


Flechtenerhebung an Wald- Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg

 Kartierung 2009 und Auswertung der Erhebungen von 1986 bis 2009

ID U51-M322-J09
ID-U51-M312-J09

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war zum einen die neuerliche Einschätzung der Immissionsbelastung von 30 Walddauerbeobachtungsflächen (Wald-DBF) anhand des epiphytischen Flechteninventars und zum anderen die systematische Erfassung der Flechten mit Frequenzgittern auf einer für die jeweilige Waldfläche repräsentativen Baumstichprobe sowie die Bewertung der so gewonnenen Daten (EU-ForestBIOTA-Verfahren). Um die Ergebnisse der früheren Erhebungen mit denen der erstmals auf den Flächen angewendeten Methode zusammenzuführen, wurden nachträglich Frequenzbestimmungen an digitalisierten Flechtenumrisszeichnungen auf Transparentfolien aus den Jahren 1986 bis 2002 vorgenommen.



Abbildung 1: Wald-Dauerbeobachtungsfläche und Gitter für die Kartierung von Flechten (Foto: Dr. N. Stapper)

ZUR METHODIK

Das EU-ForestBIOTA-Verfahren mit Frequenzgittern zur Quantifizierung von Wirkungen auf die Flechtenvegetation erlaubt das Artenspektrum effizienter, repräsentativer und ökonomischer zu erfassen als die zuvor eingesetzte Flächenanalyse gezeichneter Flechtenkonturen auf Trans-



parentfolien. Die nachträgliche Frequenzbestimmung anhand der Folientransparente führt zu weitgehend übereinstimmenden Ergebnissen hinsichtlich der Populationsdynamik der Flechten für den Zeitraum 1985 bis 2002.

ERGEBNISSE

Das Flechtenartenspektrum ist reichhaltiger geworden: die Gesamtzahl der Flechtenarten an den Wald-DBF ist von 81 Arten (1985/86) kontinuierlich auf inzwischen 171 Arten (2009) angestiegen. Rund zwei Drittel der untersuchten Waldflächen wurden 2009 infolge der gestiegenen Flechtenartendiversität als geringer belastet eingestuft als 2002. Keine Waldfläche wurde gegenüber der Voruntersuchung als höher belastet eingestuft.

Wirkungen saurer Immissionen sind im Gegensatz zu eutrophierenden Immissionen an den 30 untersuchten Standorten heute nicht mehr nachweisbar.

Während die Belastung mit eutrophierenden Immissionen in Leutkirch und Bad Waldsee vornehmlich lokalen Ursprungs sind, wird der Rückgang einiger Flechten auf den hochgelegenen Waldflächen als Hinweis auf aus der Ferne herantransportierte, eutrophierende Luftschadstoffe (Stickstoffverbindungen) interpretiert.

Die Anzahl der Klimaindikatoren hat sich seit 1986 von 7 auf inzwischen 22 Flechtenarten verdreifacht. Die Zunahme von Klimaindikatoren auf den tiefer gelegenen Flächen und der Rückgang von an feucht-kühle Lagen angepassten Arten auf den Hochflächen kann zumindest teilweise als eine Folge des Klimawandels betrachtet werden.

IMPRESSUM

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	Dr. Norbert J. Stapper* & Dr. André Aptroot** * Büro für Ökologische Studien, 40789 Monheim-am-Rhein, http://www.stapper.monheim.de ** Adviesbureau voor Bryologie en Lichenologie (ABL Herbarium), NL-3762 XK Soest Für den Inhalt sind die Bearbeiter verantwortlich. Die geäußerten Interpretationen und Einschätzungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.
AUFTRAGGEBER	LUBW, Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Projekt ID WV174-1 Kontakt: Kay Rahtkens, kay.rahtkens@lubw.bwl.de , Tel. 0721 5600-1279
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U51-M322-J09
STAND	Juni 2010, Internetausgabe Februar 2012, ID update August 2013

Die Rechte an allen im Text integrierten Flechtenbildern liegen bei Dr. Norbert J. Stapper. Nachdruck und Verteilung für kommerzielle Zwecke – auch auszugsweise – ist darüber hinaus nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhalt

Abbildungen:	5
Tabellen	6
1. Einleitung und Fragestellung	8
2. Methodik	9
2.1. Floristische Erfassung der Arten, Nomenklatur	9
2.2. Bestimmung der Flechtenfrequenz mit der EU-ForestBIOTA-Methode (STOFER et al. 2003)	10
2.3. Bestimmung der Flechtenfrequenz anhand von Folientransparenten aus früheren Untersuchungen	12
3. Ergebnisse und Diskussion	14
3.1. Artenspektrum, Zeigerwerte	14
3.2. Bonitierung anhand des Artenspektrums der Pufferzonen 1986 - 2009	22
3.3. Bonitierung nach Toxitoleranz	32
3.4. Bonitierung anhand von Flechten mit Bindung an historisch alte Waldstandorte 1986 - 2009	34
3.5. Effizienz der Artenerfassung mit der EU-ForestBIOTA-Methode	40
3.6. Zusammenhang zwischen Flechtenfrequenz und geografischer Höhe	44
3.7. Zusammenhang zwischen Flechtenfrequenz und Baumart oder Baumalter	54
3.8. Nachweis der Wirkungen saurer und eutrophierender Immissionen mit epiphytischen Flechten	60
3.9. Ist die Zunahme "Wärme liebender" Flechten eine Reaktion auf die Klimaveränderung in Baden-Württemberg?	67
3.10. Veränderung der Flechtenfrequenzen von 1985 bis 2009 – ermittelt aus Flechtenumrisszeichnungen auf Transparentfolien	74
4. Zusammenfassung und Ausblick	94
5. Literaturverzeichnis	96

Abbildungen:

Abbildung 2.1: Vier 10 mal 50 cm große Zählgitter zur Aufnahme der Flechtenfrequenz.	11
Abbildung 2.2: Orientierung der Zählgitter zur Bestimmung der Flechtenfrequenz an einem Baum (aus STOFER <i>et al.</i> 2003).	11
Abbildung 2.3: Bestimmung der Flechtenfrequenz für die Tanne 10405 und das Jahr 2002 anhand gezeichneter und digitalisierter Thallus-Umrisslinien auf Transparentfolie.	13
Abbildung 3.1: Prozentuale Häufigkeit ökologischer Zeigerwerte von Flechten 2009.	15
Abbildung 3.2: Zeitliche Veränderung der Bonitätsstufen zwischen 1996 und 2002.	24
Abbildung 3.3: Beispiele resistenter Flechtenarten.....	24
Abbildung 3.4: Immissionsbelastung der Waldflächen - Ergebnisse der Bonitierung nach DOLNIK & RASSMUS (2004) für die Untersuchungsjahre 1986, 1991, 1996, 2002 und 2009. .	25
Abbildung 3.5: Zusammenhang zwischen bereinigter Artenzahl einer Waldfläche und dem Toxitolanzwert der jeweils empfindlichsten Flechte To(min).	32
Abbildung 3.6: Bewertung der Waldflächen anhand von Zeigerarten historisch alter Waldstandorte von 1986 bis 2009.	35
Abbildung 3.7: Beispiele für Flechten mit starker Bindung an historisch alte Wälder, Kategorie A, nach WIRTH <i>et al.</i> (2009).	37
Abbildung 3.8: Beispiele für Flechten mit mäßig starker Bindung an historisch alte Wälder, Kategorie (A), nach WIRTH <i>et al.</i> (2009).	38
Abbildung 3.9: Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Altwaldarten nach WIRTH <i>et al.</i> (2009) und der bereinigten Anzahl epiphytischer Flechten 2009.	39
Abbildung 3.10: <i>Biatoridium monasteriense</i> ist eine Flechte lichter Waldstandorte.	41
Abbildung 3.11: Zusammenhang zwischen der mittleren Frequenzsumme der Flechten und der geografischen Höhe des Waldstandortes.	44
Abbildung 3.12: Geographische Höhe der Waldflächen und die jeweils festgestellte Differenz von der im Mittel zu erwartenden Frequenzsumme nicht-resistenter Flechten.	45
Abbildung 3.13: Fotos großer Blattflechten, die bevorzugt an hoch gelegenen Waldflächen im Projekt vorkommen.	48
Abbildung 3.14: Flechten und ihre mittlere Frequenz in Abhängigkeit von der geografischen Höhe der Trägerbaumstandorte.	52
Abbildung 3.15: Einfluss des Stammumfanges auf die Frequenzsumme der Flechten.	56
Abbildung 3.16: <i>Chaenotheca stemonea</i> und <i>Arthonia spadicea</i>	58
Abbildung 3.17: Zusammenhang zwischen der mittleren Frequenz ausgewählter, häufiger Flechten und der Trägerbaumart.	59
Abbildung 3.18: Relativer Anteil von <i>Lecanora conizaeoides</i> am Gesamtartenspektrum.	61
Abbildung 3.19: Veränderung der mittleren Frequenz von <i>Lecanora conizaeoides</i> an Dauerbeobachtungsbäumen zwischen 1986 und 2009.....	61
Abbildung 3.20: Mittlere Frequenz von <i>Lecanora conizaeoides</i> 2009.....	62
Abbildung 3.21: Entwicklung des Anteils nitrophytischer Flechten am Artenspektrum ausgewählter Waldflächen 1986 bis 2009.....	63
Abbildung 3.22: Mittlere Frequenz nitrophytischer Flechten 2009.....	64
Abbildung 3.23: Veränderung der Anzahl der Klimaindikatoren 1986 bis 2009.....	68
Abbildung 3.24: Mittlere geografische Höhe der Klimaindikatoren an 30 Waldstandorten in Baden-Württemberg 2009.....	68
Abbildung 3.25: Die mittlere Frequenzsumme der Klimaindikatorflechten steigt mit der allgemeinen Standortgunst.....	69
Abbildung 3.26: Bilder von Flechten, die durch milderes Klima gefördert werden.....	70
Abbildung 3.27: Zusammenhang zwischen Flächensumme und Frequenzsumme der Flechten am Beispiel der Untersuchungsjahre 1986 und 2002.....	75

Abbildung 3.28: Anteil gefährdeter und seltener Flechten an der Frequenzsumme 1986 bis 2009.....	77
Abbildung 3.29: Nitrophytische Flechten an Dauerbeobachtungsbäumen 1986 bis 2002.	78
Abbildung 3.30: Anteil der Klimaindikatoren und der Flechten mit hohen Temperatur- und Kontinentalitätszahlen an der Frequenzsumme und der Artenzahl 1986 bis 2009.....	79
Abbildung 3.31: Zeitliche Veränderung von Flächensumme und Frequenzsumme ausgewählter Flechten im gesamten Projekt.....	83
Abbildung 3.32: Zeitliche Veränderung der mittleren Frequenz von <i>Hypogymnia physodes</i> und <i>Parmelia sulcata</i> an den Dauerbeobachtungsbäumen verschiedener Standorte.....	85
Abbildung 3.33: Zeitliche Veränderung der mittleren Frequenz von <i>Graphis scripta</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>Melanelia glabratula</i> , <i>Parmelia sulcata</i> und <i>Porina aenea</i> an den Dauerbeobachtungsbäumen in Abhängigkeit von der geografischen Höhe der Standorte.....	86
Abbildung 3.34: Zusammenhang zwischen mittlerer Frequenzsumme nicht-resistenter Flechten (WIRTH & OBERHOLLENZER 1991) und der geografischen Höhe 1986 bis 2009.....	87

Tabellen

Tabelle 3.1: Liste der Flechten und nicht lichenisierten Pilze an Borke lebender Bäume auf den 30 im Jahr 2009 untersuchten Waldflächen.....	16
Tabelle 3.2: Bonitätsklassen und resistente Flechtenarten.....	22
Tabelle 3.3: Bonitierung 2009.....	26
Tabelle 3.4: Bonitierung 2002 auf Grundlage der Daten aus DOLNIK & RASSMUS (2004).	27
Tabelle 3.5: Bonitierung 1996 auf Grundlage der Daten von CEZANNE <i>et al.</i> (1997).....	28
Tabelle 3.6: Veränderung der Bonitierungsstufe zwischen 1986 und 2009 auf Basis resistenter Arten (WIRTH & OBERHOLLENZER 1991; DOLNIK & RASSMUS 2004).....	29
Tabelle 3.7: Veränderung der Bonitierungsstufe zwischen 1996 und 2009 wie in Tabelle 3.6, jedoch unter Einbeziehung zusätzlicher resistenter Arten.	30
Tabelle 3.8: Bonitierung der Waldflächen bezogen auf die Hauptbaumarten.....	31
Tabelle 3.9: Aus der Präsenz der Flechte mit niedrigstem To-Wert abgeleitete Toxitolanzstufe.....	33
Tabelle 3.10: Veränderung der Bewertung der Waldflächen anhand von Zeigerarten historisch alter Waldstandorte von 1986 bis 2009.....	36
Tabelle 3.11: Waldflächen im Jahr 2009 mit Vorkommen von Flechten mit starker Bindung an historisch alte Wälder, Kategorie A, nach WIRTH <i>et al.</i> (2009).....	39
Tabelle 3.12: Zur Erfassung der Flechtenartendiversität mit der EU-Methode.....	42
Tabelle 3.13: Erfassung der Artendiversität, Folien- und Frequenz-Methode im Vergleich... 43	43
Tabelle 3.14: Zusammenhang zwischen Flechtenvorkommen, geografischer Höhe und Bonitierung der Waldstandorte.....	49
Tabelle 3.15: Häufigkeit der Flechten und ihre Präferenz für bestimmte Höhenzonen.....	50
Tabelle 3.16: Frequenzsumme der Flechten und Präferenz für bestimmte Höhenzonen.....	51
Tabelle 3.17: Beispiele von Flechtenarten mit Vorkommen an Bäumen mit geringem bzw. großem Stammumfang.....	55
Tabelle 3.18: Vorkommen von Waldarten nach WIRTH <i>et al.</i> (2009) und der mittlere Stammumfang ihrer Trägerbäume.....	55
Tabelle 3.19: Flechten und der mittlere Stammumfang ihrer Trägerbaumart.....	57
Tabelle 3.20: Mittlere Frequenzen von <i>Lecanora conizaeoides</i> und von nitrophytischen Flechten 2009.....	66
Tabelle 3.21: Klimaindikatoren mit Angaben zum Vorkommen im Projekt.....	71
Tabelle 3.22: Anzahl der als Klimaindikatoren eingestuften Flechten an den Waldstandorten 1986 bis 2009.....	72

Tabelle 3.23: Häufigkeit, Frequenzsumme und mittlere geografische Höhe von Klimaindikatoren.....	73
Tabelle 3.24: Effizienz der Arterfassung - Anzahl der mit Frequenzgittern auf den Folienschärpen erfassten Flechten.	75
Tabelle 3.25: Anzahl der Flechten innerhalb der Zählrahmenfläche 1986 bis 2002.	76
Tabelle 3.26: Zusammenhang zwischen der zeitlichen Veränderung der mittleren Frequenzsumme der Flechten im Projekt und ihren ökologischen Zeigerwerten.....	79
Tabelle 3.27: Rangordnung der Flechten auf Grundlage der Flächensumme und der Frequenzsumme 1986 bis 2009.....	82
Tabelle 3.28: Standorte mit starker Veränderung der Flechtenfrequenz seit 2002.....	84
Tabelle 3.29: Anzahl und Art der untersuchten Dauerbeobachtungsbäume je Standort und Untersuchungsjahr.....	88
Tabelle 3.30: Frequenzsummen der Flechten 1996 - 2009.....	89
Tabelle 3.31: Flächeninhalte der Flechten an Dauerbeobachtungsbäumen 1986 - 2002.....	91

1. Einleitung und Fragestellung

Flechten reagieren empfindlich, schnell und artspezifisch abgestuft auf chemische oder physikalische Veränderungen ihrer Umwelt. Sie nehmen Wasser und die darin gelösten Nähr- und Schadstoffe über ihre gesamte Oberfläche auf, akkumulieren sie und sterben bei zu hoher Belastung ab. Auf Bäumen lebende (= epiphytische) Flechten werden nur gering durch den Faktor Boden beeinflusst und eignen sich daher hervorragend als biologische Wirkungsindikatoren von Immissionen und Veränderungen des Mikro- und Makroklimas. Manche Arten sind aufgrund ihres geringen Ausbreitungspotentials auf die langfristige ökologische Kontinuität eines Waldstandortes angewiesen und werden deshalb als Indikatorarten für historisch alte Wälder genutzt (ROSE 1976, 1992; DIEDERICH 1991; MCCUNE 2000; COPPINS & COPPINS 2002; WIRTH *et al.* 2009).

1985 begann die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) an 60 Wald-Dauerbeobachtungsflächen des ökologischen Wirkungskataster Baden-Württemberg (ÖkWi) mit der Langzeitüberwachung von Immissionswirkungen auf epiphytische Flechten, um anhand der zeitlichen Veränderung der Flechtenvegetation die Veränderung der für Flechten relevanten Immissionsbelastungen zu dokumentieren. In etwa fünfjährigen Abständen werden seitdem Epiphyten-Dauerbeobachtungsflächen untersucht und an jeden Standort das Artenspektrum der epiphytischer Flechten aufgenommen. Die erste Untersuchung fand 1985/86 statt (WIRTH 1987), gefolgt von weiteren 1990 bis 1992 (WIRTH & OBERHOLLENZER 1992, 1993) sowie 1996 (CEZANNE, EICHLER & WIRTH 1997; WIRTH *et al.* 1999) und 2002 (DOLNIK & RASSMUS 2004).

Am 6. Juli 2009 beauftragte das Land Baden-Württemberg, vertreten durch die LUBW das Büro für Ökologische Studien (Monheim) mit der Erfassung und Kartierung der der epiphytischen Flechtenvegetation an 30 der vorgenannten Wald-Dauerbeobachtungsflächen. Zweck dieser Untersuchung war zum einen die neuerliche Erfassung des Artenspektrums als eine Grundlage zur Einstufung der Immissionsbelastung und darüber hinaus die erstmalige Anwendung der im Rahmen des europäischen Level II-Programmes entwickelten Methode zur standardisierten Aufnahme epiphytischer Flechten mit Zählrahmen (STOFER *et al.* 2003) und ein Vergleich der Ergebnisse der bisher angewendeten Methoden hinsichtlich der Wirkung saurer oder eutrophierender Immissionen und eventueller Auswirkungen des Klimawandels.

Die Geländearbeiten zum vorliegenden Bericht wurden gemeinsam von den Biologen Dr. André Aptroot (Soest, NL) und Dr. Norbert Stapper (Monheim, D) durchgeführt. Die Aufgaben im Einzelnen:

1. Neuerliche Aufnahme des epiphytischen Flechtenartenspektrums der DBF getrennt nach Kern- und Pufferzone sowie Umgebung der DBF (die Kernzone wurde nachträglich ausgenommen, Funde von Arten, die nur in der Kernzone vorkamen, der "Umgebung" zugordnet).
2. Erstmalige Aufnahme aller Flechtenarten an den jeweils vier Dauerbeobachtungsbäumen ("Flechtenbäumen") der Wald-Dauerbeobachtungsfläche (DBF) mit Zählgittern in den vier Himmelsrichtungen gemäß STOFER *et al.* (2003; "EU-Methode"). Für jedes Quadrat der vier Gitter sind die Vorkommen zu notieren. Fotografische Dokumentation der Gitterflächen und dauerhafte Markierung mit einer Edelstahlschraube in der Mitte der Unterkante des nördlichen Gitters (entspr. NRW Naturwaldzellkonzept von BUNGARTZ & ZIEMMECK 1997).
3. Aufnahme der Flechten an weiteren acht bis zwölf weiteren Bäumen auf der DBF mit Gittern in den vier Himmelsrichtungen nach STOFER *et al.* (2003).

4. Rückblickende Auswertung: Bestimmung der Flechtenfrequenzwerte an den Dauerbeobachtungsbäumen auf Basis digitalisierter Folien-Zeichnungen für den Zeitraum 1986 bis 2002 und Vergleich mit den Daten von 2009. Diese zunächst auf zehn Waldflächen begrenzte Auswertung wurde im Frühjahr 2010 als Gegenstand eines separaten Auftrags für die restlichen 20 Waldflächen abgeschlossen und die Ergebnisse in den vorliegenden, neu gefassten Abschlussbericht integriert.
5. Auswertung der Ergebnisse mit Blick auf die Artenvielfalt (hier u.a. Bonität auf Grundlage der Vielfalt nicht-resistenter Flechtenarten), der Wirkung saurer und eutrophierender Luftschadstoffe und eventueller Veränderungen in Folge des Klimawandels.

Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst die verwendete Methodik geschildert. Im Kapitel Ergebnisse und Diskussion wird erst das momentane Artenspektrum der 30 Waldflächen beschrieben mit der taxonomischen Bezeichnung der Arten nach aktueller Nomenklatur. Schwerpunkte sind dann die immissionsökologische Einstufung anhand des epiphytischen Arteninventars der Waldflächen und die Ergebnisse der erstmals auf den ÖkWi-Flächen angewendeten EU-Methode sowie der nachträglichen Frequenzbestimmung anhand von Folienzeichnungen. Die Ergebnisse werden, soweit dies möglich ist, mit denen ähnlicher Untersuchungen aus anderen Bundesländern oder den Nachbarländern verglichen. Auch methodische Gesichtspunkte werden diskutiert.

Diesem Ergebnisbericht liegen zwei Anhänge bei. Der Tabellenanhang (Band 2) enthält alle Tabellen zum Artenspektrum der Waldflächen, Ergebnisse der Frequenzbestimmung nach EU-Protokoll, die Flechtenfrequenzen an den Flechtenbäumen für die Jahre 1985 bis 2009, Tabellen mit den Daten der Trägerbäume für die Frequenzbestimmung und andere, wesentliche Tabellen aus der Datenbank. Auch dieser Tabellenanhang wurde 2010 neu gefasst. Der Bildanhang (Band 3) enthält die Fotodokumentation der Flechtenbäume 2009 mit aufliegendem Zählgitter und einige Standortfotos.

2. Methodik

2.1. Floristische Erfassung der Arten, Nomenklatur

Zur Erfassung des gesamten Flechtenartenspektrums einer Walddauerbeobachtungsfläche wurden alle Baumarten vom Boden bis in etwa zwei Meter Höhe auf Flechtenbewuchs untersucht und die Arten für jede Baumart separat notiert. Es wurde so lange nach weiteren Arten gesucht, bis auf den letzten fünf Bäumen einer Baumart keine neue Flechte mehr gefunden wurde. Auf diese Weise wird besser als mit einem auf Zeit basierten Abbruchkriterium eine vergleichbare Kartierungstiefe aller Waldflächen erreicht. Arten auf herabgefallenen Zweigen, an Totholz oder gar auf Gestein wurden aus Gründen der Reproduzierbarkeit nicht berücksichtigt. Die Erfassung der Arten gliederte sich erst in Kern- und Pufferzone sowie in die unmittelbare Umgebung der Pufferzone, bis die Kernzone aus der Untersuchung herausgenommen wurde. Als "Umgebung" der Pufferzone wurden Areale akzeptiert in bis zu 100 m Distanz um die Pufferzone, die hinsichtlich Baumarten und Bestandesalter, Hangexposition und Belichtungsverhältnissen weitgehend der Pufferzone entsprechen (Homogenitätskriterium). Im Zuge der Frequenzbestimmung der Flechten (siehe 2.2) wurden aufgrund der intensiven Bearbeitung der Zählgitterflächen meist noch weitere Arten entdeckt, die bei der vorangegangenen Begehung nicht erfasst worden waren. Da auf allen Flächen eine ähnliche Anzahl Bäume derart intensiv untersucht wurde, bleibt die relative Kartierungstiefe gleich.

Die meisten Arten waren im Gelände sofort ansprechbar. Gegenüber früheren Untersuchungen dürfte die Verwendung LED-beleuchteter und optisch hochwertiger Triplettlupen (10x, "Lichen candelaris", Zimmermann, Lütterswil, CH) oder 10x bis 28x (FFT-Fischer, Wetzlar) die Ansprache oder schon allein das Auffinden mancher Arten erheblich erleichtert haben. Im Gelände wurden auch die UV-

Fluoreszenz und die Farbreaktion auf bestimmte Indikatorchemikalien ("Tüpfeltest" mit Kaliumhydroxid, Natriumhypochlorit oder *para*-Phenylendiamin-Lösung nach STEINER) zur Artansprache genutzt. Belegmaterial wurde nur in geringem Umfang entnommen, da kritische Arten oft auch die auf den Waldflächen seltenen Flechten sind und anhand mikroskopischer und chemischer Merkmale (Polarisation, Mikro-Rekristallisation von Flechteninhaltsstoffen) sowie UV-Fluoreszenz im Labor bestimmt. Als Standardwerk zur Bestimmung diente die neue britische Flora von SMITH *et al.* (2009).

2.2. Bestimmung der Flechtenfrequenz mit der EU-ForestBIOTA-Methode (STOFER *et al.* 2003)

Auf den für die vorliegende Untersuchung ausgewählten 30 Flächen des ÖkWi wurde 2009 erstmals die von STOFER *et al.* (2003) zur Frequenzbestimmung von Flechten auf Level II-Waldflächen für die ForestBIOTA-Testphase beschlossene Methode angewendet. Die dazu vorgesehene Mindestzahl von 12 Bäumen reicht aus, um auch seltenere Flechten in verarmten Beständen zu erfassen. Diese Baumstichprobe ist für jeden Wald und Untersuchungszeitpunkt hinsichtlich Alter und Artenverteilung repräsentativ, das Verfahren somit ideal für den Vergleich einer größeren Anzahl verschiedener Standorte (STAPPER *et al.* 2007). Wenngleich das Verfahren mit Blick auf die verwendeten Zählgitter stark dem EU-Richtlinienentwurf von ASTA *et al.* (2002) oder der VDI-Richtlinie 3759 Blatt 13 (VDI 2005) ähnelt, unterscheidet es sich von diesen ganz erheblich in der Auswahl der Stichprobe, weshalb es in diesem Bericht als EU-ForestBIOTA-Methode oder kurz EU-Methode bezeichnet wird (STAPPER *et al.* 2007). Die Frequenz einer Flechtenart an einem Baum entspricht der Anzahl der Maschen der vier Zählgitter, in denen sie vorkommt (Werte von 1 bis 20, s.u.).

Während die Level II-Waldflächen nur 2500 m² groß sind, reicht die Größe der Pufferzonen der ÖkWi-Waldflächen von 3500 bis 34500 m² (im Mittel 13400 m²). Die "Flechtenbäume" der LUBW sind Teil der für jede Waldfläche ansonsten zufällig ausgewählten Bäume. Die Nummer eines Baumes setzt sich zusammen aus der Nummer des Standortes (=Waldfläche) und der laufenden Nummer des Baumes, wobei die für die Flechtenbäume vergebenen Nummern beibehalten wurden: Flechtenbaum F3 in 1400 Zwiefalten hat die Nummer 14003, Baum 13 in 1510 Schwetzingen die Nummer 151013.

Nur an den Flechtenbäumen wurde die Mitte der Unterkante des im Norden angelegten Zählgitters in Absprache mit dem Auftraggeber mit einer Edelstahlschraube markiert, und nur an diesen Flechtenbäumen wurde das Zählgitter nicht entsprechend der EU-Methode in einem Meter Höhe über dem Boden angebracht, sondern in Höhe der Unterkante der Folientransparente (siehe 2.3), die mit roten Kunststoffstiften in der Borke markiert ist.

Im Fall der Flechtenbäume wurden die Zählgitterflächen fotografisch dokumentiert. Hierzu wurde eine digitale Spiegelreflexkamera mit Vollformat-Varioobjektiv (Canon EF-24-105mm L-IS bei Blende 5,6 bis 9) und TTL-Blitz (Canon Speedlight 530) verwendet. Die Abbildungsqualität ist unmerklich geringer als jene von guter Festbrennweitenoptik, ermöglicht aber unterschiedliche Aufnahmedistanzen zum Baumstamm. Für jeden Baum wurden die Fotos in Originalauflösung zu Bildtafeln zusammengestellt, lediglich Kontrast und Schärfe wurden verbessert (unkomprimierte 8-bit JPGs, 18-30MB, jeweils mit Baumnummer und Expositionsangaben). Diese Bilder dienen nur der Orientierung, eine sichere Bestimmung von Flechten nach Fotos ist ohnehin nicht möglich.

Das Verfahren nach STOFER *et al.* (2003) kurz zusammengefasst:

Auswahl der Trägerbäume: Alle Bäume auf der zu untersuchenden Waldfläche mit Stammumfang über 50 cm werden in zwei Gruppen eingeteilt, nämlich Bäume mit saurer (A) oder neutraler Borke (B). Diese werden nochmals aufgeteilt auf zwei Durchmesserklassen, nämlich ≤ 36 cm und > 36 cm (oder 113 cm Umfang). Um vergleichbare Daten zu erhalten, wird eine Stichprobe von 12 Bäumen gezogen nach dem Schlüssel:

$$p1 = (\text{N Bäume in Klasse A } \leq 36 \text{ cm}) / \text{N Bäume}$$

$$p2 = (\text{N Bäume in Klasse A } > 36 \text{ cm}) / \text{N Bäume}$$

$$p3 = (\text{N Bäume in Klasse B } \leq 36 \text{ cm}) / \text{N Bäume}$$

$$p4 = (\text{N Bäume in Klasse B } > 36 \text{ cm}) / \text{N Bäume}$$

mit: N Bäume = Anzahl der Bäume auf der Waldfläche und $p1 + p2 + p3 + p4 = 1.0$

Die Verteilung der Bäume jeder Gruppe auf die Stichprobe erfolgt gemäß ihrem Anteil an der Gesamtheit. Sollte dabei eine Verteilung gemäß 1 : 2 : 8 : 1 resultieren, dann werden so viele weitere Bäume hinzugenommen, dass aus jeder Gruppe mindestens drei untersucht werden können, im genannten Beispiel also insgesamt 17 Bäume.

Bestimmung der Frequenz: Ein 10 cm breites und 50 cm hohes Zählgitter mit 5 quadratischen Feldern (Abb. 2.1) wird in 150 cm über dem Boden nacheinander in den Positionen Nord, Ost, Süd und West am Stamm angebracht (Abb. 2.2) und für jede Flechtenart die Anzahl der Quadrate bestimmt, in der sie vorkommt. Die maximale Frequenz einer Flechtenart beträgt folglich 20.

Aufnahmeprotokoll: Auf dem Aufnahmebogen werden notiert die Standortnummer und Standortbezeichnung, die Baumart, der Stammumfang und ggf. die Stammneigung. Für jede Flechtenart wird ihre Frequenz separat für jede Himmelsrichtung notiert. Flechten bewohnende Pilze oder nicht lichenisierte Pilze (*Arthopyrenia*) sowie Thalli unter 5 mm werden weggelassen.

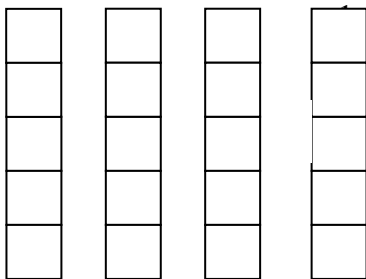


Abbildung 2.1: Vier 10 mal 50 cm große Zählgitter zur Aufnahme der Flechtenfrequenz.

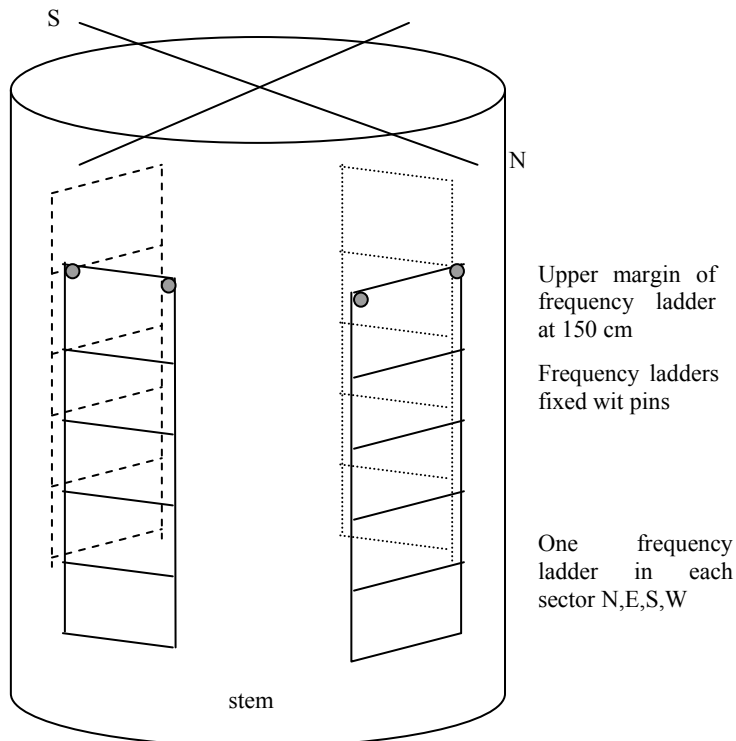


Abbildung 2.2: Orientierung der Zählgitter zur Bestimmung der Flechtenfrequenz an einem Baum (aus STOFER *et al.* 2003).

Anstelle von Nägeln wurde zur Befestigung des Gitters ein um den Stamm gelegtes Expanderband verwendet.

2.3. Bestimmung der Flechtenfrequenz anhand von Folientransparenten aus früheren Untersuchungen

In den Jahren 1985/86, 1991/92, 1996 und 2002 waren die Konturen der Flechten auf den Flechtenbäumen auf 45 cm hohe, stammumfassende Klarsichtfolien übertragen und der Flächenanteil jeder Flechtenart auf den Transparenten computergestützt ermittelt worden. Anhand der digitalisierten Folientransparente sollte jetzt, nach der Umstellung auf die EU-Methode, rückwirkend die Frequenz der Flechten für die zurückliegenden Untersuchungen bestimmt und mit den Ergebnissen von 2009 verglichen werden.

Die Höhe der Folientransparente erlaubt nur ein vier Quadrate großes und somit 40 cm hohes Frequenzgitter zu verwenden. Deshalb wurde

1. in Abwandlung des EU-Protokolls die Unterkante des Frequenzgitters bündig mit der Unterkante der Folienschärpe am Stamm der "Flechtenbäume" angelegt – die Höhe über dem Boden beträgt daher nicht immer 1 m;
2. von jeder Gitterfläche ein Digitalfoto angefertigt;
3. die Frequenz der Flechten separat für die einzelnen Felder des Gitters notiert;
4. aus den Shape-Dateien der zurückliegenden Untersuchungen Bilddateien erzeugt (im einfachsten Fall Bildschirmkopien, 1920 Bildpunkte breit, 24-Zoll-Monitor);
5. über diese Bilder ein transparentes, 40 cm hohes und 10 cm breites Vier-Felder-Gitter gelegt und die Frequenz der Arten ausgezählt.

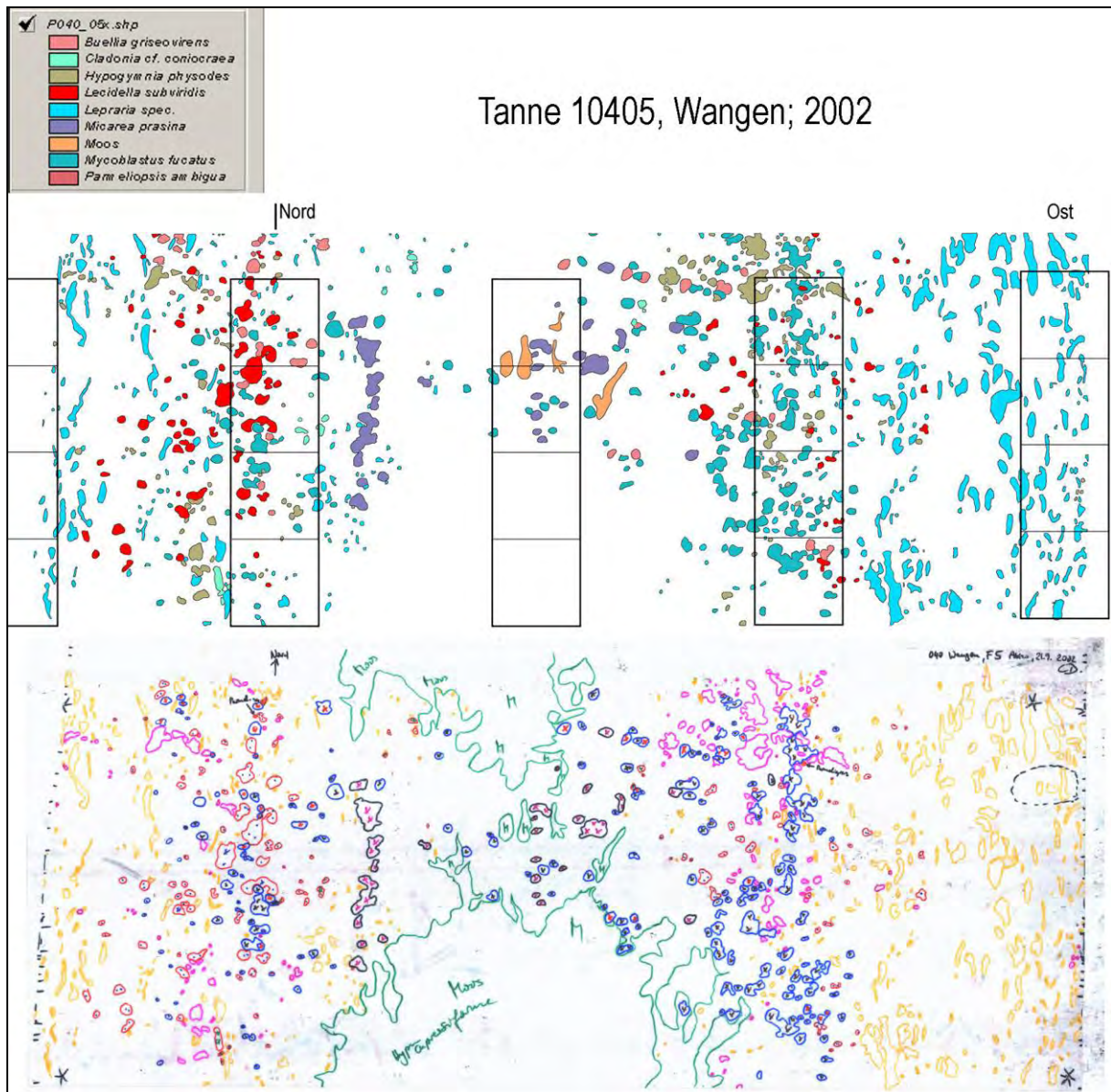
Auch hier wurde das Minimalgrößen-Kriterium von ca. 5 mm Thallus-Durchmesser angewendet, weshalb die Auflösung von Bildschirmkopien vollauf genügt. Für jeden Durchgang befinden sich in der Access-Datenbank Tabellen mit Standort- und Baumnummer, Artencode der Flechten, Frequenz in Nord, Ost, Süd, West und der Summe aus allen Himmelsrichtungen, sowie Kommentare zu einzelnen Artangaben.

Die im Verlaufe zurückliegender Bearbeitungs- und Speichervorgänge der GIS-Dateien manchmal abhanden gekommene Orientierung (Nordpfeil) konnte anhand der Polygone auf Folien anderer Jahrgänge rekonstruiert werden, wenn diese langsam wachsende und damit nahezu ortsstabile Krustenflechten enthielten, deren Konturen bzw. Anordnung auch nach fünf Jahren die Expositionsrichtung noch sicher feststellen lassen. Für 2002 wurden die gescannten Folienoriginalzeichnungen hinter die Shapes gelegt, um deren Nordpfeil und ebenfalls eingezeichnete Borkenmarken und Markierungsstifte zur Orientierung der Gitter mit zu verwenden. Ansonsten wurden die Folienschärpen als Oberflächen von Zylindern betrachtet, und die Gitter in gleicher Distanz zueinander angelegt, sofern das Bild von 2002 nicht anderes gebot. Alle Bilddateien und Legenden zur Identifizierung der Flechtenarten sind auf der beiliegenden Daten-DVD als Bilddateien gespeichert, damit sie zukünftig auch ohne Geographisches Informationssystem (GIS) betrachtet werden können.

CEZANNE & HODVINA (2006) stellten bereits anlässlich der Digitalisierung der Folienschärpen fest, dass über die Jahre manche Lager unterschiedlich angesprochen worden sind. Im Fall von *Physcia adscendens* und *P. tenella* wurden diese jetzt sämtlich letzterer zugesprochen, ansonsten die Ansprache der jeweiligen Untersuchung beibehalten. Einige als "Krustenflechte indet" oder "Krustenflechte grün über Moos" markierte Lager konnten durch Vergleich mit späteren Erhebungen angesprochen werden. War dies nicht möglich, dann wurden sie nicht berücksichtigt, ebenso Polygone ohne Spezifizierung. In einigen Fällen wurden die zu *Arthopyrenia* gehörenden, als "schwarze Perithezien" markierten Bereiche oder "Moose" im Shape unterdrückt, um nur Flechten darzustellen. In gleicher Weise wurde mit "Peridermflecken" und ähnlichem verfahren, sofern diese nicht in einer späteren Untersuchung anhand der Form und Lokalität eindeutig als Flechte auf Artniveau ansprechbar waren.

Abbildung 2.3: Bestimmung der Flechtenfrequenz für die Tanne 10405 und das Jahr 2002 anhand gezeichneter und digitalisierter Thallus-Umrisslinien auf Transparentfolie.

Transparente Zählgitter wurden mit der Unterkante bündig mit der Unterkante der Folienschärpe auf das Shape des digitalisierten Folienbildes in den vier Haupthimmelsrichtungen aufgelegt und für jede Art die Anzahl der Felder ausgezählt, in denen sie 2002 vorgekommen ist. Die Position des Nordpfeils wurde in diesem Fall, da im Shape nicht markiert, aus der Originalzeichnung entnommen.



3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Artenspektrum, Zeigerwerte

In Tabelle 3.1 sind alle im Verlauf der aktuellen Untersuchung auf den 30 Waldflächen gefundenen Flechten aufgeführt, ebenso einige nicht lichenisierte Pilze, die bei ähnlichen Untersuchungen meist mit aufgenommen werden. Flechten bewohnende (= lichenicole) Pilze wurden nicht systematisch erfasst, da sie nicht zur Bonitierung anhand des Flechtenartenspektrums herangezogen werden und bei der Bestimmung der Flechtenfrequenz nach STOFER *et al.* (2003) auszuschließen sind. Bis auf wenige Arten, wie z.B. *Stigmidium microspilum* (2009 häufig beobachtet auf *Graphis scripta*), sind die meisten von ihnen sehr unscheinbar und die bisher notierten Vorkommen sicherlich nicht repräsentativ.

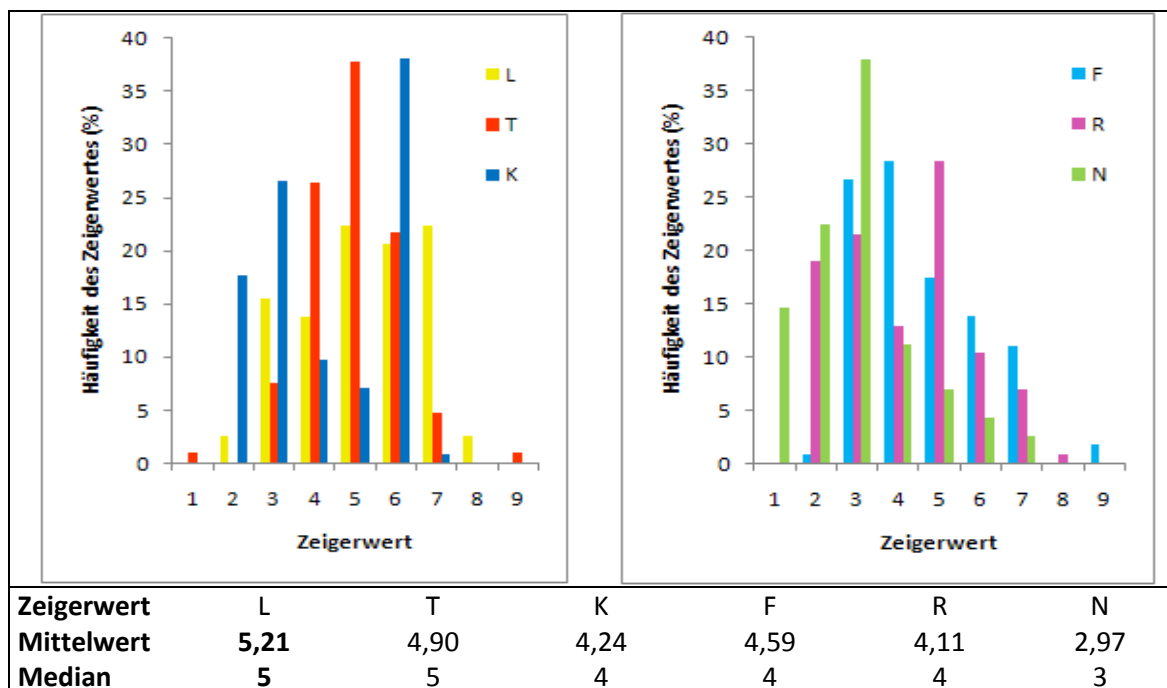
Der aktuelle Artname mit Angabe der Autorenbezeichnung richtet sich nach WIRTH (2008) bzw. WIRTH *et al.* (2007), nur die immer noch weitaus gebräuchlichere Bezeichnung *Melanelia glabrata* wurde zur Verwendung im Text beibehalten. Tabelle 3.1 ist ein Auszug aus der Tabelle "RefTab_Flechten_LUBW_2009" in der ACCESS-Datenbank, die sich auf der beiliegenden Daten-DVD befindet. Sie enthält zudem den beim Autor seit Jahren gebräuchlichen 6Letter-Code für jede Flechtenart (in der Regel jeweils die ersten drei Buchstaben von Gattung und Artepithet in aktueller oder älterer Nomenklatur) und den jeweils von Cezanne, Eichler, Dolnik, Oberhollenzer, Rasmus oder Wirth verwendeten Artnamen, wodurch alle bisher zum Projekt erstellten Tabellen miteinander verknüpft werden können. Darüber hinaus enthält die Datenbanktabelle weitere Synonyme mit Autorenangaben, die ökologischen Zeigerwerte nach WIRTH (1991, 2001), Angaben zur Bindung an alte Wälder nach WIRTH *et al.* (2009), DIEDERICH (1991), ROSE (1976, 1992) und VON BRACKEL *et al.* (2008), sowie Angaben zur Resistenz gegenüber Luftschadstoffen allgemein gemäß WIRTH (1986, 1988) und WIRTH & OBERHOLLENZER (1991), oder ob es sich um Nitrophyten, also durch luftgetragene Stickstoffverbindungen geförderte Arten handelt oder um sogenannte "wärmeliebende" Arten gemäß aktuellem Vorentwurf zur VDI-Richtlinie 3957 Blatt 20 (Stand Juni 2008).

