climate Change in Forests. Berichte Freiburger Forstliche Forschung Heft 89, p. 195-198

WAGENHOFF, E., · VEIT, H. (2011): Five years of continuous Thaumetopoea processionea monitoring: tracing population dynamics in an arable landscape of south-western Germany. Gesunde Pflanzen, Springer Verlag, DOI 10.1007/s10343-011-0244-z

WAGENHOFF, E., BLUM, R., ENGEL, K., VEIT, H., DELB, H. (2012): Taking a closer look: temporal synchrony of *Thaumetopoea processionea* egg hatch and *Quercus robur* budburst. Journal of Pest Science, eingereicht

WOLF, M., PETERCORD, R. (2012): Eichenschäden in Nordbayern. LWF aktuell 88/2012, S. 4-8

WULF, A. (2008): Über die Zunahme thermophiler Schadorganismen in den Wäldern - Umbaupläne müssen dies berücksichtigen. In: Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken - Gefahren für Pflanzen, Tier und Menschen. www.uni-hamburg.de/Gesundheit - ISBN: 978-3980966849, S. 282-285

WULF, A., KEHR, R. (1996)(Bearbeiter): Eichensterben in Deutschland. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirtsch. 318, 157 S.

ZENTRALSTELLE DER FORSTVERWALTUNG (ZDF) RHEINLAND-PFALZ (2004): Übersichtskarte der Forstämter

ZILLIG, H. (1938): Der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.) als Gelegenheitsschädling an Weinreben. Anzeiger für Schädlingskunde, XIV. Jg., S.6