2009 wurden auf allen Flächen in den Pufferzonen und in deren unmittelbaren Umgebung zusammen 173 Flechten und drei nicht lichenisierte Pilze nachgewiesen. 102 (entsprechend 58 %) der für 2009 gelisteten Arten gelten gemäß Rote Liste und Artenverzeichnis der Flechten Baden-Württembergs (WIRTH 2008; Spalte RL-BW (1) in Tabelle 3.1) als "nicht gefährdet" (Kategorie *), für zehn Arten (6 %) ist die "Datenlage unzureichend" (D), 25 (14 %) stehen auf der "Vorwarnliste" (V), 20 (11 %) gelten als "gefährdet" (3), sechs (3 %) als "stark gefährdet", zehn (6 %) als "vom Aussterben bedroht" (1) und eine laut Liste als "ausgestorben oder verschollen" (*Lecidea nylanderii*; Kategorie 0; Vorkommen in Stockach, Wehingen, Murgschifferschaft und Donaueschingen). Die Rote Liste BW macht auch Angaben zur Bestandssituation (Spalte B-BW (2) in Tab 3.1). Danach gelten zwei Arten als "extrem selten" (*Cliostomum griffithii* und *Parmotrema crinitum*) und 13 Arten als "sehr selten". Von den 15 "extrem seltenen" bzw. "sehr seltenen" Flechten bzw. nicht lichenisierten Pilzen sind neun Arten (60 %) so genannte "Waldarten mit Bindung an historisch alte Wälder": *Agonimia allobata*, *Bacidia circumspecta*, *Parmeliella triptophylla*, *Parmotrema crinitum*, *Pertusaria hymenea*, *Stenocybe major*, *Strigula stigmatella* und *Thelopsis rubella* (WIRTH *et al.* 2009; Spalte WA_Wi (6)) und *Mycobilimbia epixanthoides* (DIEDERICH, 1991; Spalte WA_Di (7)). Nach WIRTH *et al.* (2009) weisen 18 Arten eine "starke" und 12 Arten eine "mäßig starke Bindung an historisch alte Wälder" auf (Kategorie A bzw. (A) in Tab. 3.1). In diesen 30 Arten sind auch nahezu alle von ROSE (1992) als Indikatorarten alter Wälder in Großbritannien angegebenen Flechten enthalten. DIEDERICH (1991) und VON BRACKEL *et al.* (2008) geben noch weitere Arten an, die Anfang der 1990er Jahre auf luxemburgische Altwaldstandorte beschränkt waren (z.B. *Normandina pulchella*, *Porina leptalea*) aber heute weitaus häufiger sind, oder in weiter östlichen, kontinentaler getönten Regionen auch heute noch überwiegend

in (alten) Wäldern angetroffen werden (*Parmotrema perlatum*, *Opegrapha vermicellifera*). Abbildung 3.1 gibt die Zeigerwertverteilung der Flechten für das Untersuchungsjahr 2009 wieder. Danach ist die Mehrzahl der Arten an mäßig kühle bis mäßig warme Standorte angepasst und an saure Substrate (80% an Substraten mit pH kleiner 5,6; $R < 6$). Der Lichtbedarf ist sehr unterschiedlich, Schatten- bis Halblichtpflanzen sind etwa gleich verteilt. Die Arten mit den niedrigsten Feuchtezahlen tolerieren niederschlagsarme Standorte (*Physconia grisea*, $F=2$), die Mehrzahl jedoch meidet niederschlagsarme Gebiete, und rund 12 % sind auf Regionen mit mindestens 1000 bis 1400 mm Jahresniederschlag beschränkt (F über 6: z.B. *Arthonia leucopellea*, *Lobaria pulmonaria* oder *Parmeliella triptophylla*). Abgesehen von einigen Funden von *Phaeophyscia orbicularis*, *Physconia grisea* und *Xanthoria candelaria* mit $N=7$ oder z. B. *Physcia tenella* ($N=6$) sind Arten mit relativ hohen Nährstoffzahlen selten. Starke Eutrophierungszeiger fehlen, sieht man von begrenzten Vorkommen unterhalb von Borkenwunden ab (z. B. Fläche 1410 Schönau). Abgesehen von der Feuchtezahl liegen arithmetische Mittelwerte und die (eigentlich mathematisch korrekteren) Mediane der Zeigerwerte sehr nahe beisammen.

Abbildung 3.1: Prozentuale Häufigkeit ökologischer Zeigerwerte von Flechten 2009.

L, Lichtzahl; T, Temperaturzahl; K, Kontinentalitätszahl; F, Feuchtezahl; R, Reaktionszahl; N, Nährstoffzahl; nach WIRTH in ELLENBERG *et al.* (1991, 2001). Mittelwerte und Mediane ungewichtet.



Das Flechtenartenspektrum ist erheblich reichhaltiger geworden! Die Gesamtzahl der Flechtenarten in den Pufferzonen am Stamm lebender Bäume ist von 81 Arten in der Erstuntersuchung 1985/86 auf inzwischen 171 Arten angestiegen (173 Flechtenarten bei Einschluss der "Umgebung" der Pufferzonen). Dieser Anstieg verlief kontinuierlich über 88, 132 Arten und 138 Arten (unter Einschluss der Nachweise auf Gattungsniveau) in den Untersuchungsjahren 1991, 1996 und 2002. Es sind aber bis 2009 nicht nur Arten hinzugekommen, sondern insgesamt 30 Arten aktuell nicht mehr gefunden worden, die zwischen 1986 und 2002 auf den Waldflächen registriert wurden, darunter fünf Flechten mit starker Bindung an historisch alte Wälder (Kategorie A; WIRTH *et al.* 2009), zehn Arten der Gefährdungskategorie 1 bis 3 und Bestandssituation "selten" bis "extrem selten", z. B. *Chaenotheca chlorella* und *Pertusaria multipuncta*.

Tabelle 3.1: Liste der Flechten und nicht lichenisierten Pilze an Borke lebender Bäume auf den 30 im Jahr 2009 untersuchten Waldflächen.

Für die Artenspektren von 1986, 1991, 1996 und 2002 wurden die von der LUBW bereitgestellten Ergebnisberichte ausgewertet.

Code, 6Lettercode für jede Art, bestehend aus den ersten Buchstaben für Gattung und Artepithet (in Abfragen Groß- und Kleinschreibung erlaubt); **Arname_taxonomisch**: Bezeichnung der Art mit Angabe des Autors, Nomenklatur nach WIRTH (2008) und WIRTH et al. (2007); **Spalte RL-BW (1)**: Rote-Liste-Status in Baden-Württemberg nach WIRTH (2008; 0, ausgestorben oder verschollen; 1, vom Aussterben bedroht; 2, stark gefährdet; 3, gefährdet; V, Vorwarnliste; *, nicht gefährdet; D, Datenlage unzureichend); **B_BW (2)**, Bestandssituation nach WIRTH (2008; es, extrem selten; ss, sehr selten; s, selten; mh, mäßig häufig; h, häufig; sh, sehr häufig); **Re_Wi (3)**: Art Resistent gegenüber Luftschadstoffen (WIRTH 1986; WIRTH & OBERHOLLENZER 1991); **Re_Sta (4)**: Neue, am heutigen Luftschadstoffgemisch orientierte Einstufung der Resistenz gegenüber Luftschadstoffen; **Nitro (5)**: Als Nitrophyt eingestufte Art, wird durch luftgetragene Nährstoffeinträge nicht geschädigt oder gefördert (VDI 2005; *Phaeophyscia endophoenicea* hinzugenommen); **WA_Wi (6)**: Art mit "starker" bzw. "mäßig starke Bindung an historisch alte Wälder", Kategorie A, bzw. (A), nach WIRTH et al. (2009); **WA_Di (7)**: DAW, Zeigerart historischer alter Wälder in Luxemburg (DIEDERICH 1991); **nIEC_Ro (8)**: Indikatorart zur Berechnung des "New Index of Ecological Continuity" (ROSE 1992), Main (m) und Bonus (b) Species; **WA_Bra (9)**: Zeigerart historisch alter Wälder in (Ost-)Bayern nach von BRACKEL et al. (2008).

Code	Arname_taxonomisch	RL-BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Epiphytische Flechten 2009										
Acrgem	<i>Acrocordia gemmata</i> (Ach.) A. Massal.	V	mh							
Agoall	<i>Agonimia allobata</i> (Stizenb.) P. James	*	ss/s				(A)			
Amapun	<i>Amandinea punctata</i> (Hoffm.) Coppins & Scheid.	*	sh	R	re	n				
Anipol	<i>Anisomeridium polypori</i> (Ellis & Everh.) M. E. Barr	*	h							
Artbys	<i>Arthonia byssacea</i> (Weigel) Almq.	3	mh				A	DAW		
Artdid	<i>Arthonia didyma</i> Körb.	*	mh							
Artleu	<i>Arthonia leucopellaea</i> (Ach.) Almq.	1	s/ss				A			B
Artrad	<i>Arthonia radiata</i> (Pers.) Ach.	*	h							
Artrua	<i>Arthonia ruana</i> A. Massal.	*	h							
Artspa	<i>Arthonia spadicea</i> Leight.	*	mh							
Artvin	<i>Arthonia vinosa</i> Leight.	*	s				(A)		m	
Baccir	<i>Bacidia circumspecta</i> (Nyl. ex Vain.) Malme	1	ss				A			
Bacneo	<i>Bacidia neosquamulosa</i> Aptroot & Herk	*	?s		re					
Bacrub	<i>Bacidia rubella</i> (Hoffm.) A. Massal.	V	h							
Bacsub	<i>Bacidia subincompta</i> (Nyl.) Arnold	3	s/mh				(A)		b	
Bacdel	<i>Bacidina delicata</i> (Larbal. & Leight.) V. Wirth & Vezda	*	h?							
Bctdry	<i>Bactrospora dryina</i> (Ach.) A. Massal.	2	s				A			
Biachr	<i>Biatora chrysantha</i> (Zahlbr.) Printzen	3	s							
Biaeff	<i>Biatora efflorescens</i> (Hedl.) Räsänen	3	s				A			
Btdmon	<i>Biatoridium monasteriense</i> Körb.	3	s							
Bryfus	<i>Bryoria fuscescens</i> (Gyeln.) Brodo & D. Hawksw.	*	mh/h							
Buedis	<i>Buellia disciformis</i> (Fr.) Mudd	2	s/mh							
Buegri	<i>Buellia griseovirens</i> (Turner & Borrer ex Sm.) Almb.	*	sh							
Calads	<i>Calicium adpersum</i> Pers.	V	s/mh				A			
Calsal	<i>Calicium salicinum</i> Pers.	V	mh							
Calvir	<i>Calicium viride</i> Pers.	3	s							

Code	Artnome_taxonomisch	RL- BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Calhol	Caloplaca holocarpa (Hoffm.) A. E. Wade	*	h		re	n				
Calluc	Caloplaca lucifuga G. Thor	3	s				(A)		b	
Calobs	Caloplaca obscurella (Körb.) Th. Fr.	*	mh							
Canref	Candelariella reflexa (Nyl.) Lettau	*	sh		re	n				
Canvit	Candelariella vitellina (Hoffm.) Müll. Arg.	*	sh		re	n				
Canxan	Candelariella xanthostigma (Pers. ex Ach.) Lettau	*	sh		re	n				
Cetoli	Cetrelia olivetorum (Nyl.) W. L. Culb. & C. F. Culb.	3	s				A	DAW	m*	
Chachr	Chaenotheca chrysocephala (Turner ex Ach.) Th. Fr.	*	h						m*	
Chafer	Chaenotheca ferruginea (Turner ex Sm.) Mig.	*	h	R						
Chafur	Chaenotheca furfuracea (L.) Tibell	V	mh				(A)		m*	
Chaste	Chaenotheca stemonea (Ach.) Müll. Arg.	D							m*	
Chatri	Chaenotheca trichialis (Ach.) Th. Fr.	V	mh				(A)		m*	
Chrcan	Chrysothrix candelaris (L.) J. R. Laundon	V	mh				(A)			
Clacae	Cladonia caespiticia (Pers.) Flörke	3	s	R						
Clachl	Cladonia chlorophaea (Sommerf.) Spreng.	*	h	R						
Clacon	Cladonia coniocraea (Flörke) Sprengel	*	sh	R						
Cladig	Cladonia digitata (L.) Hoffm.	*	h/sh	R						
Clafim	Cladonia fimbriata (L.) Fr.	*	h	R						
Clapol	Cladonia polydactyla (Flörke) Spreng.	*	s/mh	R						
Claram	Cladonia ramulosa (With.) J. R. Laundon	*	s?	R						
Clasqu	Cladonia squamosa (Scop.) Hoffm.	*	h	R						
Cligri	Cliostomum griffithii (Sm.) Coppins	1	es							
Dimpin	Dimerella pineti (Schrad.) Vezda	*	sh							
Evepru	Evernia prunastri (L.) Ach.	*	sh							
Felbou	Fellhanera bouteillei (Desm.) Vezda	1	ss							
Felvir	Fellhanera viridisorediata Aptroot, M. Brand & Spier	D								
Flacap	Flavoparmelia caperata (L.) Hale	*	sh							
Fuscya	Fuscidea cyathoides (Ach.) V. Wirth & Vezda	3	s				A			
Grascr	Graphis scripta (L.) Ach.	*	sh							
Hypadg	Hyperphyscia adglutinata (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt	*	s							
Hypcar	Hypocenomyce caradocensis (Leight. ex Nyl.) P. James & Gotth. Schneid.	*	mh							
Hypsca	Hypocenomyce scalaris (Ach. ex Lilj.) M. Choisy	*	sh	R						
Hypfar	Hypogymnia farinacea Zopf	*	mh							
Hypphy	Hypogymnia physodes (L.) Nyl.	*	sh							
Hyptub	Hypogymnia tubulosa (Schaer.) Hav.	*	sh							
Hypvit	Hypogymnia vittata (Ach.) Parrique	3	ss/s							
Imsale	Imshaugia aleurites (Ach.) S. L. F. Mey.	*	mh							
Jamana	Jamesiella anastomosans (P. James & Vezda) Lücking, Sérus.& Vezda	*	s/mh							
Lecabi	Lecanactis abietina (Ach.) Körb.	V	mh				(A)			
Lcncro	Lecania croatica (Zahlbr.) Kotlov C1081	D								
Lcncyr	Lecania cyrtella (Ach.) Th. Fr.	*	mh							
Ichhya	Lecania hyalina (Fr.) Sant.	V	mh							
Lcnaae	Lecania naegelii (Hepp) Diederich & van den Boom	*	mh							

Code	Artnome_taxonomisch	RL- BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Lecalb	Lecanora albella (Pers.) Ach.	V	mh							
Lecall	Lecanora albellula Nyl.	1	ss?							
Lecarg	Lecanora argentata (Ach.) Malme	*	h							
Leccar	Lecanora carpineae (L.) Vain.	*	sh							
Lecchl	Lecanora chlarotera Nyl.	*	sh							
Lecom	Lecanora compallens van Herk & Aptroot	D			re					
Leccon	Lecanora conizaeoides Nyl. ex Cromb.	*	h	R	re					
Lecexp	Lecanora expallens Ach.	*	sh	R						
Lechag	Lecanora hagenii (Ach.) Ach.	*	sh		re	n				
Lecint	Lecanora intumescens (Rebent.) Rabenh.	V	mh/h							
Lecpul	Lecanora pulcaris (Pers.) Ach.	*	sh							
Lecsc	Lecanora subcarpineae Szatala	*	s/mh							
Lcdnyl	Lecidea nylanderii (Anzi) Th. Fr.	0								
Lcdpul	Lecidea pullata (Norman) Th. Fr.	?								
Ledela	Lecidella elaeochroma (Ach.) M. Choisy	*	sh							
Ledsca	Lecidella scabra (Taylor) Hertel & Leuckert	*	mh							
Ledsub	Lecidella subviridis Tønsberg	D								
Lepinc	Lepraria incana (L.) Ach.	*	h	R						
Lepjac	Lepraria jackii Tønsberg	*	mh	R						
Leplob	Lepraria lobificans Nyl.	*	sh	R						
Lepmem	Lepraria membranacea (Dicks.) Vain.	*	mh							
Leprig	Lepraria rigidula (de Lesd.) Tønsberg	*	h	R						
Lepumb	Lepraria umbricola Tønsberg	?								
Lepvou	Lepraria vouauxii (Hue) R. C. Harris	*	h							
Lobpul	Lobaria pulmonaria (L.) Hoffm.	2	s/mh				A	DAW	m	B
Loxela	Loxospora elatina (Ach.) A. Massal.	*	mh							B
Melgla	Melanelia glabratula (Lamy) Essl.	*	sh							
Miccin	Micarea cinerea (Schaer.) Hedl.	2	s				A		m	
Micmel	Micarea melaena (Nyl.) Hedl.	3	s							
Micmic	Micarea micrococca (Körb.) Gams ex Coppins	*	sh							
Micpel	Micarea peliocarpa (Anzi) Coppins & R. Sant.	*	s/mh							
Micpra	Micarea prasina Fr.	*	sh							
Micvir	Micarea viridileprosa Coppins & van den Boom	*	h?							
Mcldis	Microcalicium disseminatum (Ach.) Vainio	*	s				A			
Mcbepi	Mycobilimbia epixanthoides (Nyl.) Hafellner & Türk	D	ss?					DAW		
Mycfuc	Mycoblastus fucatus (Stirt.) Zahlbr.	*	h							
Mycsan	Mycoblastus sanguinarius (L.) Norman	3	s							
Mccsub	Mycocalicium subtile (Pers.) Szatala	V	s							
Norpul	Normandina pulchella (Borrer) Nyl.	*	mh					DAW		B
Ochand	Ochrolechia androgyna (Hoffm.) Arnold	V	mh							
Ochmic	Ochrolechia microstictoides Räsänen	*	mh							
Opeatr	Opegrapha atra Pers.	*	h							
Openiv	Opegrapha niveoatra (Borrer) J.R. Laundon	3	s/mh							B
Operuf	Opegrapha rufescens Pers.	*	h							
Opevar	Opegrapha varia Pers.	V	mh							
Opever	Opegrapha vermicellifera (Kunze) J. R. Laundon	*	h					DAW		B

Code	Artnome_taxonomisch	RL- BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Opevir	Opegrapha viridis (Ach.) Nyl.	*	h							
Parsax	Parmelia saxatilis (L.) Ach.	*	sh							
Parsul	Parmelia sulcata Taylor	*	sh							
Partri	Parmeliella triptophylla (Ach.) Müll. Arg.	1	ss				A		m	
Partil	Parmelina tiliacea (Hoffm.) Hale	*	sh							
Paramb	Parmeliopsis ambigua (Wulfen) Nyl.	*	h							
Parhyp	Parmeliopsis hyperopta (Ach.) Arnold	V	s							
Parcri	Parmotrema crinitum (Ach.) M. Choisy	1	es				A		m	B
Parchi	Parmotrema perlatum (Huds.) M. Choisy	3	s							(B)
Pelpra	Peltigera praetextata (Flörke ex Sommerf.) Vain.	*	h							
Peralb	Pertusaria albescens (Huds.) M. Choisy & Werner	*	sh							
Perama	Pertusaria amara (Ach.) Nyl. f. amara	*	sh							
Percoc	Pertusaria coccodes (Ach.) Nyl.	*	h							
Perfla	Pertusaria flavida (DC.) J. R. Laundon	V	mh				(A)			
Perhem	Pertusaria hemisphaerica (Flörke) Erichsen	V	mh				(A)			
Perhym	Pertusaria hymenea (Ach.) Schaer.	3	ss				A			
Perlei	Pertusaria leioplaca DC.	V	h							
Perper	Pertusaria pertusa (Weigel) Tuck.	V	mh							
Perpup	Pertusaria pupillaris (Nyl.) Th. Fr.	D	s?							
Perpus	Pertusaria pustulata (Ach.) Duby	V	s/mh							
Phaend	Phaeophyscia endophoenicea (Harm.) Moberg	V	s/mh			n				B
Phaorb	Phaeophyscia orbicularis (Neck.) Moberg	*	sh	R	re	n				
Phlage	Phlyctis agelaea (Ach.) Flot.	3	mh							
Phlarg	Phlyctis argena (Spreng.) Flot.	*	sh							
Phyads	Physcia adscendens (Th. Fr.) H. Olivier	*	sh		re	n				
Phyten	Physcia tenella (Scop.) DC. var. tenella	*	sh		re	n				
Phcchl	Physciella chloantha (Ach.) Essl.	*	ss							
Phygri	Physconia grisea (Lam.) Poelt	*	h		re	n				
Pladas	Placynthiella dasaea (Stirt.) Tønsberg	*	h?							
Plaicm	Placynthiella icmalea (Ach.) Coppins & P. James	*	h/sh	R						
Plagla	Platismatia glauca (L.) W. L. Culb. & C. F. Culb.	*	h							
Poraen	Porina aenea (Wallr.) Zahlbr.	*	h							
Porlep	Porina leptalea (Durieu & Mont.) A. L. Sm.	*	mh					DAW		
Psefur	Pseudevernia furfuracea (L.) Zopf	*	sh							
Psicla	Psilolechia clavulifera (Nyl.) Coppins	D								
Punulo	Punctelia jeckeri (Roum.) Kalb	*	h							
Punsub	Punctelia subrudecta (Nyl.) Krog	*	h							
Pyrnit	Pyrenula nitida (Weigel) Ach.	*	mh/h				(A)			
Pyrntl	Pyrenula nitidella (Flörke ex Schaer.) Müll. Arg.	V	mh				(A)			
Pyrque	Pyrrhospora quernea (Dicks.) Körb.	D								
Ramfar	Ramalina farinacea (L.) Ach.	*	h/sh							
Rampol	Ramalina pollinaria (Westr.) Ach.	*	mh?							
Reileo	Reichlingia leopoldii Diederich & Scheid.	*								
Ropvir	Ropalospora viridis (Tønsberg) Tønsberg	*	h							
Schdec	Schismatomma decolorans (Turner & Borrer ex Sm.) Clauzade & Vezda	V	s/mh				A			

Code	Artnome_taxonomisch	RL- BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Scochl	Scoliosporum chlorococcum (Graewe ex Stenh.) Vezda	*	mh/h	R						
Stristi	Strigula stigmatella (Ach.) R.C. Harris	2	ss/s				A			
Therub	Thelopsis rubella Nyl.	2	ss				A		m	
Trafle	Trapeliopsis flexuosa (Fr.) Coppins & P. James	1	h/sh							
Tragra	Trapeliopsis granulosa (Hoffm.) Lumbsch	V	s/mh							
Trapse	Trapeliopsis pseudogranulosa Coppins & P. James	*	mh							
Travir	Trapeliopsis viridescens (Schrad.) Coppins & P. James	1	ss							
Usnfil	Usnea filipendula Stirt.	3	mh							
Usnsub	Usnea subfloridana Stirt.	3	mh							
Vulpin	Vulpicida pinastris (Scop.) J. -E. Mattsson & M. J. Lai	3	s							
Xancan	Xanthoria candelaria (L.) Th. Fr.	*	h		re	n				
Xanpar	Xanthoria parietina (L.) Th. Fr.	*	sh		re	n				
Xanpol	Xanthoria polycarpa (Hoffm.) Rieber	*	sh		re	n				
Nicht lichenisierte Pilze auf Rinde 2009										
Artana	Arthopyrenia analepta (Ach.) A. Massal.	D								
Naepun	Naetrocymbe punctiformis (Pers.) R. C. Harris	V	mh							
Stemaj	Stenocybe major (Nyl.) Körb.	1	ss				A			

Code	Artnome_taxonomisch	RL- BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Epiphytische Flechten 1991 bzw. 1986 (*), die 2009 nicht mehr nachgewiesen wurden										
Calher	Caloplaca herbidella (Hue) H. Magn. (*)	2	s				A			B
Lecalp	Lecanora allophana (Ach.) Nyl.									
Lecsal	Lecanora saligna (Schrad.) Zahlbr. (*)	2	s							
Lecvar	Lecanora varia (Hoffm.) Ach.	3	mh							
Melexl	Melanelia exasperatula (Nyl.) Essl.	*	sh							
Ochtur	Ochrolechia turneri (Sm.) Hasselrot	*	mh							
Tucchl	Tuckermanopsis chlorophylla (Willd.) Hale (*)	*	mh							

Code	Artnome_taxonomisch	RL- BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Epiphytische Flechten 1996, die 2009 nicht mehr nachgewiesen wurden										
Baeruf	Baeomyces rufus (Huds.) Rebent.	*	h							
Biahel	Biatora helvola Körber ex Hellbom	3	s				A			
Calgla	Calicium glaucellum Ach.	*	mh							
Calpar	Calicium parvum Tibell	D	ss?							
Clapyx	Cladonia pyxidata (L.) Hoffm. subsp. pyxidata	*	h	R						
Ledfla	Lecidella flavosorediata (Vězda) Hertel & Leuckert	D								
Micadn	Micarea adnata Coppins	V	sh				(A)			
Mcbhyp	Mycobilimbia hypnorum (Lib.) Kalb & Hafellner	2	ss							
Neppar	Nephroma parile (Ach.) Ach.	2	s				A		m	
Peldeg	Peltigera degenii Gyeln.	3	s							
Percon	Pertusaria constricta Erichsen	2	ss							
Percor	Pertusaria coronata (Ach.) Th. Fr.	V	mh					DAW		

Code	Artnome_taxonomisch	RL-BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Permul	<i>Pertusaria multipuncta</i> (Turner) Nyl.	1	ss				A			B
Phyper	<i>Physconia perisidiosa</i> (Erichsen) Moberg	*	h							
Tucchl	<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i> (Willd.) Hale	*	mh							
Flechten bewohnende Pilze 1996										
Athara	<i>Athelia arachnoidea</i> (Berk.) Jülich									
Chacon	<i>Chaenothecopsis consociata</i> (Nádv.) A.F.W.Schmidt	2	ss				A			
Sphtur	<i>Sphinctrina turbinata</i> (Pers.) De Not.	2	ss				A			
Code	Artnome_taxonomisch	RL-BW (1)	B BW (2)	Re Wi (3)	Re Sta (4)	Nitro (5)	WA Wi (6)	WA Di (7)	nIEC Ro (8)	WA Bra (9)
Epiphytische Flechten 2002, die 2009 nicht mehr nachgewiesen wurden										
Artdis	<i>Arthonia dispersa</i> (Schrad.) Nyl.	V	mh							
Baeruf	<i>Baeomyces rufus</i> (Huds.) Rebent.	*	h							
Brycap	<i>Bryoria capillaris</i> (Ach.) Brodo & D. Hawksw.	V	mh							
Calpar	<i>Calicium parvum</i> Tibell	D	ss?							
Calher	<i>Caloplaca herbidella</i> (Hue) H. Magn.	2	s				A			B
Catnig	<i>Catillaria nigroclavata</i> (Nyl.) Schuler	*	mh							
Chachl	<i>Chaenotheca chlorella</i> (Ach.) Müll. Arg.	1	es				A		m*	
Clacen	<i>Cladonia cenotea</i> (Ach.) Schaer.	V	mh	R						
Clagra	<i>Cladonia grayi</i> Sandst.	*	s?	R						
Clapyx	<i>Cladonia pyxidata</i> (L.) Hoffm. subsp. pyxidata	*	h	R						
Clasul	<i>Cladonia sulphurina</i> (Michx.) Fr.	3	ss	R						
Melsba	<i>Melanelia subaurifera</i> (Nyl.) Essl.	*	h							
Percor	<i>Pertusaria coronata</i> (Ach.) Th. Fr.	V	mh					DAW		
Phyent	<i>Physconia enteroxantha</i> (Nyl.) Poelt	*	mh/h							
Flechten bewohnende Pilze 2002										
Athara	<i>Athelia arachnoidea</i> (Berk.) Jülich									
Perful	<i>Peridiothelia fuliginata</i> (Norman) D. Hawksw.									

3.2. Bonitierung anhand des Artenspektrums der Pufferzonen 1986 - 2009

Für die Einstufung der Waldgefährdung oder der Immissionsbelastung eines Waldes anhand epiphytischer Flechten sind verschiedenste Verfahren veröffentlicht worden (KNABE 1981, 1982, 1983; STÖCKER 1983 [Zusammenstellung der Kriterien dazu in STETZKA & STAPPER 2001]; WIRTH 1988; WIRTH & OBERHOLLENZER 1991). Im Gegensatz zu früheren Ansätzen gründet die von WIRTH & OBERHOLLENZER (1991) veröffentlichte und zuletzt von DOLNIK & RASMUS (2004) modifizierte Methode zur Einstufung der Immissionsbelastung baden-württembergischer Walddauerbeobachtungsflächen auf der empirisch ermittelten, artspezifischen Luftschadstofftoleranz der Flechten (vergl. Tabelle 3.2). Dieses Verfahren wurde in ähnlichen Studien in Schleswig-Holstein (ZIMMER 2000) und im Rahmen des Level-II-Programms in Nordrhein-Westfalen (STAPPER 2002, 2005) unter Erhalt plausibler Ergebnisse angewendet. Als Grundkriterium der Einstufung in eine der vier Bonitätsklassen (von I, Immissionseinfluss gering oder nicht nachweisbar bis IV, Immissionseinfluss sehr stark) dient die Gesamtartenzahl epiphytischer Flechten im Stammbereich abzüglich resistenter, nahezu überall vorkommender und durch Luftbelastung sogar geförderter Arten. Die von WIRTH & OBERHOLLENZER (1991) aufgestellte und in den bisherigen Durchgängen verwendete Artenliste bedarf jedoch der Anpassung an die heutigen Bedingungen, die mehr von eutrophierenden als von sauren Luftschadstoffen geprägt sind, weshalb in Tabelle 3.2 weitere, gegenüber Nährstoffeintrag resistente Arten aufgeführt sind (STAPPER 2005, 2008), die parallel für eine aktuellere Einstufung der Bonität verwendet werden, wobei die Breite der Klassen zunächst beibehalten wird. In den folgenden Ergebnistabellen bedeutet "Bonitätsstufe alt" die Bewertung nach DOLNIK & RASMUS (2004) und "Bonitätsstufe neu" die Bewertung der Immissionsbelastung unter gleichzeitigem Abzug der überwiegend nährstofftoleranten "zusätzlichen" Flechten.

Tabelle 3.2: Bonitätsklassen und resistente Flechtenarten.

Bonitierung nach DOLNIK & RASMUS (2004) auf der Grundlage von WIRTH & OBERHOLLENZER (1991). Erweiterte Liste resistenter Arten nach STAPPER (2005, 2008). (*), ehemalige *Leproloma*-Arten und *L. umbricola* ausgenommen. Bonitätsstufen nach Bereinigung um "alte" und "neue" resistente Arten mit arabischen statt römischen Ziffern.

Bereinigte Flechtenartenzahl		Bonitätsstufe
von	bis	
0	5	IV
6	12	III
13	20	II
21	30	Ib
31 und mehr		Ia
<p>Resistente Flechtenarten "alt": <i>Amandinea punctata</i>, <i>Chaenotheca ferruginea</i>, <i>Cladonia</i> spp., <i>Hypocenomyce scalaris</i>, <i>Lecanora conizaeoides</i>, <i>Lecanora expallens</i>, <i>Lepraria</i> spp. (*), <i>Phaeophyscia orbicularis</i>, <i>Placynthiella icmalea</i>, <i>Scoliciosporum chlorococcum</i>.</p> <p>Zusätzliche als resistent eingestufte Flechten "neu": <i>Bacidia neosquamulosa</i>, <i>Caloplaca holocarpa</i>, <i>Candelariella reflexa</i>, <i>Candelariella vitellina</i>, <i>Candelariella xanthostigma</i>, <i>Fellhanera viridisorediata</i>, <i>Lecanora compallens</i>, <i>Lecanora hagenii</i>, <i>Physcia adscendens</i>, <i>P. tenella</i>, <i>Physconia grisea</i>, <i>Xanthoria candelaria</i>, <i>X. parietina</i>, <i>X. polycarpa</i>.</p>		

Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden 2009 zufällige Flechtenvorkommen an herabgefallenen Zweigen oder an umgestürzten Bäumen nicht aufgenommen und die Bonitierung für die Jahre 1996 und 2002 auf Basis von "Flechtenvorkommen am Stamm lebender Bäume in den Pufferzonen" neu vorgenommen (Tabelle 3.3 bis Tabelle 3.5). Aufgrund der breiten Klassen führte dies nur an drei Standorten zur Abwertung um eine Bonitätsstufe für das Jahr 2002 (Spalte "2002#" in Tabelle 3.6). Die Veränderungen der Bonitätsstufen seit 1996 sind, je nach Bereinigungsverfahren, in Tabelle 3.6 und Tabelle 3.7 aufgeführt. Die Angaben zur Bonität für die Jahre 1986 und 1991 wurden unverändert dem Bericht von DOLNIK & RASSMUS (2004) entnommen. Die Entwicklung der Immissionsbelastung aufgrund der bereinigten Artenzahl von 1986 bis 2009 ist in Abbildung 3.4 dargestellt. Die zugehörigen Daten sind in Tabelle 3.6 aufgeführt. Die Ergebnisse zusammengefasst:

- Infolge des Anstiegs der Anzahl epiphytischer Flechtenarten ist an 18 Standorten die Bonität seit 2002 um eine Stufe gestiegen ("+" in Tabelle 3.6), an 12 Standorten ist sie konstant geblieben ("const."). Keine Fläche wurde gegenüber der Voruntersuchung 2002 abgewertet. Die Anzahl der nach Stufe I ("Immissionseinfluss gering oder nicht nachweisbar") bonitierten Flächen hat sich seit 1996 nahezu verdoppelt, die Anzahl der nach Ia eingestuften Flächen ist seit 1996 auf das Fünffache, und gegenüber der Voruntersuchung auf das 2,5fache gestiegen (vergl. Abbildung 3.2).
- Wird die Anzahl der Flechtenarten um die zusätzlichen Arten ("neu") bereinigt, dann müssen die Flächen 1030 Bad Waldsee, 1071 Leutkirch und 1292 Eppingen² aufgrund des Vorkommens gegenüber Nährstoffeinträgen toleranter Flechtenarten von Ia nach Ib zurückgestuft werden (Tabelle 3.7). Ähnliches gilt für die Fläche 1341 Eberbach², die "neu" mit 3 anstatt II eingestuft wird. Alle anderen Flächen werden 2009 mit beiden Verfahren gleich bewertet.
- Die Flächen mit der höchsten bereinigten Artenzahl (resistente "alt" und "neu" abgezogen) sind derzeit 1390 Hausach (49 Flechten), 1300 Künzelsau (42), 1060 Riedlingen (40) und 1410 Schönau (39).
- Wie bereits 2002 gab es auch 2009 keinen Waldstandort mehr, an dem nicht-resistente Flechten ("alt" und "neu") gefehlt und folglich Stufe IV hätte vergeben werden müssen, unabhängig davon, auf welche Weise die Artenzahl bereinigt wurde. Die Zahl der nach III eingestuften Flächen ist seit 2002 rückläufig, die der nach II und Ib eingestuften weitgehend gleich geblieben.
- Da sich die Wuchsbedingungen für Flechten je nach Baumart unterscheiden, ist die auf Grundlage aller Baumarten bestimmte Bonität meist "besser" als jene nach Beschränkung auf die jeweilige Hauptbaumart (Tabelle 3.8). Dies ist beim Vergleich von verschiedenen Standorten mit unterschiedlicher Baumartenausstattung zu berücksichtigen.

Ein Nachteil des Bewertungsverfahrens besteht darin, dass klimatisch unterschiedliche Waldflächen nach den gleichen Kriterien bewertet werden. Dieser Nachteil ist hinnehmbar, solange nur das qualitative Vorkommen der Arten zur Bonitierung herangezogen wird oder nur zeitliche Veränderungen am selben Standort betrachtet werden. Mit der geografischen Höhe ändert sich auch die Zusammensetzung des Artenspektrums, wobei einige auf höhere Lagen begrenzte Arten oft Massenbestände bilden.

Die 30 baden-württembergischen Waldflächen beherbergen im Mittel 32 Flechtenarten pro Standort, also bis zu zweimal so viele Arten wie in vergleichbaren Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen, Hessen oder Sachsen (STETZKA & STAPPER 2001; STAPPER 2002, 2005, 2005; TEUBER 2006) nachgewiesen wurden. Wesentlicher Grund dafür ist ihre zumeist günstige Lage fern der Ballungsgebiete an Rhein und Neckar. Die dort gelegenen Waldflächen (z. B. Weinheim, Lörrach oder Stuttgart²; vergl. Abbildung 3.4) ähneln hinsichtlich ihrer Ausstattung mit epiphytischen Flechten weitgehend den Level-II-Standorten in Nordrhein-

Westfalen (STAPPER 2002, 2005). Ähnlich ist auch der Anstieg der bereinigten Flechtenartenzahlen auf diesen Ballungsraum-nahen Waldflächen seit 2000 verlaufen. In beiden Bundesländern wird diese Veränderung hauptsächlich als unmittelbare Folge verminderter Immissionen betrachtet, insbesondere Immissionen saurer Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, dessen Jahresmittelwert unter 10 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft reduziert wurde und das heute im Vergleich zu eutrophierenden Immissionen praktisch keine Rolle mehr spielt (VDI 2005, 2009).

Abbildung 3.2: Zeitliche Veränderung der Bonitätsstufen zwischen 1996 und 2002.

Angegeben ist die prozentuale Häufigkeit jeder Bonitätsstufe für 28 Waldflächen (Pufferzonen), zu denen Ergebnisse für alle drei Zeitpunkte vorliegen (für die Flächen 1140 und 1211 und das Jahr 1996 liegen keine Daten vor). Bonitierung gemäß DOLNIK & RASSMUS (2004). Siehe auch Legende zu Tabelle 3.6.

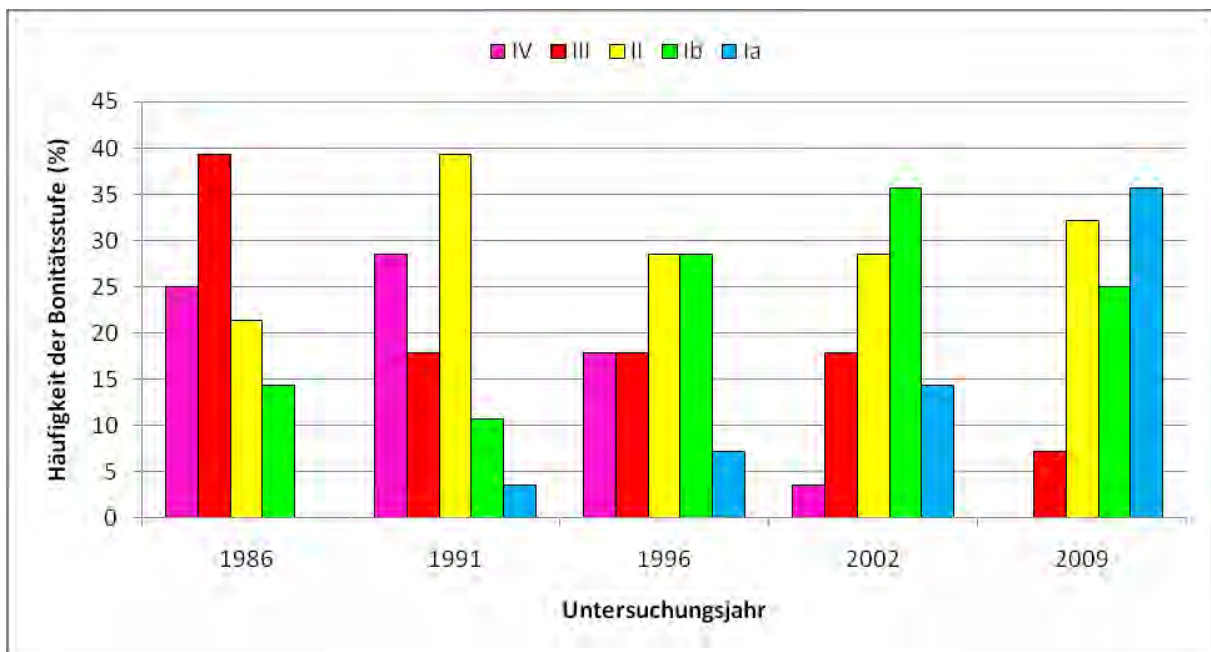


Abbildung 3.3: Beispiele resistenter Flechtenarten

Von links nach rechts: *Bacidia neosquamulosa*, *Lecanora conizaeoides* und *Xanthoria polycarpa* (gelb) mit *Physcia tenella* (grau).



Abbildung 3.4: Immissionsbelastung der Waldflächen - Ergebnisse der Bonitierung nach DOLNIK & RASSMUS (2004) für die Untersuchungsjahre 1986, 1991, 1996, 2002 und 2009.

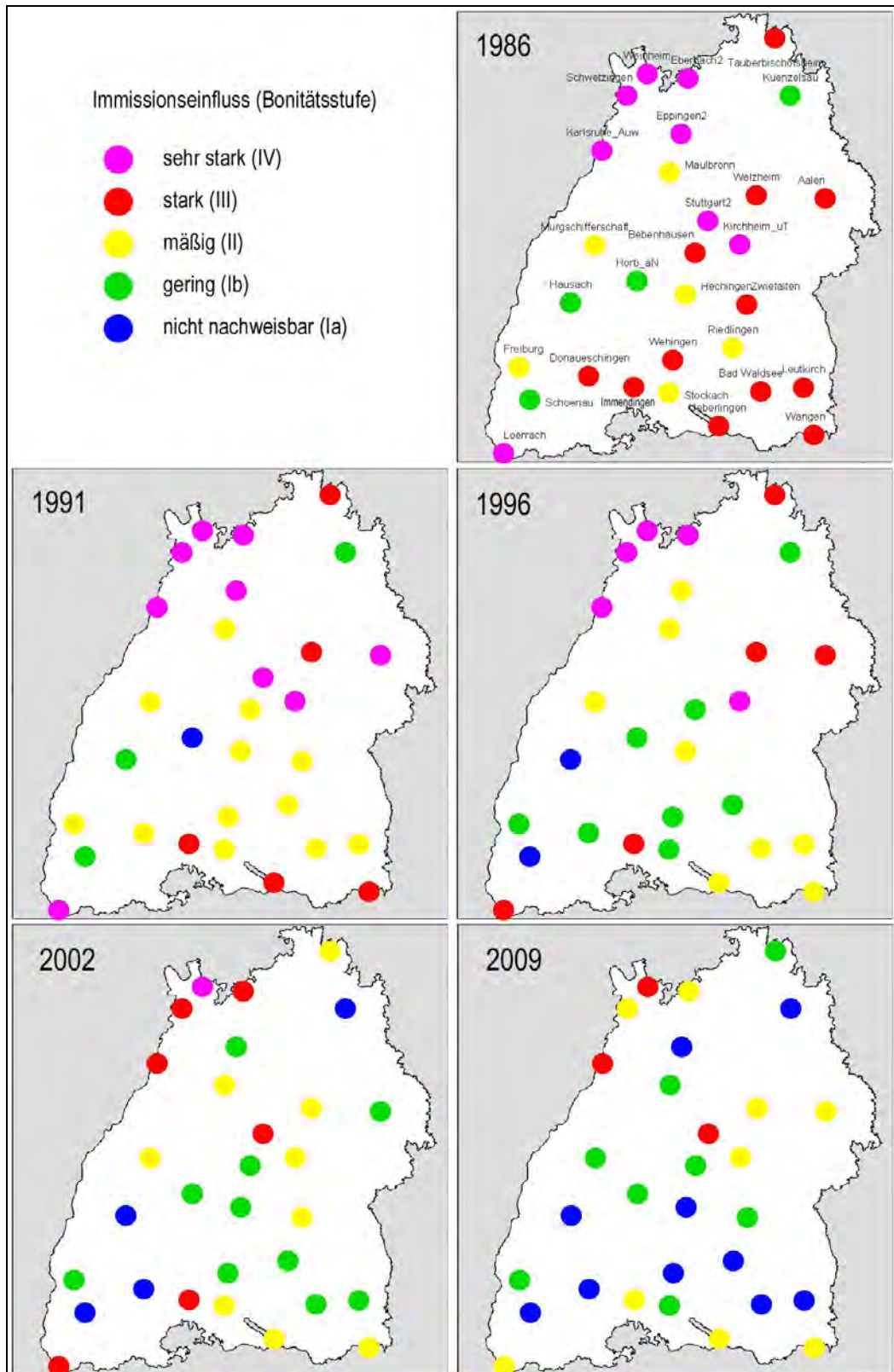


Tabelle 3.3: Bonitierung 2009.

Nummer und Name der Wald-Dauerbeobachtungsfläche; Flechten 2009: Artenzahl der Pufferzone, nur Flechten, keine lichenicolen oder nicht-lichenisierten Pilze; Zusätzl. resist. Arten: zusätzliche als resistent eingestufte Arten (siehe Tabelle 3.2); Flechten bereinigt alt: Artenzahl ohne resistente nach WIRTH & OBERHOLLENZER (1991) und daraus abgeleitete Bonitätsstufe alt; Flechten bereinigt neu: Artenzahl bereinigt um resistente Arten nach WIRTH & OBERHOLLENZER (1991) und zusätzliche, als resistent eingestufte Arten; Bonitätsstufe neu: Bonitätsstufe mit gleichen Klassenbreiten wie DOLNIK & RASSMUS (2004); Sortierung nach "Flechten bereinigt neu".

Nr.	Waldfläche	Flechten 2009	Resist. Arten	Zusätzl. resist. Arten	Flechten bereinigt alt	Bonitätsstufe alt	Flechten bereinigt neu	Bonitätsstufe neu
1350	Weinheim (Schr.)	15	5	1	10	III	9	3
1490	Karlsruhe (Auwald)	14	4	1	10	III	9	3
1211	Stuttgart2	14	3	2	11	III	9	3
1341	Eberbach2	24	10	2	14	II	12	3
1510	Schwetzingen	21	4	5	17	II	12	2
1180	Kirchheim u.T.	19	3	3	16	II	13	2
1220	Welzheim	24	7	3	17	II	14	2
1190	Aalen	26	8	4	18	II	14	2
1421	Loerrach	21	3	2	18	II	16	2
1020	Überlingen	21	4	0	17	II	17	2
1040	Wangen	25	7	0	18	II	18	2
1111	Immendingen	24	4	1	20	II	19	2
1440	Freiburg	24	1	1	23	lb	22	1b
1330	Tauberbischofsheim	32	5	5	27	lb	22	1b
1100	Stockach	33	6	4	27	lb	23	1b
1261	Horb a.N.	31	5	1	26	lb	25	1b
1280	Maulbronn	35	5	5	30	lb	25	1b
1030	Bad Waldsee	37	4	8	33	la	25	1b
1370	Murgschifferschaft	36	9	1	27	lb	26	1b
1140	Zwiefalten	33	3	4	30	lb	26	1b
1071	Leutkirch	40	3	10	37	la	27	1b
1200	Bebenhausen	35	6	0	29	lb	29	1b
1292	Eppingen2	38	5	4	33	la	29	1b
1170	Hechingen	35	4	0	31	la	31	1a
1400	Donaueschingen	41	8	0	33	la	33	1a
1110	Wehingen	44	6	4	38	la	34	1a
1410	Schoenau	51	5	7	46	la	39	1a
1060	Riedlingen	53	7	6	46	la	40	1a
1300	Kuenzelsau	50	4	4	46	la	42	1a
1390	Hausach	60	9	2	51	la	49	1a

Tabelle 3.4: Bonitierung 2002 auf Grundlage der Daten aus DOLNIK & RASSMUS (2004).

Legende siehe Tabelle 3.3. Für die Berechnung wurden nur Flechten am Stamm lebender Bäume berücksichtigt. Grundlage: Von der LUBW bereitgestellte Daten-DVD zu Werkverträgen seit 1986 und das aus den darauf befindlichen Texten und Tabellen rekonstruierte Gesamtartenspektrum.

Nr.	Waldfläche	Flechten 2002	Resist. Arten	Zusätzl. resist. Arten	Flechten bereinigt alt	Bonitätsstufe alt	Flechten bereinigt neu	Bonitätsstufe neu
1350	Weinheim (Schr.)	9	5	2	4	IV	2	4
1510	Schwetzingen	8	2	2	6	III	4	4
1211	Stuttgart2	9	3	1	6	III	5	3
1111	Immendingen	13	4	1	9	III	8	3
1490	Karlsruhe (Auwald)	13	4	0	9	III	9	3
1341	Eberbach2	16	6	1	10	III	9	3
1421	Loerrach	14	3	1	11	III	10	3
1220	Welzheim	21	6	3	15	II	12	3
1180	Kirchheim u.T.	21	5	2	16	II	14	2
1020	Überlingen	23	7	1	16	II	15	2
1040	Wangen	25	9	0	16	II	16	2
1280	Maulbronn	27	7	3	20	II	17	2
1330	Tauberbischofsheim	23	4	1	19	II	18	2
1370	Murgschifferschaft	27	8	1	19	II	18	2
1100	Stockach	30	10	2	20	II	18	2
1030	Bad Waldsee	30	7	5	23	lb	18	2
1140	Zwiefalten	21	1	1	20	II	19	2
1190	Aalen	25	4	1	21	lb	20	2
1110	Wehingen	31	8	2	23	lb	21	1b
1060	Riedlingen	30	6	2	24	lb	22	1b
1071	Leutkirch	26	2	2	24	lb	22	1b
1440	Freiburg	26	2	0	24	lb	24	1b
1292	Eppingen2	33	6	3	27	lb	24	1b
1170	Hechingen	29	4	0	25	lb	25	1b
1261	Horb a.N.	34	7	2	27	lb	25	1b
1200	Bebenhausen	34	5	1	29	lb	28	1b
1300	Kuenzelsau	38	4	2	34	la	32	1a
1400	Donaueschingen	44	11	0	33	la	33	1a
1390	Hausach	42	6	3	36	la	33	1a
1410	Schoenau	45	8	0	37	la	37	1a

Tabelle 3.5: Bonitierung 1996 auf Grundlage der Daten von CEZANNE *et al.* (1997).

Grundlage: Von der LUBW bereitgestellte Daten-DVD zu Werkverträgen seit 1986 und das aus den darauf befindlichen Texten und Tabellen rekonstruierte Gesamtartenspektrum der Pufferzonen. Weitere Erklärungen siehe Legende zu Tabelle 3.3. Für die Berechnung wurden nur Flechten am Stamm lebender Bäume berücksichtigt. Für die Flächen 1140 und 1211 und das Jahr 1996 liegen keine Daten vor!

Nr.	Waldfläche	Flechten 1996	Resist. Arten	Zusätzl. resist. Arten	Flechten bereinigt alt	Bonitätsstufe alt	Flechten bereinigt neu	Bonitätsstufe neu
1350	Weinheim (Schr.)	5	4	1	1	IV	0	4
1180	Kirchheim u.T.	5	3	1	2	IV	1	4
1490	Karlsruhe (Auwald)	6	3	1	3	IV	2	4
1341	Eberbach2	11	6	1	5	IV	4	4
1510	Schwetzingen	8	3	1	5	IV	4	4
1220	Welzheim	14	6	1	8	III	7	3
1421	Loerrach	11	3	1	8	III	7	3
1111	Immendingen	11	2	1	9	III	8	3
1330	Tauberbischofsheim	16	4	2	12	III	10	3
1190	Aalen	15	3	1	12	III	11	3
1280	Maulbronn	18	5	1	13	II	12	3
1030	Bad Waldsee	19	4	2	15	II	13	2
1292	Eppingen2	18	3	1	15	II	14	2
1020	Überlingen	20	3	1	17	II	16	2
1040	Wangen	21	4	0	17	II	17	2
1071	Leutkirch	22	2	3	20	II	17	2
1370	Murgschifferschaft	25	6	1	19	II	18	2
1170	Hechingen	24	4	1	20	II	19	2
1100	Stockach	27	6	2	21	Ib	19	2
1110	Wehingen	24	3	1	21	Ib	20	2
1060	Riedlingen	28	6	0	22	Ib	22	1b
1261	Horb a.N.	31	6	2	25	Ib	23	1b
1440	Freiburg	26	1	1	25	Ib	24	1b
1200	Bebenhausen	30	5	0	25	Ib	25	1b
1300	Kuenzelsau	31	4	2	27	Ib	25	1b
1400	Donaueschingen	31	3	0	28	Ib	28	1b
1390	Hausach	36	4	1	32	Ia	31	1a
1410	Schoenau	59	7	0	52	Ia	52	1a
1140	Zwiefalten	-	-	-	-	-	-	-
1211	Stuttgart2	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 3.6: Veränderung der Bonitierungsstufe zwischen 1986 und 2009 auf Basis resistenter Arten (WIRTH & OBERHOLLENZER 1991; DOLNIK & RASSMUS 2004).

Grundlage: Gesamtartenspektrum der Pufferzonen. Für die Flächen 1140 und 1211 und das Jahr 1996 liegen keine Daten vor (k.D.). Die Daten für die Untersuchungsjahre 1986 und 1991 sind DOLNIK & RASSMUS (2004) entnommen. Für 1996 und 2002 wurden die Bonitätsstufen neu ermittelt, die Spalte 2002# angegebenen Daten stammen aus DOLNIK & RASSMUS (2004) und berücksichtigen Flechtenvorkommen außerhalb der Stammregion der Waldbäume. An 18 Standorten ist die Bonität um eine Stufe gestiegen (+), an 12 Standorten ist sie konstant geblieben (const.).

Nr.	Standortname	Bonitätsstufe, Untersuchungsjahr						Veränderung seit 2002
		1986	1991	1996	2002	2002#	2009	
1020	Überlingen	III	III	II	II	lb	II	const.
1030	Bad Waldsee	III	II	II	lb	lb	la	+
1040	Wangen	III	III	II	II	II	II	const.
1060	Riedlingen	II	II	lb	lb	la	la	+
1071	Leutkirch	III	II	II	lb	la	la	+
1100	Stockach	II	II	lb	II	II	lb	+
1110	Wehingen	III	II	lb	lb	lb	la	+
1111	Immendingen	III	III	III	III	III	II	+
1140	Zwiefalten	III	II	k.D.	II	lb	lb	+
1170	Hechingen	II	II	II	lb	lb	la	+
1180	Kirchheim u.T.	IV	IV	IV	II	II	II	const.
1190	Aalen	III	IV	III	lb	lb	II	+
1200	Bebenhausen	III	II	lb	lb	lb	lb	const.
1211	Stuttgart2	IV	IV	k.D.	III	III	III	const.
1220	Welzheim	III	III	III	II	II	II	const.
1261	Horb a.N.	lb	la	lb	lb	lb	lb	const.
1280	Maulbronn	II	II	II	II	II	lb	+
1292	Eppingen2	IV	IV	II	lb	lb	la	+
1300	Kuenzelsau	lb	lb	lb	la	la	la	+
1330	Tauberbischofsheim	III	III	III	II	II	lb	+
1341	Eberbach2	IV	IV	IV	III	III	II	+
1350	Weinheim	IV	IV	IV	IV	IV	III	+
1370	Murgschifferschaft	II	II	II	II	II	lb	+
1390	Hausach	lb	lb	la	la	la	la	const.
1400	Donaueschingen	III	II	lb	la	la	la	const.
1410	Schoenau	lb	lb	la	la	la	la	const.
1421	Loerrach	IV	IV	III	III	III	II	+
1440	Freiburg	II	II	lb	lb	la	lb	const.
1490	Karlsruhe (Auwald)	IV	IV	IV	III	III	III	const.
1510	Schwetzingen	IV	IV	IV	III	III	II	+

Tabelle 3.7: Veränderung der Bonitierungsstufe zwischen 1996 und 2009 wie in Tabelle 3.6, jedoch unter Einbeziehung zusätzlicher resistenter Arten.

An 13 Standorten ist die Bonität um eine Stufe gestiegen (+), an einem um zwei Stufen (++), an 16 Standorten ist sie konstant geblieben (const.). Für die Flächen 1140 und 1211 und das Jahr 1996 liegen keine Daten vor.

Nr.	Standortname	Untersuchungsjahr			Veränderung seit 2002
		1996	2002	2009	
1020	Überlingen	2	2	2	const.
1030	Bad Waldsee	2	2	1b	+
1040	Wangen	2	2	2	const.
1060	Riedlingen	1b	1b	1a	+
1071	Leutkirch	2	1b	1b	const.
1100	Stockach	2	2	1b	+
1110	Wehingen	2	1b	1a	+
1111	Immendingen	3	3	2	+
1140	Zwiefalten	k.D.	2	1b	+
1170	Hechingen	2	1b	1a	+
1180	Kirchheim u.T.	4	2	2	const.
1190	Aalen	3	2	2	const.
1200	Bebenhausen	1b	1b	1b	const.
1211	Stuttgart2	k.D.	3	3	const.
1220	Welzheim	3	3	2	+
1261	Horb a.N.	1b	1b	1b	const.
1280	Maulbronn	3	2	1b	+
1292	Eppingen2	2	1b	1b	const.
1300	Kuenzelsau	1b	1a	1a	const.
1330	Tauberbischofsheim	3	2	1b	+
1341	Eberbach2	4	3	3	const.
1350	Weinheim (Schriesheim)	4	4	3	+
1370	Murgschifferschaft	2	2	1b	+
1390	Hausach	1a	1a	1a	const.
1400	Donaueschingen	1b	1a	1a	const.
1410	Schoenau	1a	1a	1a	const.
1421	Loerrach	3	3	2	+
1440	Freiburg	1b	1b	1b	const.
1490	Karlsruhe (Auwald)	4	3	3	const.
1510	Schwetzingen	4	4	2	++

Tabelle 3.8: Bonitierung der Waldflächen bezogen auf die Hauptbaumarten.

Fle, Flechtenartenzahlen (Grundlage: Gesamtartenspektrum der Pufferzonen) bereinigt um resistente Arten nach WIRTH & OBERHOLLENZER (1991). Bon, Bonität auf Grundlage der bereinigten Artenzahlen ermittelt nach DOLNIK & RASSMUS (2004).

Baumarten		alle	<i>Abies</i>		<i>Picea</i>		<i>Quercus</i>		<i>Fagus</i>		<i>Fraxinus</i>	
Nr.	Standortname	Bon	Fle	Bon	Fle	Bon	Fle	Bon	Fle	Bon	Fle	Bon
1020	Überlingen	II			1		6	III	14	II		
1030	Bad Waldsee	la	3		7		12	III	19	II	11	III
1040	Wangen	II	12	III	9	III			6	III		
1060	Riedlingen	la					29	lb	16	II		
1071	Leutkirch	la			7		20	II	14	II	18	II
1100	Stockach	lb			3				25	lb		
1110	Wehingen	la	6		5		4	IV	19	II	12	III
1111	Immendingen	II			2				28	lb		
1140	Zwiefalten	lb							19	II	17	II
1170	Hechingen	la					20	II	9	III	7	III
1180	Kirchheim u.T.	II					8	III	12	III		
1190	Aalen	II	2		1		12	III	7	III		
1200	Bebenhausen	lb					8	III	21	lb		
1211	Stuttgart2	III					7	III	2	IV		
1220	Welzheim	II	2		2		10	III	9	III		
1261	Horb a.N.	lb	5		2				23	lb		
1280	Maulbronn	lb					15	II	18	II	9	III
1292	Eppingen2	la					12	III	11	III	4	IV
1300	Kuenzelsau	la			2		29	lb	16	II		
1330	Tauberbischofsheim	lb					12	III	8	III		
1341	Eberbach2	II					6	III	10	III		
1350	Weinheim (Schries.)	III					4	IV	7	III		
1370	Murgschifferschaft	lb	19	II	19	II						
1390	Hausach	la	3				36	la	27	lb		
1400	Donaueschingen	la	17	II	20	II			13	II		
1410	Schoenau	la	13		17				46	la		
1421	Loerrach	II					5	IV	14	II	5	IV
1440	Freiburg	lb					7	III	8	III	11	III
1490	Karlsruhe (Auwald)	III					4	IV	2	IV	6	III
1510	Schwetzingen	II					8	III	7	III		

3.3. Bonitierung nach Toxizität

Als eine Alternative zur Bonitierung anhand der Anzahl sensibler Arten wurde für die baden-württembergischen Waldflächen die **Toxizitätsstufe** eingeführt, die dem Toxizitätswert der gegenüber Luftschadstoffen wie SO₂ und NO_x empfindlichsten Flechtenart entspricht (DOLNIK & RASSMUS 2004). Tatsächlich ergibt sich eine mäßige Korrelation zwischen der Toxizitätsstufe und der bereinigten Artenzahl als Grundlage für die Bonitätsstufe ($r=-0,55$; Abbildung 3.5), doch die Übereinstimmung von Toxizitäts- und Bonitätsstufen nach alter oder neuer Berechnung ist nicht sehr deutlich ausgeprägt (vergl. Tabelle 3.9). Der Grund dafür ist, dass zur Bonitierung die Artenanzahl zugrunde gelegt wird, während die Toxizitätsstufe nur davon bestimmt wird, ob eine möglichst empfindliche Art in der untersuchten Waldfläche vorkommt. Die Waldfläche mit geringster Toxizitätsstufe und somit "bester" Einstufung ist 1410 Schoenau, weil in der dortigen Pufferzone die beiden Flechten *Lobaria pulmonaria* und *Parmeliella triptophylla* mit Toxizitätswert 1 vorkommen, gefolgt von 1111 Immendingen, 1370 Murgschifferschaft, 1390 Hausach und 1400 Donauschingen, auf denen die empfindlichsten Flechten den Toxizitätswert 2 aufweisen. Mit Blick darauf, dass z. B. die wegen ihres Artenreichtums nach Bonität Ia eingestuften Flächen 1030 Bad Waldsee und 1071 Leutkirch eine Belastung durch düngende Einträge aufweisen (siehe Kapitel 3.8), erscheint diese Bewertung zwar plausibel, dennoch ist sie fragwürdig. Denn der Erfolg des Verfahrens wird stark vom Zufall bestimmt, weil die über das Ergebnis entscheidende, empfindlichste Art bei der Bearbeitung auch gefunden werden muss. Wesentlicher Nachteil des Verfahrens ist jedoch, dass nicht für alle Flechten Toxizitätswerte vorliegen und diese publiziert wurden, als saure Luftschadstoffe noch dominierten. Aus den genannten Gründen wird das Bewertungsverfahren "Toxizitätsstufe" als nicht vertrauenswürdig betrachtet.

Abbildung 3.5: Zusammenhang zwischen bereinigter Artenzahl einer Waldfläche und dem Toxizitätswert der jeweils empfindlichsten Flechte To(min).

Datengrundlage: Artenspektrum der Waldflächen im Untersuchungsjahr 2009.

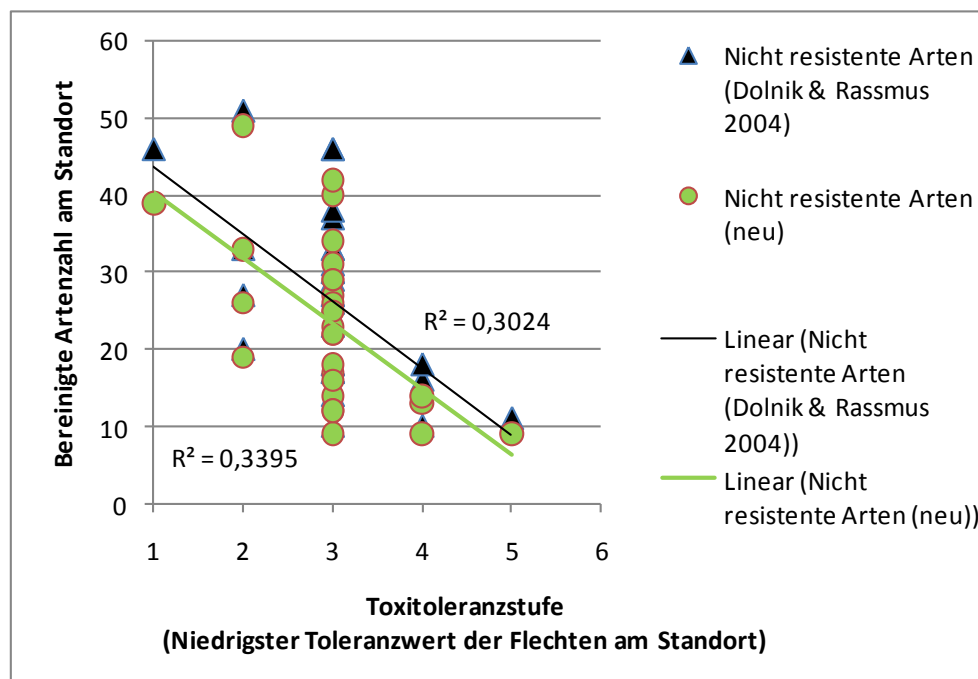


Tabelle 3.9: Aus der Präsenz der Flechte mit niedrigstem To-Wert abgeleitete Toxizitätsstufe.

Sortierung nach Toxizitätsstufe, abnehmend, entsprechend steigender Empfindlichkeit der Flechten gegenüber (sauren) Luftschadstoffen. Grundlage: Gesamtartenspektrum der Pufferzonen 2009. Weitere Erklärungen im Text und in der Legende zu Tabelle 3.3.

Nr.	Standortname	Flechten bereinigt alt	Bonitäts- stufe alt	Flechten bereinigt neu	Bonitäts- stufe neu	Toxizitäts- Stufe
1211	Stuttgart2	11	III	9	3	5
1180	Kirchheim u.T.	16	II	13	2	4
1190	Aalen	18	II	14	2	4
1350	Weinheim (Schriesheim)	10	III	9	3	4
1020	Überlingen	17	II	17	2	3
1030	Bad Waldsee	33	Ia	25	1b	3
1040	Wangen	18	II	18	2	3
1060	Riedlingen	46	Ia	40	1a	3
1071	Leutkirch	37	Ia	27	1b	3
1100	Stockach	27	Ib	23	1b	3
1110	Wehingen	38	Ia	34	1a	3
1140	Zwiefalten	30	Ib	26	1b	3
1170	Hechingen	31	Ia	31	1a	3
1200	Bebenhausen	29	Ib	29	1b	3
1220	Weizheim	17	II	14	2	3
1261	Horb a.N.	26	Ib	25	1b	3
1280	Maulbronn	30	Ib	25	1b	3
1292	Eppingen2	33	Ia	29	1b	3
1300	Kuenzelsau	46	Ia	42	1a	3
1330	Tauberbischofsheim	27	Ib	22	1b	3
1341	Eberbach2	14	II	12	3	3
1421	Loerrach	18	II	16	2	3
1440	Freiburg	23	Ib	22	1b	3
1490	Karlsruhe (Auwald)	10	III	9	3	3
1510	Schwetzingen	17	II	12	2	3
1111	Immendingen	20	II	19	2	2
1370	Murgschifferschaft	27	Ib	26	1b	2
1390	Hausach	51	Ia	49	1a	2
1400	Donaueschingen	33	Ia	33	1a	2
1410	Schoenau	46	Ia	39	1a	1

3.4. Bonitierung anhand von Flechten mit Bindung an historisch alte Waldstandorte 1986 - 2009

Die Bindung bestimmter Flechten an historisch alte Wälder (ROSE 1976, 1992; DIEDERICH 1991; MCCUNE 2000; COPPINS & COPPINS 2002; WIRTH *et al.* 2009) beruht hauptsächlich auf ihrer geringen Ausbreitungsfähigkeit. Viele fruchten selten oder produzieren große Diasporen (STOFER *et al.* 2006). Aus diesem Grund werden solche Flechten als Indikatoren für die ökologische Kontinuität, für die Naturnähe und Schutzwürdigkeit eines Waldstandortes oder für die Wirkung von Eingriffen in den Naturhaushalt verwendet (zur Diskussion siehe auch NORDEN & APPELQVIST 2001). Unter dem Titel "Flechten mit Verbreitungsschwerpunkt im Wald" veröffentlichten WIRTH *et al.* (2009) kürzlich eine Tabelle mit 510 epiphytischen Flechten und nicht lichenisierten Pilzen, von denen sie über 40 % als "stark" (Kategorie A) bzw. "mäßig stark an historische Wälder gebunden" (Kategorie (A)) einstufen. Es liegt somit nahe zu untersuchen, wie viele dieser im Folgenden als "Altwaldarten" bezeichneten Flechten an den 30 aktuell untersuchten Waldstandorten vorkommen, und ob z. B. ein Zusammenhang mit der Diversität der Flechten insgesamt besteht. Bis zu neun Altwaldarten (1060 Riedlingen, 1300 Künzelsau) wurden pro Standort nachgewiesen. In der Tat ergibt sich ein starker Zusammenhang ($r = 0.83$, $p < 0,001$) zwischen dem Vorkommen von Altwaldarten der Kategorien A und (A) und den bereinigten Flechtenartenzahlen in den Pufferzonen der 30 Waldflächen für das Untersuchungsjahr 2009 (siehe Abbildung 3.9). Fotos von Flechten aus beiden Kategorien sind auf den Bildtafeln der folgenden Seiten zu sehen.

Zur Bonitierung der Waldflächen auf Grundlage von Altwaldart-Vorkommen wurden unter Verwendung der Daten von 2009 vier in etwa gleich starke Klassen gebildet (mit abnehmender Bezifferung entsprechend steigender Naturnähe oder abnehmender Belastung durch Eingriffe in den Naturhaushalt): AW_4, keine Altwaldart nachgewiesen; AW_3, eine Art; AW_2, bis zu 3 Arten; AW_1, mehr als 3 Altwaldarten registriert. In den Klassen AW_1 und AW_2 befinden sich alle aufgrund der bereinigten Artenzahl nach Ia bonitierten Waldflächen. Die nach Ib bonitierten Flächen werden überwiegend nach AW_2 und AW_3 eingestuft, 1280 Maulbronn jedoch mangels Vorkommen von Altwaldarten nach AW_4. Die nach III bonitierten Flächen finden sich in den AW-Klassen AW_3 und AW_4. Beim Vergleich der Daten der zurückliegenden Untersuchungen zeigt sich, dass parallel zum Anstieg der Flechtenarten im Projekt auch die Anzahl der Flechtenarten mit Bindung an historisch alte Wälder gestiegen ist und parallel zur Verbesserung der Bonitierung nach bereinigten Artenzahlen auch immer weniger Flächen nach Klasse AW_4 und immer mehr nach Klasse AW_1 gestuft werden (Tabelle 3.10, Abbildung 3.6).

Somit führen beide Bewertungsmethoden mit Blick auf die Rangordnung der 30 Waldflächen zu einem recht ähnlichen Ergebnis, wobei man anhand der bereinigten Artenzahl eine generelle Aussage über die Gunst des Standortes für Flechten trifft, während mit den Altwaldarten der Schwerpunkt auf der historischen Kontinuität oder der (langfristigen) "Naturnähe" des jeweiligen Waldstandortes liegt. Es ist aber anzunehmen, dass viele der 2009 nachgewiesenen 30 Altwaldarten z.B. in Borkekrissen überdauert haben und praktisch unauffindbar blieben, bis sie sich aufgrund besserer Umweltbedingungen wieder ausbreiten konnten. Daher darf man hier die Bonitierung nach Anzahl der Altwaldarten als eine sinnvolle Alternative zum Bewertungsverfahren auf Grundlage nicht-resistenter Flechten betrachten. Aber für Altwaldarten gilt, ebenso wie für Arten mit geringem Toxizitätswert (siehe Kapitel 3.3, "Toxizitätsstufe"), dass ein Fund seltener Arten stark vom Zufall abhängt. Ein auf möglichst vielen Arten und vielen Funden beruhendes Bewertungsverfahren ermöglicht aus statistischen Gründen verlässlichere Resultate.

Abbildung 3.6: Bewertung der Waldflächen anhand von Zeigerarten historisch alter Waldstandorte von 1986 bis 2009.

Für weitere Informationen siehe Unterschrift zu Tabelle 3.10.

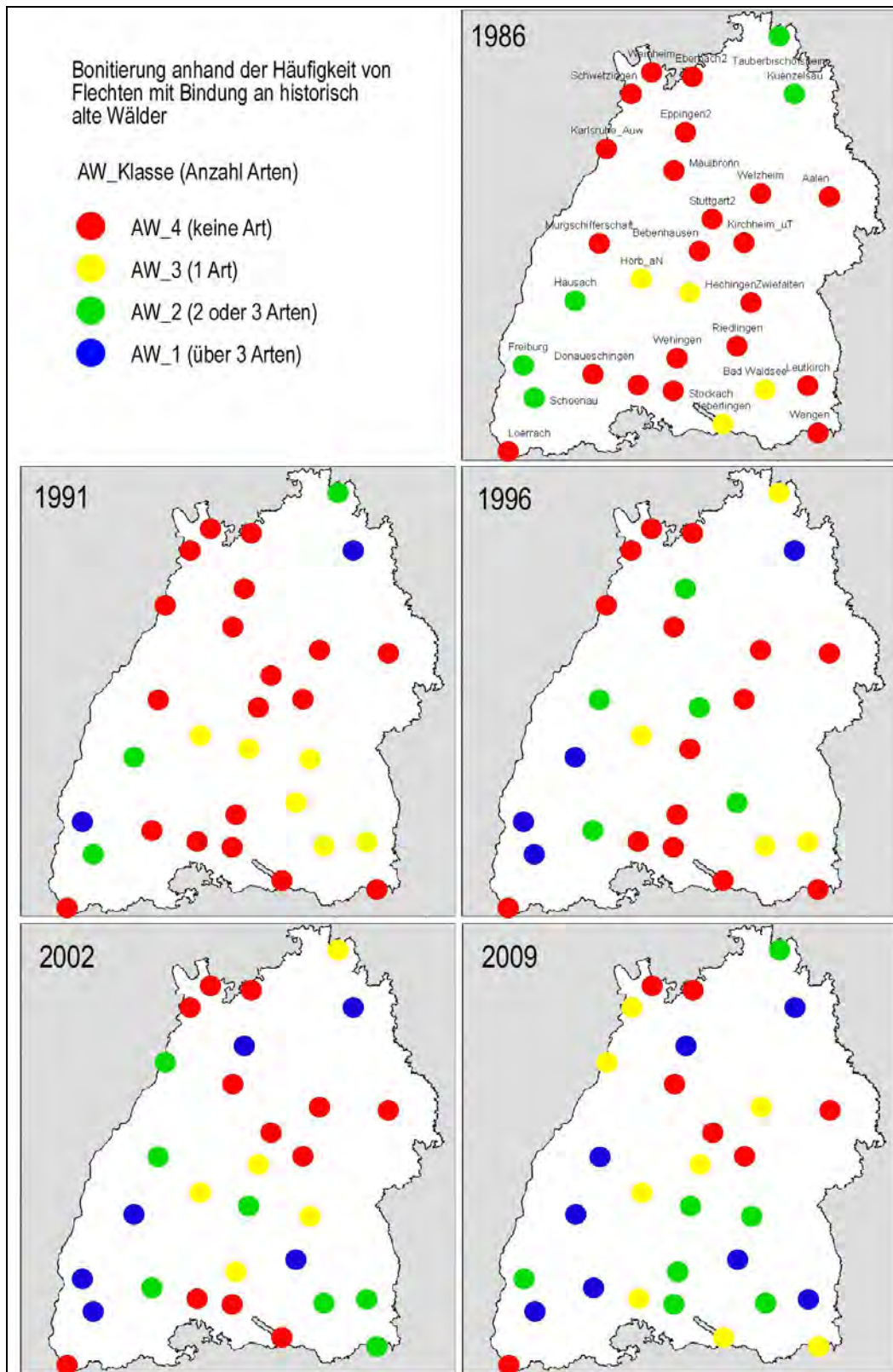


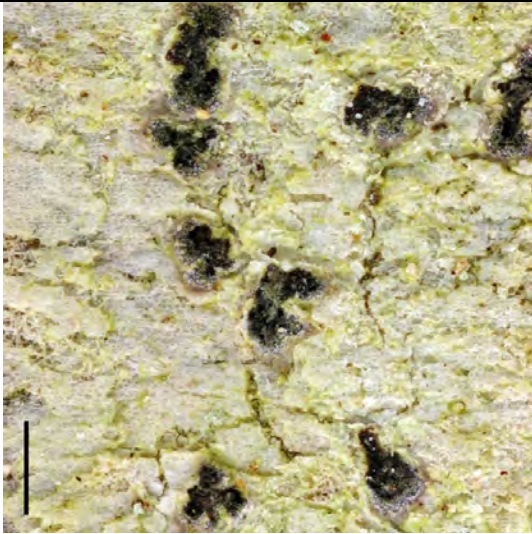
Tabelle 3.10: Veränderung der Bewertung der Waldflächen anhand von Zeigerarten historisch alter Waldstandorte von 1986 bis 2009.

Grundlage: Gesamtartenspektrum der Pufferzonen. Für die Jahre 1986, 1991, 1996 und 2002 wurden die von der LUBW bereitgestellten Ergebnisberichte ausgewertet. Altwaldart A und/oder (A) nach WIRTH *et al.* (2009). AW-Klassen: für die Daten von 2009 wurden in etwa gleich breite Bonitätsklassen gebildet. Farbgebung der AW-Klassen in Anlehnung an die Bonitätsstufen nach DOLNIK & RASMUS (2004). Für die Flächen 1140 und 1211 und das Jahr 1996 liegen keine Daten vor.

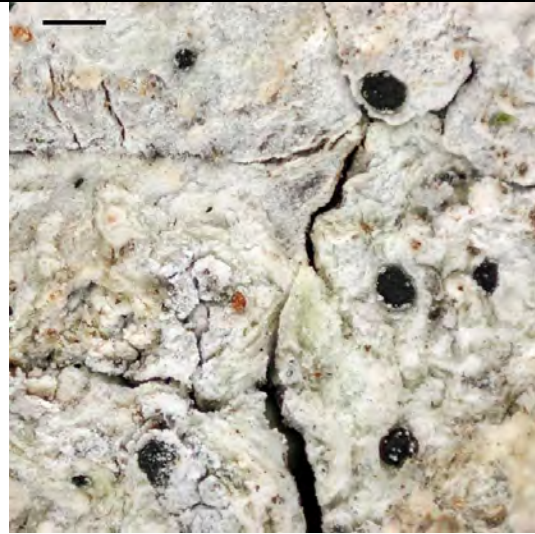
Nr.	Standortname	Altwaldarten [A + (A)]					AW-Klasse 2009	Tenden z	Bonitäts- stufe alt (2009)
		1986	1991	1996	2002	2009			
1180	Kirchheim u.T.	0	0	0	0	0	AW_4		II
1190	Aalen	0	0	0	0	0			II
1211	Stuttgart2	0	0	k.D.	0	0			III
1280	Maulbronn	0	0	0	0	0			Ib
1341	Eberbach2	0	0	0	0	0			II
1350	Weinheim (Schriesh.)	0	0	0	0	0			III
1421	Loerrach	0	0	0	0	0			II
1020	Überlingen	1	0	0	0	1	AW_3	+	II
1040	Wangen	0	0	0	2	1		-	II
1111	Immendingen	0	0	0	0	1		+	II
1200	Bebenhausen	0	0	2	1	1		-	Ib
1220	Welzheim	0	0	0	0	1		+	II
1261	Horb a.N.	1	1	1	1	1			Ib
1490	Karlsruhe (Auwald)	0	0	0	2	1		-	III
1510	Schwetzingen	0	0	0	0	1	+	II	
1100	Stockach	0	0	0	0	2	AW_2	+	Ib
1110	Wehingen	0	0	0	1	2		+	Ia
1140	Zwiefalten	0	1	k.D.	1	2		+	Ib
1030	Bad Waldsee	1	1	1	2	3			Ia
1170	Hechingen	1	1	0	2	3			Ia
1330	Tauberbischofsheim	2	2	1	1	3		+	Ib
1440	Freiburg	3	4	4	4	3		-	Ib
1370	Murgschifferschaft	0	0	2	2	4	+	Ib	
1071	Leutkirch	0	1	1	3	5	AW_1		Ia
1292	Eppingen2	0	0	3	4	5			Ia
1390	Hausach	3	3	5	4	5			Ia
1400	Donaeschingen	0	0	3	2	5		+	Ia
1410	Schoenau	3	2	6	5	6			Ia
1060	Riedlingen	0	1	2	5	9			Ia
1300	Kuenzelsau	3	4	4	6	9			Ia
Anzahl verschiedener Altwaldarten [A + (A)] im Projekt		8	9	20	19	30			

Abbildung 3.7: Beispiele für Flechten mit starker Bindung an historisch alte Wälder, Kategorie A, nach WIRTH *et al.* (2009).

Länge der Kalibrierbalken: 0,5mm. (*), Makroaufnahme von Vorkommen im Projekt.



*Arthonia leucopellea**



*Bactrospora dryina**



Lobaria pulmonaria



Parmotrema crinitum



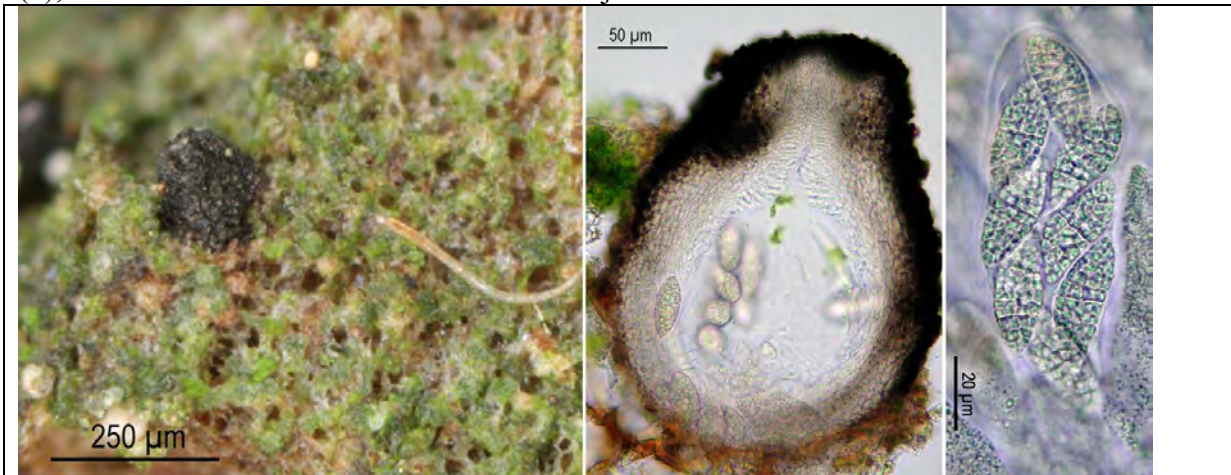
Schismatomma decolorans



*Thelopsis rubella**

Abbildung 3.8: Beispiele für Flechten mit mäßig starker Bindung an historisch alte Wälder, Kategorie (A), nach WIRTH *et al.* (2009).

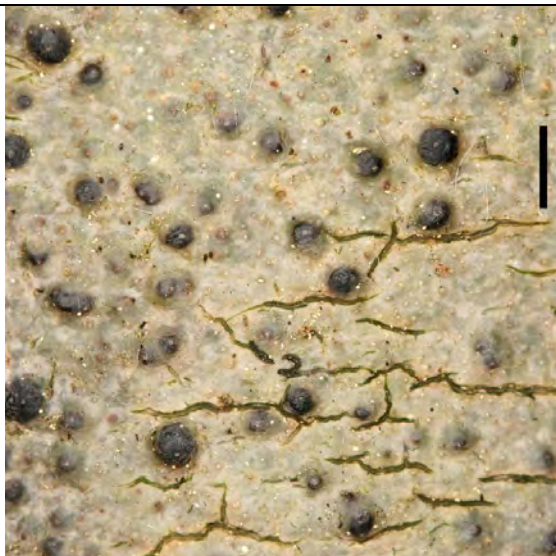
(*), Makroaufnahme von Vorkommen im Projekt.



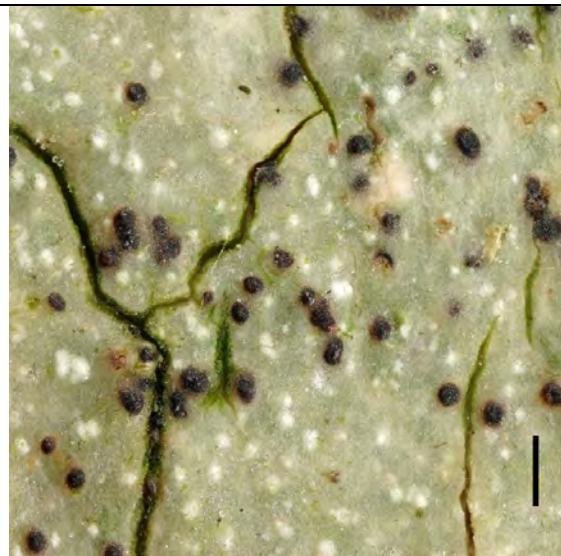
*Agonimia allobata**; Habitus, Perithecium quer und Ascus mit "mauerförmig" vielzelligen Sporen.



*Chaenotheca furfuracea** in einem Borkenriss (um 90 Grad gedreht). Fruchtkörper ca. 2mm hoch.



*Pyrenula nitida**; Balken: 2mm.



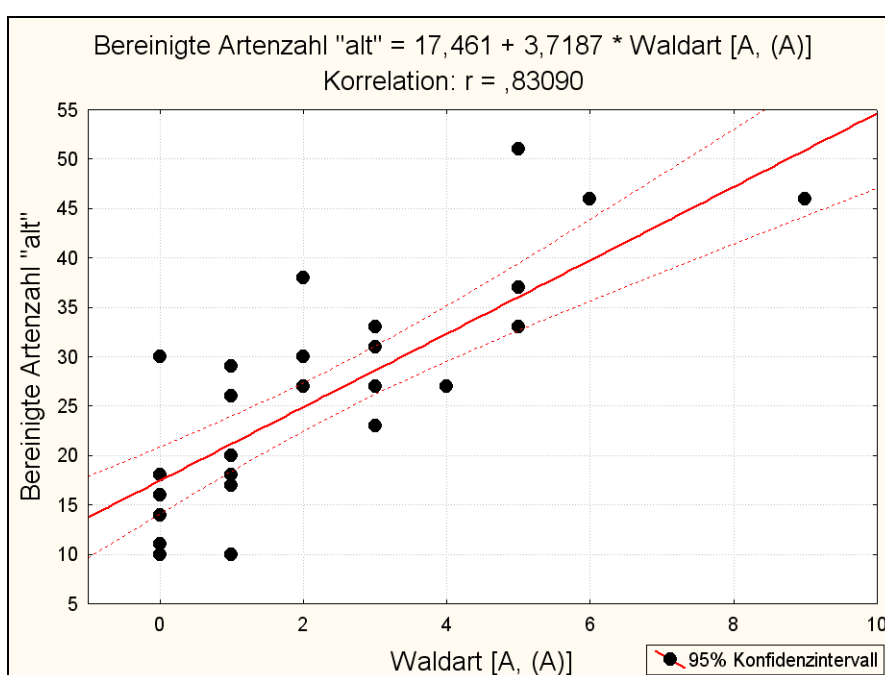
Pyrenula nitidella; Balken 0,5mm.

Tabelle 3.11: Waldflächen im Jahr 2009 mit Vorkommen von Flechten mit starker Bindung an historisch alte Wälder, Kategorie A, nach WIRTH *et al.* (2009).

Datengrundlage: Artenspektrum der Pufferzonen 2009

Nr.	Standort	Flechtenart
1040	Wangen	<i>Micarea cinerea</i>
1060	Riedlingen	<i>Arthonia byssacea</i> , <i>Schismatomma decolorans</i>
1071	Leutkirch	<i>Pertusaria hymenea</i>
1100	Stockach	<i>Pertusaria hymenea</i>
1111	Immendingen	<i>Strigula stigmatella</i>
1170	Hechingen	<i>Schismatomma decolorans</i>
1292	Eppingen2	<i>Bactrospora dryina</i> , <i>Pertusaria hymenea</i> , <i>Schismatomma decolorans</i>
1300	Kuenzelsau	<i>Pertusaria hymenea</i> , <i>Schismatomma decolorans</i>
1330	Tauberbischofsheim	<i>Calicium adpersum</i> , <i>Pertusaria hymenea</i>
1370	Murgschifferschaft	<i>Arthonia leucopellea</i> , <i>Micarea cinerea</i>
1390	Hausach	<i>Cetrelia olivetorum</i> , <i>Microcalicium disseminatum</i> , <i>Parmotrema crinitum</i> , <i>Thelopsis rubella</i>
1400	Donaueschingen	<i>Bacidia circumspecta</i> , <i>Stenocybe major</i>
1410	Schoenau	<i>Biatora efflorescens</i> , <i>Cetrelia olivetorum</i> , <i>Fuscidea cyathoides</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> , <i>Parmeliella triptophylla</i>
1440	Freiburg	<i>Bactrospora dryina</i>

Abbildung 3.9: Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Altwaldarten nach WIRTH *et al.* (2009) und der bereinigten Anzahl epiphytischer Flechten 2009.



3.5. Effizienz der Artenerfassung mit der EU-ForestBIOTA-Methode

Seit 1985 wurde zur *quantitativen* Bestimmung von Wirkungen auf die Flechtenvegetation die Veränderung der Thallusfläche der Flechten herangezogen. Auf diese Weise wurde zwar eine große Anzahl Flechtenlager erfasst, aber nur ein geringer Anteil des Flechtenartenspektrums der jeweiligen Waldfläche berücksichtigt. Ebenso war die Zahl der Phorophyten, in diesem Fall als "Flechtenbaum" bezeichnet, mit durchschnittlich vier pro Waldfläche sehr gering, und ihre Auswahl erfolgte nach subjektiven Kriterien, wie z. B. dem Vorkommen möglichst vieler epiphytischer Flechten. Dieses Vorgehen ist durchaus verständlich, denn man wollte nicht nur die eventuelle Besiedlung freier Borkenareale beobachten können sondern auch Veränderungen bereits bestehender Flechtenrasen. Durch die Umstellung auf die EU-ForestBIOTA-Methode (kurz: EU-Methode) zur Quantifizierung von Einflüssen auf die Flechtenvegetation steigt die Zahl der zu untersuchenden Bäume und Baumarten, und damit, bei etwa vergleichbarer Gesamtgröße der auf Flechten untersuchten Baumstammoberfläche, auch die Wahrscheinlichkeit, das Flechtenartenspektrum repräsentativer und für quantitative Auswertungen vollständiger zu erfassen. Andererseits sind bestimmte lichenologische Fragestellungen, wie z.B. nach der Interaktion benachbarter Flechtenlager oder der Entwicklung individueller Lager anhand von Frequenzdaten nicht mehr zu bearbeiten. Um graduelle Unterschiede in der relativen Häufigkeit bestimmter Flechten mit der EU-Methode beziffern zu können, müssen diese Arten auch mehrfach im Zählgitter registriert worden sein, was im Fall selten vorkommender Arten jedoch unwahrscheinlich ist. Die *vollständige* Erfassung des Flechtenartenspektrums eines Waldstandortes ist also letztlich mit beiden Methoden nicht möglich, aber auch nicht beabsichtigt.

Da die Anzahl der nach EU-Methode zu untersuchenden Bäume willkürlich begrenzt ist, stellt sich zunächst die Frage nach ihrer "Effizienz" hinsichtlich der Erfassung des Artenspektrums. Dieses wurde im Rahmen der Begehung und der intensiven Untersuchung der nach EU-Methode ausgewählten Bäume für jede Pufferzone vergleichbar tief erfasst. Durch Einbeziehung von Bäumen der Umgebung der Pufferzonen (und der anfangs separat mit untersuchten Kernzonen) kamen nur wenige Arten hinzu. Im Gegensatz zu den einheitlich 2500 m² großen Level II-Waldflächen, für die die EU-Methode vereinbart wurde, sind die Pufferzonen der ÖkWi-Waldflächen mit 3500 bis 34500 m² teils erheblich größer. Sieht man von den beiden Flächen Immendingen bzw. Maulbronn ab, in deren Umgebung nur deshalb neun bzw. acht zusätzliche Arten nachgewiesen wurden, weil in Anlehnung an die Voruntersuchung 2002 hier auch besser belichtete Bäume mit untersucht wurden (Verstoß gegen das Homogenitätskriterium; siehe Abschnitt 2.1), dann liegt der Artenzuwachs infolge Ausweitung des Areals in die vom Bestand her ähnliche Umgebung bei maximal fünf Arten. Dies betrifft die Flächen Tauberbischofsheim, Schönau (beide + 5) und Welzheim (+ 3), deren Pufferzonenfläche nur 34 % (Schönau) bis 69 % des ÖkWi-Flächenmittelwertes von 13400 m² beträgt. Andererseits wurden auch außerhalb der sehr großen Pufferzonen von Freiburg, Lörrach und Donaueschingen noch ein bis zwei weitere Arten nachgewiesen, jedoch keine in der Umgebung der kleinen Pufferzonen von Bad Waldsee oder Leutkirch. Man kann daher annehmen, dass 2500 bis 5000 m² homogene Waldfläche bereits ausreichen, um die am Standort zu erwartenden Flechtenarten weitgehend vollständig aufzunehmen (in Analogie zur Arten-Areal-Beziehung steigt die Anzahl der erfassten Flechten mit dem Logarithmus der untersuchten Substratfläche bzw. der Anzahl Bäume; STAPPER 2005; Level II-Programm). Wie in Tabelle 3.13 zusammengefasst, genügt die Anzahl der so untersuchten Bäume, um 73 ± 13 % des Artenspektrums der Pufferzonen zu erfassen. Die Artendichte reicht von 2,8 (1510 Schwetzungen) bis 15,4 Arten pro m² untersuchter Borke (1060 Riedlingen). Beides sind erheblich höhere Werte als auf Level II-Waldflächen in Nordrhein-Westfalen mit nur 42 % Artenerfassungsgrad und 1 bis 3,3 Arten pro m² (STAPPER 2005). Der Grund dafür ist die auf den Flächen des ÖkWi

gleichmäßigere Verteilung der Arten über die untersuchten Bäume. Dies kommt zum Ausdruck in der Evenness J' (PIELOU 1975). Dieser aus dem SHANNON-Index H' abgeleitete Index ist ein gutes Maß für die Abundanzverteilung. Geringe Evenness bedeutet hohe Dominanz einer Art bei oftmals geringer Artenzahl. Bei gleicher Abundanz kann der Maximalwert 1 erreicht werden. Die Evenness-Werte reichen von 0,65 (1510 Schwetzungen) bis 0,86 (1261 Horb) und sind ebenfalls größer als jene in NRW (maximal 0,58). Für die immissionsökologische Beurteilung von Waldflächen sind allerdings weder H' noch J' tauglich, da seltene Arten bei beiden Indizes kaum eine Rolle spielen und gerade viele der seltenen Arten auf Störungen empfindlich reagieren oder sich unter Belastung nicht etablieren können.

Da beide Methoden, sowohl das Flächenverfahren anhand von Folienkonturen und "Flechtenbäumen" als auch die EU-Methode mit Zählgittern, das Artenspektrum nicht vollständig erfassen, stellt sich abschließend die Frage, welche der beiden Methoden die effizientere ist. Hierzu wurden die vorliegenden Daten über die Flächenintegrale der Arten für die Jahre 1996 und 2002 herangezogen und mit den jeweiligen Artenzahlen der Begehungen verglichen. "c.f."- oder "aff."-Vermerke wurden gestrichen, unbestimmte Krustenflechten sämtlich in "Krustenflechte indet." überführt. Angaben auf Gattungsniveau ("spec.") blieben erhalten, Pilze (ausgenommen Arthopyrenia) und Moose wurden gestrichen, ebenso "Peridermflecken". Die quantitative Auswirkung dieses Schrittes auf die Zahl der jeweils registrierten Arten ist gering. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.12 zusammengestellt. Danach wurden in den Jahren 1996 und 2002 innerhalb der Folienflächen an den "Flechtenbäumen" im Mittel 11 bzw. 12 Arten von jeweils 21 bzw. 26 auf den Waldflächen vorkommenden Arten nachgewiesen, was in beiden Fällen im Mittel 50 % der der damals vorkommenden Arten entspricht. Die Gesamtartenzahl ist 2009 auf im Mittel 32 Arten pro Fläche angestiegen, von denen mit der EU-Methode 28 erfasst werden, entsprechend 73 %. Lässt man außer Acht, dass die Arten seit 2002 möglicherweise etwas gleichmäßiger über die Bäume verteilt sein könnten (siehe oben und Tabelle 3.12 zum Thema "Evenness"), dann ist die EU-Methode als quantitatives Verfahren mit Blick auf die Erfassung des Flechtenartenspektrums erheblich effizienter als die Folienmethode.

Abbildung 3.10: *Biatoridium monasteriense* ist eine Flechte lichter Waldstandorte.

Die Flechte gehört zu den seltenen Arten und wurde nur in Künzelsau (an Feldahorn) und Riedlingen (an Eiche; gezeigtes Material) gefunden.



Tabelle 3.12: Zur Erfassung der Flechtenartendiversität mit der EU-Methode.

Artenzahl gesamt, Anzahl alle Flechtenarten am Stamm lebender Bäume innerhalb der Pufferzonen; **Artenzahl EU-Methode**, Anzahl der innerhalb der Frequenzgitter nachgewiesenen Flechten; **Arten pro m²**, Anzahl der Flechtenarten in der Gesamtfläche der Frequenzgitter, Bäume mit "Null" Arten sind dabei berücksichtigt. **H'** entspricht dem SHANNON-Index, wobei die Frequenz einer Art als Maß für die Individuenzahl dient: $H' = -\sum (p_i * \ln p_i)$ mit p_i = relativer Anteil der Art i an der jeweiligen Gesamtheit Individuen auf der Waldfläche, hier die Frequenzsumme aller Arten der Waldfläche. **J'** ist die **Evenness** (Equitability, Gleichmäßigkeit). Sie ist ein relatives Maß und gibt die Verteilung der Individuen auf die einzelnen Arten an. $J' = H' / \ln(\text{Artenzahl})$, wobei J' maximal 1 erreichen kann, was eine völlige Gleichverteilung aller Arten bedeutet.

Nr.	Standortname	Artenzahl gesamt	Artenzahl EU-Methode	Anteil (%) Artenzahl gesamt	Arten pro m ²	SHANNON-Index H'	Evenness J'
1020	Überlingen	21	18	86	4,7	2,44	0,84
1030	Bad Waldsee	37	27	73	7,9	2,64	0,80
1040	Wangen	25	22	88	9,2	2,32	0,75
1060	Riedlingen	53	37	70	15,4	2,90	0,80
1071	Leutkirch	40	33	83	11,0	2,66	0,76
1100	Stockach	33	21	64	8,8	2,46	0,81
1110	Wehingen	44	33	75	11,0	2,65	0,76
1111	Immendingen	24	15	63	5,4	2,26	0,84
1140	Zwiefalten	33	31	94	8,2	2,75	0,80
1170	Hechingen	35	21	60	8,1	2,49	0,82
1180	Kirchheim u.T.	19	16	84	6,2	2,26	0,81
1190	Aalen	26	18	69	6,0	2,27	0,79
1200	Bebenhausen	35	29	83	13,2	2,50	0,74
1211	Stuttgart2	14	10	71	3,8	1,89	0,82
1220	Welzheim	24	15	63	5,0	2,19	0,81
1261	Horb a.N.	31	28	90	9,3	2,87	0,86
1280	Maulbronn	35	31	89	11,1	2,83	0,82
1292	Eppingen2	38	28	74	7,4	2,73	0,82
1300	Kuenzelsau	50	33	66	11,0	2,76	0,79
1330	Tauberbischofsheim	32	27	84	9,0	2,59	0,79
1341	Eberbach2	24	14	58	5,0	1,78	0,68
1350	Weinheim (Schriesheim)	15	11	73	3,9	2,01	0,84
1370	Murgschifferschaft	36	22	61	7,9	2,27	0,74
1390	Hausach	60	28	47	10,8	2,80	0,84
1400	Donaueschingen	41	33	80	12,7	2,51	0,72
1410	Schoenau	51	31	61	11,1	2,32	0,68
1421	Loerrach	21	14	67	3,3	2,05	0,78
1440	Freiburg	24	21	88	5,3	2,53	0,83
1490	Karlsruhe (Auwald)	14	13	93	4,3	1,91	0,75
1510	Schwetzingen	21	10	48	2,8	1,51	0,66
MW ± StAb.		32 ± 12	23 ± 8	73 ± 13	8 ± 3		

Tabelle 3.13: Erfassung der Artendiversität, Folien- und Frequenz-Methode im Vergleich.

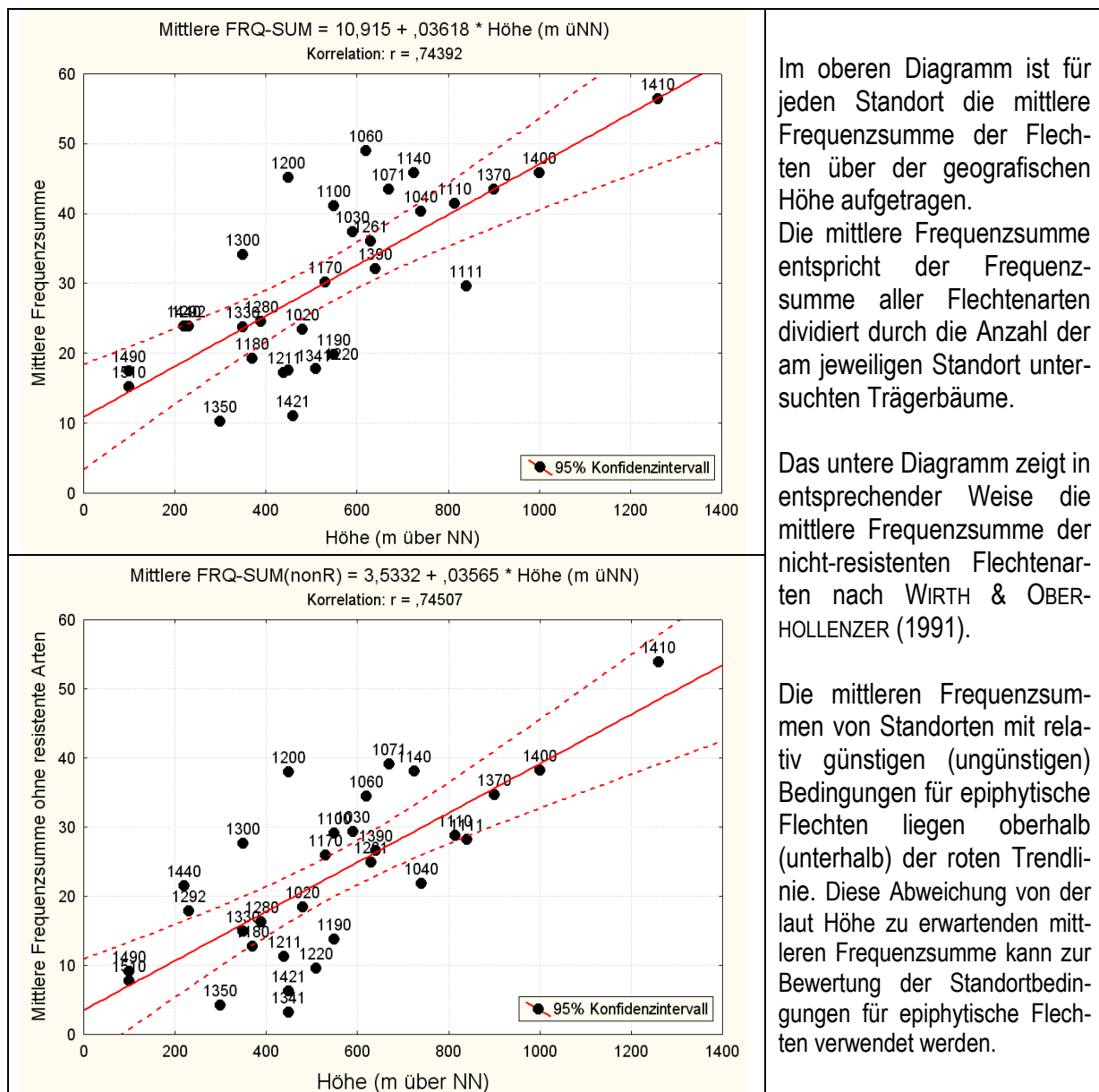
Artenzahl gesamt, Anzahl aller Flechtenarten am Stamm lebender Bäume innerhalb der Pufferzonen, für die Jahre 1996 und 2002; **Folien**, Artenzahl innerhalb der Folienfläche der Flechtenbäume einer Waldfläche; Grundlage sind die Tabellen zu Flächeninhalten der Arten aus Voruntersuchungen (Daten-DVD der LUBW); **Artenzahl EU-Methode**, Anzahl der innerhalb der Frequenzgitter nachgewiesenen Flechten; **Anteil (%)**, Anteil der mit der jeweiligen quantitativen Methode erfassten Flechten vom jeweiligen Gesamtartenspektrum der Waldfläche.

Standort	Folien	Arten gesamt	Anteil (%) Arten gesamt	Folien	Arten gesamt	Anteil (%) Arten gesamt	Arten EU-Me- thode	Arten gesamt	Anteil (%) Arten gesamt
	1996			2002			2009		
Überlingen	15	20	75	11	23	48	18	21	86
Bad Waldsee	16	19	84	14	30	47	27	37	73
Wangen	15	21	71	18	25	72	22	25	88
Riedlingen	10	28	36	13	30	43	37	53	70
Leutkirch	14	22	64	10	26	38	33	40	83
Stockach	16	27	59	17	30	57	21	33	64
Wehingen	18	24	75	13	31	42	33	44	75
Immendingen	9	11	82	9	13	69	15	24	63
Zwiefalten	keine Angaben			14	21	67	31	33	94
Hechingen	18	24	75	17	29	59	21	35	60
Kirchheim u.T.	4	5	80	13	21	62	16	19	84
Aalen	9	15	60	8	25	32	18	26	69
Bebenhausen	17	30	57	22	34	65	29	35	83
Stuttgart2	keine Angaben			7	9	78	10	14	71
Welzheim	2	14	14	3	21	14	15	24	63
Horb a.N.	23	31	74	20	34	59	28	31	90
Maulbronn	2	18	11	2	27	7	31	35	89
Eppingen2	9	18	50	13	33	39	28	38	74
Kuenzelsau	10	31	32	11	38	29	33	50	66
Tauberbischofshm.	4	16	25	13	23	57	27	32	84
Eberbach2	3	11	27	6	16	38	14	24	58
Weinheim (Schr.)	2	5	40	4	9	44	11	15	73
Murgschifferschaft	14	25	56	13	27	48	22	36	61
Hausach	19	36	53	21	42	50	28	60	47
Donaueschingen	22	31	71	18	44	41	33	41	80
Schoenau	26	59	44	31	45	69	31	51	61
Loerrach	0	11	0	5	14	36	14	21	67
Freiburg	12	26	46	11	26	42	21	24	88
Karlsruhe (Auwald)	2	6	33	9	13	69	13	14	93
Schwetzingen	4	8	50	3	8	38	10	21	48
MW ± StAb.	11 ± 7	21 ± 11	52 ± 23	12 ± 6	26 ± 10	49 ± 17	23 ± 8	32 ± 12	73 ± 13

3.6. Zusammenhang zwischen Flechtenfrequenz und geografischer Höhe

Aufgrund der sehr unterschiedlichen geografischen Höhe ist eine einfache Bonitierung der 30 Waldflächen anhand der mittleren Flechtenfrequenzsumme (entsprechend dem Luftgütwert der alten VDI-Kartierungsrichtlinie 3799 Blatt 1) nicht sinnvoll. Denn außer durch Luftschadstoffe, Borkeneigenschaften und Bodenbedingungen werden Wachstum und Häufigkeit (Frequenz) epiphytischer Flechten insbesondere durch die klimatischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet beeinflusst. Der positive Zusammenhang zwischen der Frequenz epiphytischer Flechten und der Ortshöhe (VONARBURG 1993; WINDISCH 1999), dem mittleren Jahresniederschlag oder der Humidität (GIORDANI 2006; FRAHM & STAPPER 2008) ist inzwischen gut belegt und darf bei der Bestimmung der Immissionsbelastung von Waldstandorten oder Städten mit unterschiedlicher Höhe und unterschiedlichem Klima nicht vernachlässigt werden.

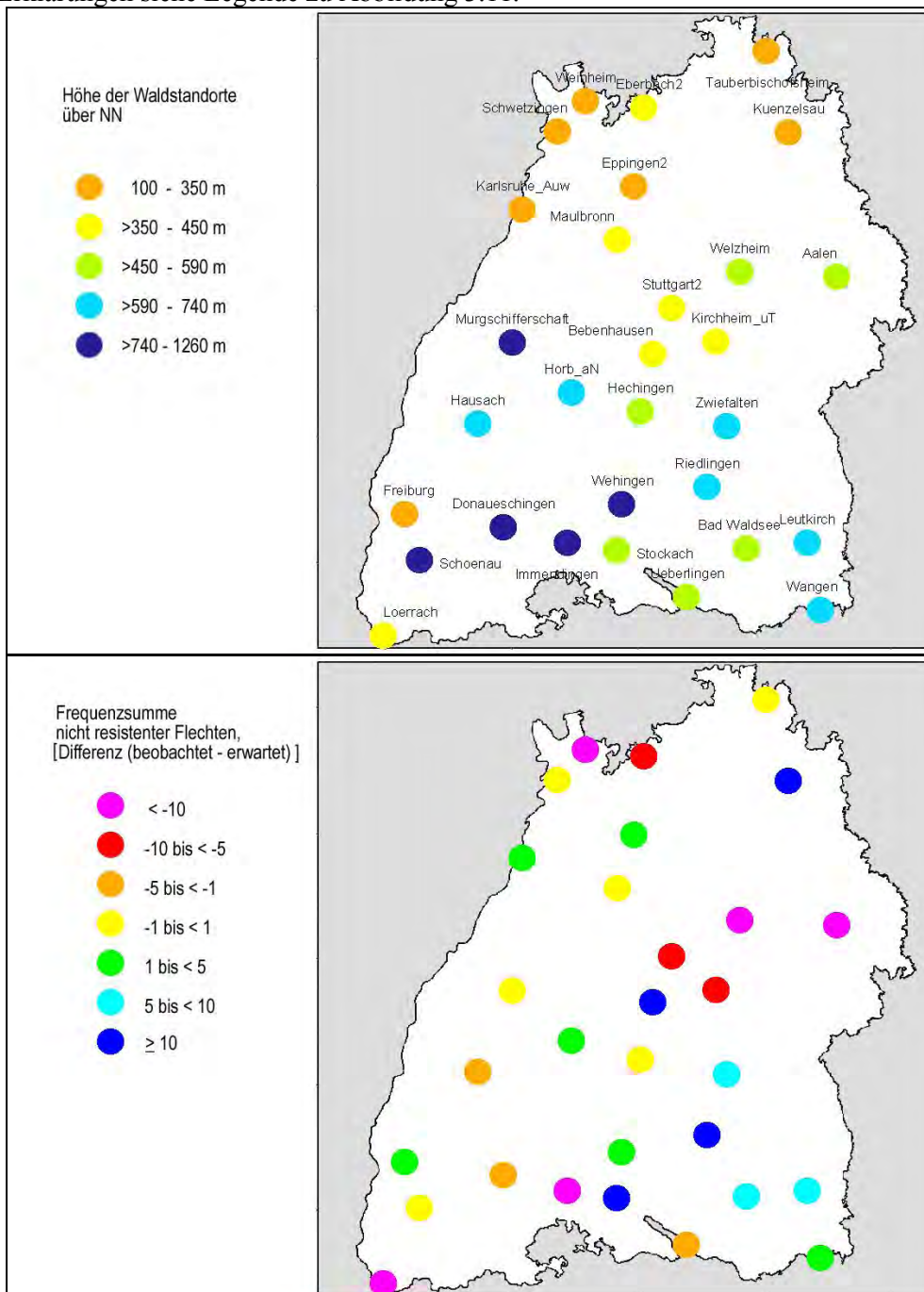
Abbildung 3.11: Zusammenhang zwischen der mittleren Frequenzsumme der Flechten und der geografischen Höhe des Waldstandortes.



Wie in Abbildung 3.11 dargestellt, nimmt die mittlere Frequenzsumme der Flechten mit der geografischen Höhe des Waldstandortes zu. Werden dabei nur die nicht resistenten Flechten berücksichtigt (unteres Diagramm in Abbildung 3.11), dann sind die mittleren Frequenzsummen um etwa den Wert 7 geringer als bei Einbeziehung aller Arten, aber die Darstellung wird aussagekräftiger mit Blick die auf unterschiedliche Gunst der Standorte für Flechten oder die Immissionsbelastung des Standortes. Für einige Waldflächen liegen die bereinigten mittleren Frequenzsummen oberhalb der Trendline und oberhalb des 95% Konfidenzintervalls, d.h. die Frequenzsumme ist höher als aufgrund der Höhenlage im Mittel zu erwarten ist, für andere Flächen liegen sie entsprechend darunter (Kartendarstellung in Abbildung 3.12).

Abbildung 3.12: Geographische Höhe der Waldflächen und die jeweils festgestellte Differenz von der im Mittel zu erwartenden Frequenzsumme nicht-resistenter Flechten.

Weitere Erklärungen siehe Legende zu Abbildung 3.11.



Zu ersteren gehören die Waldflächen 1060 Riedlingen, 1071 Leutkirch, 1140 Zwiefalten, 1200 Bebenhausen, 1300 Künzelsau und 1330 Tauberbischofsheim, für die ausschließlich die Bonitätsstufen Ia und Ib vergeben wurden und die aufgrund des Vorkommens von Altwaldarten fünfmal nach Klasse AW_1 und AW_2 und einmal nach AW_3 (1200 Bebenhausen) bewertet wurden (siehe Tabelle 3.14 und Abbildung 3.12). Demgegenüber sind die Waldflächen mit geringeren Frequenzsummen als aufgrund ihrer Höhe zu erwarten wären jene, die nach Stufe II und III bewertet und aufgrund Fehlens von Altwaldarten fünfmal in AW_4 und nur einmal (1220) in AW_3 eingestuft wurden: 1190 Aalen, 1211 Stuttgart, 1220 Welzheim, 1341 Eberbach, 1350 Schwetzingen, und 1421 Lörrach.

Die Gründe für die mit der Ortshöhe ansteigende Frequenz der Flechten sind klimatischer Natur, etwa der Tagesgang der relativen Feuchte, die Dauer von Trockenperioden (SCHÖLLER 1991) oder die mit der Höhe zunehmende Humidität (die Humidität ist das Verhältnis von Niederschlag zu Verdunstung): Je höher die Humidität, desto höher ist die Artenvielfalt epiphytischer Flechten und deren Abundanz bzw. Frequenz (FRAHM & STAPPER 2008). Hygrophytische und mesophytische Arten sind meist auf Standorte mit längeren Feuchteperioden begrenzt, was sich sogar in Städten beobachten lässt (FRAHM 2003; STAPPER & KRICKE 2004). An trockenere Verhältnisse adaptierte Arten aus dem Tiefland werden mit steigender Höhe seltener (vergl. Abbildung 3.14), dafür kommen andere Arten hinzu, und zwar meist mit hohen Individuenzahlen und hoher Deckung, was zum eingangs erwähnten Anstieg der Frequenz mit der Ortshöhe führt. Im vorliegenden Fall steigt aber nicht nur die mittlere Frequenz sondern auch die mittlere Anzahl der Flechtenarten pro Baum proportional zur geografischen Höhe an (vergl. Das muss nicht zwingend so sein und kann auch als ein Fehlen potentiell möglicher Arten in den unteren Lagen interpretiert werden. Üblicherweise nimmt in Mitteleuropa die Anzahl hygrophytischer Flechten in den Gebirgen zu, wie die Feuchte mit den Niederschlägen bzw. der Taupunktniedrigung ansteigt. Ein Vergleich der To(Toxitoleranz)- und F(Feuchte)-Werte der Zeigerarten der Flechten Mitteleuropas (WIRTH 1991, 2001) zeigt, dass die hygrophilen epiphytischen Flechten zugleich die am wenigsten toxisolentesten Arten sind. Aufgrund unterschiedlicher Toleranz gegenüber Trockenheit unterscheidet sich das epiphytische Artenspektrum verschiedener Höhenzonen im Wald (WIRTH et al. 2009) ebenso wie im Freiland. Erwartungsgemäß ergibt sich keine Korrelation zwischen geografischer Höhe und der Anzahl Arten historisch alter Waldstandorte ("Altwaldarten"). Deren Häufigkeit ist aber sehr wohl mit der positiven Abweichung von der laut geografischer Höhe am Standort zu erwartenden, mittleren Frequenz der Flechten korreliert (vergl. Geradengleichung über den Diagrammen in Abbildung 3.11). Abweichungen von der laut Höhenlage eigentlich zu erwartenden mittleren Flechtenfrequenz können somit als ein Hinweis auf die Lebensbedingungen für epiphytische Flechten verwendet werden, wie im folgenden Fallbeispiel für die Standorte Bebenhausen und Lörrach:

Auf den Flächen 1200 Bebenhausen nördlich von Tübingen und 1421 Lörrach nahe der Großstadt Basel würde man aufgrund der gleichen geografischen Höhe von 450 bzw. 460 m über NN eine mittlere Frequenzsumme von 20 erwarten. Tatsächlich ist sie in Bebenhausen aber 1,9mal so hoch, während sie in Lörrach nur bei 30 % des Erwartungswertes liegt. Die Böden beider Flächen sind kalkhaltig. Auf der Fläche Lörrach wurden außer Buchen, Eichen und Hainbuchen auch Eschen und Kiefern auf Flechten untersucht, die in Bebenhausen nicht zur Baumartenausstattung gehören. Über die Häufigkeit und Dauer von Trockenperioden oder die zeitliche Verteilung der Niederschläge liegen keine Informationen vor, doch die jährliche Niederschlagssumme ist in Lörrach etwas höher (Station Lörrach, 309 m üNN, 882 mm; Station Tübingen-Bebenhausen, 350 m üNN, 787mm (Quelle <http://www.klimadiagramme.de/rnn.html>; Zugriff 8. September 2009) und man erwartet daher, auch wegen der größeren Substratdiversität, die höhere Artenzahl eigentlich am Standort Lörrach. Auch wenn langfristige Unterschiede

in der Waldbewirtschaftung als eine mögliche Teilursache nicht auszuschließen sind, ist es doch sehr wahrscheinlich, dass die geringe Flechtenfrequenzsumme der Waldfläche Lörrach überwiegend durch eine höhere Schadstoffbelastung der Luft verursacht wird. An den ähnlich hoch gelegenen Standorten 1350 Weinheim und 1341 Eberbach sind ungünstige Bodenverhältnisse (saurer Untergrund) als eine Ursache für die geringen Frequenzsummen zwar nicht auszuschließen, doch angesichts günstiger Lichtverhältnisse (namentlich im Fall 1341) sind Immissionen aus dem Mannheimer Raum als Hauptursache wahrscheinlicher. Grundsätzlich sind solche räumlichen Vergleiche schwieriger als zeitliche, aber Vergleichsdaten (Frequenzwerte) liegen noch nicht vor bzw. sind quantitativ nicht ausreichend (Kapitel 3.10).

Die Darstellung in Abbildung 3.11 wertet alle Flechten gleich, also unabhängig von artspezifisch bevorzugten Höhenzonen oder bevorzugter Substrate. Aus Tabelle 3.15 und Tabelle 3.16 kann man ablesen, welche Flechten in welcher Höhe häufig sind bzw. hohe Frequenzsummen erzielen und ob sie auf bestimmte Höhenzonen begrenzt sind. Hierzu wurden nur solche Arten berücksichtigt, die auf mindestens zwei Waldflächen und an mindestens fünf der 449 mit der EU-Methode untersuchten Bäume innerhalb der Zählgitter nachgewiesen wurden. In Tabelle 3.15 sind die Vorkommen = Anzahl Trägerbäume, in Tabelle 3.16 die dabei erzielte Frequenzsumme angegeben. Ordnungskriterium ist der Quotient aus maximaler zu minimaler Ortshöhe der Vorkommen, der dann groß wird, wenn die Art in unterschiedlichen Höhenstufen vorkommt (Sortierungskriterium beider Tabellen). Zur Verdeutlichung wurden jeweils vier gleich breite Klassen für die Anzahl der Vorkommen bzw. Frequenzsummen (grauer Hintergrund der Zellen) und die mittlere geografische Höhe gebildet (farbiger Hintergrund der Zellen). Tatsächlich nehmen bestimmte Arten mit steigender Höhe ab und werden durch andere "ersetzt". Die sechs häufigsten Flechten sind (in absteigender Reihenfolge nach qualitativem Vorkommen; Tabelle 3.15) *Lepraria lobificans* (an 50 % aller Bäume), *Phlyctis argena*, *Graphis scripta*, *Lecanora argentata*, *Porina aenea* und *Lepraria incana* (19 %), von denen jedoch zwei Arten nicht in allen Höhenlagen (100 bis 1260 m über NN) vorkommen, nämlich *Porina aenea*, die tiefere Lagen bevorzugt (100 bis 840 m) und *Lecanora argentata* mit Vorkommen in mittleren Lagen (350 bis 1260 m). Beide Arten erzielen dabei hohe Frequenzsummen (Tabelle 3.16). Häufige Arten unterer bis mittlerer Lagen sind *Lecanora expallens*, *Anisomeridium polypori* und *Arthonia spadicea* (100 bis 815 m). Im Vergleich dazu sind die weiter unten auf der Tabelle angesiedelten Arten mit rot hinterlegter mittlerer Höhenangabe, nämlich *Porina leptalea* (230 bis 630 m) und *Opegrapha vermicellifera* (220 bis 480 m), auf die unteren Lagen beschränkt. Häufige Arten hoher Lagen sind *Hypogymnia physodes* (740 bis 1269 m), *Parmelia saxatilis* (660 bis 1260 m) und *Platismatia glauca* (900 bis 1260 m; siehe auch Abbildung 3.13). Die in den 1980er Jahren noch sehr häufige, stark toxitolerante und anthropogen geförderte *Lecanora conizaeoides* wurde 2009 nur an 7,6 % der Bäume in mittleren Lagen (230 bis 900 m) angetroffen. In Kapitel 3.10 wird näher auf die zeitlichen Veränderungen der Häufigkeit einiger der hier genannten Arten und die möglichen Gründe dafür eingegangen.

Fazit: Die mittlere Flechtenfrequenzsumme an einem Waldstandort wird erheblich von klimatischen Faktoren bestimmt und steigt näherungsweise linear proportional zur geografischen Höhe an. Sie eignet sich folglich nicht als Bonitierungskriterium. Demgegenüber wird die *Abweichung* der gemessenen von der laut Höhenstufe zu erwartenden mittleren Flechtenfrequenz von der Gunst bzw. Ungunst eines Standortes für epiphytische Flechten bestimmt und eignet sich daher hervorragend als Bonitierungskriterium bei der Bewertung von Waldstandorten. Nach diesem Kriterium günstige Standorte entsprechen jenen, die auch anhand des Vorkommens von Zeigerarten historisch alter Waldstandorte oder hoher bereinigter Artenzahlen als gering belastet eingestuft wurden.

Abbildung 3.13: Fotos großer Blattflechten, die bevorzugt an hoch gelegenen Waldflächen im Projekt vorkommen.

Für weitere Arten der höheren Lagen, unter denen sich auch Krusten-, Strauch- und Bartflechten befinden, siehe Tabelle 3.15. (*), Aufnahme von Vorkommen im Projekt.

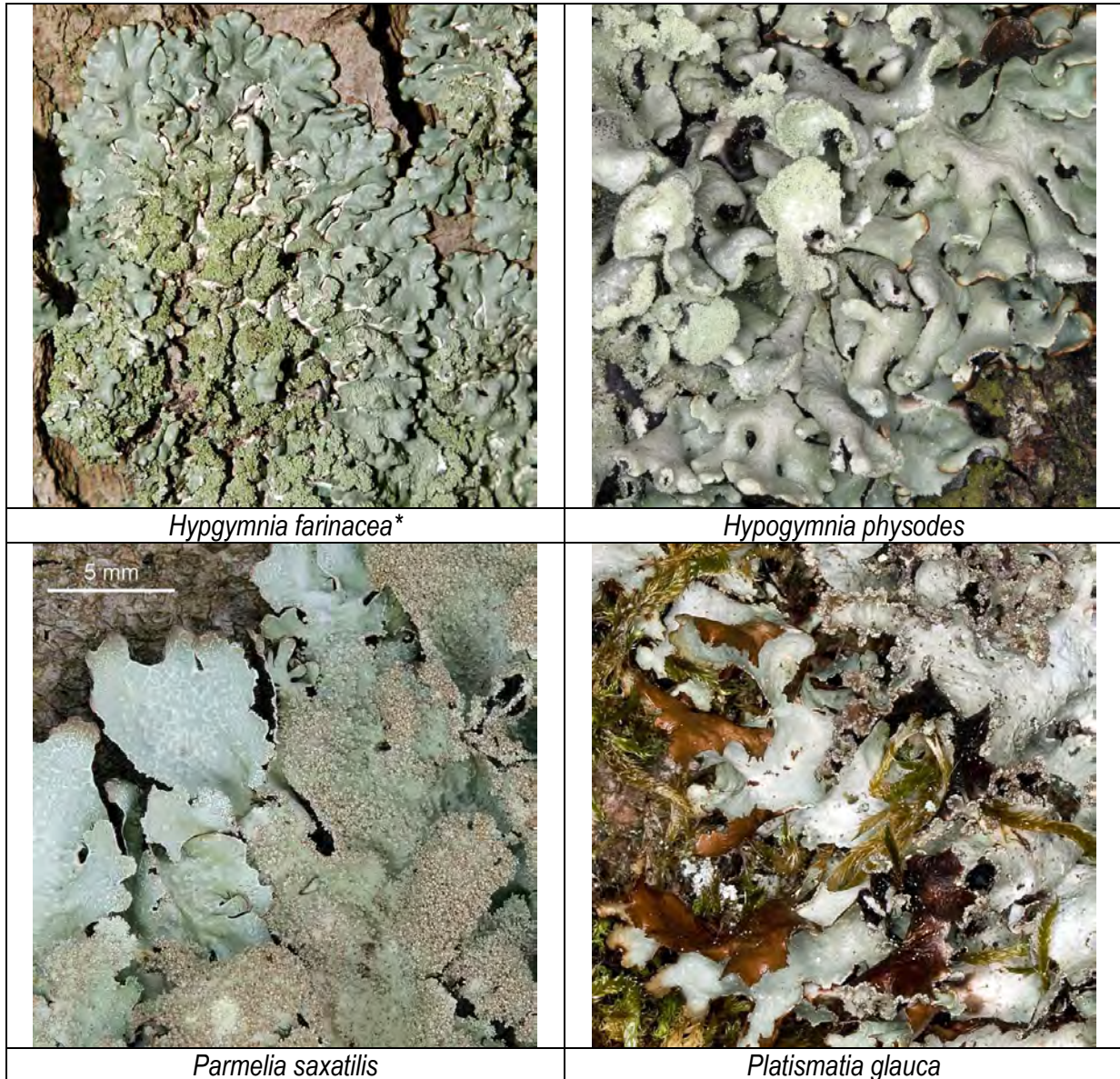


Tabelle 3.14: Zusammenhang zwischen Flechtenvorkommen, geografischer Höhe und Bonitierung der Waldstandorte.

Höhe in m über NN; **mFRQalle** bzw. **mFRQo.R.**: mittlere Frequenz = Frequenzsumme der Flechten bzw. nicht resistenter Flechten gemäß WIRTH & OBERHOLLENZER (1991) dividiert durch die Anzahl Trägerbäume des jeweiligen Standortes; **Abw.alle** bzw. **Abw.o.R.** (Sortierungskriterium): Differenz zwischen der gemessenen minus der aufgrund der geografischen Höhe erwarteten mittleren Frequenzsumme aller Flechten bzw. nicht resistenter Arten; **Stufe**: Bonitätsstufe aufgrund korrigierter Artenzahl; **AW-Arten**: Anzahl der Altwaldarten A und/oder (A) nach WIRTH *et al.* (2009); **AW-Klasse**: Zugehörigkeit zu einer der Bonitätsstufen auf Grundlage der Anzahl von Altwaldarten; **Arten/Baum**: mittlere Anzahl Flechtenarten pro Baum innerhalb der Zählrahmenfläche. **Signifikanzen**: (***), $p < \text{oder} \ll 0,001$; (**), $0,001 \leq p < 0,01$; (*), $p < 0,05$; n.s., nicht signifikant/keine Korrelation.

Nr.	Standort	Höhe (m)	mFRQ alle	mFRQ o.R.	Abw. alle	Abw. o.R.	Stufe	AW-Arten	AW-Klasse	Arten/Baum
1341	Eberbach2	450	17,6	3,2	-10	-16	II	0	AW_4	2,8
1421	Loerrach	460	11,0	6,2	-17	-13	II	0	AW_4	1,7
1220	Welzheim	510	17,8	9,6	-12	-12	II	1	AW_3	2,1
1350	Weinheim (Schr.)	300	10,2	4,2	-12	-10	III	0	AW_4	1,5
1190	Aalen	550	19,8	13,8	-11	-9	II	0	AW_4	2,9
1040	Wangen	740	40,3	21,8	3	-8	II	1	AW_3	7,5
1211	Stuttgart2	440	17,2	11,2	-10	-8	III	0	AW_4	2,0
1111	Immendingen	840	29,6	28,1	-12	-5	II	1	AW_3	4,4
1180	Kirchheim u.T.	370	19,2	12,8	-5	-4	II	0	AW_4	2,9
1110	Wehingen	815	41,5	28,7	1	-4	la	2	AW_2	6,4
1020	Überlingen	480	23,4	18,4	-5	-2	II	1	AW_3	3,8
1280	Maulbronn	390	24,6	16,2	0	-1	lb	0	AW_4	5,4
1330	Tauberbischofsheim	350	23,7	14,9	0	-1	lb	3	AW_2	3,9
1261	Horb a.N.	630	36,0	24,9	2	-1	lb	1	AW_3	6,9
1370	Murgschifferschaft	900	43,4	34,6	0	-1	lb	4	AW_1	7,5
1400	Donaueschingen	1000	45,8	38,2	-1	-1	la	5	AW_1	8,7
1390	Hausach	640	32,1	26,6	-2	0	la	5	AW_1	6,2
1510	Schwetzingen	100	15,2	7,8	1	1	II	1	AW_3	2,2
1490	Karlsruhe (Auwald)	100	17,5	9,1	3	2	III	1	AW_3	2,4
1170	Hechingen	530	30,2	25,9	0	3	la	3	AW_2	5,2
1030	Bad Waldsee	590	37,4	29,3	5	5	la	3	AW_2	6,1
1410	Schoenau	1260	56,4	53,9	0	5	la	6	AW_1	10,4
1100	Stockach	550	41,1	29,1	10	6	lb	2	AW_2	5,4
1292	Eppingen2	230	23,8	17,8	5	6	la	5	AW_1	3,7
1140	Zwiefalten	725	45,8	38,1	9	9	lb	2	AW_2	7,5
1060	Riedlingen	620	49,0	34,4	16	9	la	9	AW_1	8,5
1440	Freiburg	220	23,9	21,5	5	10	lb	3	AW_2	4,1
1071	Leutkirch	670	43,4	39,1	8	12	la	5	AW_1	6,6
1300	Kuenzelsau	350	34,1	27,7	10	12	la	9	AW_1	5,9
1200	Bebenhausen	450	45,1	38,0	18	18	lb	1	AW_3	7,0
Korrelationen, r(X,Y)										
Variable	Höhe	mFRQalle	mFRQo.R.	Abw.alle	Abw. o.R.	Altwaldarten	Arten/Baum			
Höhe	1,000	0,744***	0,745***	n.s.	n.s.	n.s.	0,754***			
Altwaldarten	n.s.	0,595***	0,616***	0,565**	0,595**	1,000	0,610***			

Tabelle 3.15: Häufigkeit der Flechten und ihre Präferenz für bestimmte Höhenzonen.

Epiphytische Flechten, die an mindestens fünf von 449 nach EU-Methode untersuchten Bäumen und auf mindestens zwei Waldflächen vorkommen. Sortierungskriterium: abnehmender Quotient aus maximaler und minimaler Ortshöhe. Gleichbreite Klassen für Anzahl (Graustufen) und mittlere Ortshöhe (rot, 226 bis 507m; gelb, 511 bis 585m grün, 593 bis 791m; blau, 793 bis 1208m). Beispiel: *Micarea micrococca* gehört zu den häufigen Arten (dunkelgrau) und wurde an 31 Bäumen in sehr unterschiedlicher Ortshöhe nachgewiesen (Sortierung weit oben in der Tabelle), im Mittel bei 657m.

Artname	Anzahl	Höhe (MW)
<i>Lepraria lobificans</i>	226	568
<i>Phlyctis argena</i>	142	593
<i>Graphis scripta</i>	112	568
<i>Lepraria incana</i>	85	523
<i>Dimerella pineti</i>	47	529
<i>Micarea micrococca</i>	31	657
<i>Porina aenea</i>	96	430
<i>Arthonia didyma</i>	57	570
<i>Lecanora expallens</i>	79	429
<i>Arthonia spadicea</i>	34	393
<i>Anisomeridium polypori</i>	28	419
<i>Lecanora compallens</i>	24	569
<i>Bacidia neosquamulosa</i>	8	533
<i>Chaenotheca trichialis</i>	12	470
<i>Lecanora pulicaris</i>	5	791
<i>Cladonia fimbriata</i>	5	298
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	22	627
<i>Micarea prasina</i>	11	1031
<i>Lecanora conizaeoides</i>	34	471
<i>Lecidella elaeochroma</i>	49	610
<i>Arthonia radiata</i>	45	557
<i>Pertusaria leioplaca</i>	41	550
<i>Opegrapha atra</i>	11	415
<i>Bacidia rubella</i>	30	461
<i>Arthopyrenia analepta</i>	31	533
<i>Lecanora argentata</i>	98	639
<i>Buellia griseovirens</i>	74	680
<i>Pertusaria amara</i>	23	970
<i>Melanelia glabratula</i>	21	623
<i>Pertusaria coccodes</i>	16	793
<i>Pertusaria albescens</i>	6	628
<i>Bacidia subincompta</i>	15	654
<i>Mycobilimbia epixanthoides</i>	11	602
<i>Phaeophyscia endophoenicea</i>	8	563
<i>Cladonia chlorophaea</i>	11	693
<i>Fellhanera viridisorediata</i>	17	663
<i>Arthonia ruana</i>	16	536
<i>Pyrenula nitida</i>	10	465

Artname	Anzahl	Höhe (MW)
<i>Lecanora carpinea</i>	10	529
<i>Opegrapha viridis</i>	20	556
<i>Mycoblastus fucatus</i>	21	756
<i>Cladonia coniocraea</i>	18	913
<i>Ochrolechia microstictoides</i>	11	911
<i>Porina leptalea</i>	16	500
<i>Physcia tenella</i>	5	456
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	10	623
<i>Pyrrhospora quernea</i>	26	616
<i>Cladonia polydactyla</i>	9	801
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	16	287
<i>Parmelia sulcata</i>	6	543
<i>Amandinea punctata</i>	13	542
<i>Lecanora chlorotera</i>	7	504
<i>Pertusaria pertusa</i>	6	429
<i>Pertusaria pustulata</i>	6	491
<i>Ramalina farinacea</i>	6	1155
<i>Parmelia saxatilis</i>	25	1086
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	7	324
<i>Lepraria rigidula</i>	31	700
<i>Opegrapha varia</i>	6	585
<i>Lecidea nylanderii</i>	9	836
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	7	511
<i>Lecanora intumescens</i>	6	507
<i>Hypogymnia physodes</i>	30	991
<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	12	895
<i>Platismatia glauca</i>	36	1065
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	15	1164
<i>Loxospora elatina</i>	12	1013
<i>Usnea filipendula</i>	8	1138
<i>Opegrapha rufescens</i>	10	677
<i>Ochrolechia androgyna</i>	5	1208
<i>Acrocordia gemmata</i>	5	514
<i>Hypogymnia farinacea</i>	17	935
<i>Imshaugia aleurites</i>	6	933
<i>Bactrospora dryina</i>	5	226
<i>Lepraria membranacea</i>	5	632

Tabelle 3.16: Frequenzsumme der Flechten und Präferenz für bestimmte Höhenzonen.

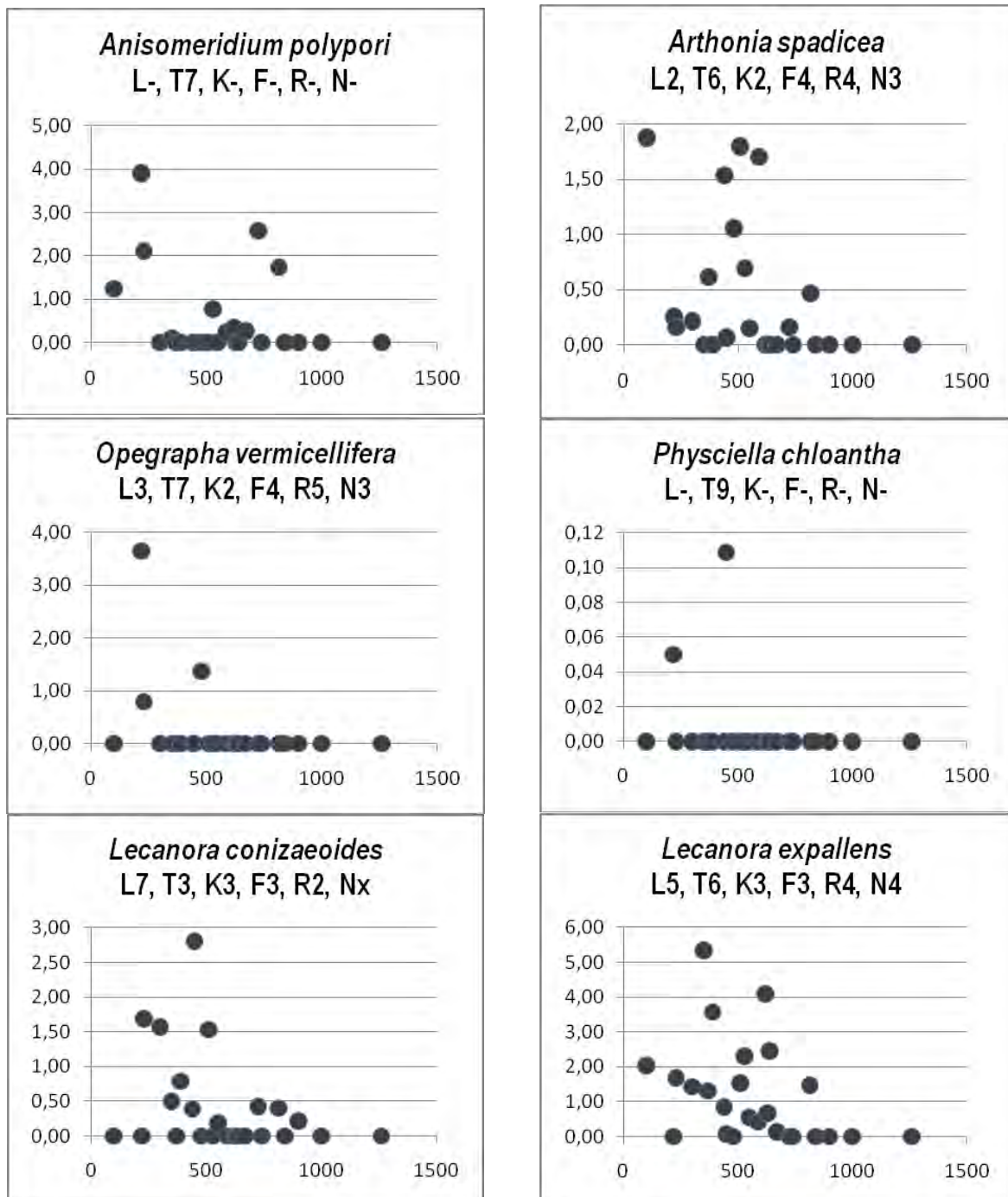
Frequenzsumme epiphytischer Flechten, die an mindestens fünf von 449 untersuchten Bäumen und auf mindestens zwei Waldflächen vorkommen. Sortierungskriterium: Quotient aus maximaler und minimaler Ortshöhe. Bildung von jeweils vier gleichbreiten Klassen für Frequenzsumme (FRQ-SUM, Graustufen) und Ortshöhe (rot, 226 bis 507m; gelb, 511 bis 585m grün, 593 bis 791m; blau, 793 bis 1208m). Beispiel: *Porina leptalea*, mäßig hohe Frequenzsumme, mäßige Bindung an eine bestimmte Höhenzone (mittlere Position in der Tabelle), im Mittel bei 500m Höhe, also in der untersten Zone.

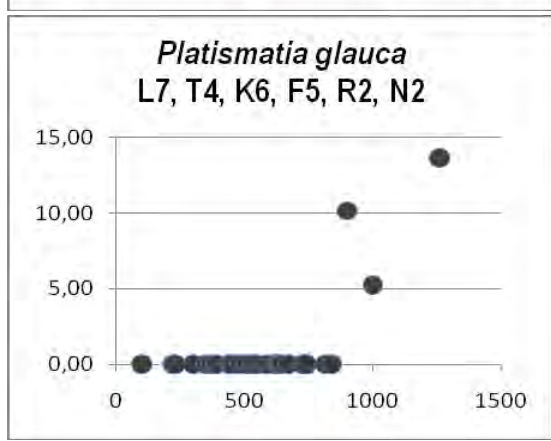
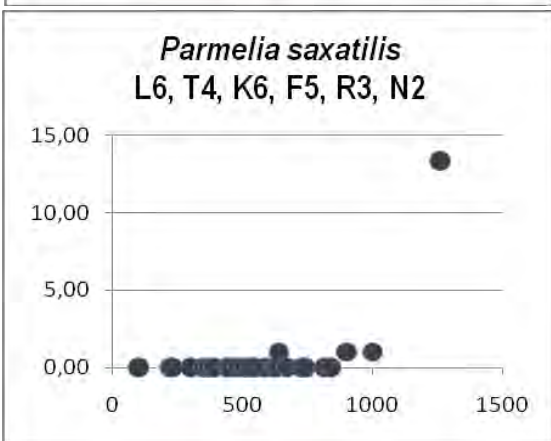
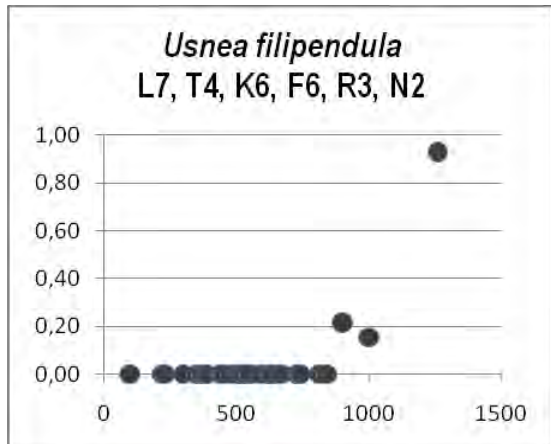
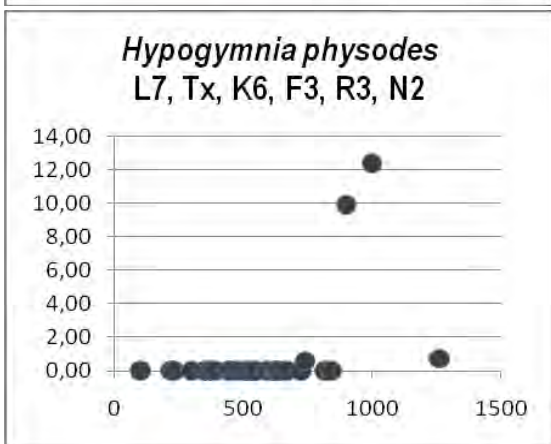
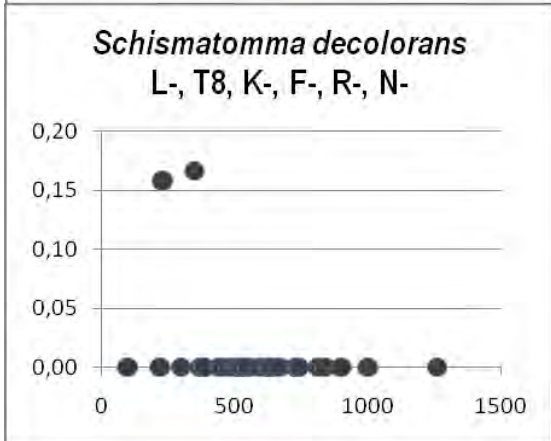
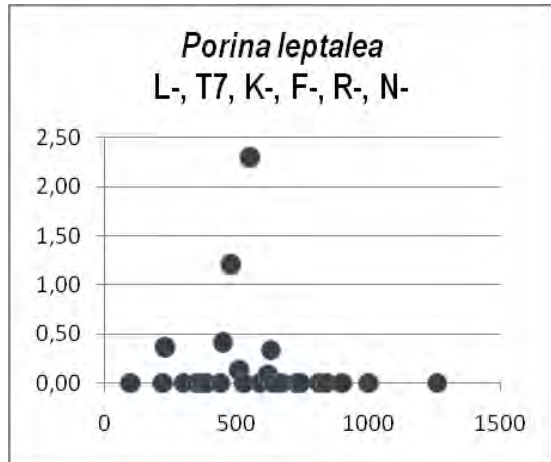
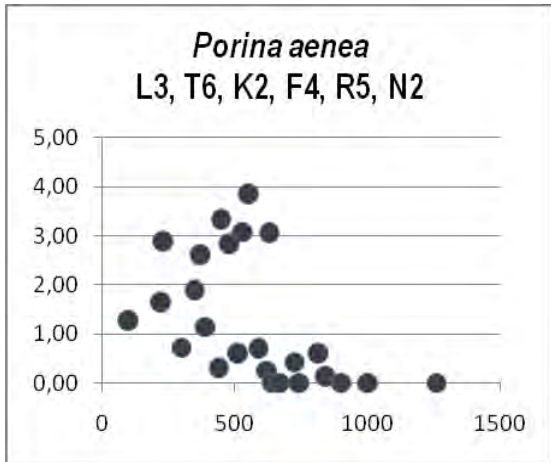
Artname	FRQ-SUM	Höhe (MW)
<i>Lepraria lobificans</i>	1896	568
<i>Phlyctis argena</i>	1037	593
<i>Graphis scripta</i>	872	568
<i>Lepraria incana</i>	684	523
<i>Dimerella pineti</i>	201	529
<i>Micarea micrococca</i>	201	657
<i>Porina aenea</i>	691	430
<i>Arthonia didyma</i>	320	570
<i>Lecanora expallens</i>	550	429
<i>Anisomeridium polypori</i>	259	419
<i>Arthonia spadicea</i>	203	393
<i>Lecanora compallens</i>	149	569
<i>Bacidia neosquamulosa</i>	27	533
<i>Chaenotheca trichialis</i>	60	470
<i>Lecanora pulicaris</i>	11	791
<i>Cladonia fimbriata</i>	13	298
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	106	627
<i>Micarea prasina</i>	32	1031
<i>Lecanora conizaeoides</i>	259	471
<i>Arthonia radiata</i>	213	557
<i>Lecidella elaeochroma</i>	187	610
<i>Pertusaria leioplaca</i>	151	550
<i>Opegrapha atra</i>	34	415
<i>Bacidia rubella</i>	197	461
<i>Arthopyrenia analepta</i>	310	533
<i>Lecanora argentata</i>	569	639
<i>Buellia griseovirens</i>	315	680
<i>Pertusaria amara</i>	162	970
<i>Melanelia glabratula</i>	57	623
<i>Pertusaria coccodes</i>	50	793
<i>Pertusaria albescens</i>	13	628
<i>Bacidia subincompta</i>	98	654
<i>Mycobilimbia epixanthoides</i>	37	602
<i>Phaeophyscia endophoenicea</i>	21	563
<i>Cladonia chlorophaea</i>	26	693
<i>Fellhanera viridisorediata</i>	116	663
<i>Pyrenula nitida</i>	40	465
<i>Arthonia ruana</i>	37	536

Artname	FRQ-SUM	Höhe (MW)
<i>Lecanora carpinea</i>	20	529
<i>Opegrapha viridis</i>	93	556
<i>Mycoblastus fucatus</i>	94	756
<i>Cladonia coniocraea</i>	49	913
<i>Ochrolechia microstictoides</i>	19	911
<i>Porina leptalea</i>	119	500
<i>Physcia tenella</i>	15	456
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	33	623
<i>Pyrrhospora quernea</i>	101	616
<i>Cladonia polydactyla</i>	37	801
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	114	287
<i>Parmelia sulcata</i>	24	543
<i>Amandinea punctata</i>	34	542
<i>Lecanora chlorotera</i>	21	504
<i>Pertusaria pertusa</i>	18	429
<i>Pertusaria pustulata</i>	18	491
<i>Ramalina farinacea</i>	8	1155
<i>Parmelia saxatilis</i>	227	1086
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	58	324
<i>Lepraria rigidula</i>	151	700
<i>Opegrapha varia</i>	43	585
<i>Lecidea nylanderii</i>	16	836
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	25	511
<i>Lecanora intumescens</i>	11	507
<i>Hypogymnia physodes</i>	317	991
<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	50	895
<i>Platismatia glauca</i>	401	1065
<i>Loxospora elatina</i>	94	1013
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	83	1164
<i>Usnea filipendula</i>	18	1138
<i>Opegrapha rufescens</i>	50	677
<i>Ochrolechia androgyna</i>	13	1208
<i>Acrocordia gemmata</i>	8	514
<i>Hypogymnia farinacea</i>	76	935
<i>Imshaugia aleurites</i>	12	933
<i>Bactrospora dryina</i>	37	226
<i>Lepraria membranacea</i>	40	632

Abbildung 3.14: Flechten und ihre mittlere Frequenz in Abhängigkeit von der geographischen Höhe der Trägerbaumstandorte.

Aufgetragen ist die mittlere Frequenz der jeweils angegebenen Art (Ordinate) über die geographische Höhe des Baumstandortes (Abszisse). Die mittleren Frequenzen von *Arthonia spadicea*, *Anisomeridium polypori*, *Opegrapha vermicellifera*, *Physciella chloantha*, *Lecanora conizaeoides*, *L. expallens*, *Porina aenea*, *P. leptalea* und *Schismatomma decolorans* sinken mit steigender geographischer Höhe bzw. sie kommen in den Höhenlagen nicht mehr vor, während *Hypogymnia physodes*, *Parmelia saxatilis*, *Platismatia glauca* und *Usnea filipendula* auf die Höhenlagen beschränkt sind. *P. leptalea* gilt im Vergleich zu *P. aenea* als weniger tolerant gegenüber Immissionen und fehlt möglicherweise deshalb an den am tiefsten gelegenen Waldstandorten. L, T, K, F, R, N: Zeigerwerte nach WIRTH (2001) ergänzt um T-Werte aus Tabelle 3.21.





3.7. Zusammenhang zwischen Flechtenfrequenz und Baumart oder Baumalter

Vorkommen und Häufigkeit epiphytischer Flechten werden wesentlich durch die Trägerbaumspezies selbst und durch die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Borke bestimmt. Überdies alter die Rinde bzw. Borke mit dem Baum, sie wird rauer und rissiger, ihr Mineralgehalt und das Speichervermögen für Wasser können sich verändern, und die für junge Bäume eventuell typischen Flechten (Pioniere, "Erstinfizierer") können mit zunehmendem Alter von anderen Arten abgelöst werden (siehe hierzu auch den Bericht von CEZANNE *et al.* 1997).

Der pH-Wert der Borke galt bisher als die wichtigste Eigenschaft mit Blick auf ihre Eignung als Flechtensubstrat. Bis auf alle Ahornarten und die Gemeine Esche weisen sämtliche Trägerbaumarten auf den 30 Waldflächen mehr oder weniger saure Borken auf, und, wie in der Literatur vielfach beschrieben, bevorzugt die in nahezu allen Höhenstufen vorkommende azidophytische Flechte *Lecanora conizaeoides* saure Substrate, während sich *Anisomeridium polypori* erwartungsgemäß entgegengesetzt verhält sich (Abbildung 3.17). Einer aktuellen Untersuchung im Freiland zufolge haben jedoch der (natürliche) pH-Wert der Borke, der zudem innerhalb einer Art sehr variabel ist und das Baumalter (Stammumfang) eine weitaus geringere Bedeutung für die Besiedlung durch Flechten als die Trägerbaumspezies selbst (SPIER *et al.* 2010). Die Daten aller 449 Trägerbäume des Projektes, an denen Flechtenfrequenzen bestimmt wurden, zeigen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Flechtenfrequenzsumme oder der Flechtenartenzahl als einem Maß für die Flechtenfreundlichkeit der Borke und dem Stammumfang der Bäume, auch nicht bei separater Betrachtung von Buchen oder Eichen. Ein gleiches Ergebnis erhält man beim Vergleich der beiden Stammumfangklassen gemäß EU-Methode (169 Bäume in der Klasse >50 bis 113 cm Stammumfang und 280 Bäume mit mehr als 113 cm Stammumfang) oder gleich großer Stammumfangklassen (bis 128 bzw. über 128 cm Stammumfang). Oft sind ältere Bäume stärker beмоost als junge, und so könnte sich die eher praktisch bedingte Beschränkung der Aufnahme auf Flechten (es gibt kaum Fachleute für beide Organismen) hier als ein Nachteil der EU-Methode gegenüber anderen Verfahren erweisen, bei denen zumindest das von Moosen überwachsene Areal registriert wird (Folienverfahren) oder die Frequenz von Moosen und Flechten gleichermaßen bis auf Artniveau erfasst werden ("NRW-Methode"; BUNGARTZ & ZIEMMECK 1997, STAPPER *et al.* 2007). Bei Freilanderhebungen ermöglichte die gleichzeitige Aufnahme von Moosen, Flechten sowie Algen (letztere nur hinsichtlich Präsenz und nicht auf Artniveau) mit Zählgittern analog der EU-Methode differenziertere Aussagen z. B. hinsichtlich des Stadtklimas oder der Belastung durch verkehrsbedingte Immissionen (FRANZEN *et al.* 2002; STAPPER & KRICKE 2004).

Trotz ähnlicher Flechtenfrequenzen unterscheidet sich das Flechtenartenspektrum junger und älterer Bäume (Tabelle 3.17). So ist das Vorkommen von an historisch alte Standorte gebundenen Arten in Frequenzaufnahmen eng mit dem Vorhandensein alter Eichen korreliert (Tabelle 3.18). Diese Flechten sind allerdings quantitativ von untergeordneter Bedeutung, denn unter den Flechten mit Vorkommen an mindestens zehn Bäumen (Tabelle 3.19) sind nur drei "mäßig stark an alte Wälder gebundene Arten" enthalten (Kategorie (A); *Bacidia subincompta*, *Chaenotheca trichialis* und *Pyrenula nitida*).

Die Heterogenität der Waldstandorte hinsichtlich Klima und Immissionsbelastung bzw. die zu geringe Anzahl Trägerbäume des einzelnen Standortes erschweren eine verlässliche Aussage über eine tatsächliche Bindung bestimmter Flechten an bestimmte Baumarten in Baden-Württemberg. Ziel der Untersuchung ist jedoch die systematische Erhebung der Flechtenvegetation als eine Grundlage zur Beurteilung der Immissionsbelastung der Waldstandorte. Aus den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, dass die Auswahl der Trägerbäume eines

Standortes, und zwar die dabei berücksichtigten Trägerbaumarten, für das Ergebnis einer Erhebung gemäß EU-Protokoll von erheblicher Bedeutung sein dürfte. Neben dem Baumalter (über die Durchmesserklasse) wird bisher nur das Klassifizierungsmerkmal Borken-pH-Wert verwendet. Es ist jedoch leicht, wie 2009 bereits vorweggenommen, bei der Auswahl der Trägerbäume der jeweiligen Klassen darauf zu achten, dass auch die Verteilung der vorhandenen Baumarten auf die vier Klassen für den Standort repräsentativ ist.

Tabelle 3.17: Beispiele von Flechtenarten mit Vorkommen an Bäumen mit geringem bzw. großem Stammumfang.

Baumart	Flechten bevorzugt an Bäumen mit geringem Stammumfang	Flechten bevorzugt an Bäumen mit großem Stammumfang
<i>Abies alba</i>	<i>Lecanora conizaeoides</i> , <i>Chaenotheca ferruginea</i>	<i>Chaenotheca chrysocephala</i> , <i>Lecanora expallens</i>
<i>Picea abies</i>	<i>Parmelia saxatilis</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Lecidella elaeochroma</i>	<i>Bacidia rubella</i> , <i>Micarea prasina</i> , <i>Cladonia coniocraea</i> , <i>Lecidella subviridis</i>
<i>Quercus petraea</i>	<i>Lepraria rigidula</i> , <i>Melanelia glabratula</i> , <i>Opegrapha viridis</i>	<i>Chaenotheca chrysocephala</i> , <i>C. trichialis</i> , <i>Opegrapha vermicellifera</i>
<i>Carpinus betulus</i>	<i>Melanelia glabratula</i> , <i>Pertusaria amara</i> , <i>Buellia griseovirens</i> , <i>Pertusaria coccodes</i>	<i>Arthonia ruana</i> , <i>Pyrenula nitida</i> , <i>Opegrapha vermicellifera</i>
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Lecidella subviridis</i> , <i>Opegrapha atra</i> , <i>Opegrapha rufescens</i>	<i>Micarea micrococca</i> , <i>Mycobilimbia epixanthoides</i> , <i>Porina leptalea</i>
<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Arthonia ruana</i> , <i>Opegrapha atra</i> , <i>Pyrenula nitida</i>	<i>Arthonia spadicea</i> , <i>Melanelia glabratula</i> , <i>Pertusaria coccodes</i>

Tabelle 3.18: Vorkommen von Waldarten nach WIRTH *et al.* (2009) und der mittlere Stammumfang ihrer Trägerbäume.

Für jede Altwaldart ist der mittlere Stammumfang der Trägerbäume relativ zum Mittelwert des Umfanges aller Bäume dieser Art im gesamten Projekt angegeben. Grundlage: Daten nach Erhebung gemäß EU-Protokoll. Sortierung: Bevorzugung älterer Bäume, aufsteigend.

Baumart		<i>Abies.</i>	<i>Picea</i>	<i>Q. petraea</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Fagus</i>	<i>Fraxinus</i>
Anzahl Bäume dieser Art		28	34	54	28	175	31
Stammumfang, MW (cm)		123	151	160	114	129	151
Stammumfang, StAbw (cm)		33	51	50	36	38	43
Flechtenart	Waldart (Kat.)	Stammumfang der Trägerbäume relativ zum Mittelwert aller Bäume dieser Baumart (%)					
<i>Biatora efflorescens</i>	A		57			81	
<i>Stenocybe major</i>	A		83				
<i>Arthonia vinosa</i>	(A)	99	83				
<i>Arthonia leucopellea</i>	A	121	84				
<i>Chaenotheca furfuracea</i>	(A)		84				
<i>Micarea cinerea</i>	A	106	131				
<i>Pertusaria hymenea</i>	A			77		84	
<i>Caloplaca lucifuga</i>	(A)			97			
<i>Calicium adpersum</i>	A			111			
<i>Agonimia allobata</i>	(A)			120			
<i>Bacidia subincompta</i>	(A)			127		83	86
<i>Chrysothrix candelaris</i>	(A)			130			
<i>Bactrospora dryina</i>	A			137			122
<i>Schismatomma decolorans</i>	A			137			
<i>Chaenotheca trichialis</i>	(A)			138			
<i>Arthonia byssacea</i>	A				109		
<i>Pyrenula nitidella</i>	(A)				128		106
<i>Pyrenula nitida</i>	(A)				135	78	71
<i>Bacidia circumspecta</i>	A					99	
<i>Microcalicium disseminatum</i>	A	beide an " <i>Quercus</i> sp."					
<i>Pertusaria flavida</i>	(A)						

Abbildung 3.15: Einfluss des Stammumfanges auf die Frequenzsumme der Flechten.

Vergleich von Bäumen der Klasse 1 (>50 bis 113 cm) und 2 (über 113 cm Stammumfang), entsprechend der Klassifizierung nach EU-Methode. Nur Flächen (Nummer über dem Diagramm angegeben) mit mindestens vier (Buche) oder mindestens drei Bäumen (Eiche) je Klasse und Art berücksichtigt.

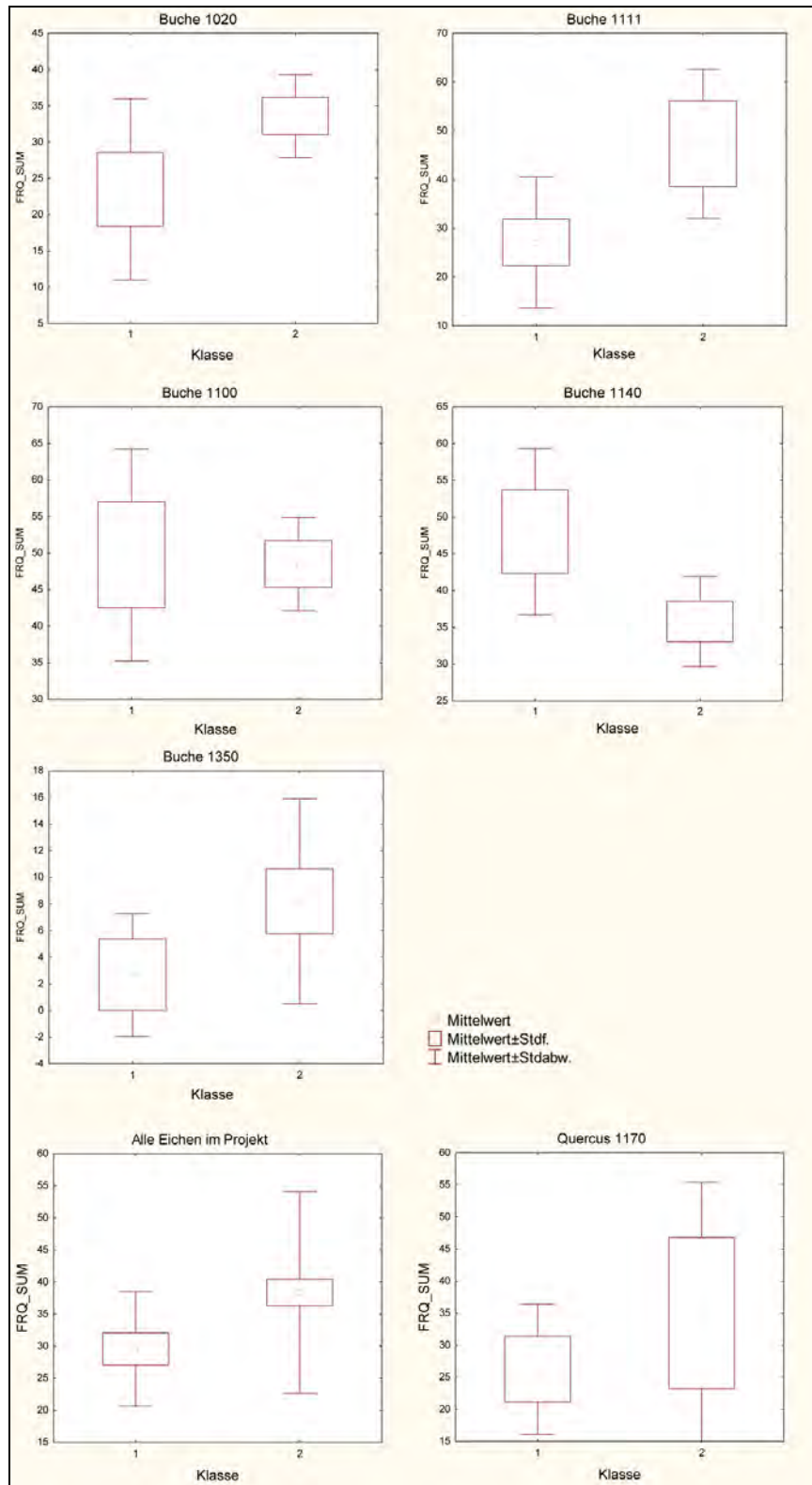


Tabelle 3.19: Flechten und der mittlere Stammumfang ihrer Trägerbaumart.

Für jede Flechtenart ist der mittlere Stammumfang der Trägerbäume relativ zum Mittelwert des Umfanges aller Bäume dieser Art im Projekt angegeben. Berücksichtigt sind nur Flechtenarten mit Vorkommen an mindestens zehn Bäumen. Datengrundlage: Erhebung gemäß EU-Protokoll.

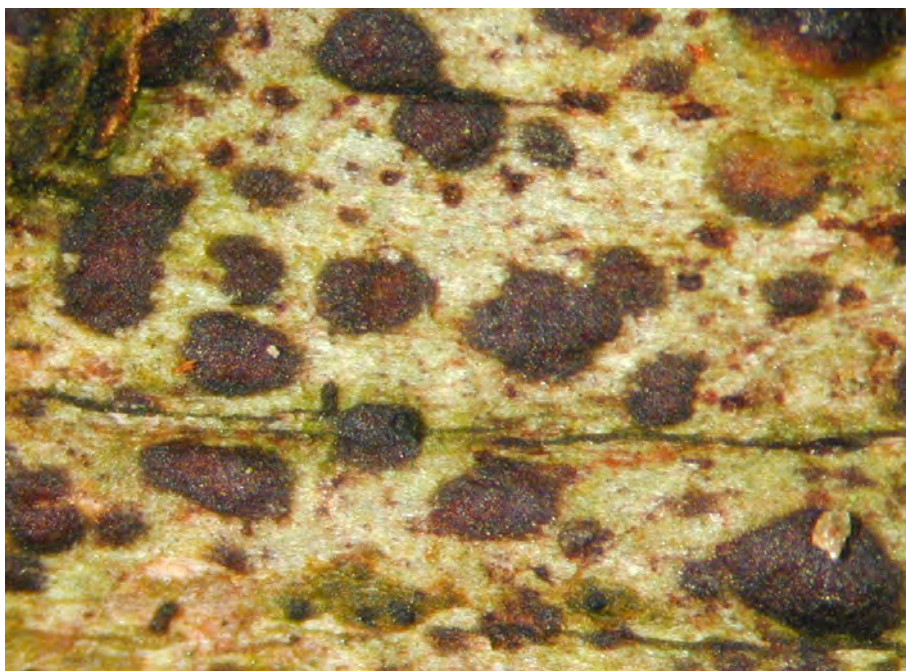
Baumart	<i>Abies a.</i>	<i>Picea a.</i>	<i>Q. petraea</i>	<i>Carpinus b.</i>	<i>Fagus s.</i>	<i>Fraxinus e.</i>
Anzahl Bäume dieser Art	28	34	54	28	175	31
Stammumfang, MW (cm)	123	151	160	114	129	151
Stammumfang, StAbw (cm)	33	51	50	36	38	43
Flechtenart	Stammumfang der Trägerbäume relativ zum Mittelwert aller Bäume dieser Baumart (%)					
<i>Amandinea punctata</i>		69	99	120	88	
<i>Anisomeridium polypori</i>			124			96
<i>Arthonia didyma</i>			91	94	95	83
<i>Arthonia radiata</i>				88	93	102
<i>Arthonia ruana</i>				127	103	74
<i>Arthonia spadicea</i>		118	107	94		144
<i>Arthopyrenia analepta</i>				91	92	
<i>Bacidia rubella</i>		151	92		82	120
<i>Bacidia subincompta</i>			127		83	86
<i>Buellia griseovirens</i>	93	94	89	87	95	91
<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	114	100	205			
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	87	91	132			
<i>Chaenotheca trichialis</i>			138			
<i>Cladonia chlorophaea</i>		117	113		75	
<i>Cladonia coniocraea</i>	112	135	141		82	
<i>Dimerella pineti</i>	109	109	93		111	
<i>Fellhanera viridisorediata</i>					97	101
<i>Graphis scripta</i>				105	98	87
<i>Hypogymnia farinacea</i>	108	87				
<i>Hypogymnia physodes</i>	97	82			81	
<i>Lecanora argentata</i>			113	89	95	89
<i>Lecanora carpinea</i>			116	95	86	
<i>Lecanora compallens</i>	88	106	119	109	110	93
<i>Lecanora conizaeoides</i>	73	81	98		102	
<i>Lecanora expallens</i>	114		104	91	103	88
<i>Lecidella elaeochroma</i>		69		95	98	100
<i>Lecidella subviridis</i>	111	135			63	
<i>Lepraria incana</i>	99	118	96	99	104	
<i>Lepraria lobificans</i>	99	93	104	118	101	106
<i>Lepraria rigidula</i>	102	84	79		88	
<i>Loxospora elatina</i>	97	91			83	
<i>Melanelia glabratula</i>			78	79	89	151
<i>Micarea micrococca</i>	107	111	94		172	
<i>Micarea prasina</i>	103	135			77	
<i>Mycobilimbia epixanthoides</i>		0	108	103	115	83
<i>Mycoblastus fucatus</i>	107	112	92		98	
<i>Ochrolechia microstictoides</i>	110	80	127			
<i>Opegrapha atra</i>				118	73	69
<i>Opegrapha rufescens</i>		69	108		72	84
<i>Opegrapha vermicellifera</i>			137	163	86	99
<i>Opegrapha viridis</i>	109		67	120	106	106
<i>Parmelia saxatilis</i>	101	55	102		87	
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	95	131	98		110	

Baumart	<i>Abies a.</i>	<i>Picea a.</i>	<i>Q. petraea</i>	<i>Carpinus b.</i>	<i>Fagus s.</i>	<i>Fraxinus e.</i>
Anzahl Bäume dieser Art	28	34	54	28	175	31
Stammumfang, MW (cm)	123	151	160	114	129	151
Stammumfang, StAbw (cm)	33	51	50	36	38	43
Flechtenart	Stammumfang der Trägerbäume relativ zum Mittelwert aller Bäume dieser Baumart (%)					
<i>Pertusaria amara</i>			91	79	85	
<i>Pertusaria coccodes</i>			113	87	89	132
<i>Pertusaria leioplaca</i>				103	89	107
<i>Phlyctis argena</i>		71	97	122	100	102
<i>Platismatia glauca</i>	100	81			82	
<i>Porina aenea</i>			98	92	102	99
<i>Porina leptalea</i>				94	115	
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	112	57			82	
<i>Pyrenula nitida</i>				135	78	71
<i>Pyrrhospora quernea</i>		69	95	88	104	94

Abbildung 3.16: *Chaenotheca stemonea* und *Arthonia spadicea*.



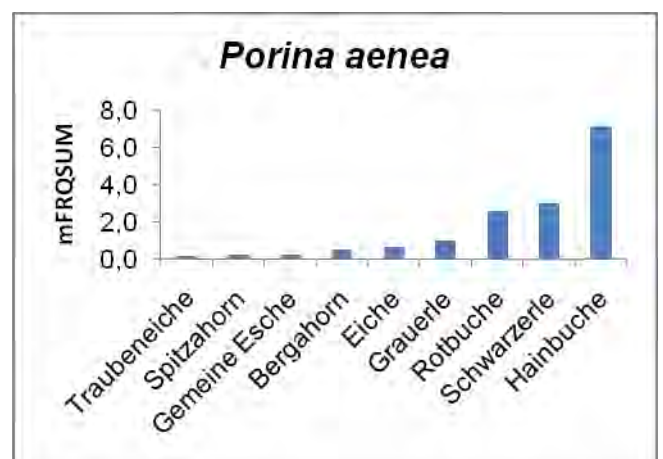
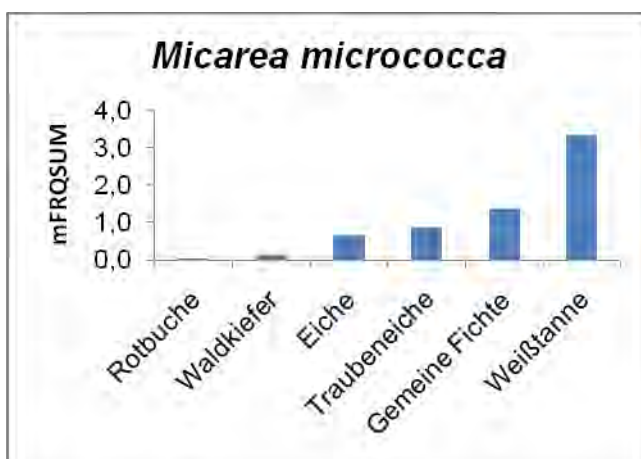
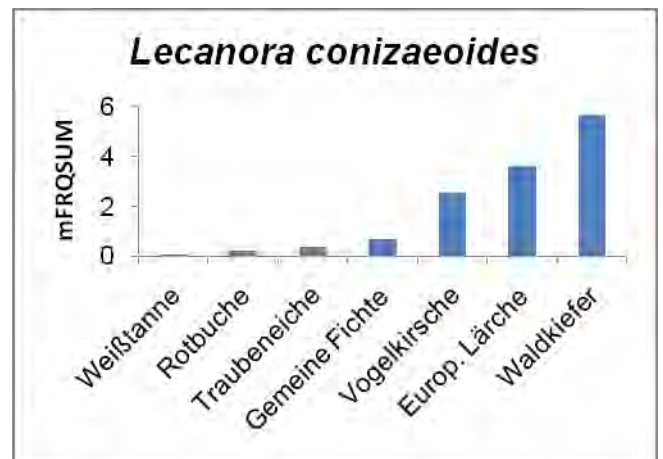
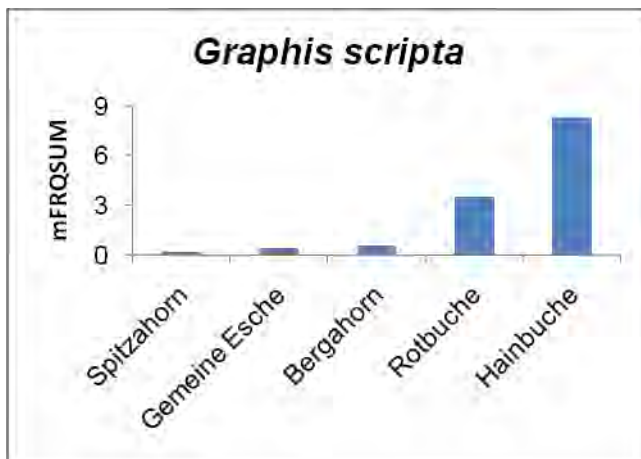
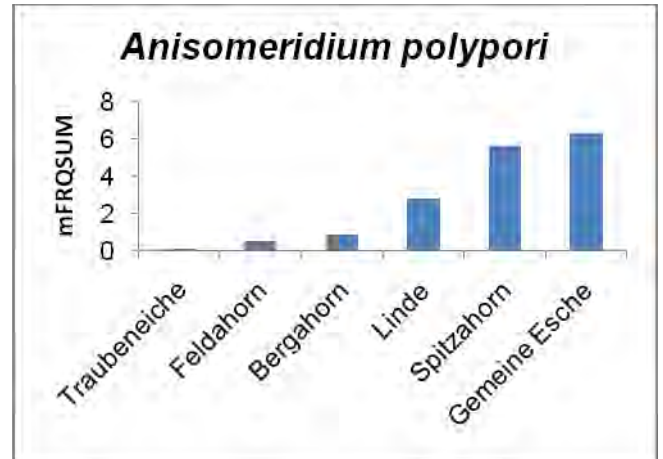
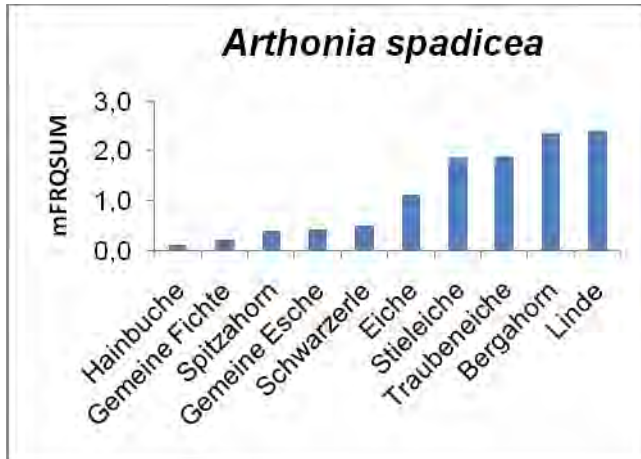
Chaenotheca stemonea im Borkenriss einer alten Eiche, Karlsruhe (Auwald); Balken: 0,5 mm
Diese Flechte ist anhand der charakteristischen Grünfärbung von tiefen Borkenrissen an alten Eichen leicht auffindbar. Die meisten Vorkommen sind allerdings steril.



Arthonia spadicea (mit 0,5 – 1,5 mm breiten Fruchtkörpern) zeigt im Projekt eine Bildung an alte Eschen, kommt aber grundsätzlich auch an anderen Baumarten vor

Abbildung 3.17: Zusammenhang zwischen der mittleren Frequenz ausgewählter, häufiger Flechten und der Trägerbaumart.

Mittlere Frequenzen der Flechten (Ordinate) an verschiedenen Baumarten (Abszisse) im Projekt. Daten nach Erhebung gemäß EU-Protokoll.



3.8. Nachweis der Wirkungen saurer und eutrophierender Immissionen mit epiphytischen Flechten

Vorbemerkungen

Die Nutzung epiphytischer Flechten als Wirkungsindikatoren für Luftschadstoffe, insbesondere Schwefeldioxid, reicht zurück bis ins 19. Jahrhundert (NYLANDER 1866). HAWKSWORTH & ROSE (1970) veröffentlichten eine Liste von Flechtenarten mit abgestufter Empfindlichkeit gegenüber SO₂, laut der bei weniger als 30 µg SO₂/m³ empfindlichste Flechten in unbelasteter Luft überleben. Bei Vorherrschen eines einzigen, hochwirksamen Luftschadstoffes erscheint dieser Vorschlag gerechtfertigt, doch wäre er heute nicht mehr anwendbar, da die SO₂-Jahresmittelwerte fast überall in Deutschland weit unter den o.g. Minimalwert reduziert wurden. Überdies besteht das Ziel von Bioindikation nicht darin, Konzentrationen bestimmter Wirkstoffe abzuschätzen, sondern anhand von Abweichungen vom Normalzustand Wirkungen auf lebende Organismen aufzuspüren und so die Messtechnik ideal zu ergänzen (ERHARDT 2010). Flechten integrieren die Wirkungen aller Umweltfaktoren, und aus der artspezifischen Toleranz gegenüber bestimmten Einflüssen können Hinweise auf die Natur der schädigenden Komponenten abgeleitet werden.

Die Wirkung eutrophierender Immissionen auf Flechten wurde erst mit sinkenden SO₂-Immissionen deutlich (VAN HERK 1999). Es handelt sich hierbei um luftgetragene Stickstoffverbindungen, von denen Ammoniak biologisch besonders wirksam ist (FRANZEN-REUTER 2004, 2007; LUBW 2008) und, im Unterschied zu anderen Stickstoffverbindungen, im Nahfeld deponiert wird (CAPE *et al.* 2004). Die überaus meisten Flechten sind an das Überleben an nährstoffarmen Standorten angepasst und reagieren sehr empfindlich auf Nährstoffeinträge ("Margerkeitszeiger"), während andere diese in einem bestimmten Maß tolerieren oder sogar eines erhöhten Nährstoffeintrags bedürfen ("Nährstoffzeiger" oder "Nitrophyten"; siehe Tabelle 3.1, Spalte 5). Zum Ausdruck gebracht wird dies mit der Nährstoff- oder Stickstoffzahl N (WIRTH 2001). Diese ist eng korreliert mit der Reaktionszahl R, die die pH-Verhältnisse des Substrates wiedergibt, d. h. viele Arten mit niedrigem R-Werte besitzen hohe N-Zahlen und umgekehrt. Dies könnte großenteils historisch bedingt sein, weil die Zeigerwerte zu Zeiten hoher saurer Immissionen veröffentlicht wurden, als die Borken vieler Bäume oft niedrigere pH-Werte aufwiesen als heute. Der Beginn und der zeitliche Verlauf dieses pH-Wertanstiegs dürften sich je nach Standort unterscheiden bzw. auch noch nicht abgeschlossen sein. Vielerorts findet man heute Nitrophyten auch an natürlich sauren Substraten, wie z. B. Eichenborke (SPIER *et al.* 2010). Die gegenüber Säureeintrag extrem tolerante *Lecanora conizaeoides* war in den 1980er Jahren oft die einzige epiphytische Flechte, die in den Ballungsräumen und in stark immissionsbelasteten Wäldern vorkam. Heute hat sich das Bild umgekehrt, und in den häufig von nährstofftoleranten Arten beherrschten Flechtenrasen auf Bäumen westdeutscher Großstädte findet man an saure Standorte angepasste Flechten nur noch in gering mit düngenden Luftschadstoffen belasteten Vororten (STAPPER & KRICKE 2004). Aus all dem folgt, dass man den Nachweis saurer und eutrophierender, stickstoffhaltiger Immissionen auf Flechten, insbesondere rückblickend, nicht voneinander losgelöst führen kann.

Vorkommen von Nährstoffzeigern am Stamm von Waldbäumen wurden verschiedentlich als Hinweis auf Nährstoffeinträge über die Luft oder Niederschläge gewertet (JOHN 1997; JOHN & SCHRÖCK 2001; STAPPER 2002, 2005; DE BRYUN *et al.* 2009). Aus dem Fehlen von Nitrophyten kann umgekehrt nicht abgeleitet werden, dass es keinen Nährstoffeintrag gäbe. Denn im Gegensatz zu Untersuchungen im Freiland (VDI 2005) ist im Wald das Lichtangebot deutlich geringer. Die meisten Nitrophyten jedoch sind Lichtpflanzen und besiedeln folglich im geschlossenen Bestand vorwiegend den Kronenraum (JOHN & SCHRÖCK 2001; STAPPER 2005; HAUCK & WIRTH 2010).

Nachweis der Wirkung saurer Immissionen

Als Indikatororganismus zum Nachweis saurer Immissionen wird hier die als extrem säuretolerant eingestufte Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* herangezogen (VDI 1995). 1986 und 1991 lag ihr Beitrag zur Artenvielfalt der Waldflächen noch nahe 10 % (Mittelwert über alle Standorte; Abbildung 3.18), am Standort 1350 Weinheim war sie eine von insgesamt nur drei Flechten, doch inzwischen kommt sie nur noch an 12 Standorten überhaupt vor und ihr Anteil am Artenspektrum ist auf im Mittel 1,6 % gesunken.

Abbildung 3.18: Relativer Anteil von *Lecanora conizaeoides* am Gesamtartenspektrum.

Grundlage: Artenspektrum der Pufferzonen 1986 bis 2009.

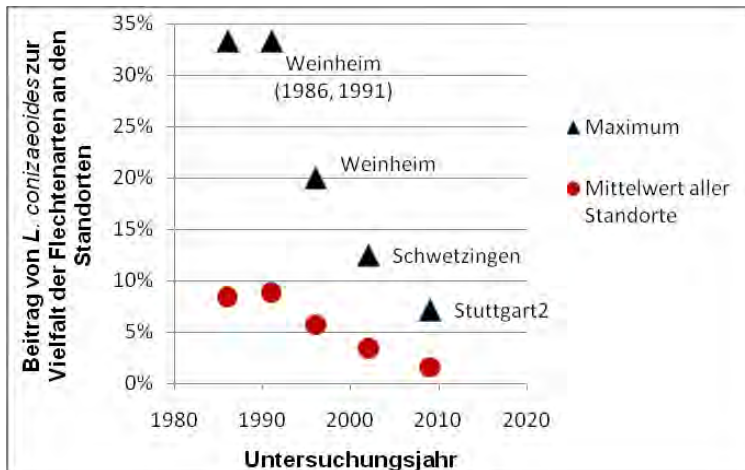
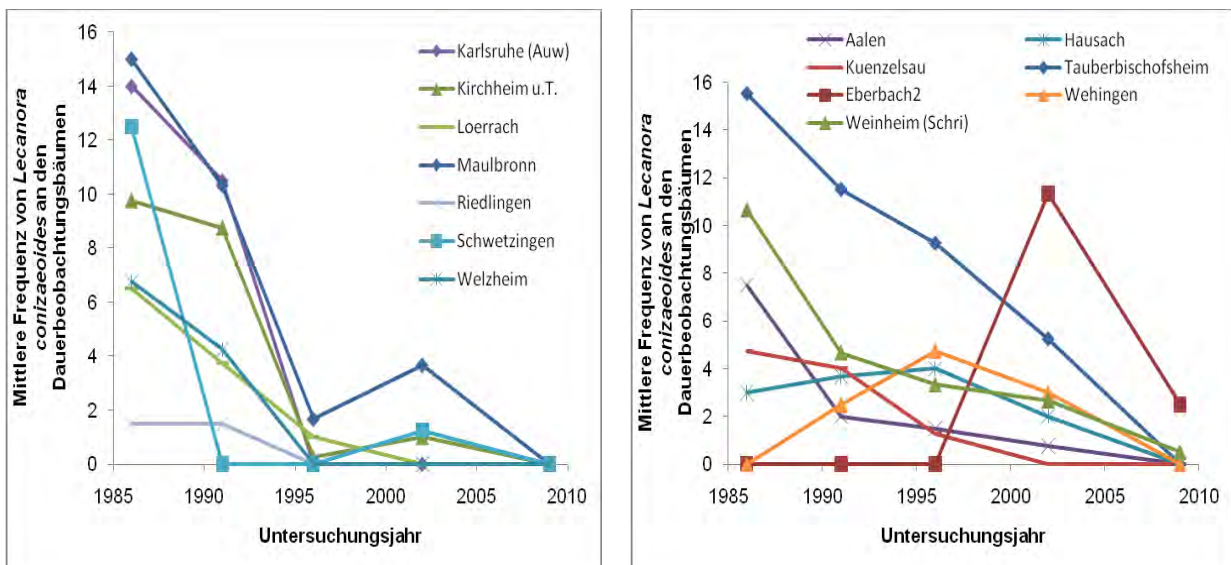


Abbildung 3.19: Veränderung der mittleren Frequenz von *Lecanora conizaeoides* an Dauerbeobachtungsbäumen zwischen 1986 und 2009.

Die mittlere Frequenz ist der Quotient aus der Frequenzsumme und der Anzahl untersuchter Bäume des jeweiligen Standortes. Datengrundlage: Rückblickende Auswertung von Folienzeichnungen mit einem Gitter.

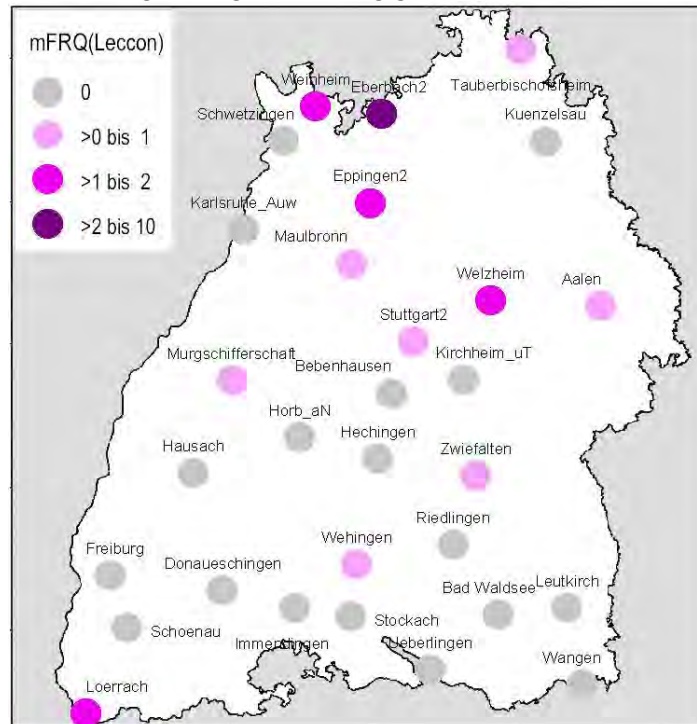


L. conizaeoides kam Anfang der 1990er Jahre an vielen der Dauerbeobachtungsbäume vor, und die nachträgliche Frequenzbestimmung unter Verwendung der Folienzeichnungen ermöglicht ihren Rückgang darzustellen (Abbildung 3.19). An manchen Standorten verlief die-

ser Rückgang sehr rasch (z. B. Kirchheim, Schwetzingen; linkes Diagramm in Abbildung 3.19), an anderen allmählich (Tauberbischofsheim), oder, wie im Fall 1341 Eberbach2, *L. conizaeoides* breitete sich als erste Flechte aus und ist dort heute noch präsent (rechtes Diagramm in Abbildung 3.19 und Abbildung 3.20).

Abbildung 3.20: Mittlere Frequenz von *Lecanora conizaeoides* 2009.

Die mittlere Frequenz ist der Quotient aus der Frequenzsumme und der Anzahl untersuchter Bäume des jeweiligen Standortes. Datengrundlage: Erhebung gemäß EU-Protokoll.



Abgesehen von Standorten, wo *Lecanora conizaeoides* nur an Nadelbäumen vorkommt (z. B. 1421 Lörrach oder Murgschifferschaft) findet man sie heute wahrscheinlich nur noch an solchen Standorten, die in der Vergangenheit übermäßig stark mit sauren Immissionen belastet waren und an denen die Borke der Bäume noch so stark angesäuert ist, dass viele Arten darauf immer noch nicht überleben können. Gestützt wird die Annahme dadurch, dass diese Standorte durch eine geringere Flechtenfrequenzsumme gekennzeichnet sind, als laut geografischer Höhe zu erwarten wäre ($p < 0,01$; Daten in Tabelle 3.20; siehe auch Kapitel 3.6) und die enge Korrelation zwischen den mittleren Frequenzen von *Lecanora conizaeoides* und resistenten Flechtenarten nach WIRTH & OBERHOLLENZER (1991; $p < 0,001$; Daten in Tabelle 3.20). Die im Vergleich zu den anderen Standorten erhöhte mittlere Frequenz von *L. conizaeoides* in 1341 Eberbach2 kann teilweise oder zur Gänze durch die natürlich sauren Bodenverhältnisse verursacht sein und muss daher nicht zwingend als Hinweis auf bestehende Einträge saurer Luftschadstoffe gewertet werden. Insgesamt kann aus den Daten keine aktuelle Belastung mit sauren Luftschadstoffen abgeleitet werden, d. h. Wirkungen saurer Immissionen sind, ähnlich wie in Hessen (WINDISCH 2010), an den 30 baden-württembergischen Waldstandorten nicht mehr nachweisbar.

Nachweis der Wirkung eutrophierender Immissionen

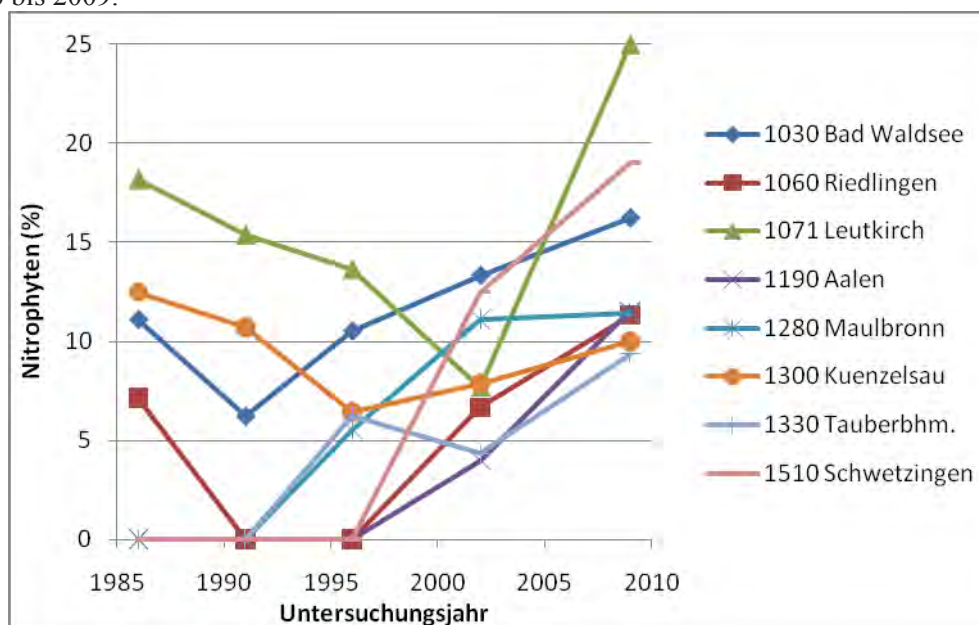
Als Indikatororganismus zum Nachweis eutrophierender Immissionen werden hier gegenüber Nährstoffeinträgen resistente Flechten, auch Nitrophyten genannt, herangezogen (VDI 2005). Es handelt sich um die Flechten *Amandinea punctata*, *Caloplaca holocarpa*, *Candelariella reflexa*, *Candelariella vitellina*, *Candelariella xanthostigma*, *Lecanora hagenii*, *Phaeophyscia endophoenicea*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia adscendens*, *Physcia tenella*, *Physconia*

grisea, *Xanthoria candelaria*, *Xanthoria parietina*, *Xanthoria polycarpa*. Alle genannten 14 Arten wurden 2009 in den Pufferzonen der 30 Waldflächen registriert. Da die Vielfalt der Flechten insgesamt mit der Belastung durch düngende Luftschadstoffe abnimmt (FRANZENREUTER 2004), muss bei der nachfolgenden Darstellung der Bestandsentwicklung nitrophytischer Flechten auch deren Anteil am Flechtenartenspektrum der Pufferzonen berücksichtigt werden:

- Seit 1986 ist die Anzahl der Standorte, an denen überhaupt Nitrophyten registriert wurden, kontinuierlich angestiegen, von fünf Flächen 1986 (Standorte 1030, 1060, 1071, 1261 und 1300) mit sechs verschiedenen nitrophytischen Flechten, über neun Standorte 1991 und acht im Jahr 1996 auf jeweils 18 Standorte 2002 und 2009 mit inzwischen 14 Arten.
- Die Standorte mit den meisten nitrophytischen Flechtenarten im Jahr 2009 waren Leutkirch (9 Arten) > Bad Waldsee = Riedlingen (6) > Künzelsau (5) > Maulbronn = Schwetzingen (4) > Tauberbischofsheim = Aalen (3). An allen genannten Standorten ist die Zahl der Nitrophyten seit 2002 angestiegen.
- Betrachtet man rückblickend die acht Standorte mit Vorkommen von mindestens drei Nitrophyten im Jahr 2009, dann ist an allen Standorten, abgesehen von 1300 Künzelsau (gleichbleibend), ein Anstieg des prozentualen Anteils der Nitrophyten am Flechtenartenspektrum der Pufferzonen zu verzeichnen (Abbildung 3.21). Am stärksten ist dieser Anstieg in 1071 Leutkirch. Mit mindestens 11 % Nitrophytenanteil in Leutkirch, Bad Waldsee, Riedlingen, Aalen, Maulbronn und Schwetzingen (Einzel-daten für alle Standorte in Tabelle 3.20) werden die Ergebnisse von nordrhein-westfälischen Level-II-Waldflächen aus dem Jahr 2005 mit maximal 5,4 % Nitrophytenanteil deutlich übertroffen.

Abbildung 3.21: Entwicklung des Anteils nitrophytischer Flechten am Artenspektrum ausgewählter Waldflächen 1986 bis 2009.

Aufgetragen ist der prozentuale Anteil nitrophytischer Flechten am Gesamtartenspektrum 1986 bis 2002. Ausgewählt für diese Darstellung wurden jene acht von insgesamt 30 Flächen, an 2009 mindestens drei nitrophytischen Arten nachgewiesen wurden. Datengrundlage: Artenspektrum der Pufferzonen 1986 bis 2009.



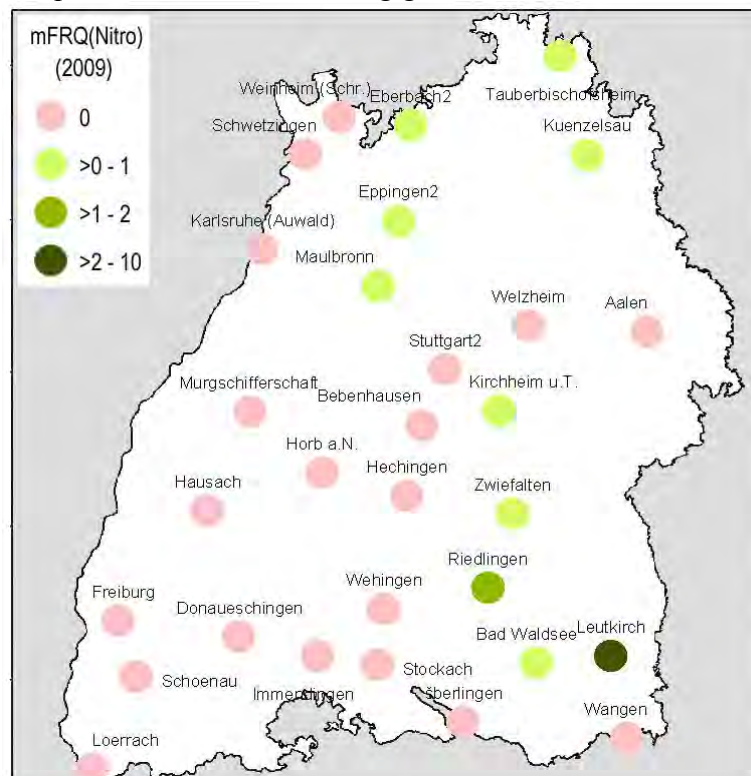
Als eine weitere Kennzahl für Nährstoffeinträge wird die mit der EU-Methode bestimmte mittlere Frequenz nitrophytischer Flechten herangezogen, direkt oder in Relation zur Fre-

quenz aller Arten. Da die Aufnahmegitter nur an unverletzten Bäumen angelegt werden, sind natürliche Vorkommen stark nährstofftoleranter Arten (z. B. unterhalb von Borkenwunden, wie an Buche auf 1410 Schönau beobachtet) ausgeschlossen. Die Ergebnisse auf Grundlage der Frequenzerhebung zusammengefasst:

- Nitrophytische Flechten zählen im Projekt insgesamt zu den selteneren Arten, deren Frequenz an den meisten Standorten gering ist. Dennoch wurden 2009 mit der EU-Methode neun von insgesamt 14 Arten erfasst.
- Der Standort mit der höchsten mittleren Frequenz nitrophytischer Flechten ist Leutkirch (7,5) gefolgt von Riedlingen (1,2), Maulbronn (1,0), Bad Waldsee und Künzelsau (beide 0,6; Kartendarstellung in Abbildung 3.22). An weiteren fünf Standorten wurden nur sehr geringe Werte zwischen 0,1 und 0,3 bestimmt (siehe Tabelle 3.20 am Ende dieses Kapitels, Spalte "mFRQ(Nitro)").
- Eng korreliert mit der Frequenz der Nitrophyten ist ihr Anteil an der Frequenz aller Flechten ($p < 0,001$). Am höchsten ist dieser Anteil in Leutkirch (17,5 %) gefolgt von Maulbronn (4,4 %) und Riedlingen (2,4 %; weitere Werte siehe Tabelle 3.20, Spalte "Nitro%"). Die Vergleichswerte nordrhein-westfälischer Level-II-Flächen betragen maximal 0,7 % (im Mittel 0,5 % über vier Level-II-Flächen mit 53 Waldbäumen und nur einer nitrophytischen Flechte (*Physcia tenella*) bei insgesamt 25 erfassten Arten; Aufnahmen gemäß EU-Protokoll; STAPPER 2005).

Abbildung 3.22: Mittlere Frequenz nitrophytischer Flechten 2009.

Datengrundlage: Frequenzwerte nach Erhebung gemäß EU-Protokoll.



Zur Bewertung der Eutrophierungssituation gelangt man über den Anteil nitrophytischer Flechten am Artenspektrum oder die mittleren Frequenz der Nitrophyten oder ihren Anteil an der Flechtenfrequenz des jeweiligen Standortes zu weitgehend übereinstimmenden Ergebnissen (zur Korrelation der Daten siehe Tabelle 3.20). **Danach sind die Standorte Leutkirch,**

Riedlingen und Maulbronn durch Wirkungen eutrophierender Immissionen gekennzeichnet. Wahrscheinlich gilt dies auch für die Flächen Bad Waldsee und Künzelsau. In Leutkirch weisen viele Baumstämme zusätzlich zum Bewuchs mit nitrophytischer Flechten auch Algenüberzüge auf. Die etwas aufgelichtete Waldfläche ist befindet sich unterhalb einer landwirtschaftlich genutzten Fläche und wird möglicherweise von dort mit Nährstoffen kontaminiert. In der näheren Umgebung sind freistehende junge Eichen am Stamm dicht mit nitrophytischen Flechten der Gattung *Xanthoria* überzogen, was ebenfalls als Anzeichen für erhöhte Nährstoffeinträge zu werten ist.

Im Gegensatz zu Untersuchungen im Freiland kann aus der Größe der Nitrophytenfrequenzwerte oder dem Anteil der Nitrophyten am Flechtenartenspektrum nicht auf die Intensität der Belastung durch eutrophierende Immissionen geschlossen werden, da die Waldbäume im Stammbereich unterschiedlich stark beschattet werden und Nitrophyten lichtbedürftig sind (JOHN & SCHRÖCK 2001; STAPPER 2005; HAUCK & WIRTH 2010). Aus diesem Grund kann man auch nicht auf höhere Belastungen als in Nordrhein-Westfalen schließen, obwohl die für nordrhein-westfälische Waldflächen angegebenen Vergleichswerte erheblich geringer sind. Ferner kann an artenarmen Standorten, die bis vor kurzer Zeit noch mit sauren Immissionen belastet waren (z. B. 1211 Stuttgart, 1350 Weinheim, 1421 Lörrach), nitrophytischen Flechten noch keine Ansiedlung gelungen sein, sodass hier eine Wirkung eutrophierender Immissionen mit Flechten noch gar nicht nachgewiesen werden kann (falscher Negativbefund). Umgekehrt kann aus dem Vorkommen solcher Arten am Stamm im geschlossenen Bestand auf erhöhte Nährstoffeinträge geschlossen werden.

Grundsätzlich könnte man auch die mittlere Frequenz von Flechten mit Nährstoffzahl über 4 dazu verwenden, da in gering belasteten Waldflächen in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen die mittleren und medianen N-Zahlen maximal 3 betragen (JOHN 1997; STAPPER 2005). Doch an den meisten Standorten sind die mittleren Frequenzwerte von Flechten mit $N > 4$ sehr gering, selbst Werte bis 2,4 kein sicheres Indiz für Nährstoffeinträge und vielfach verursacht durch Flechtenarten mit $N=5$, die jedoch auch ohne erhöhten Nährstoffeintrag in Wäldern natürlicherweise vorkommen (Beispiel: 1170 Hechingen). Daher wurden mittlere Nährstoffzahlen hier nicht verwendet. Im Gegensatz zur häufigen säuretoleranten Flechte *Lecanora conizaeoides* waren nitrophytische Flechten zu allen Untersuchungszeitpunkten seltene Flechten, sodass aus den Daten der nachträglichen Frequenzbestimmung an Dauerbeobachtungsbäumen keine verlässlichen Aussagen über die Nährstoffbelastung einzelner Standorte abgeleitet werden können (siehe dazu Kapitel 3.10.).

Tabelle 3.20: Mittlere Frequenzen von *Lecanora conizaeoides* und von nitrophytischen Flechten 2009.

mFRQ(N>4), mittlere Frequenz von Flechten mit Nährstoffzahl >4; **mFRQ(Nitro)**, mittlere Frequenz nitrophytischer Flechten (hier: *Amandinea punctata*, *Candelariella reflexa*, *Candelariella xanthostigma*, *Phaeophyscia endophoenicea*, *P. orbicularis*, *Physcia adscendens*, *P. tenella*, *Physconia grisea* und *Xanthoria parietina*); **Nitro(%)** bzw. **REalt(%)** oder **Leccon(%)**, Anteil nitrophytischer bzw. resistenter Flechten (vergl. Tabelle 3.2: "alt") oder von *Lecanora conizaeoides* an der Frequenzsumme aller Arten; **Abw. o.R.** (Sortierungskriterium): Differenz zwischen der gemessenen minus der aufgrund der geografischen Höhe erwarteten mittleren Frequenzsumme nicht resistenter Flechten (WIRTH & OBERHOLLENZER 1991). **NitroG(%)**, Anteil der nitrophytischen Flechten am Gesamtartenspektrum der Waldfläche; der Wert in Klammer gilt Vorkommen unterhalb einer Borkenwunde. Signifikanzen: (***), $p < \text{oder} << 0,001$; (**), $0,001 \leq p < 0,01$; (*), $0,01 \leq p < 0,05$; n.s., nicht signifikant.

Nr.	Standort	mFRQ(N>4)	mFRQ(Nitro)	Nitro(%)	REalt(%)	Leccon(%)	Abw. o.R.	NitroG(%)
1200	Bebenhausen	0,0	0,0	0,0	15,7	0,0	17,9	0,0
1060	Riedlingen	0,4	1,2	2,4	29,8	0,0	15,7	11,3
1300	Kuenzelsau	4,7	0,6	1,8	18,8	0,0	10,5	10,0
1100	Stockach	0,0	0,0	0,0	29,2	0,0	10,3	6,1
1140	Zwiefalten	0,2	0,1	0,1	17,0	0,9	8,7	3,0
1071	Leutkirch	4,9	7,5	17,5	10,0	0,0	8,2	25,0
1030	Bad Waldsee	0,6	0,6	1,7	21,6	0,0	5,1	16,2
1440	Freiburg	1,2	0,0	0,0	9,9	0,0	5,0	0,0
1292	Eppingen2	1,3	0,1	0,9	25,4	7,1	4,6	5,3
1490	Karlsruhe (Auwald)	0,0	0,0	0,0	47,7	0,0	2,9	0,0
1040	Wangen	0,2	0,0	0,0	45,8	0,0	2,6	0,0
1261	Horb a.N.	0,1	0,0	0,4	30,7	0,0	2,3	6,5
1110	Wehingen	0,2	0,0	0,2	30,7	1,0	1,1	4,5
1510	Schwetzingen	0,0	0,0	0,0	48,7	0,0	0,6	19,0
1330	Tauberbischofsheim	1,5	0,2	0,8	37,1	4,2	0,2	9,4
1170	Hechingen	2,4	0,0	0,0	14,0	0,0	0,1	0,0
1370	Murgschifferschaft	0,0	0,0	0,0	20,2	0,5	0,0	0,0
1410	Schoenau	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	-0,1	[13,7]
1280	Maulbronn	1,9	1,0	4,4	34,0	3,2	-0,5	11,4
1400	Donaueschingen	0,0	0,0	0,0	16,5	0,0	-1,3	0,0
1390	Hausach	0,4	0,0	0,0	17,0	0,0	-2,0	3,3
1020	Überlingen	0,0	0,0	0,0	21,4	0,0	-4,9	0,0
1180	Kirchheim u.T.	0,3	0,3	1,6	33,6	0,0	-5,1	10,5
1211	Stuttgart2	0,0	0,0	0,0	34,8	2,2	-9,6	7,1
1341	Eberbach2	0,8	0,1	0,4	81,7	37,4	-9,6	4,2
1190	Aalen	0,0	0,0	0,0	30,3	1,7	-11,0	11,5
1220	Welzheim	0,0	0,0	0,0	46,1	8,6	-11,6	8,3
1350	Weinheim (Schr.)	2,4	0,0	0,0	58,7	15,4	-11,6	0,0
1111	Immendingen	0,0	0,0	0,0	4,8	0,0	-11,7	0,0
1421	Loerrach	0,0	0,0	0,0	43,5	15,9	-16,1	0,0
Korrelationen, r(X,Y)								
Variable	mFRQ(N>4)	mFRQ(Nitro)	Nitro(%)	REalt(%)	Leccon(%)	Abw. o.R.	NitroG(%)	
mFRQ(N>4)	1	0,646***	0667***	0,182 ^{ns}	0,045 ^{ns}	0,234 ^{ns}	0,361*	
mFRQ(Nitro)		1	0,991***	0,212 ^{ns}	-0,095 ^{ns}	0,261 ^{ns}	0,616**	
Nitro(%)			1	0,198 ^{ns}	-0,090 ^{ns}	0,252 ^{ns}	0,636***	
REalt(%)				1	0,735***	-0,396*	-0,564 ^{ns}	
Leccon(%)					1	-0,475**	-0,154 ^{ns}	
Abw. o.R.						1	-0,195 ^{ns}	

3.9. Ist die Zunahme "Wärme liebender" Flechten eine Reaktion auf die Klimaveränderung in Baden-Württemberg?

Vorbemerkungen

In Deutschland arbeitet man derzeit an einer Richtlinie zur Kartierung von Klimafolgen, deren Vorentwurf (VDI 3957 Blatt 20, Stand Juni 2008) die Nutzung mehrheitlich Borke besiedelnder Flechtenarten für das Biomonitoring klimatischer Einflüsse auf die Natur vorsieht, die Fachleute aufgrund von Verbreitungsangaben und Geländeerfahrungen als "Wärme liebend" und als offenbar durch den Klimawandel gefördert eingestuft haben. Die Auswahl der Arten ist noch nicht endgültig (siehe Tabelle 3.21). Obwohl für diese Flechten meist auch hohe Temperaturzahlen vergeben wurden, ist der Begriff "Wärme liebend" eigentlich irreführend, denn Wärme bedeutet in der Konsequenz relative Trockenheit, die als ein negativer Standortzwang für Flechten gilt. Vielmehr handelt es sich meist um Flechten, die aufgrund ihrer ursprünglich atlantischen oder mediterranen Verbreitung von z. B. milder gewordenen Wintern profitieren. Deshalb werden diese Flechten im Folgenden als "Klimaindikatoren" bezeichnet. Klimabedingte Veränderungen der Flechtenflora sind inzwischen gut dokumentiert (VAN HERK et al. 2002, INSAROV & SCHROETER 2002, APTROOT 2005, FRAHM & STAPPER 2008; DE BRUYN et al., 2009; SCHMITZ et al. 2009, 2010).

Bei Wiederholungskartierungen epiphytischer Flechten an fünf bis zehn Jahre zuvor bereits untersuchten Bäumen in Düsseldorf und im Kreis Mettmann wurde eine hochsignifikante Zunahme von Klimaindikatoren beobachtet (SCHMITZ et al. 2009, 2010). Obwohl die Klimaindikatoren dort im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands sehr häufig vorkommen, wurden keine Zählgitter eingesetzt, sondern die gesamte Stammfläche der Trägerbäume untersucht und so die Wahrscheinlichkeit des Auffindens der Indikatorarten erhöht. Ob dieses Verfahren aber auch im unteren Stammbereich von Waldbäumen zu plausiblen Ergebnissen führt, ist noch unklar, da man viele dieser Arten in feuchten Wäldern z.B. im Schwarzwald oder auf den Vogesen auch ohne Veränderung hin zu milderem Klima natürlicherweise erwartet. Ihr Vorkommen an *freistehenden* Bäumen hingegen wird als Hinweis auf humideres oder wintermilder Klima gedeutet. Im Untersuchungsgebiet ist das derzeitige Klima gekennzeichnet durch eine mittlere Temperaturzunahme je nach Region zwischen 0,6 K und 1,5 K für den Zeitraum 1951 bis 2000. Gleichzeitig haben Niederschläge um 9,1% zugenommen mit saisonal unterschiedlicher Verteilung (STOCK 2005). Angesichts der Bedeutung von Temperatur und Humidität sollten sich diese Veränderungen auch auf die Flechtenflora und -vegetation auswirken (SCHÖLLER 1991; VONARBURG 1993).

Ergebnisse und deren Bewertung

Auf den 30 Waldflächen des ÖkWi ist die Anzahl der Klimaindikatoren seit 1986 von 7 Arten auf inzwischen 22 Flechtenarten angestiegen (Abbildung 3.23). Dieser Anstieg hat sich im Laufe der Zeit beschleunigt. Die stärkste Zunahme seit 1986 weisen die Standorte 1071 Leutkirch, 1060 Riedlingen 1100 Stockach und 1030 Bad Waldsee auf (Tabelle 3.22). Bis auf drei sehr seltene Flechten werden alle Klimaindikatorarten auch mit der EU-Methode erfasst. Bevorzugt in den unteren Höhenlagen bis 500 m über NN wurden *Pyrenula nitidella*, *Opegrapha vermicellifera*, *Schismatomma decolorans*, *Physciella chloantha*, *Pertusaria hymenea* und *Porina leptalea* registriert (Abbildung 3.24). *Anisomeridium polypori* ist eine häufige Art und auch in Höhen bis über 700 m zu finden, bevorzugt an subneutralen Borken (vergleiche Abbildung 3.17). Die genannten Arten bieten sich bevorzugt als Klimaindikatoren für Wälder an, mit der Frage, ob sie zukünftig auch in höhere Lagen vorrücken werden.

Abbildung 3.23: Veränderung der Anzahl der Klimaindikatoren 1986 bis 2009.

Datengrundlage: Artenspektrum der Pufferzonen 1986 bis 2009.

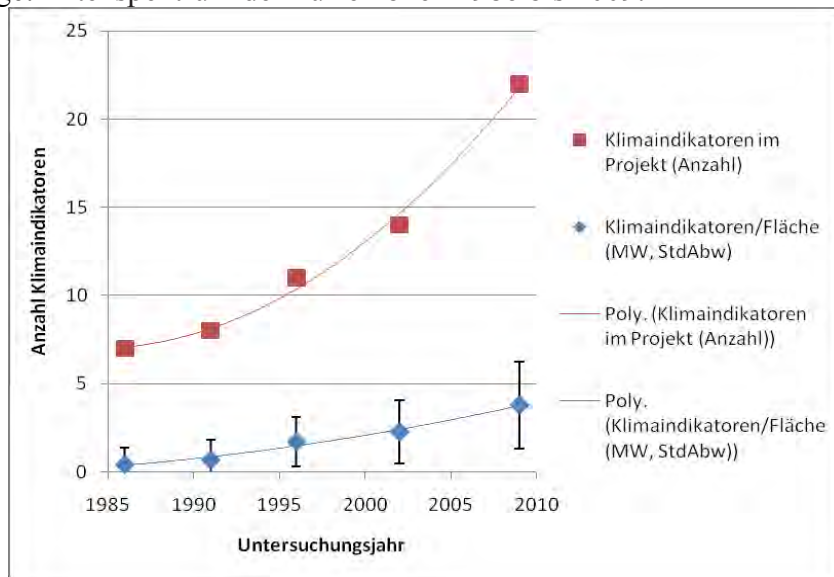
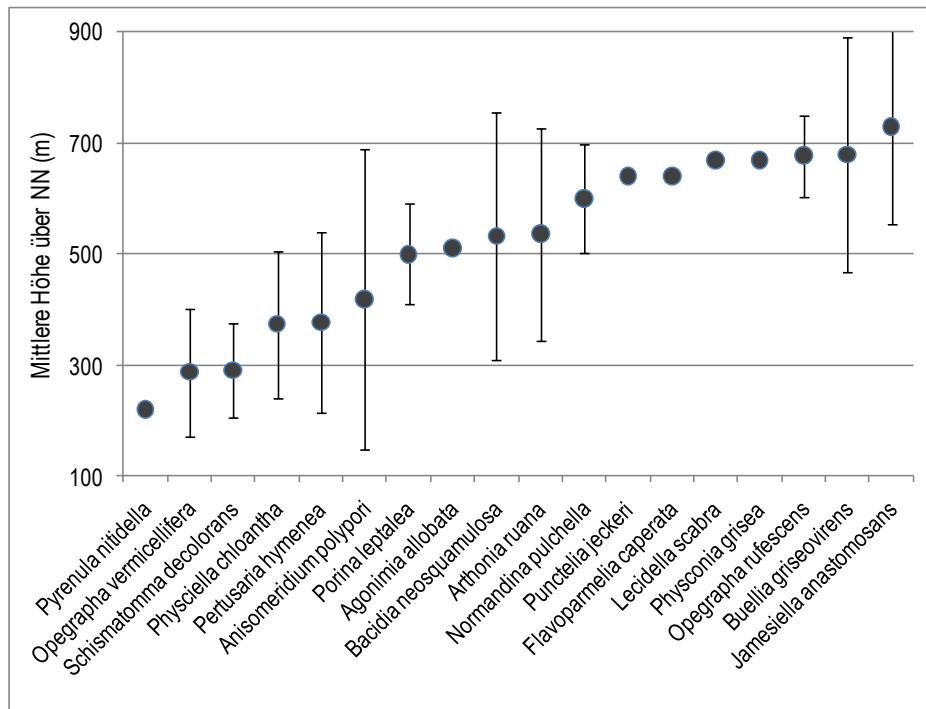


Abbildung 3.24: Mittlere geografische Höhe der Klimaindikatoren an 30 Waldstandorten in Baden-Württemberg 2009.

Aufgetragen ist die mittlere Höhe mit Angabe der Standardabweichung bei mehr als drei Standorten. Datengrundlage: Frequenzwerte nach Erhebung gemäß EU-Protokoll.



Physciella chloantha (syn. *Phaeophyscia c.*) ist in Baden-Württemberg nicht gefährdet, aber sehr selten. Die gefundenen Lager waren klein mit typisch heller Unterseite, und es ist nicht auszuschließen, dass sie in früheren Durchgängen als eine andere Art aus der Gattung *Phaeophyscia* angesprochen wurden. *A. polypori*, *O. vermicellifera* und *P. leptalea* sind auch in nordrhein-westfälischen Wäldern in den vergangenen rund zehn Jahren parallel zur Zunahme

atlantischer Arten an freistehenden Bäumen häufiger geworden (eigene Beobachtung, unveröffentl.), doch gerade mit Blick auf freistehende Bäume zeigen sich Unterschiede zwischen den beiden Bundesländern. So wurden 2009 von der Schwäbischen Alb bis hinab in die Rheinebene südlich von Heidelberg kaum Klimaindikatoren gefunden, z. B. nur einmal *Flavoparmelia sordians* nahe Schwetzingen (eigene Beobachtung an jeweils 10 bis 15 Bäumen an drei Standorten im Verlauf dieser Untersuchung). Daher ist fraglich, ob die in Nordwestdeutschland (DE BRUYN *et al.*, 2009) beobachteten Veränderungen auf Baden-Württemberg übertragbar sind und ob das verstärkte Vorkommen der Klimaindikatoren am Stamm der Waldbäume zuverlässig als eine Wirkung von Klimaveränderungen oder -fluktuationen betrachtet werden darf. Immerhin gehören die Klimaindikatoren auf den 30 Waldflächen zu den selteneren Arten, und ihr häufigeres Vorkommen fällt just in eine Zeit, in der Immissionsbelastung und Klima sich wandeln mit einer hinsichtlich der Richtung ähnlichen Wirkung auf die Flechten. Das dürfte insbesondere auf die in den niederen Lagen vorkommenden Klimaindikatoren zutreffen. Erwartungsgemäß zeigt die Analyse der Frequenzdaten eine statistisch signifikante Zunahme von Klimaindikatoren mit der "Standortgunst" für Flechten, letztere ausgedrückt als Differenz zwischen der für die geografische Höhe gefundenen und der beobachteten mittleren Frequenzsumme nicht resistenter Flechten (Abbildung 3.25). Die Flächen 1440 Freiburg und 1071 Leutkirch weisen die höchste mittlere Frequenz klimaindizierender Arten auf, was zum Teil auch an der relativ großen Anzahl Eschen liegen kann, die sich hier als günstiges Substrat anbieten, an den ansonsten sehr artenreichen Flächen 1060 Riedlingen oder 1200 Bebenhausen aber fehlen.

Zusammengefasst muss an dieser Stelle die Frage noch offen bleiben, ob das verstärkte Vorkommen der Klimaindikatoren am Stamm der Waldbäume maßgeblich als eine Folge der beobachteten Klimaveränderungen (STOCK 2005; LUBW 2006) interpretiert werden darf.

Abbildung 3.25: Die mittlere Frequenzsumme der Klimaindikatorflechten steigt mit der allgemeinen Standortgunst.

Als Maß für die Standortgunst wird hier die Differenz zwischen der gemessenen und der aufgrund der geografischen Höhe erwarteten Frequenzsumme nicht resistenter Flechten verwendet (vergl. Abbildung 3.11, oberes Diagramm). Spearman's Rangkorrelation: $R_s=0,531$ ($p<0,01$); der Zusammenhang zwischen der mittleren FRQ-Summe aller Arten und der der Klimaindikatoren ist schwächer: $R_s=0,447$ ($p<0,05$). Frequenzdaten aller Standorte berücksichtigt.

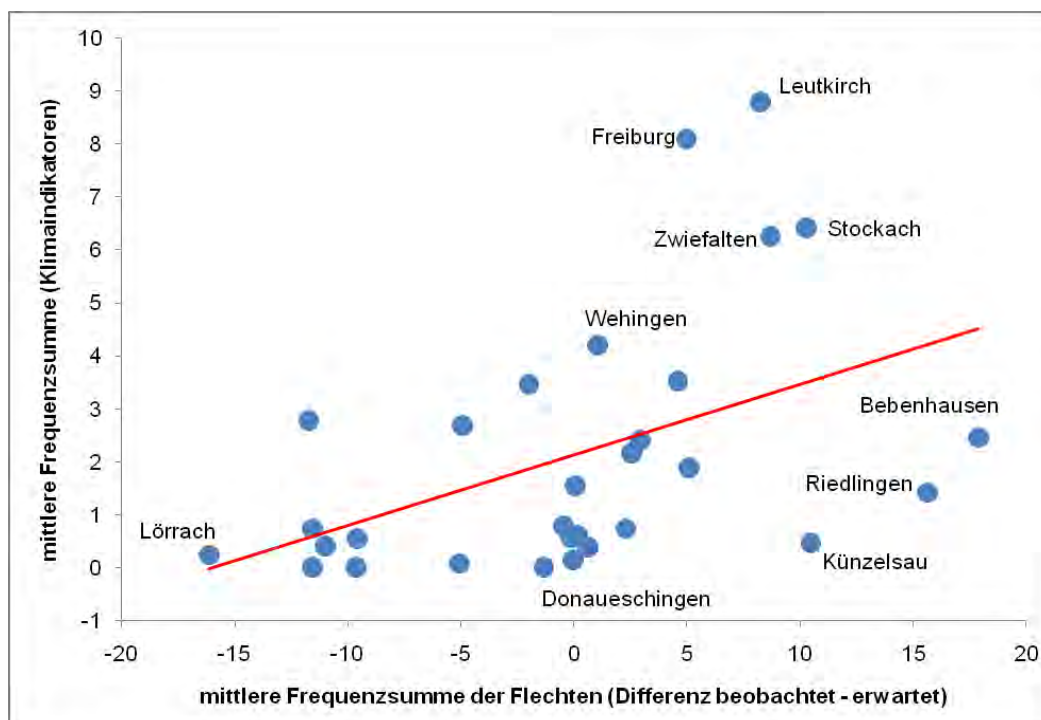
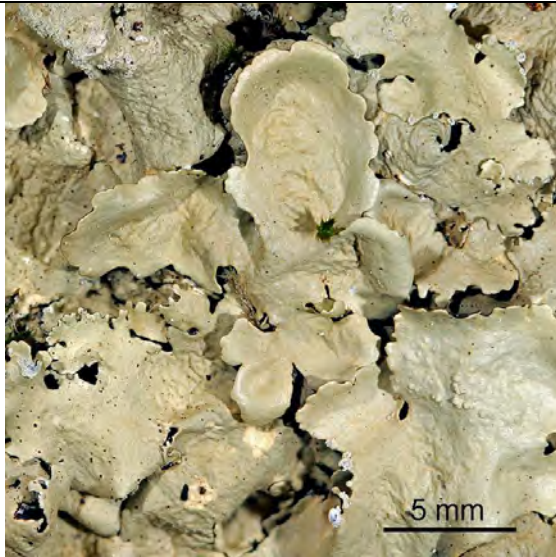
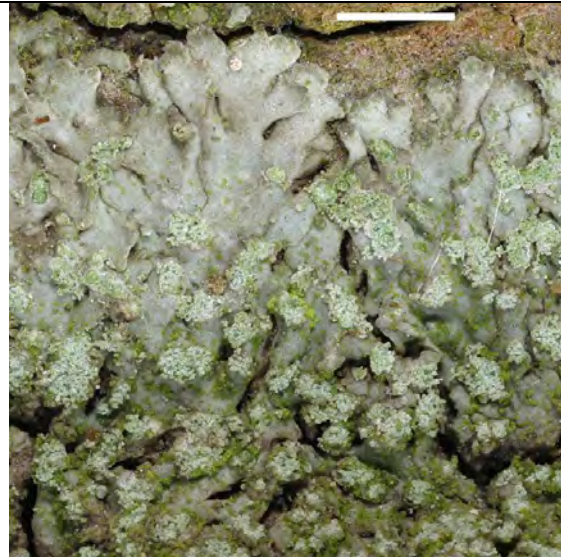


Abbildung 3.26: Bilder von Flechten, die durch milderes Klima gefördert werden.



Flavoparmelia caperata



Hyperphyscia adglutinata, Balken: 1 mm.



Jamesiella anastomosans mit 0,1 mm langen Hyphophoren.



Opegrapha vermicellifera mit langgestreckten Fruchtkörpern und Pyknidien (weiß).



Normandina pulchella; feuchtes Lager über Moosen, Bildkante 6,5 mm lang.



Porina leptalea; der Durchmesser der Perithezien beträgt ca. 0,3 mm.

Tabelle 3.21: Klimaindikatoren mit Angaben zum Vorkommen im Projekt.

Flechtenart	T	(e)	1986	1991	1996	2002	2009
<i>Agonimia allobata</i>	7	e					+
<i>Anisomeridium polypori</i>	7	e				+	+
<i>Arthonia cinnabarina</i>	6	e					
<i>Arthonia ruana</i>	7	e	+	+	+	+	+
<i>Bacidia neosquamulosa</i>	6	e					+
<i>Buellia griseovirens</i>	7	e		+	+	+	+
<i>Caloplaca aurantia</i>	9						
<i>Caloplaca albolutescens</i>	9						
<i>C. dalmatica</i>	8						
<i>C. flavescens</i>	8						
<i>C. teicholyta</i>	9						
<i>C. variabilis</i>	8						
<i>Candelaria concolor</i>	5	e					
<i>Candelariella medians</i>	9						
<i>C. viae-lacteeae</i>	9	e					
<i>Diploicia canescens</i>	7	e					
<i>Dirina stenhammari</i>	9						
<i>Enterographa hutchinsiae</i>	7	e					
<i>Flavoparmelia caperata</i>	7	e	+	+	+	+	+
<i>Flavoparmelia soledians</i>	8	e					
<i>Flavopunctelia flaventior</i>	7	e					
<i>Heterodermia japonica</i>	7	e					
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	9	e					+
<i>Hypotrachyna afrorevoluta</i>	6	e					
<i>H. laevigata</i>	7	e					
<i>Jamesiella anastomosans</i>	6	e			+	+	+
<i>Lecanactis amylacea</i>	7	e					
<i>Lecanora horiza</i>	7	e					
<i>Lecidella scabra</i>	7	e					+
<i>Lobothallia radiosa</i>	7						
<i>Melanohalea elegantula</i>	7	e					
<i>M. laciniatula</i>	7	e					
<i>Normandina pulchella</i>	5	e			+	+	+
<i>Opegrapha ochrocheila</i>	8	e					
<i>Opegrapha rufescens</i>	6	e				+	+
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	7	e	+	+	+	+	+
<i>Parmotrema crinitum</i>	8	e			+	+	+
<i>P. perlatum</i>	7	e	+	+		+	+
<i>P. reticulatum</i>	8	e					
<i>P. stuppeum</i>	8	e					
<i>Pertusaria hymenea</i>	7	e					+
<i>Phaeographis dendritica</i>	7	e					
<i>Physciella chloantha</i>	9	e					+
<i>Physcia dimidiata</i>	7						
<i>Physconia grisea</i>	7	e					+
<i>Porina leptalea</i>	7	e			+	+	+
<i>Punctelia borri</i>	8	e					
<i>Punctelia jeckeri</i>	7	e					+
<i>P. subrudecta</i>	7	e	+	+	+	+	+
<i>Pyrenula nitidella</i>	7	e	+	+	+	+	+
<i>Ramalina calicaris</i>	5	e					
<i>Sarcopyrenia gibba</i>	9						
<i>Schismatomma decolorans</i>	8	e	+	+	+	+	+
<i>Thelotrema lepadinum</i>	6	e					
<i>Xanthoria fallax</i>	7	e					
Arten gesamt ÖkWi			7	8	11	14	22

Die Artenliste ist dem aktuellen Vorentwurf zur VDI-Richtlinie 3957 Blatt 20 entnommen (Stand Juni 2008) und um zwei Arten aufgrund aktueller Beobachtungen erweitert worden (*Candelaria concolor* und *Jamesiella anastomosans*); (e), epiphytische Flechten mit bisher westeuropäischem oder mediterranem Verbreitungsschwerpunkt, deren häufigeres Vorkommen in Deutschland als eine Folge der Klimaerwärmung betrachtet wird. T: Temperaturzahl (nach WIRTH 2001, für die Richtlinie um neue Werte erweitert); Vorkommen im Projekt (jeweilige Gesamtartenliste) 1996, 2002 und 2009 (mit "+" gekennzeichnete Arten kamen an mindestens einer der 30 Waldflächen vor). Die Nomenklatur der Flechten richtet sich nach WIRTH *et al.* (2007).

Tabelle 3.22: Anzahl der als Klimaindikatoren eingestuftten Flechten an den Waldstandorten 1986 bis 2009.

Anzahl der Klimaindikatoren auf den Waldflächen gemäß VDI-Richtlinienentwurf 3957 Blatt 20 und Erweiterung wie in der Legende zu angeben. Sortierung: gemäß aufsteigender Anzahl Klimaindikatoren im Jahr 2009. Datengrundlage: Gesamtartenspektrum der Pufferzonen. Für die Flächen 1140 und 1211 und das Jahr 1996 liegen keine Daten vor (k.D.).

Nr.	Standort	Untersuchungsjahr					Differenz	
		1986	1991	1996	2002	2009	2009 - 1986	2009 - 1996
1400	Donaueschingen	0	0	0	0	0	0	0
1180	Kirchheim u.T.	0	0	0	2	1	1	1
1211	Stuttgart2	0	0	k.D.	0	1	1	k.D.
1341	Eberbach2	0	0	2	1	1	1	-1
1350	Weinheim	0	0	0	0	1	1	1
1370	Murgschifferschaft	0	0	1	0	1	1	0
1410	Schoenau	0	1	2	2	1	1	-1
1510	Schwetzingen	0	0	0	1	1	1	1
1190	Aalen	0	1	3	2	2	2	-1
1490	Karlsruhe (Auwald)	0	1	1	2	2	2	1
1020	Überlingen	0	0	2	4	3	3	1
1040	Wangen	0	0	1	1	3	3	2
1111	Immendingen	0	0	0	0	3	3	3
1200	Bebenhausen	0	0	4	3	3	3	-1
1261	Horb a.N.	0	1	1	2	3	3	2
1220	Welzheim	0	0	2	2	4	4	2
1280	Maulbronn	0	0	0	2	4	4	4
1330	Tauberbischofsheim	0	0	1	1	4	4	3
1421	Loerrach	0	0	2	2	4	4	2
1110	Wehingen	0	1	2	3	5	5	3
1140	Zwiefalten	1	1	k.D.	2	5	4	k.D.
1440	Freiburg	4	4	5	7	5	1	0
1030	Bad Waldsee	0	0	1	4	6	6	5
1100	Stockach	0	0	1	2	6	6	5
1170	Hechingen	1	1	4	3	6	5	2
1060	Riedlingen	0	0	2	2	7	7	5
1292	Eppingen2	0	0	3	6	7	7	4
1300	Kuenzelsau	2	4	2	4	7	5	5
1390	Hausach	3	3	4	6	8	5	4
1071	Leutkirch	0	0	2	2	9	9	7
Mittelwert (Arten pro Fläche)		0,41	0,67	1,71	2,27	3,77		

Tabelle 3.23: Häufigkeit, Frequenzsumme und mittlere geografische Höhe von Klimaindikatoren.

H1, Häufigkeit als Anzahl Baumarten mit Vorkommen der Flechte am Standort; H(EU), Häufigkeit als Anzahl der Trägerbäume für die Frequenzbestimmung; Frq-SUM, Frequenzsumme der Klimaindikatoren.

Klimaindikator	H1 (Bäume)	H_EU (Bäume)	Frq-SUM	MW_Höhe (m)
<i>Agonimia allobata</i>	1	1	1	510
<i>Anisomeridium polypori</i>	28	28	259	419
<i>Arthonia ruana</i>	14	16	37	536
<i>Bacidia neosquamulosa</i>	15	8	27	533
<i>Buellia griseovirens</i>	49	74	315	680
<i>Flavoparmelia caperata</i>	3	1	1	640
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	1			
<i>Jamesiella anastomosans</i>	6	3	5	730
<i>Lecidella scabra</i>	1	3	29	670
<i>Normandina pulchella</i>	3	2	4	600
<i>Opegrapha rufescens</i>	14	10	50	677
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	6	16	114	287
<i>Parmotrema crinitum</i>	1			
<i>Parmotrema perlatum</i>	1			
<i>Pertusaria hymenea</i>	6	3	14	377
<i>Physciella chloantha</i>	2	3	6	373
<i>Physconia grisea</i>	2	1	2	670
<i>Porina leptalea</i>	15	16	119	500
<i>Punctelia jeckeri</i>	3	1	2	640
<i>Punctelia subrudecta</i>	4			
<i>Pyrenula nitidella</i>	4	2	5	220
<i>Schismatomma decolorans</i>	4	2	8	290

3.10. Veränderung der Flechtenfrequenzen von 1985 bis 2009 – ermittelt aus Flechtenumrisszeichnungen auf Transparentfolien

Vorbemerkungen

Im Sommer 2009 wurde auf 30 ausgewählten Waldflächen des ÖkWi für die Gewinnung quantitativer Daten zur Flechtenvegetation erstmals die EU-ForestBIOTA-Methode angewendet (kurz: EU-Methode; STOFER *et al.* 2003) und damit das bisherige Verfahren zur Flächenbestimmung der Flechten anhand von Umrisszeichnungen auf stammumfassende Klar-sichtfolien abgelöst. Der wesentliche Vorteil der EU-Methode gegenüber dem bisherigen Ver-fahren beruht auf der im Mittel viermal so großen und für die Waldfläche repräsentativen Baumstichprobe (siehe dazu Kap. 3.5.). Um die Ergebnisse der früheren Erhebungen mit denen der neuen Methodik zusammenzuführen, wurden unter Verwendung der digitalisierten Folienschärpen aus den Jahren 1985/86 (im Folgenden "1986"), 1991/92 ("1991"), 1996 und 2002 und darüber gelegten "virtuellen" Zählrahmen rückwirkend die Frequenzen der Flechten an den Dauerbeobachtungsbäumen ("Flechtenbäume") aller 30 Waldstandorte ermittelt. Da die 45 cm hohen Folienschärpen nur vier Maschen des Zählrahmens nutzen lassen, wurden die Flechtenfrequenzen auf den Dauerbeobachtungsbäumen im Sommer 2009 separat für jede Masche des Zählrahmens aufgenommen und zur Absicherung der korrekten Lage der am Baum anliegende Zählrahmen fotografiert. Somit liegen jetzt für die Flechten auf den Dauerbeobachtungsbäumen Flächensummen aus vier und Frequenzwerte aus fünf Untersuchungen vor, mit denen die Veränderungen in einem Zeitraum von fast 25 Jahren analysiert werden können. Die Flächengehalte der Flechten für die Untersuchungen bis 1996 bzw. für 2002 sind den von CEZANNE & HODVINA (2006) bzw. DOLNIK (2004) erstellten Tabellen entnommen, die von der LUBW bereitgestellt wurden. Auf allen Flächen zusammen wurden zwischen 90 und 117 Dauerbeobachtungsbäume untersucht, auf der einzelnen Waldfläche meist nur vier Bäume, (vergl. Tabelle 3.24), weshalb die Ergebnisse einzelner Standorte mehr durch nichtrepräsentative "Ausreißer" geprägt sein dürften als die einer zusammenfassenden Auswertung aller Bäume des Projektes.

In diesem Kapitel sollen folgende Fragen bzw. Fragenkomplexe beantwortet werden:

1. Mit welcher Effizienz werden die auf den Folienschärpen registrierten Flechten bei der Frequenzbestimmung mit den viermaschigen Zählrahmen erfasst?
2. Ergibt sich für die Flechten die gleiche Rangordnung hinsichtlich ihrer Häufigkeit im Projekt, wenn man die überwachsene Fläche mit der Frequenz vergleicht? Hat sich die Rangordnung der Flechten im Laufe der Zeit verändert?
3. Wie haben sich der Bestände seltener oder gefährdeter Arten entwickelt? Welche Arten sind seltener geworden, welche häufiger oder hinzugekommen? Ergibt sich in dieser Frage ein Zusammenhang mit den ökologischen Zeigerwerten der Flechten?
4. Unterscheiden sich hoch und tief gelegene Waldstandorte hinsichtlich eventueller Veränderungen im Artenspektrum bzw. hat sich der Zusammenhang zwischen mittlerer Frequenzsumme der Flechten und geografischer Höhe seit 1986 verändert?
5. Welche Rückschlüsse erlauben die zeitlichen Veränderungen von Rangordnung oder Häufigkeit der Flechten mit Blick auf Immissionswirkungen oder Klimaveränderungen?

Zu (1): Effizienz der Artenerfassung

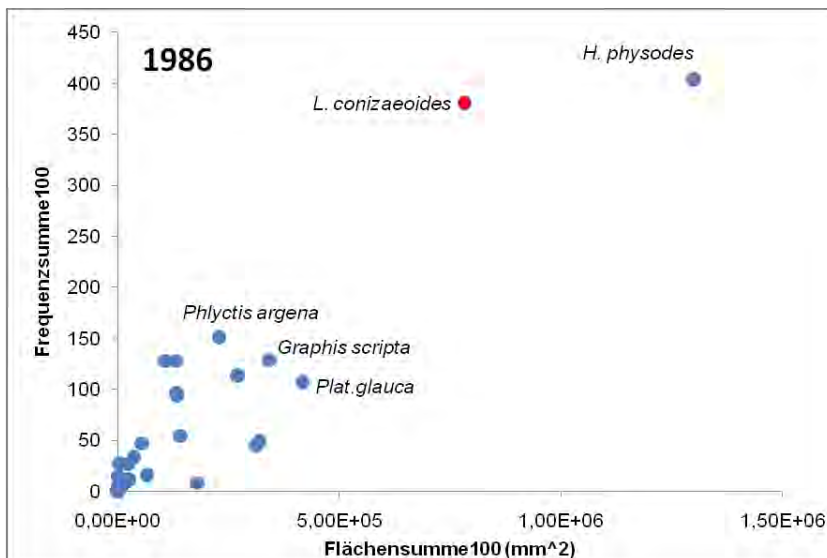
Die Anzahl der Flechtenarten, deren Konturen auf die Folienschärpen übertragen wurde, ist im Zeitraum 1986 bis 2002 von 50 auf 86 gestiegen, was einem Anstieg der Artenzahl auf das 1,7fache entspricht. Der Anteil der Flechten, der mit den darübergerlegten Zählrahmen erfasst

wurde, ist erwartungsgemäß geringer, da die Gitter nur einen Teil der Foliensfläche überdecken. Der Anteil stieg von zuerst 76 % mit jeder Untersuchung weiter an auf 88 % (im Mittel bei 82 %; vergl. Tabelle 3.24). Unabhängig von der Anzahl der Arten und der Zusammensetzung des Artenspektrums ergibt sich für alle Zeitpunkte (1991 und 1996 nicht dargestellt) eine enge Korrelation zwischen der Frequenz- und der Flächensumme der Flechten im gesamten Projekt (siehe Abbildung 3.27).

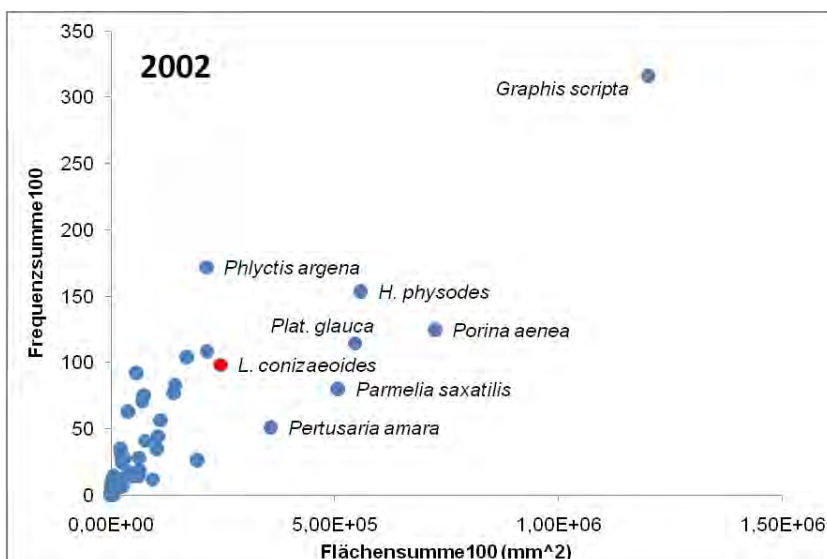
Tabelle 3.24: Effizienz der Arterfassung - Anzahl der mit Frequenzgittern auf den Folienschärpen erfassten Flechten.

Untersuchungsjahr	1986	1991	1996	2002	2009
Anzahl untersuchter Bäume	98	90	95	117	117
Anzahl Arten (Folienmethode)	50	54	66	86	-
Anzahl Arten (Frequenzgitter)	38	43	56	76	84
Effizienz Frequenzgitter	76%	80%	85%	88%	-
Frequenzsumme	2120	1726	2229	2841	2446

Abbildung 3.27: Zusammenhang zwischen Flächensumme und Frequenzsumme der Flechten am Beispiel der Untersuchungsjahre 1986 und 2002.



Für jede Flechte, die im Frequenzgitter nachgewiesen wurde und für die somit überhaupt ein Frequenzwert vorliegt, sind die Frequenz- und die Flächensumme aufgetragen. 1986 bzw. 2002 wurden 98 bzw. 117 Bäume untersucht. Deshalb wurden, zur besseren Vergleichbarkeit der Werte, die Daten beider Jahre auf jeweils 100 Bäume berechnet, gekennzeichnet durch den Index "100".



Korrelationen

Spearman's Rangkorrelation (Frequenzsumme, Flächensumme):

R_s (1986) = 0,969 bzw.

R_s (2002) = 0,937

sowie (Daten nicht dargestellt)

R_s (1991) = 0,907

R_s (1996) = 0,851;

Signifikanz in allen Fällen $p < 0,01$.

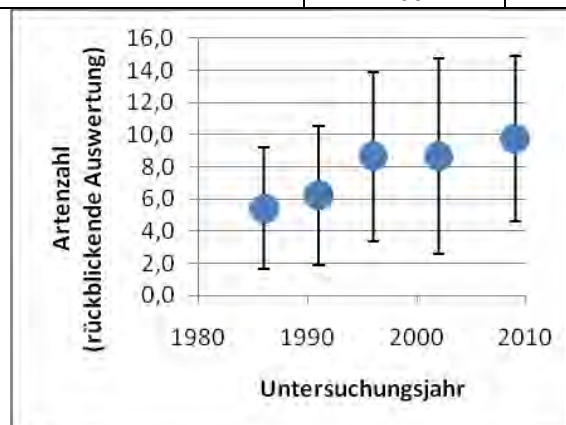
Die Zunahme der Arten im Projekt zeigt sich auch beim Vergleich der einzelnen Waldflächen (Tabelle 3.25), wo die mit Zählrahmen erfasste Artenzahl zwischen 1986 und 2009 bzw. 2002 und 2009 im Mittel um 255 bzw. 150% angestiegen ist. Die artenreichsten Standorte waren 2009 Schönau/Hochschwarzwald, Donaueschingen, Horb/Neckar und Wangen/Allgäu.

Tabelle 3.25: Anzahl der Flechten innerhalb der Zählrahmenfläche 1986 bis 2002.

n.a., Folien nicht ausgewertet, da keine umlaufende Schärpe.

Nr.	Standortname	1986	1991	1996	2002	2009	Veränderung 2009/1986 (%)	Veränderung 2009/2002(%)
1020	Überlingen	4	4	11	7	12	300	171
1030	Bad Waldsee	7	6	15	10	12	171	120
1040	Wangen	5	7	10	12	16	320	133
1060	Riedlingen	8	5	7	10	7	88	70
1071	Leutkirch	5	9	10	7	8	160	114
1100	Stockach	8	7	7	13	9	113	69
1110	Wehingen	6	11	11	10	13	217	130
1111	Immendingen	8	7	7	9	10	125	111
1140	Zwiefalten	9	10	15	12	12	133	100
1170	Hechingen	8	10	13	13	15	188	115
1180	Kirchheim u.T.	1	1	2	5	3	300	60
1190	Aalen	2	4	5	8	3	150	38
1200	Bebenhausen	8	7	14	18	12	150	67
1211	Stuttgart2	-	-	-	3	5	-	167
1220	Welzheim	1	1	0	2	4	400	200
1261	Horb a.N.	12	16	13	18	17	142	94
1280	Maulbronn	1	1	1	1	6	600	600
1292	Eppingen2	-	-	-	5	12	-	240
1300	Kuenzelsau	4	5	7	6	10	250	167
1330	Tauberbischofsheim	1	1	4	4	6	600	150
1341	Eberbach2	-	-	-	2	7	-	350
1350	Weinheim (Schr.)	1	1	1	2	4	400	200
1370	Murgschifferschaft	9	7	12	10	15	167	150
1390	Hausach	7	6	6	13	12	171	92
1400	Donaueschingen	10	9	13	14	17	170	121
1410	Schoenau	14	17	21	29	24	171	83
1421	Loerrach	2	3	4	4	4	200	100
1440	Freiburg	3	6	7	5	9	300	180
1490	Karlsruhe (Auwald)	1	1	n.a.	6	4	400	67
1510	Schwetzingen	1	n.a.	n.a.	2	5	500	250
Mittelwert							255	150

Diagramm:
Entwicklung der Artenzahl innerhalb
der Zählrahmenfläche
1986 bis 2009,
Mittelwerte \pm Standardabw.



Zu (2): Rangordnung der Arten hinsichtlich Flächen- und Frequenzsumme

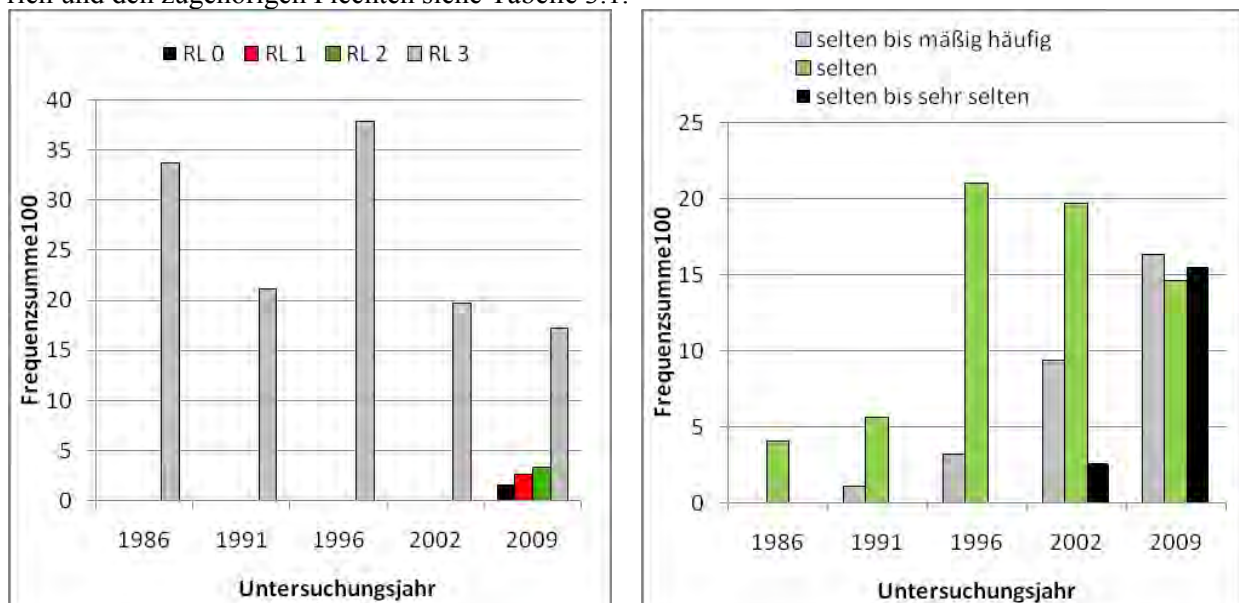
Bereits die Streudiagramme in Abbildung 3.27 zeigen, dass die häufigsten Arten 1986 und 2002 bzw. 2009 nicht die gleichen waren. In Tabelle 3.27 sind die jeweils 11 häufigsten Flechten auf Grundlage ihrer Flächen- und Frequenzsummen aufgeführt. Da wichtige Arten farblich hinterlegt sind, erkennt man auf den ersten Blick, dass sich die Rangfolge häufiger Arten auf Grundlage von Fläche und Frequenz geändert hat. Relativ seltener geworden ist zum einen die zu Zeiten des Sauren Regens anthropogen geförderte Krustenflechte *Lecanora conizaeoides*. Aber auch die für die höher gelegenen Flächen typischen Blattflechten *Hypogymnia physodes*, *H. farinacea* und *Parmelia sulcata* sind von den oberen Rängen gewichen. Dies trifft nicht alle Arten hoher Standorte gleichermaßen, wie man am Beispiel von *Parmelia saxatilis* und *Platismatia glauca* erkennt. *P. saxatilis* erweist sich hier als eine jener Arten, deren Ränge gemäß Flächen- und Frequenzsumme stärker voneinander abweichen. Da ihre meist großen, zusammenfließenden Lager oft große Stammflächen überdecken, ist ein hoher Rang anhand der Flächensumme auch zu erwarten. Im Gegensatz dazu kommt *Melanelia glabrata* überwiegend mit vereinzelt Lagern vor und erscheint deshalb nur anhand ihrer Frequenzsumme in der Reihe der häufigsten elf Flechten, allerdings nur für bis 1996. Die Schriftflechte *Graphis scripta* ist seit 1996 die häufigste Art auf den Dauerbeobachtungsbäumen der 30 Waldflächen. Diese Entwicklung überrascht insofern nicht, als *G. scripta* eine für Buchen sehr typische Rindenflechte ist und diese Baumart 80 % (2009) der Dauerbeobachtungsbäume stellt.

Zu (3): Entwicklung der Bestände ausgewählter Arten

Deutlich seltener als die zuvor genannten Flechten sind die Arten mit Zugehörigkeit zu einer der Gefährdungskategorien der Roten Liste der Flechten Baden-Württembergs (WIRTH 2008). Diese Liste enthält auch Angaben zur Bestandssituation. In Abbildung 3.28 ist die Frequenzsumme der Flechten mit Zugehörigkeit zu einer der jeweils "höchsten" Kategorien

Abbildung 3.28: Anteil gefährdeter und seltener Flechten an der Frequenzsumme 1986 bis 2009.

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl Trägerbäume je Standort und Jahr ist die Frequenzsumme bezogen auf 100 Bäume (siehe dazu Legende zu Abbildung 3.27). Angaben zum Gefährdungsgrad und zur Bestandssituation in Baden-Württemberg nach Wirth (2008). Für Erklärungen zu den Kategorien und den zugehörigen Flechten siehe Tabelle 3.1.

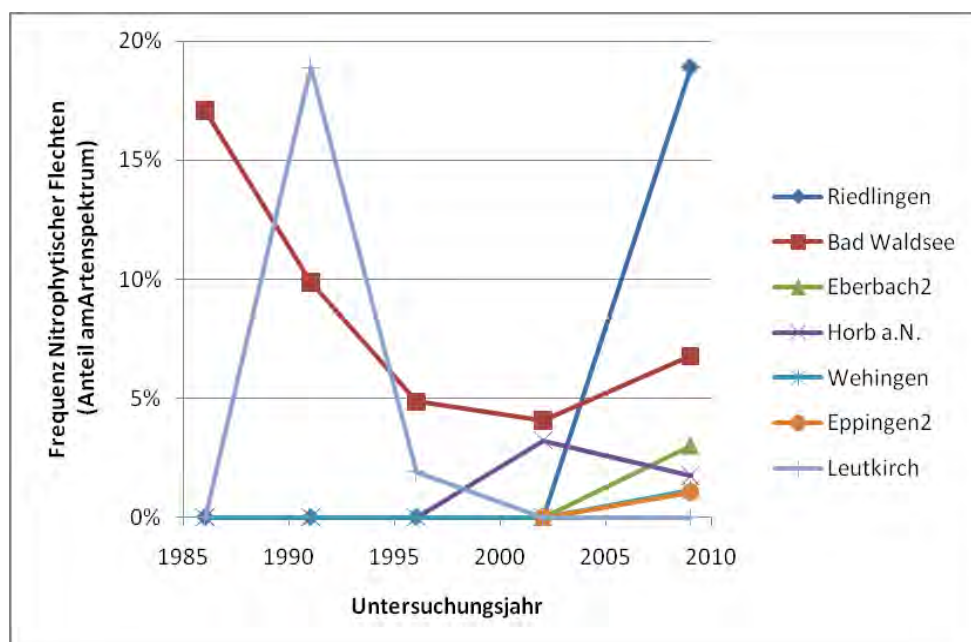


zum Gefährdungsgrad (0, "ausgestorben oder verschollen" bis 3, "gefährdet") und zur Seltenheit (selten bis mäßig häufig" bis "sehr selten") angegeben. Man erkennt, dass erstmals 2002 bzw. 2009 "sehr seltene" Flechten bzw. Arten der Gefährdungskategorie 0 bis 2 in der von den Zählrahmen überdeckten Stammfläche nachgewiesen wurden. Der Anteil seltener bzw. gefährdeter Arten aller Kategorien war mit 2,2 bzw. 1,1 % Anteil an der Gesamtfrequenz sehr gering.

Nitrophytische Arten sind im Gesamtprojekt selten. Das ist insofern nicht verwunderlich, als diese Arten lichtbedürftig sind und demzufolge bei ausreichendem Nährstoffangebot bevorzugt im Kronenbereich vorkommen (vergl. Kapitel. 3.8). Die zeitliche Veränderung des relativen Anteils nitrophytischer Flechten an der Frequenzsumme aller Arten ist in Abbildung 3.29 dargestellt. Am Standort Bad Waldsee ist der Nitrophytenanteil an der Frequenzsumme seit 1986 kontinuierlich von 18 auf 6 % gesunken und durch Vorkommen von *Phaeophyscia endophoenicea* und *Physcia tenella* bedingt. Am Standort Riedlingen wurden solche Arten 2009 erstmals an den Dauerbeobachtungsbäumen registriert und sogar mit 19 % Anteil an der insgesamt geringen Frequenzsumme (auf den Dauerbeobachtungsbäumen). Riedlingen gehört zwar mit Leutkirch, Maulbronn, Bad Waldsee und Künzelsau zu den Standorten, an denen 2009 Wirkungen eutrophierender Immissionen festgestellt wurden (siehe dazu Kapitel 3.8), dennoch ist dieser Wert in Relation zu den anderen als Ausreißer zu betrachten, da die lichtbedürftigen Nitrophyten (*Xanthoria parietina*, *P. tenella*) an den nach Windwürfen und Auflichtung verbliebenen Trägerbäumen das über die Luft zur Verfügung stehende Nährstoffangebot besser nutzen können als im geschlossenen Bestand. Insgesamt erlauben die an den Dauerbeobachtungsbäumen erhobenen Frequenzdaten wegen der geringen Trägerbaumzahl keine verlässlichen Aussagen über die Nährstoffbelastung einzelner Standorte oder deren zeitlichen Verlauf. Für die Standorte Leutkirch und Künzelsau stehen sie sogar im Widerspruch zu den Ergebnissen in Kapitel 3.8.

Abbildung 3.29: Nitrophytische Flechten an Dauerbeobachtungsbäumen 1986 bis 2002.

Dargestellt ist die zeitliche Veränderung des relativen Anteils nitrophytischer Flechten an der Frequenzsumme aller Arten für die Standorte, an denen 2009 Nitrophyten in der Zählgitterfläche nachgewiesen wurden. Zusätzlich ist die Entwicklung am Standort Leutkirch wiedergegeben.



Mit Blick auf die zeitliche Veränderung der Frequenzsumme und die Reaktionszahl-Mediane sind die Flechten mit abnehmender Frequenz Arten mit Anpassung an "ziemlich bis sehr saure" Standorte (pH 4,1 bis 4,8; z. B. *Lecanora conizaeoides*), während die häufiger werden-

den Arten an eher "mäßig saure" Standorte angepasst sind (WIRTH 1991, 2001; vergl. Tabelle 3.26). Ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der zeitlichen Veränderung der Frequenz und der Temperaturzahl ergibt sich hier nicht (vergl. Tabelle 3.26), obwohl (1) nur eine Flechte (*Flavoparmelia caperata*) von insgesamt acht Arten mit Temperaturzahl über 6 geringfügig seltener wird, (2) die Flechten mit steigender Frequenz im Vergleich zu jenen mit sinkender Frequenz einen höheren Temperaturzahl-Median aufweisen und (3) die zunehmenden Arten tendenziell eher "Wärmezeiger" sind. Der Anteil der Arten mit Temperaturzahl über 6 an der Gesamtartenzahl sowie an der Frequenzsumme steigt seit 1986 an (

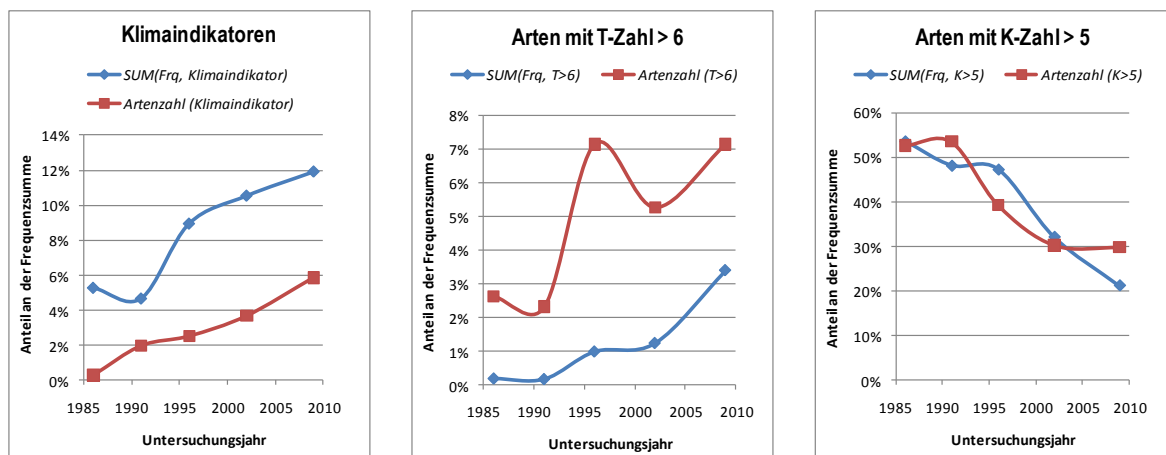
Abbildung 3.30). Ähnliches lässt sich bei den Klimaindikatoren beobachten. Das Artenspektrum zeigt sich also zunehmend wärmegetönter (vergl. Kapitel 3.9).

Tabelle 3.26: Zusammenhang zwischen der zeitlichen Veränderung der mittleren Frequenzsumme der Flechten im Projekt und ihren ökologischen Zeigerwerten.

Zeigerwerte nach (WIRTH 1991, 2001), T-Werte nach VDI-Richtlinien-Vorentwurf 3957 Bl. 20 (siehe Tabelle 3.21). mFRQ(t), Steigung der Ausgleichsgeraden der mittleren Frequenzwerte für jede Flechte über die Zeit (1985/86 bis 2009); aufgeführt und nach Rang sortiert sind die Flechten mit stärkster Ab- bzw. Zunahme der mittleren Frequenzsumme; Arten der Gattung *Lepraria* sind nicht berücksichtigt, weil vielfach ihre Artensprache geändert wurde. Spearman's Rangkorrelation, Vergleich der Variablen mFRQ(t) und [Zeigerwert]; Signifikanzen: (***) $p < 0,001$; (**) $p < 0,01$; n.s., nicht signifikant.

Zeigerwert	L	T	K	F	R	N
	Median					
mFRQ (t) < 0 (31 Arten), Flechten mit stärkster Frequenzabnahme	6,0	4,0	6,0	4,0	3,0	3,0
	<i>Lecanora conizaeoides</i> > <i>Hypogymnia physodes</i> > <i>Parmelia sulcata</i> > <i>Melanelia glabrata</i> > <i>Pseudevernia furfuracea</i> > <i>Hypogymnia farinacea</i> > <i>Usnea filipendula</i> > <i>Phycia tenella</i> > <i>Bryoria fuscescens</i>					
mFRQ (t) ≥ 0 (80 Arten), Flechten mit stärkster Frequenzzunahme	5,0	5,0	3,0	4,0	4,5	3,0
	<i>Porina aenea</i> > <i>Graphis scripta</i> > <i>Arthonia didyma</i> > <i>Lecidella elaeochroma</i> > <i>Porina leptalea</i> > <i>Buellia griseovirens</i> > <i>Lecidella subviridis</i> > <i>Lecanora argentata</i> > <i>Opegrapha viridis</i>					
	Korrelationen R_s (mFRQ (t), Zeigerwert)					
R_s	-0,497***	0,196 ^{n.s.}	-0,360**	0,084 ^{n.s.}	0,151 ^{n.s.}	0,101 ^{n.s.}
gültige Fälle	79	78	78	75	78	78

Abbildung 3.30: Anteil der Klimaindikatoren und der Flechten mit hohen Temperatur- und Kontinentalitätszahlen an der Frequenzsumme und der Artenzahl 1986 bis 2009.



Entgegengesetztes Verhalten zeigen Flechten mit Kontinentalitätszahlen über 5. Ihr Anteil an der Artenzahl und der Frequenzsumme sinkt. Wie Tabelle 3.26 zu entnehmen ist sind die

Kontinentalitätszahl (K) und die Lichtzahl (L) mit der zeitlichen Veränderung der Frequenz negativ korreliert, das heißt, die Flechten mit rückläufiger Frequenz sind vornehmlich Arten gut belichteter Standorte (L7 und L8; "Halblicht- bis Lichtpflanze"; WIRTH in ELLENBERG *et al.* 1991, 2001) oder solche, die in Europa weit bis in den borealen Nadelwaldgürtel vordringen und an starke Temperaturunterschiede adaptiert sind (K6 und K7). Bei letzteren handelt es sich um Arten mit Anpassung an kühle Standorte, die im Projekt überwiegend auf den höher gelegenen Flächen vorkommen und seltener geworden sind, nämlich *Hypogymnia physodes*, *Imshaugia aleurites*, *Parmelia sulcata*, *Melanelia glabratula*, *Pseudevernia furfuracea*, *Usnea filipendula* und *Bryoria fuscescens*.

Zu (4): Flechtenfrequenz und –flächensumme mit Blick auf die geografische Höhe

Ein Blick auf die Diagramme in Abbildung 3.31 zeigt, dass der Rückgang der vorgenannten Arten bereits Ende der 1980er Jahre begann und, zumindest für *H. physodes*, an den hoch gelegenen Standorten (Donaueschingen, Murgschifferschaft, Schönau und Wangen; vergl. Abbildung 3.32) um 10 bis zu 15 Jahre verzögert einsetzte. Entgegengesetzt die Entwicklung bei der inzwischen häufigsten Flechte im Projekt, *Graphis scripta*: Ihre mittlere Frequenz stieg bis 2002 an und beträgt seitdem 5 bis 6, das heißt, *Graphis scripta* wird heute im Mittel an jedem Baum in 35 % der Zählgitterquadrate angetroffen (für die rückwirkende Auswertung wurden vier viermaschige Gitter verwendet!). Die Zunahme der in tieferen Lagen inzwischen häufigen Krustenflechte *Porina aenea* und ihrer verwandten *P. leptalea* setzte Mitte der 1990er Jahre ein. Einem Frequenzverlust in höheren Lagen steht somit eine Zunahme in den niederen Lagen entgegen, was auch im Diagramm von Abbildung 3.34 zum Ausdruck kommt. Die Ausgleichsgeraden durch die Datenpunkte der jeweiligen Jahre (mittlere Frequenz sensitiver Arten über der Höhe) flachen ab, besonders stark nach 2002 wegen Rückgangs der mittleren Flechtenfrequenz in den Hochlagen. Hauptgrund hierfür sind die Rückgänge von *Hypogymnia physodes*, *Ochrolechia androgyna*, *Pseudevernia furfuracea*, *Usnea filipendula* und anderen für montane bis hochmontane, niederschlagsreiche Bergwälder typische Flechten an den Standorten Murgschifferschaft, Donaueschingen und insbesondere Schönau (Tabelle 3.28).

Zu (5): Rückschlüsse mit Blick auf Immissionswirkungen oder Klimaveränderungen

Für die Veränderungen der Flechtenvegetation seit 1986 kommen verschiedene Ursachen in Betracht. Zunächst die Abnahme der sauren Immissionen und Einträge düngender Luftschadstoffe, letztere auch über große Distanz (VAN HERK *et al.* 2003). Darüber hinaus ein verändertes Lichtangebot infolge Kronenschluss oder Windbruch, Verluste von namentlich Blatt- und Strauchflechten durch Wind- und Schneeschur an den Bäumen der Hochlagen, Flechtenparasiten, Konkurrenz mit Moosen und Algen und selbstverständlich auch die für Baden-Württemberg dokumentierte Veränderung des Klimas (STOCK 2005).

Der Rückgang der durch hohe Schwefeldioxidimmissionen in der Vergangenheit anthropogen geförderten Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* ist eine der in der Natur sichtbaren Wirkungen der Rauchgasentschwefelung und als sehr positives Zeichen zu bewerten.

Ein alarmierendes Signal jedoch ist der Rückgang von *Hypogymnia physodes* und einigen anderen für die hoch gelegenen Standorte charakteristischen Flechten. Der Rückzug von *Bryoria fuscescens* und von *H. physodes* könnte mit Nährstoffeinträgen zusammen hängen, denn beide Flechten sind Magerkeitszeiger (N2). In einer Zentral- und Nordeuropa betreffenden Studie haben VAN HERK *et al.* (2003) gezeigt, dass *Bryoria capillaris*, *B. fuscescens*, *Vulpicida pinastri*, *Imshaugia aleurites* und *Usnea hirta* durch über lange Distanzen eingebrachte Nährstoffe, vornehmlich Ammonium (NH_4^+) beeinträchtigt werden.

WIRTH (1995) bezeichnet *Hypogymnia physodes* in seiner Flora von Baden-Württemberg als "vermutlich häufigste Laubflechte im Gebiet" und "bei stärkerer Eutrophierung und auf subneutralen Unterlagen ± fehlend". Mit Ende des Sauren Regens war sie im Ruhrgebiet eine der

ersten an freistehenden Bäumen wieder vorkommenden Blattflechten (STAPPER *et al.* 2000), die aber rasch aus dem NRW-Tiefland verschwand, als der Einfluss düngender Immissionen auf die Flechtenvegetation insgesamt immer deutlicher erkennbar wurde. Dieser Rückzug von *H. physodes* in die Mittelgebirge von NRW und der auf den hochgelegenen Waldflächen des ÖkWi im Vergleich zu den tiefer gelegenen Flächen erheblich später einsetzende Rückgang von *H. physodes* (Abbildung 3.32) wirft die Frage auf, inwieweit zusätzlich zu düngenden Immissionen auch klimatische Veränderungen als Ursache in Betracht kommen. Zumindest *Parmelia sulcata*, deren Frequenz, namentlich in den Hochlagen, ebenfalls stark gesunken ist, dringt in NRW sogar bis in die Zentren der Großstädte entlang des Rheins vor (STAPPER *et al.* 2005). Verschiedene Blattflechten mit ursprünglich atlantischer Verbreitung gedeihen dort an freistehenden Bäumen, weil sie von den milder gewordenen Wintern profitieren (SCHMITZ *et al.* 2009, 2010). Da die auf den hoch gelegenen Waldflächen des ÖkWi seltener gewordenen Arten vielfach an kühle Standorte adaptierte Flechten sind, liegt die Vermutung nahe, dass ihr Rückgang zumindest teilweise durch die Klimaerwärmung im Untersuchungsgebiet um 0,6 K bis 1,5 K während der zurück liegenden Jahrzehnte (STOCK 2005) verursacht wird. Auch wenn solche Durchschnittswerte nur grobe Hinweise liefern, kann man doch unterstellen, dass z. B. die Wahrscheinlichkeit von nächtlichem Tauniederschlag im Zuge der Erwärmung abgenommen hat. Während Trockenphasen ist der nachts kondensierter Tau die einzige Feuchtigkeitsquelle für Flechten (SCHÖLLER 1991). Die Zunahme der als Klimaindikatoren eingestuften Arten *Buellia griseovirens* oder *Porina leptalea* steht in Einklang mit den gestiegenen Durchschnittstemperaturen. Ein weiterer Hinweis darauf, dass der Rückgang einiger Blatt- und Strauchflechten klimatisch bedingt sein könnte, lässt sich aus dem Biomasseverhältnis von Photobionten (=Algenpartner; Produzent und Konsument von Photosyntheseprodukten) zu Mycobionten (=Pilzpartner; ausschließlich Konsument) ableiten, das bei Rinden- bzw. Borkenbewohnende Krustenflechten hoch ist im Vergleich zu Blatt- und Strauchflechten. Infolge deutlich geringerer Mycobiontenbiomasse verzeichnen daher Krustenflechten proportional zur Respiration hohe Kohlenstoffgewinne durch Photosynthese und niedrigere Kohlenstoffverluste durch geringere Mycobionten-Respiration. Dieses konstruktionsbedingte produktions-ökologische Energiespargefüge erweist krustigen Flechten gegenüber Blatt- und Strauchflechten einen Konkurrenzvorteil unter photosynthetisch limitierten Bedingungen (LAKATOS 2002).

Zu den Beleuchtungsverhältnissen an den Waldstandorten liegen keine Daten vor. Zumindest für *Hypogymnia physodes* und *Parmelia sulcata* gibt es keine erkennbaren Anzeichen für eine Schädigung durch Parasiten. Eine Schädigung durch Algen, z. B. durch Überalgen der Lager, wurde zumindest an den Hochflächen nicht beobachtet. Am Standort Schönau/Hochschwarzwald wäre infolge Auflichtung des Standortes der Rückgang einiger Blattflechten durch Schneeschur erklärbar, aber nicht der Rückgang von z. B. *Ochrolechia androgyna*. Wenn man unterstellt, dass saure Immissionen an den meisten Standorten keine Bedeutung mehr haben, dann verbleiben als Hauptursachen für die beobachteten Veränderungen der Flechtenvegetation die Klimaveränderung und düngende Immissionen. Welcher dieser Faktoren stärker wirkt lässt sich augenblicklich nicht beantworten. Mit Hilfe der seit Jahren an jedem Waldstandort des ÖkWi erhobenen Klimadaten könnte man sich der Beantwortung dieser Frage nähern.

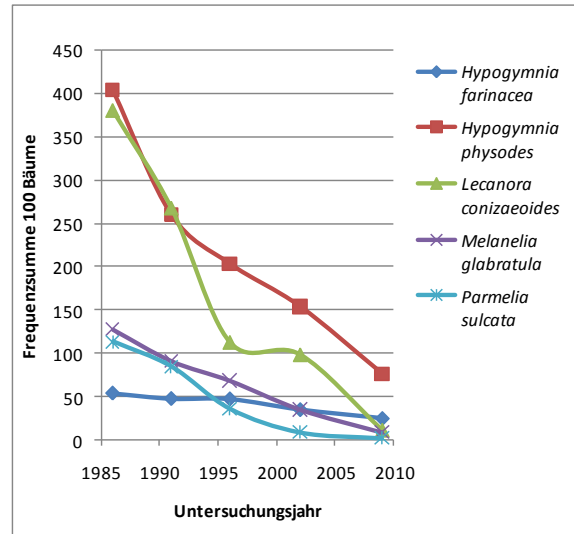
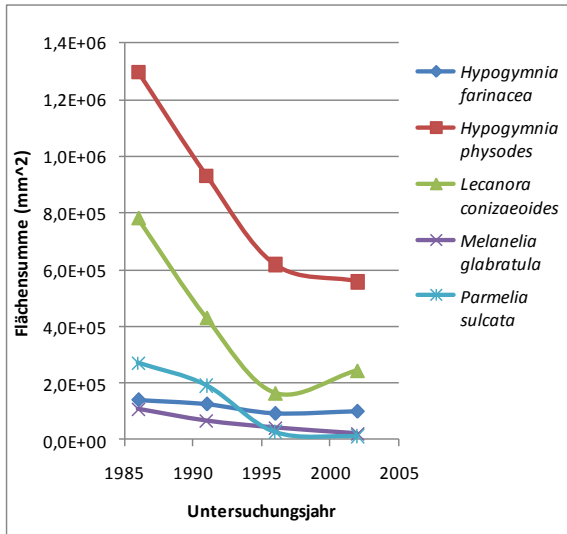
Tabelle 3.27: Rangordnung der Flechten auf Grundlage der Flächensumme und der Frequenzsumme 1986 bis 2009.

Datenbasis: Frequenzwerte aus Folienschärpen bzw., für 2009, dem von diesen Schärpen überdeckten Stammbereich. Flächen- und Frequenzwerte von jeweils identischen Bäumen. Die Flächendaten wurden von der LUBW bereitgestellt. Für Einzeldaten siehe Tabelle 3.30 und Tabelle 3.31.

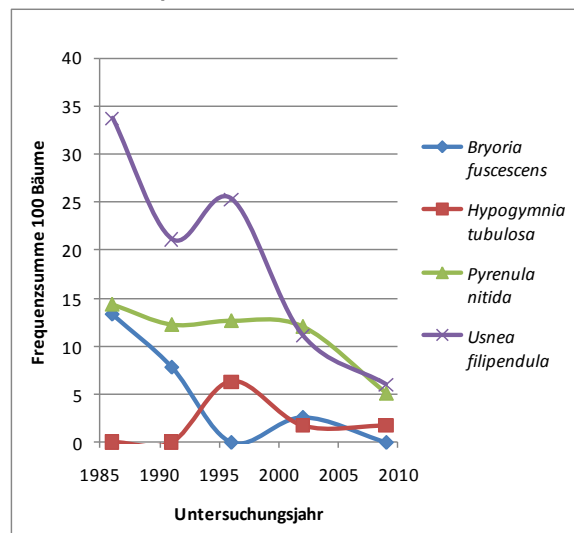
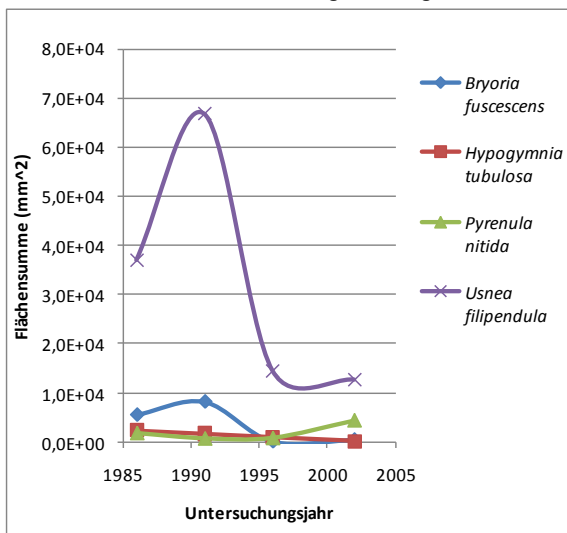
Rang (Fläche)	1986	1991	1996	2002	2009
1	Hypogymnia physodes	Hypogymnia physodes	<i>Graphis scripta</i>	<i>Graphis scripta</i>	Keine Flächendaten erhoben
2	Lecanora conizaeoides	<i>Graphis scripta</i>	Hypogymnia physodes	<i>Porina aenea</i>	
3	<i>Platismatia glauca</i>	<i>Lepraria incana</i>	<i>Platismatia glauca</i>	Hypogymnia physodes	
4	<i>Graphis scripta</i>	<i>Platismatia glauca</i>	<i>Pertusaria amara</i>	<i>Platismatia glauca</i>	
5	<i>Parmelia saxatilis</i>	Lecanora conizaeoides	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Parmelia saxatilis</i>	
6	<i>Pertusaria amara</i>	<i>Pertusaria amara</i>	<i>Parmelia saxatilis</i>	<i>Pertusaria amara</i>	
7	Parmelia sulcata	<i>Parmelia saxatilis</i>	<i>Lepraria incana</i>	Lecanora conizaeoides	
8	<i>Phlyctis argena</i>	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Phlyctis argena</i>	<i>Lecanora argentata</i>	
9	<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	Parmelia sulcata	<i>Lecidella elaeochroma</i>	<i>Phlyctis argena</i>	
10	Hypogymnia farinacea	<i>Phlyctis argena</i>	Lecanora conizaeoides	<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	
11	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Lepraria lobificans</i>	
Rang (Frequenz)	1986	1991	1996	2002	2009
1	Hypogymnia physodes	Lecanora conizaeoides	<i>Graphis scripta</i>	<i>Graphis scripta</i>	<i>Graphis scripta</i>
2	Lecanora conizaeoides	Hypogymnia physodes	<i>Lepraria incana</i>	<i>Phlyctis argena</i>	<i>Porina aenea</i>
3	<i>Phlyctis argena</i>	<i>Graphis scripta</i>	Hypogymnia physodes	Hypogymnia physodes	<i>Phlyctis argena</i>
4	<i>Graphis scripta</i>	<i>Lepraria incana</i>	<i>Phlyctis argena</i>	<i>Porina aenea</i>	<i>Lecanora argentata</i>
5	<i>Lepraria incana</i>	<i>Phlyctis argena</i>	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Platismatia glauca</i>	<i>Lepraria lobificans</i>
6	<i>Melanelia glabratula</i>	<i>Platismatia glauca</i>	<i>Platismatia glauca</i>	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Platismatia glauca</i>
7	Parmelia sulcata	<i>Lecanora argentata</i>	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Lepraria lobificans</i>	<i>Arthonia didyma</i>
8	<i>Platismatia glauca</i>	<i>Melanelia glabratula</i>	Lecanora conizaeoides	Lecanora conizaeoides	<i>Lecidella elaeochroma</i>
9	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Lecidella elaeochroma</i>	<i>Arthonia radiata</i>	Hypogymnia physodes
10	<i>Lecanora argentata</i>	Parmelia sulcata	<i>Pertusaria leioplaca</i>	<i>Lecidella elaeochroma</i>	<i>Arthonia radiata</i>
11	Hypogymnia farinacea	<i>Arthonia radiata</i>	<i>Melanelia glabratula</i>	<i>Parmelia saxatilis</i>	<i>Parmelia saxatilis</i>

Abbildung 3.31: Zeitliche Veränderung von Flächensumme und Frequenzsumme ausgewählter Flechten im gesamten Projekt.

Mäßig häufige bis häufige Flechten mit Flächen- und Frequenzabnahme



Weniger häufige Flechten mit Flächen- und Frequenzabnahme



Flechten mit zunehmender Flächen- und Frequenzabnahme

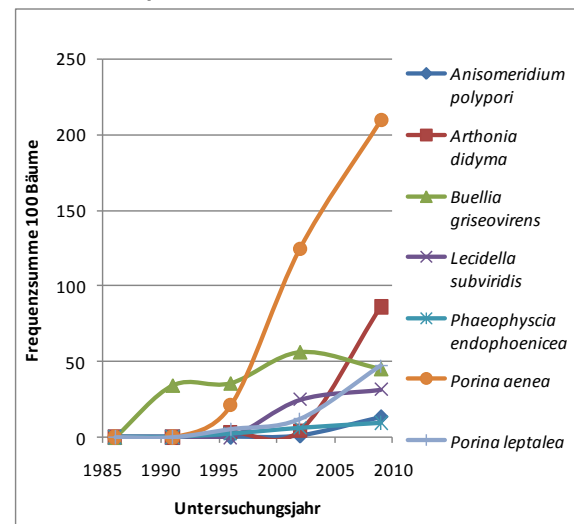
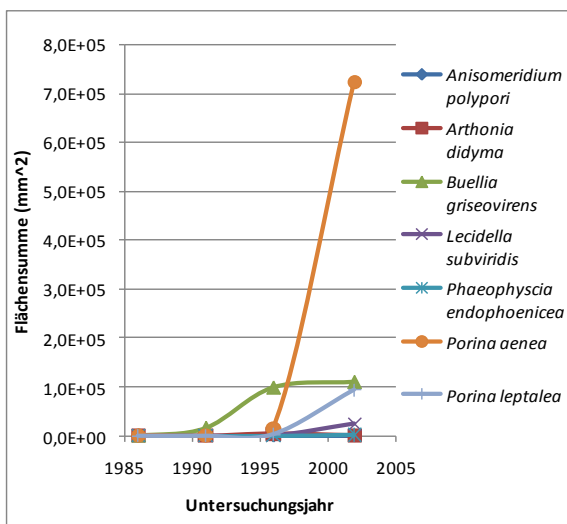


Tabelle 3.28: Standorte mit starker Veränderung der Flechtenfrequenz seit 2002.

Sortierungskriterium ist die Differenz der mittleren Frequenzsummen von 2009 und 2002 am jeweiligen Standort; Angabe der Flechten in der Reihenfolge ihres stärksten Beitrags zur Veränderung. Blaue Markierung: Standorte über 600 m Höhe. Flechten der Gattungen *Lepraria* und *Cladonia* wurden nicht berücksichtigt, da früher oft nicht mit Artansprache.

Nr.	Standort	Höhe (m)	DIFF(mFRQ) (2002-2009)	Flechten mit stärkster Frequenzänderung
Frequenzzunahme				
1020	Überlingen	480	13	<i>Graphis scripta</i> , <i>Arthonia didyma</i> , <i>Opegrapha viridis</i>
1030	Bad Waldsee	590	9	<i>Fellhanera viridisorediata</i> , <i>Arthonia didyma</i> , <i>Lecidella elaeochroma</i>
1292	Eppingen2	230	9	<i>Porina aenea</i> , <i>P. leptalea</i>
1100	Stockach	550	6	<i>Porina leptalea</i> , <i>Arthonia didyma</i> ; (<i>G. scripta</i> nimmt derweil ab)
1110	Wehingen	815	6	<i>Phlyctis argena</i> , <i>Buellia griseovirens</i>
Frequenzabnahme				
1040	Wangen	740	-6	<i>Hypogymnia physodes</i> , <i>H. farinacea</i>
1390	Hausach	640	-6	<i>Parmelia saxatilis</i> , <i>Lecidella scabra</i>
1370	Murgschifferschaft	900	-8	<i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>L. conizaeoides</i> , <i>H. physodes</i>
1071	Leutkirch	670	-8	<i>Arthonia radiata</i> , <i>Phlyctis argena</i>
1060	Riedlingen	620	-13	<i>Lecanora expallens</i> , <i>Pertusaria leioplaca</i> , <i>Melanelia glabratula</i>
1200	Bebenhausen	450	-14	<i>Buellia griseovirens</i> , <i>Lecanora pulicaris</i> , <i>Graphis scripta</i>
1170	Hechingen	530	-16	<i>Lecanora expallens</i> , <i>Phlyctis argena</i> , <i>Lecidella elaeochroma</i>
1400	Donaueschingen	1000	-19	<i>Chaenotheca chrysocephala</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Pseudevernia furfuracea</i>
1410	Schoenau	1260	-29	<i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Pertusaria amara</i> , <i>Ochrolechia androgyna</i> , <i>Hypogymnia physodes</i> , <i>Parmelia saxatilis</i> , <i>Platismatia glauca</i> , <i>Usnea filipendula</i>

Abbildung 3.32: Zeitliche Veränderung der mittleren Frequenz von *Hypogymnia physodes* und *Parmelia sulcata* an den Dauerbeobachtungsbäumen verschiedener Standorte.

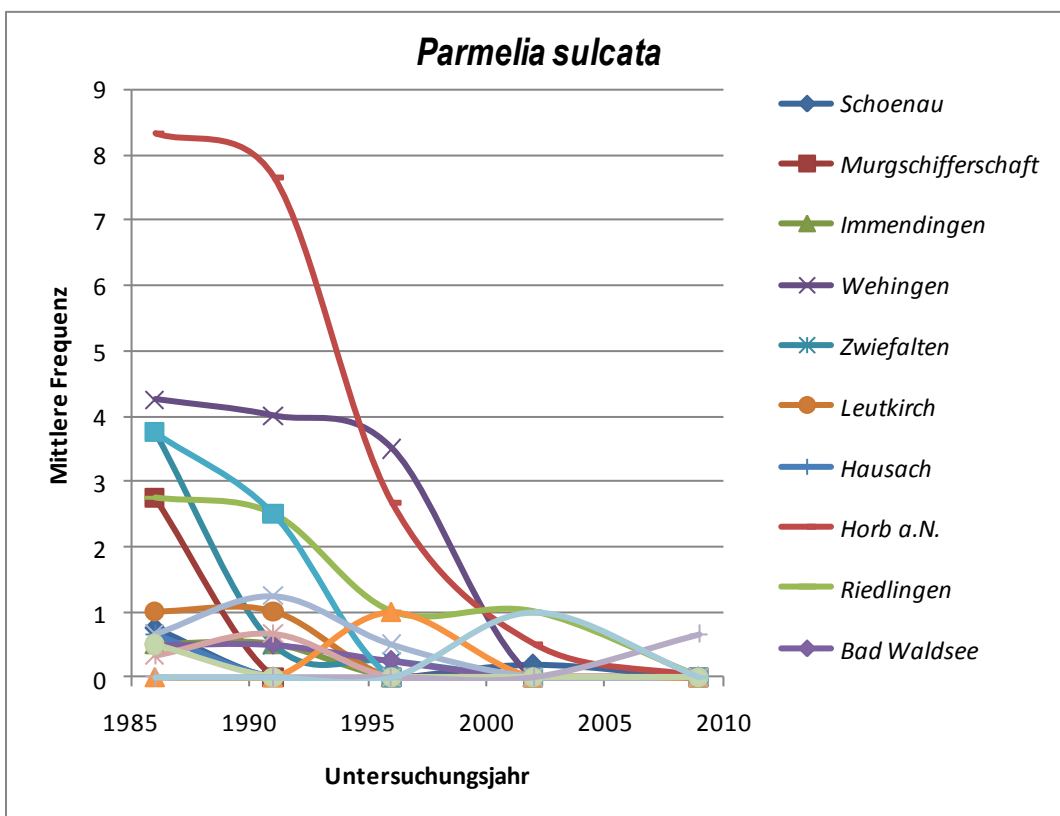
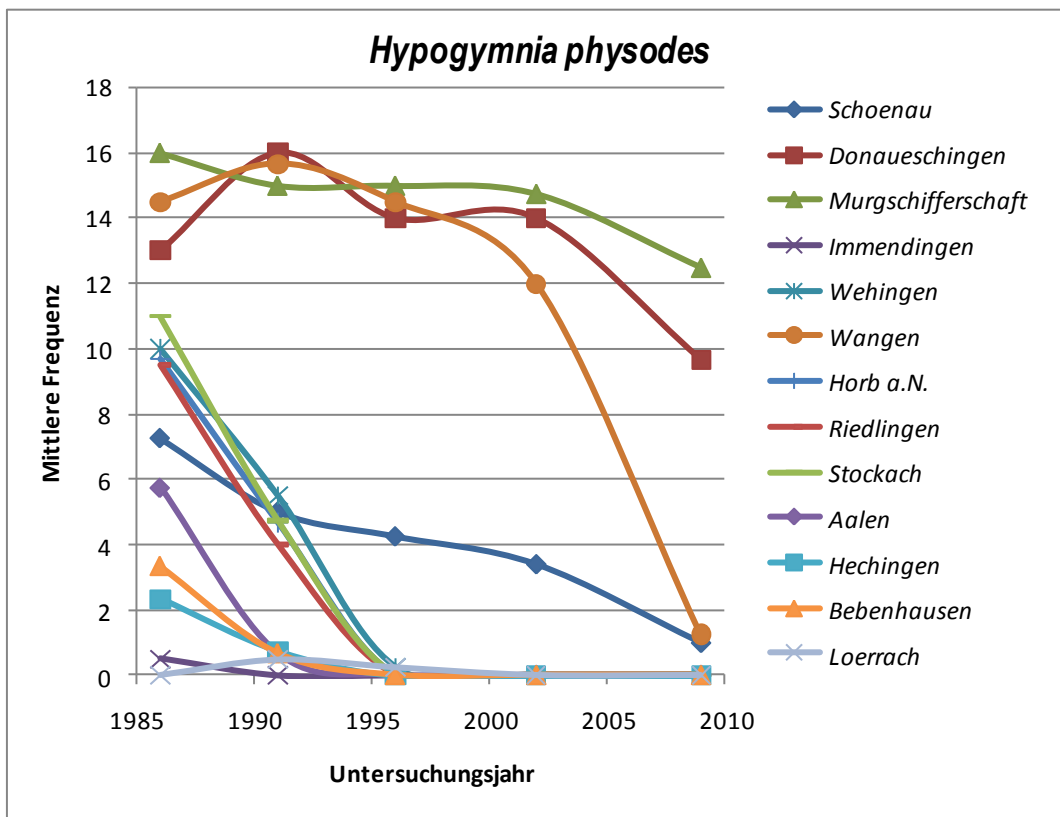


Abbildung 3.33: Zeitliche Veränderung der mittleren Frequenz von *Graphis scripta*, *Hypogymnia physodes*, *Lecanora conizaeoides*, *Melanelia glabratula*, *Parmelia sulcata* und *Porina aenea* an den Dauerbeobachtungsbäumen in Abhängigkeit von der geografischen Höhe der Standorte.

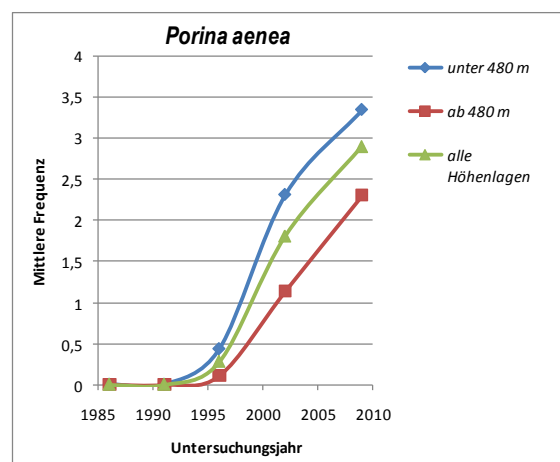
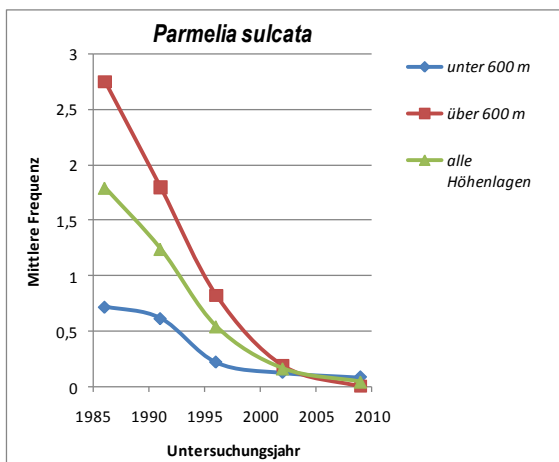
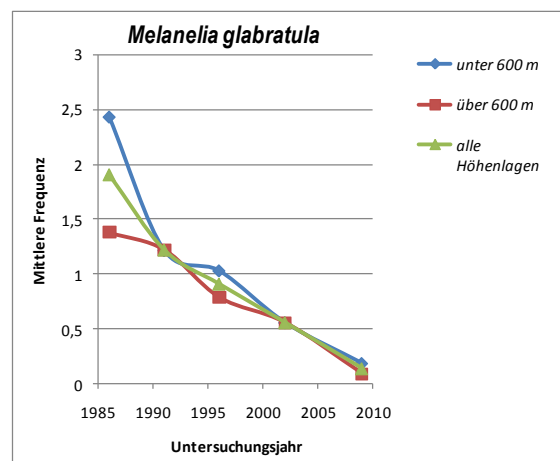
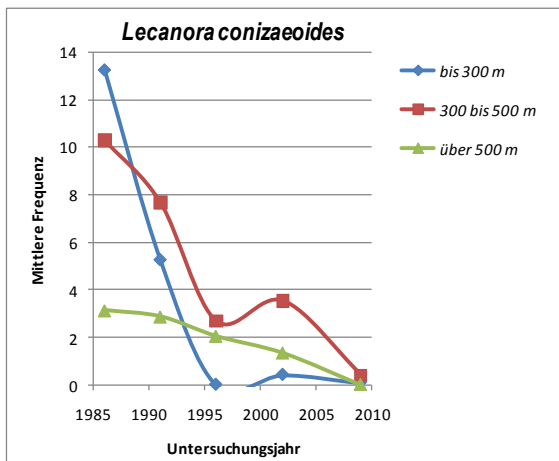
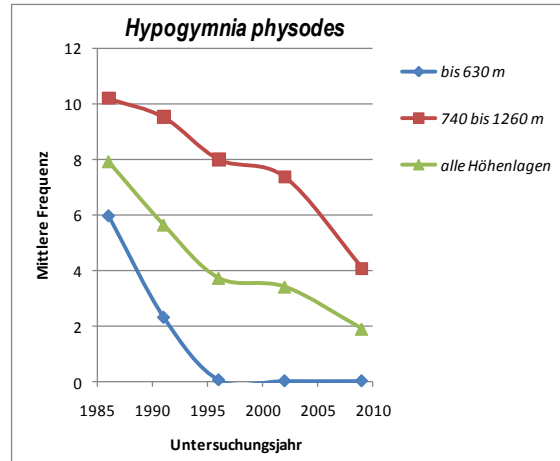
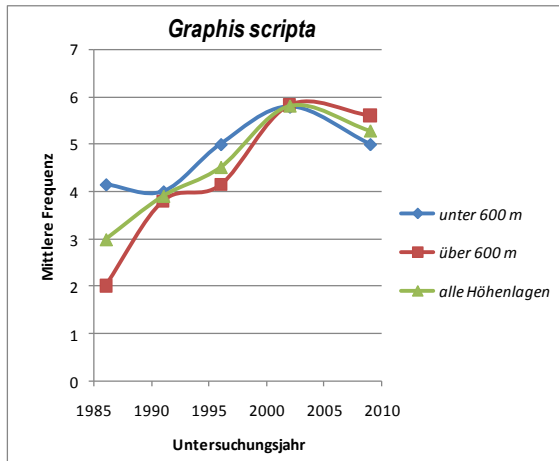


Abbildung 3.34: Zusammenhang zwischen mittlerer Frequenzsumme nicht-resistenter Flechten (WIRTH & OBERHOLLENZER 1991) und der geografischen Höhe 1986 bis 2009.

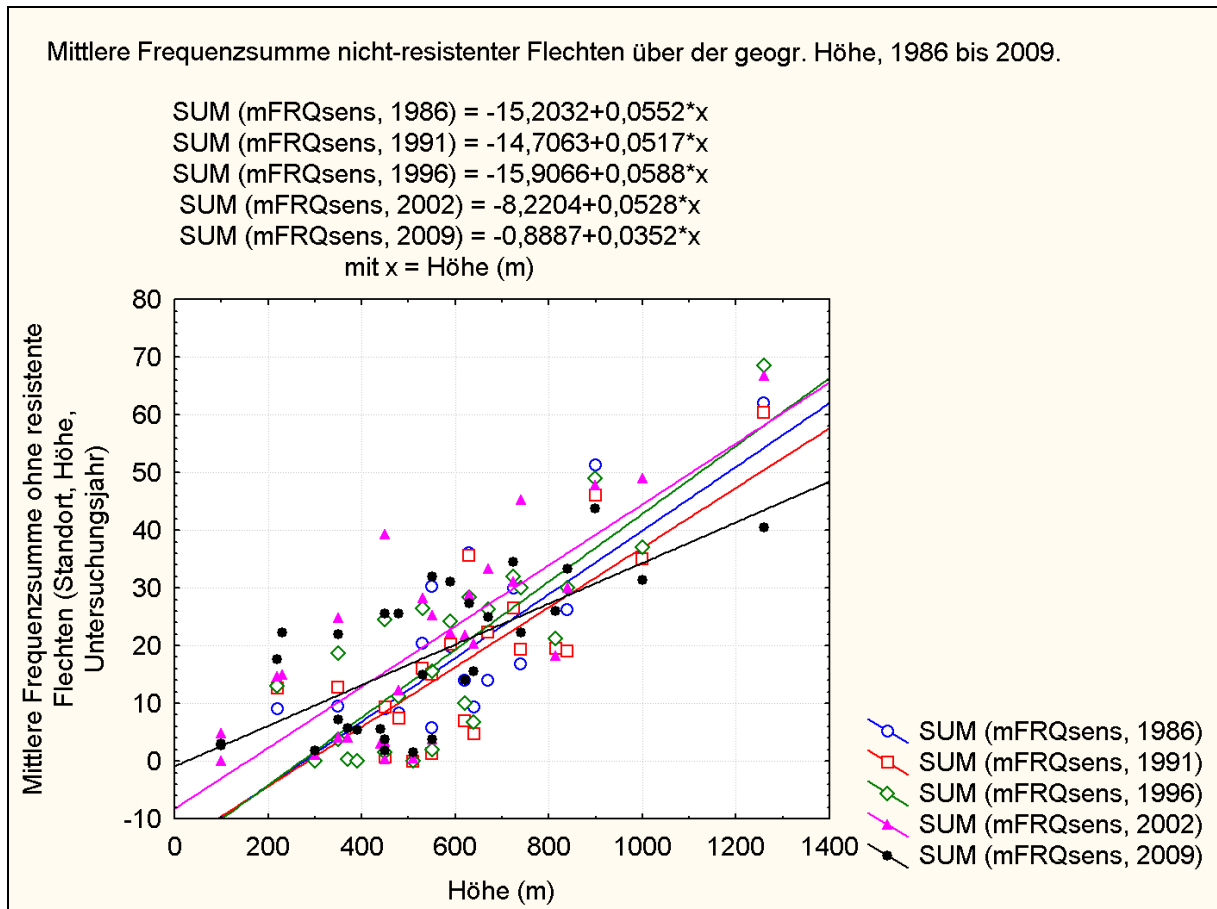


Tabelle 3.29: Anzahl und Art der untersuchten Dauerbeobachtungsbäume je Standort und Untersuchungsjahr.

Nr.	Standortname	1986	1991	1996	2002	2009	Baumart, Rangordnung
1020	Überlingen	4	3	4	4	6	<i>Fagus sylvatica</i>
1030	Bad Waldsee	4	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1040	Wangen	4	3	4	4	4	<i>Abies alba</i>
1060	Riedlingen	4	4	4	4	2	<i>Fagus sylvatica</i>
1071	Leutkirch	3	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1100	Stockach	4	4	4	4	3	<i>Fagus sylvatica</i>
1110	Wehingen	4	4	4	4	3	<i>Fagus sylvatica</i>
1111	Immendingen	4	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1140	Zwiefalten	4	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1170	Hechingen	3	4	4	4	4	<i>Quercus petraea</i> , <i>Fagus sylvatica</i>
1180	Kirchheim u.T.	4	4	4	4	5	<i>Fagus sylvatica</i>
1190	Aalen	4	3	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1200	Bebenhausen	3	3	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1211	Stuttgart2	-	-	-	4	4	<i>Fagus sylvatica</i> , <i>Quercus petraea</i>
1220	Welzheim	4	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1261	Horb a.N.	3	3	3	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1280	Maulbronn	3	3	3	3	3	<i>Fagus sylvatica</i>
1292	Eppingen2	-	-	-	4	4	<i>Carpinus betulus</i> , <i>Fagus sylvatica</i>
1300	Kuenzelsau	4	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1330	Tauberbischofsheim	4	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1341	Eberbach2	-	-	-	3	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1350	Weinheim (Schriesheim)	3	3	3	3	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1370	Murgschifferschaft	4	4	4	4	4	<i>Abies alba</i>
1390	Hausach	3	3	3	4	4	<i>Fagus sylvatica</i> , <i>Quercus petraea</i>
1400	Donaueschingen	4	2	4	4	3	<i>Abies alba</i>
1410	Schoenau	4	3	4	5	5	<i>Fagus sylvatica</i>
1421	Loerrach	4	4	4	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
1440	Freiburg	3	3	3	3	3	<i>Fagus sylvatica</i> , <i>Fraxinus excelsior</i>
1490	Karlsruhe (Auwald)	2	2	na	4	4	<i>Carpinus betulus</i> , <i>Acer pseudo-platanus</i> , <i>Fagus sylvatica</i>
1510	Schwetzingen	4	na	na	4	4	<i>Fagus sylvatica</i>
Anzahl untersuchter Bäume		98	90	95	117	117	

Tabelle 3.30: Frequenzsummen der Flechten 1996 - 2009.

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl Trägerbäume je Standort und Jahr wurde die Frequenzsumme zum besseren Vergleich der Daten auf 100 Bäume bezogen.

Untersuchungsjahr	1986	1991	1996	2002	2009
Artname	(Frequenzsumme bezogen auf 100 Bäumen)				
<i>Acrocordia gemmata</i>	0	0	0	0,9	1,7
<i>Anisomeridium polypori</i>	0	0	0	0,9	13,7
<i>Arthonia didyma</i>	0	0	3,2	4,3	86,3
<i>Arthonia leucopellea</i>	0	0	0	0	2,6
<i>Arthonia radiata</i>	46,9	53,3	50,5	92,3	63,2
<i>Arthonia ruana</i>	0	0	9,5	10,3	1,7
<i>Arthonia spadicea</i>	0	0	0	6	7,7
<i>Arthonia vinosa</i>	0	0	8,4	12	4,3
<i>Bacidia neosquamulosa</i>	0	0	0	0	4,3
<i>Bacidia rubella</i>	0	0	2,1	0	8,5
<i>Bacidina delicata</i>	0	0	0	0	2,6
<i>Biatora chrysantha</i>	0	0	10,5	0	0
<i>Biatora efflorescens</i>	0	0	0	4,3	1,7
<i>Bryoria fuscescens</i>	13,3	7,8	0	2,6	0
<i>Buellia griseovirens</i>	0	34,4	35,8	56,4	45,3
<i>Candelariella xanthostigma</i>	0	3,3	2,1	0	0
<i>Cetrelia olivetorum</i>	0	0	0	3,4	0
<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	8,2	1,1	0	26,5	7,7
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	0	0	0	0	4,3
<i>Cladonia chlorophaea</i>	0	0	0	6,8	6,8
<i>Cladonia coniocraea</i>	6,1	7,8	4,2	13,7	6,8
<i>Cladonia digitata</i>	0	1,1	1,1	0	0
<i>Cladonia polydactyla</i>	0	0	0	0	1,7
<i>Cladonia pyxidata s. str.</i>	6,1	0	1,1	0	0
<i>Cladonia sp.</i>	0	0	0	11,1	0
<i>Dimerella pineti</i>	0	0	8,4	0,9	6
<i>Evernia prunastri</i>	4,1	1,1	2,1	0	0
<i>Fellhanera viridisorediata</i>	0	0	0	0	21,4
<i>Flavoparmelia caperata</i>	4,1	3,3	6,3	0,9	0
<i>Graphis scripta</i>	128,6	192,2	261,1	316,2	278,6
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	0	0	0	1,7	0
<i>Hypogymnia farinacea</i>	54,1	47,8	47,4	35	24,8
<i>Hypogymnia physodes</i>	404,1	260	203,2	153,8	76,1
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	0	0	6,3	1,7	1,7
<i>Hypogymnia vittata</i>	0	0	0	0	6
<i>Imshaugia aleurites</i>	0	0	0	4,3	0,9
<i>Jamesiella anastomosans</i>	0	0	0	1,7	0,9
<i>Lecania naegelii</i>	0	0	0	0	0,9
<i>Lecanora albella</i>	0	0	0	0,9	2,6
<i>Lecanora argentata</i>	93,9	98,9	142,1	108,5	135
<i>Lecanora carpinea</i>	0	8,9	29,5	2,6	2,6
<i>Lecanora chlarotera</i>	11,2	0	28,4	17,1	3,4
<i>Lecanora compallens</i>	0	0	0	1,7	6
<i>Lecanora conizaeoides</i>	380,6	267,8	112,6	98,3	11,1
<i>Lecanora expallens</i>	0	2,2	27,4	63,2	11,1
<i>Lecanora hagenii</i>	3,1	0	0	0	0
<i>Lecanora intumescens</i>	16,3	8,9	18,9	14,5	7,7

Untersuchungsjahr	1986	1991	1996	2002	2009
Artname	(Frequenzsumme bezogen auf 100 Bäumen)				
<i>Lecanora pulicaris</i>	0	0	10,5	41	0,9
<i>Lecanora saligna</i>	4,1	0	0	0	0
<i>Lecanora symmicta</i>	6,1	0	0	0	0
<i>Lecidea nylanderii</i>	0	0	0	0	1,7
<i>Lecidella elaeochroma</i>	26,5	31,1	111,6	82,9	85,5
<i>Lecidella scabra</i>	0	0	0	6	0
<i>Lecidella subviridis</i>	0	0	0	24,8	31,6
<i>Lepraria incana</i>	127,6	138,9	242,1	70,9	42,7
<i>Lepraria jackii</i>	0	0	0	30,8	0
<i>Lepraria lobificans</i>	0	11,1	13,7	104,3	129,1
<i>Lepraria membranacea</i>	0	0	0	0	0,9
<i>Lepraria rigidula</i>	0	0	0	10,3	37,6
<i>Lepraria spec.</i>	0	0	0	44,4	0
<i>Loxospora elatina</i>	0	0	25,3	28,2	22,2
<i>Melanelia glabratula</i>	127,6	91,1	68,4	35	8,5
<i>Micarea cinerea</i>	0	0	0	0	3,4
<i>Micarea micrococca</i>	0	0	0	0	35
<i>Micarea prasina</i>	0	0	1,1	1,7	5,1
<i>Micarea sp.</i>	0	0	0	0,9	0
<i>Mycobilimbia epixanthoides</i>	0	0	0	2,6	3,4
<i>Mycoblastus fucatus</i>	11,2	16,7	49,5	27,4	26,5
<i>Mycoblastus sanguinarius</i>	0	0	2,1	0	0,9
<i>Normandina pulchella</i>	0	0	0	0,9	0,9
<i>Ochrolechia androgyna</i>	0	1,1	12,6	14,5	3,4
<i>Ochrolechia microstictoides</i>	0	0	0	7,7	2,6
<i>Opegrapha atra</i>	10,2	14,4	20	14,5	13,7
<i>Opegrapha varia</i>	0	1,1	0	3,4	3,4
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	0	0	2,1	0	5,1
<i>Opegrapha viridis</i>	0	0	0	18,8	32,5
<i>Parmelia saxatilis</i>	49	30	66,3	80,3	56,4
<i>Parmelia sulcata</i>	113,3	84,4	35,8	8,5	1,7
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	1	7,8	6,3	9,4	4,3
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	4,1	5,6	0	0	0
<i>Pertusaria albescens</i>	0	1,1	0	6,8	0,9
<i>Pertusaria amara</i>	44,9	41,1	40	51,3	34,2
<i>Pertusaria coccodes</i>	0	0	0	6	2,6
<i>Pertusaria coronata</i>	0	0	5,3	3,4	0
<i>Pertusaria flavida</i>	6,1	8,9	0	0	0
<i>Pertusaria hemisphaerica</i>	0	0	1,1	1,7	0
<i>Pertusaria hymenea</i>	0	0	0	0	0,9
<i>Pertusaria leioplaca</i>	27,6	43,3	92,6	76,9	41
<i>Pertusaria pertusa</i>	0	0	1,1	0	0
<i>Pertusaria pustulata</i>	0	1,1	1,1	1,7	4,3
<i>Pertusaria sp.</i>	0	5,6	1,1	0,9	0
<i>Phaeophyscia endophoenicea</i>	0	0	2,1	6	9,4
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	0	2,6	0
<i>Phlyctis argena</i>	151	130	191,6	171,8	140,2
<i>Physcia tenella</i>	15,3	26,7	7,4	1,7	7,7
<i>Physciella chloantha</i>	0	0	0	0	2,6
<i>Platismatia glauca</i>	107,1	102,2	125,3	114,5	94,9
<i>Porina aenea</i>	0	0	21,1	124,8	209,4
<i>Porina leptalea</i>	0	0	5,3	12	47

Untersuchungsjahr	1986	1991	1996	2002	2009
Artname	(Frequenzsumme bezogen auf 100 Bäumen)				
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	95,9	86,7	123,2	75,2	17,1
<i>Psilolechia clavulifera</i>	0	0	0	0	1,7
<i>Punctelia subrudecta</i>	2	0	0	0	0
<i>Pyrenula nitida</i>	14,3	12,2	12,6	12	5,1
<i>Pyrrhospora quernea</i>	0	0	0	0	12,8
<i>Ramalina farinacea</i>	3,1	2,2	1,1	3,4	2,6
<i>Ropalospora viridis</i>	1	0	0	0	0
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	0	0	0	0	20,5
<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>	0	2,2	0	0	0
<i>Usnea filipendula</i>	33,7	21,1	25,3	11,1	6
<i>Usnea subfloridana</i>	0	0	0	0,9	1,7
<i>Xanthoria parietina</i>	0	0	0	0	0,9

Tabelle 3.31: Flächeninhalte der Flechten an Dauerbeobachtungsbäumen 1986 - 2002.

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl Trägerbäume je Standort und Jahr ist die Flächen-
summe bezogen auf 100 Bäume. Datengrundlage: Ergebnisse der Foliendigitalisierung durch
CEZANNE & HODVINA (2006) und DOLNIK (2004), die von der LUBW als EXCEL-Tabellen
bereitgestellt wurden.

Untersuchungsjahr	1986	1991	1996	2002
Artname	Flächensumme bezogen auf 100 Bäumen (mm²)			
<i>Acrocordia gemmata</i>	0	0	0	1301
<i>Anisomeridium polypori</i>	0	0	0	252
<i>Arthonia didyma</i>	0	0	3546	899
<i>Arthonia radiata</i>	55445	37097	52013	56911
<i>Arthonia ruana</i>	0	30	0	2741
<i>Arthonia spadicea</i>	0	0	0	4646
<i>Arthonia vinosa</i>	0	0	0	22211
<i>Arthothelium ruanum</i>	0	0	3277	0
<i>Bacidia rubella</i>	0	0	1747	0
<i>Biatora chrysantha</i>	0	0	4134	0
<i>Biatora efflorescens</i>	0	0	0	6109
<i>Bryoria capillaris</i>	0	0	0	45
<i>Bryoria fuscescens</i>	5474	8150	44	391
<i>Buellia griseovirens</i>	0	15708	99300	110878
<i>Calicium parvum</i>	0	0	0	1270
<i>Candelariella reflexa</i>	0	0	16	0
<i>Candelariella xanthostigma</i>	0	363	7460	0
<i>Cetrelia olivetorum</i>	0	0	0	3813
<i>Chaenotheca chrysocephala</i>	179377	82	0	192311
<i>Chaenotheca ferruginea</i>	0	0	0	0
<i>Cladonia chlorophaea</i>	0	583	0	6493
<i>Cladonia coniocraea</i>	10284	2142	1917	7232
<i>Cladonia digitata</i>	0	622	116	0
<i>Cladonia pyxidata</i>	3666	0	800	0
<i>Cladonia sp.</i>	0	0	0	7191
<i>Dimerella pineti</i>	0	0	521	1809
<i>Evernia prunastri</i>	643	185	89	88
<i>Flavoparmelia caperata</i>	7709	7126	3309	749
<i>Graphis scripta</i>	342977	677295	865954	1200767

Untersuchungsjahr	1986	1991	1996	2002
Artname	Flächensumme bezogen auf 100 Bäumen (mm²)			
<i>Hypocenomyce scalaris</i>	0	0	0	377
<i>Hypogymnia farinacea</i>	142065	127322	94511	101917
<i>Hypogymnia physodes</i>	1299473	932775	618042	558123
<i>Hypogymnia tubulosa</i>	2384	1671	938	121
<i>Imshaugia aleurites</i>	0	0	1508	2162
<i>Jamesiella anastomosans</i>	0	0	0	1941
<i>Lecanora albella</i>	71	0	0	2960
<i>Lecanora argentata</i>	134080	206400	273398	214929
<i>Lecanora carpinea</i>	0	0	29902	0
<i>Lecanora chlarotera</i>	25464	5632	31666	40202
<i>Lecanora compallens</i>	0	0	0	209
<i>Lecanora conizaeoides</i>	783470	431151	164637	244294
<i>Lecanora expallens</i>	0	4666	5925	37716
<i>Lecanora hagenii</i>	608	0	0	0
<i>Lecanora intumescens</i>	66204	61950	73612	60498
<i>Lecanora pulicaris</i>	0	0	42671	76315
<i>Lecanora saligna</i>	653	0	0	0
<i>Lecanora symmicta</i>	3849	0	0	0
<i>Lecidella elaeochroma</i>	23625	36938	167927	143567
<i>Lecidella scabra</i>	0	0	0	11970
<i>Lecidella subviridis</i>	0	0	0	24028
<i>Lepraria incana</i>	131844	556108	265802	70337
<i>Lepraria jackii</i>	0	0	0	21642
<i>Lepraria lobificans</i>	0	3563	1117	168958
<i>Lepraria membranacea</i>	0	0	0	15
<i>Lepraria rigidula</i>	0	0	5379	10940
<i>Lepraria sp.</i>	0	0	9937	105105
<i>Lobaria pulmonaria</i>	1125	391	166	0
<i>Loxospora elatina</i>	0	0	0	62645
<i>Melanelia glabratula</i>	108170	66524	42041	21450
<i>Micarea prasina</i>	0	0	623	4305
<i>Micarea sp.</i>	0	0	0	363
<i>Mycobilimbia epixanthoides</i>	0	0	0	349
<i>Mycoblastus fucatus</i>	7506	9777	31979	29100
<i>Mycoblastus sanguinarius</i>	0	0	392	534
<i>Normandina pulchella</i>	0	0	12	174
<i>Ochrolechia androgyna</i>	0	2161	52838	47981
<i>Ochrolechia microstictoides</i>	0	0	7771	9334
<i>Opegrapha atra</i>	11499	11880	6100	5959
<i>Opegrapha rufescens</i>	0	0	0	12
<i>Opegrapha varia</i>	0	3551	0	1289
<i>Opegrapha vermicellifera</i>	0	0	104	165
<i>Opegrapha viridis</i>	0	471	242	62298
<i>Parmelia saxatilis</i>	319734	214803	271025	506761
<i>Parmelia sulcata</i>	270247	191388	27878	12460
<i>Parmelina tiliacea</i>	0	0	0	0
<i>Parmeliopsis ambigua</i>	270	375	776	1673
<i>Parmeliopsis hyperopta</i>	2488	8714	0	0
<i>Pertusaria albescens</i>	0	9460	0	25189
<i>Pertusaria amara</i>	312355	280432	283312	356900
<i>Pertusaria coccodes</i>	0	0	0	7521
<i>Pertusaria coronata</i>	0	0	5342	5554

Untersuchungsjahr	1986	1991	1996	2002
Artname	Flächensumme bezogen auf 100 Bäumen (mm²)			
<i>Pertusaria flavida</i>	5662	39744	0	0
<i>Pertusaria hemisphaerica</i>	0	0	328	332
<i>Pertusaria leioplaca</i>	4280	6622	100823	139801
<i>Pertusaria pertusa</i>	0	0	3975	3665
<i>Pertusaria pustulata</i>	0	0	0	3925
<i>Pertusaria sp.</i>	0	0	0	1291
<i>Pertusaria spec.</i>	0	5171	10905	0
<i>Phaeophyscia endophoenicea</i>	0	0	227	2273
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	0	0	62	886
<i>Phlyctis argena</i>	229244	182664	227865	212924
<i>Physcia adscendens</i>	780	0	0	0
<i>Physcia tenella</i>	0	10142	734	568
<i>Platismatia glauca</i>	417339	516480	553008	545514
<i>Porina aenea</i>	0	0	15118	723633
<i>Porina leptalea</i>	0	0	3168	93291
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	133617	181553	145024	73515
<i>Punctelia subrudecta</i>	628	0	0	11
<i>Pyrenula nitida</i>	1683	583	676	4268
<i>Pyrenula nitidella</i>	47869	43211	27845	28998
<i>Ramalina farinacea</i>	2382	925	368	816
<i>Ropalospora viridis</i>	67	417	528	0
<i>Scoliciosporum chlorococcum</i>	0	0	0	0
<i>Tuckermanopsis chlorophylla</i>	0	923	0	0
<i>Usnea filipendula</i>	37022	66793	14476	12643
<i>Usnea subfloridana</i>	0	0	0	146
<i>Xanthoria polycarpa</i>	0	0	7	0

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Zweck dieser Untersuchung war (1) die neuerliche Abschätzung der Immissionsbelastung von 30 Walddauerbeobachtungsflächen des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg (ÖkWi) auf Grundlage der Artenvielfalt epiphytischer Flechten, (2) die erstmalige Anwendung der im Rahmen des europäischen Level II-Programmes entwickelten Methode (EU-ForestBIOTA-Verfahren oder "EU-Methode") zur standardisierten Aufnahme epiphytischer Flechten mit Zählrahmen anstatt mit Transparentfolien und (3) ein Vergleich der Ergebnisse der bisher angewendeten Methoden zum Nachweis der Wirkungen saurer oder eutrophierender Immissionen und eventueller Auswirkungen des Klimawandels.

Das Flechtenartenspektrum ist reichhaltiger geworden. Die Gesamtzahl der in den Pufferzonen nachgewiesenen Flechtenarten ist von 81 Arten in der Erstuntersuchung 1985/86 kontinuierlich über 88, 132 Arten und 138 Arten (unter Einschluss der Nachweise auf Gattungsniveau) in den Untersuchungsjahren 1991, 1996 und 2002 auf inzwischen 171 Arten angestiegen. Gegenüber 2002 wurden 18 Standorte auf Grundlage der um luftschadstoffresistente Flechten korrigierten Artenzahl um eine Stufe besser bonitiert, d. h. die Wirkung von Immissionen ist dort gesunken. Keine Waldfläche wurde gegenüber der Voruntersuchung als höher belastet eingestuft. Die Zahl der als resistent eingestuften Flechten wurde in einem zweiten Schritt erweitert, indem Arten hinzugenommen wurden, die gegenüber Nährstoffeintrag tolerant sind und so den aktuellen Immissionsbedingungen angepasst. Die Flächen mit der höchsten bereinigten Artenzahl und Bewertung "1a" sind demnach 1390 Hausach (49 Flechten), 1300 Künzelsau (42), 1060 Riedlingen (40) und 1410 Schönau (39). Schlusslicht bilden 1350 Weinheim, 1490 Karlsruhe, 1211 Stuttgart (jeweils 9 Flechten) und 1341 Eberbach (12) mit Bewertung "3" entsprechend alter Bonitätsstufe III. Auch wenn dieses Bewertungsverfahren inzwischen mehrfach mit plausiblen Ergebnissen eingesetzt wurde, hat es doch den Nachteil, klimatisch unterschiedliche Waldflächen nach den gleichen Kriterien zu bewerten. Dieser Nachteil ist aber hinnehmbar, solange nur das qualitative Vorkommen der Arten zur Bonitierung herangezogen wird. Eine Bonitierung anhand der Flechtenart mit dem niedrigsten Toxitoleranzwert ("Toxitoleranzstufe") wird als nicht zielführend eingeschätzt, da sie auf wenigen Zufallsfunden basiert, und weil die Toxitoleranzwerte nicht mehr den aktuellen Immissionsbedingungen entsprechen. Eine sinnvolle Bewertungsalternative bietet jedoch die Anzahl der an historische Waldstandorte gebundenen Flechten. Damit legt man zwar grundsätzlich den Schwerpunkt auf die historische Kontinuität oder die (langfristige) "Naturnähe" des Waldstandortes, andererseits ist aber anzunehmen, dass viele der 2009 nachgewiesenen 30 Altwaldarten z.B. in Borkenrissen überdauert haben und so praktisch unauffindbar blieben, bis sie sich aufgrund besserer Umweltbedingungen wieder ausbreiten konnten. Die am "besten" Standorte mit den meisten Altwaldarten sind 1300 Künzelsau, 1060 Riedlingen und 1410 Schönau.

Weder das zeitaufwändige Flächenverfahren mit digitalisierten Flechtenumrisszeichnungen und wenigen "Flechtenbäumen" noch die EU-Methode mit Zählgittern zielen auf eine vollständige Erfassung des Artenspektrums. Im Fokus steht vielmehr bei beiden die Quantifizierung von Wirkungen auf die Flechtenvegetation. Mit der Umstellung auf die EU-Methode steigt die Zahl untersuchter Bäume und Baumarten, und damit auch die Wahrscheinlichkeit, das Flechtenartenspektrum repräsentativer und für quantitative Auswertungen vollständiger zu erfassen. Und tatsächlich wurde 2009 mit diesem Verfahren das Artenspektrum der Waldflächen um 50 % effizienter erfasst als zuvor mit dem Folienverfahren! Auch relativ seltene

Flechten wurden in den Zährämenflächen angetroffen und können für zukünftige Vergleiche herangezogen werden.

Mit der EU-Methode eröffnen sich folglich neue Möglichkeiten. Ein simples Bewertungsschema wie "die mittlere Frequenzsumme aller Flechten als Maß für die Belastung" in Analogie zu "Luftgütwerten" wird aber nicht vorgeschlagen, da die mittlere Flechtenfrequenzsumme eines Standortes erheblich von der Humidität bestimmt wird, die näherungsweise proportional zur geografischen Höhe ansteigt. Stattdessen bietet sich die Abweichung der gemessenen von der laut geografischer Höhenstufe zu erwartenden mittleren Flechtenfrequenz als Kriterium zur Quantifizierung der "Standortgunst" für Flechten an. Nach diesem Kriterium entsprechen günstige Standorte überwiegend jenen, die auch anhand des Vorkommens von Zeigerarten historisch alter Waldstandorte oder hoher bereinigter Artenzahlen als gering belastet eingestuft wurden.

Wirkungen saurer Immissionen sind, im Gegensatz zu eutrophierenden Immissionen, an den 30 baden-württembergischen Waldstandorten mit Flechten als Indikatororganismen heute nicht mehr nachweisbar. Die Wirkung eutrophierender Immissionen auf die Flechtenvegetation und damit die Belastung der Standorte durch düngende, luftgetragene Stickstoffverbindungen wurde anhand des prozentualen Anteils nitrophytischer Arten an der Flechtenfrequenz und anhand des Anteils nitrophytischer Arten am Flechtenartenspektrum bestimmt. Nach diesen beiden Kriterien erweisen sich die Standorte Leutkirch, Riedlingen und Maulbronn deutlich durch Wirkungen eutrophierender Immissionen gekennzeichnet, und auch an weiteren Standorten ist aufgrund von Vorkommen eutrophierungstoleranter Flechten an den Baumstämmen von einem erhöhten Nährstoffangebot über die Luft auszugehen, wodurch sich die Überlebensbedingungen für an magere Standorte adaptierte Arten verschlechtern und zumeist weit verbreitete Arten begünstigt werden.

Offen bleibt die Frage, ob das Vorkommen von Klimaindikatoren (das sind die häufig als "Wärme liebende Flechten" bezeichneten Arten mit bislang südlicher und/oder atlantischer Verbreitung) am Stamm von Waldbäumen als sicherer Hinweis auf Klimaveränderungen oder -fluktuationen verwendet werden kann. Zudem zeigen eutrophierende Immissionen und milderes Klima eine hinsichtlich der Richtung ähnliche Wirkung auf Flechten im Freiland. Eine gemeinsame Auswertung von Flechten- und Klimadaten, die für Waldstandorte des ÖkWi vorliegen, steht als nächster Schritt an. Die Anzahl der Klimaindikatoren hat sich seit 1986 von sieben auf inzwischen 22 Flechtenarten verdreifacht! Einige dieser Flechten sind seit jeher ein Bestandteil des Artenspektrums von Wäldern der regenreicheren Mittelgebirgslagen und zeigen im Projekt eine Bindung an die für Flechten günstigen Standorte, wo die Flechtenfrequenzen höher sind, als aufgrund der geografischen Höhe zu erwarten ist.

Obwohl die bei der nachträglichen Frequenzbestimmung berücksichtigte Oberfläche der Flechtenbäume erheblich kleiner ist als beim "Folienverfahren", führen beide Methoden zu sehr ähnlichen Ergebnissen. So ergeben sich für die Jahre 1986 bis 2002 weitgehend ähnliche Rangordnungen der jeweils häufigsten Flechten. Schon die Veränderung der häufigsten Arten offenbart den Einbruch der Säurezeiger und der an kühle Standorte angepassten Arten. Zeitliche Veränderungen, wie der Rückgang von *Bryoria fuscescens*, *H. physodes*, *Hypogymnia farinacea*, *L. conizaoides*, *Melanelia glabratula*, *Parmelia saxatilis*, *P. sulcata*, *Platismatia glauca*, *Pseudevernia furfuracea* und *Usnea filipendula* werden anhand der nachträglichen Frequenzauswertung sichtbar. Gründe für diese Veränderungen sind zum einen die drastische Reduktion der sauren Immissionen, aber auch düngende Immissionen, etwa über lange Distanzen verfrachtetes Ammonium, und sicherlich auch die steigende Durchschnittstemperatur im Untersuchungsgebiet. Wie stark der Klimawandel an der Veränderung der Flechtenvegetation beteiligt ist, kann derzeit noch nicht beantwortet werden.

5. Literaturverzeichnis

- APTRoot, A., 2005: Lichens and global warming. - Brit. Lich. Soc. Bulletin 96: 14-16.
- APTRoot, A., 2009: Lichens as an Indicator of Climate and Global Change. S. 401-408 *In*: Letcher, T.M. [ed.]: Climate Change: Observed impacts on Planet Earth. Oxford: Elsevier. 444 S.
- ASTA, J., ERHARDT, W., FERRETTI, M., FORNASIER, F., KIRSCHBAUM, U., NIMIS, P.L., PURVIS, O.W., PIRINTSOS, S., SCHEIDEGGER, C., VAN HALUWYN, C., WIRTH, V. 2002: Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. - *In*: Nimis, P.L. *et al.* (eds.): Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. NATO Science Series, IV, vol. 7. Kluwer, Dordrecht, pp. 273 - 279.
- VON BRACKEL, W., WEGNER, A., WEGNER, I., ZEHM, A., 2008: Wenig beachtet aber stark gefährdet: Die Moose und Flechten Bayerns müssen in Artenhilfsmaßnahmen eingebunden werden. - *Anliegen Natur* 32: 1, 47-64.
- DE BRUYN, U., LINDERS, H.-W., MOHR, K., 2009: Epiphytische Flechten im Wandel von Immissionen und Klima - Ergebnisse einer Vergleichskartierung 1989/2007 in Nordwestdeutschland. - *Umweltwiss Schadst Forsch* 21:63–75.
- BUNGARTZ, F., ZIEMMECK, F., 1997: Methodenentwicklung zur Erfassung und Dauerbeobachtung der Moos- und Flechtenvegetation in Naturwaldzellen Nordrhein-Westfalens. - Bonn (Auftragsgutachten für die Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten [LÖBF], unveröffentlicht). 90 S.
- CAPE, J.N., TANG, Y.S, VAN DIJK, N., LOVE, L., SUTTON, M.A. & PALMER, S.C.F., 2004: Concentrations of ammonia and nitrogen dioxide at roadside verges, and their contribution to nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 132: 469-478.
- CEZANNE, R., EICHLER, M., WIRTH, V., 1997: Die epiphytische Flechtenvegetation an den Wald-Dauerbeobachtungsflächen des ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg. – Untersuchungsjahr 1996. – Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, Karlsruhe. 20 S.
- COPPINS, A.M., COPPINS, B.J., 2002: Indices of Ecological Continuity for Woodland Epiphytic Lichen Habitats in the British Isles. - British Lichen Society, Wimbledon. 36 S.
- DOLNIK, C., RASMUS, J., 2004: Die epiphytische Flechtenvegetation an den Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg Untersuchungsjahr 2002. - Abschlussbericht Februar 2004. – Gutachten im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. 34 S. und umfangreicher Tabellenanhang.
- DIEDERICH, P., 1991: Les forêts luxembourgeoises à longue continuité historique. - *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois* 92: 31-39. [Download publication](#) (PDF 450 KB). FRAHM, J.-P., 2003: Climatic habitat differences of epiphytic lichens and bryophytes. - *Cryptogamie, Bryologie*, 24 (1): 3-14.
- ERHARDT, W., 2010: Biomonitoring von Pflanzen auf Immissionswirkungen. – Kurzfassung eines Vortrages auf der Fachtagung Biomonitoring und Bioindikation, 27. bis 28. Januar 2010 in Linz. – Tagungsband ISBN 978-3-200-01718-4, 134 S.
- FRAHM, J.P., STAPPER, N.J., 2008: Der Einfluss der Humidität eines Gebietes auf die Ermittlung der Luftgüte mit Flechten nach VDI 3957 Blatt 13. *Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft* 6/2008, S. 251-256.
- FRANZEN, I., STAPPER, N.J., FRAHM, J.-P. (2002): Ermittlung der lufthygienischen Situation Nordrhein-Westfalens mit epiphytischen Flechten und Moosen als Bioindikatoren. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen – MUNLV. 41 S.
- FRANZEN-REUTER, I., 2004: Untersuchungen zu den Auswirkungen atmosphärischer Stickstoffeinträge auf epiphytische Flechten und Moose im Hinblick auf die Bioindikation. – Dissertation Universität Bonn.

- FRANZEN-REUTER, I., 2007: Epiphytische Flechten als Akkumulationsindikatoren für erhöhte Stickstoffdepositionen. *In*: Stickstoff und die Wirkung auf die Vegetation, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Schriftenreihe Band 37. Düsseldorf, 159 S.
- GIORDANI, P., 2006: Variables influencing the distribution of epiphytic lichens in heterogeneous areas: A case study for Liguria, NW Italy. - *Journal of Vegetation Science* 17, 195–206.
- HAUCK, M., WIRTH, V., 2010: Preference of lichens for shady habitats is correlated with intolerance to high nitrogen levels. – *Lichenologist* 42, 475-484.
- HAWKSWORTH, D. L. & ROSE, F., 1970: Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. – *Nature* 227: 145–148.
- HEIBEL, E., 1999: Untersuchungen zur Biodiversität der Flechten von Nordrhein-Westfalen. - *Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde* 61 (2), 1-346.
- VAN HERK, C. M., 1999: Mapping of ammonia pollution with epiphytic lichens in The Netherlands. - *Lichenologist* 31, 9-20.
- VAN HERK, C. M., 2001: Bark pH and susceptibility to toxic air pollutants as independent causes of changes in epiphytic lichen composition in space and time. - *Lichenologist* 33 (5): 419-441.
- VAN HERK, C. M., APTROOT, A., DOBBEN, H.F. VAN, 2002: Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist*, 34 (2): 141-154.
- VAN HERK, C. M., MATHIJSEN-SPIEKMAN, E. A. M., ZWART, D. DE, 2003: Long distance nitrogen air pollution effects on lichens in Europe. - *Lichenologist* 35(4): 347–359.
- INSAROV, G., SCHROETER, B., 2002: Lichen Monitoring and Climate Change. Pp. 183-201 in: P.L. Nimis *et al.* (Hrsg.), *Monitoring with Lichens, Monitoring Lichens*. NATO Science Series IV – Vol. 7. Dordrecht (Kluwer).
- JOHN, V., 1997: Aufnahme der epiphytischen Flechtenvegetation an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz. – *Mitteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland Pfalz* 40, 91-112.
- JOHN, V., SCHRÖCK, H.-W., 2001: Flechten im Kronen- und Stammbereich geschlossener Waldbestände in Rheinland-Pfalz (SW-Deutschland). - *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz* 9 (3) S. 727-750.
- KNABE, W., 1981: Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen. - *Allg. Forst-Z. (München)* 36, 641-643.
- KNABE, W., 1982: Immissionsbelastungen von Waldökosystemen. - *Mitteilungen der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen* 7, 47 S.
- KNABE, W., 1983: Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen (IWE 1979). Fichten und Flechten als Zeiger der Waldgefährdung durch Luftverunreinigungen. - *Forsch. u. Berat. R. C.* 57.
- LAKATOS, M., 2002: Ökologische Untersuchungen wuchsformbedingter Verbreitungsmuster von Flechten im tropischen Regenwald. - *Dissertation an der Universität Kaiserslautern*. 199 S. Im Internet verfügbar unter http://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor.php?source_opus=1580 .
- LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2006: Umweltdaten 2006 Baden-Württemberg. - Karlsruhe, 224 S.
- LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 2008: Ammoniak in der Umwelt - Messprogramme und Messergebnisse 2003-2007 – Dokumentation 33/61-31/2008. Karlsruhe. 46 S.
- MC CUNE, B., 2000: Lichen communities as indicators of forest health. – *Bryologist* 103: 353-356.
- NIMIS, P.L. & MARTELLOS, S., 2008: *ITALIC* - The Information System on Italian Lichens. Version 4.0. University of Trieste, Dept. of Biology, IN4.0/1 (<http://dbiodbs.univ.trieste.it/>), letzter Zugriff am 9. Juni 2010).
- NORDEN, B., APPELQVIST, T., 2001: Conceptual problems of Ecological Continuity and its bioindicators. - *Biodiversity and Conservation* 10: 779–791.
- NYLANDER, W., 1866: Les lichens du Jardin du Luxembourg. – *Bull. Soc. Bot. France* 13: 364 - 372.
- PIELOU, E.C., 1975: *Ecological diversity*. – John Wiley & Sons, New York. 165p.

- ROSE, F., 1976: Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. - In: D. H. Brown, D. L. Hawksworth & R. H. Bailey (eds.): *Lichenology: Progress and Problems*. Academic Press, London, pp. 279-307.
- ROSE, F., 1976: Lichenological indicators of age and environmental continuity in woodlands. In: Brown, D.H., Hawksworth, D.L. & Bailey, R.H. (eds), *Lichenology: Progress and Problems*: 278-307. Academic Press: London etc.
- SMITH, C.W., APTROOT, A., COPPINS, B.J., FLETCHER, A., GILBERT, O.L., JAMES, P.W., WOLSELEY, P.A. (eds.) 2009: The lichens of Great Britain and Ireland, British Lichen Society, London. - Richmond Publishing, Slough. 1046p.
- SCHMITZ, U., STAPPER, N., STEVENS, M., DAHL, A., LEISTEN, A., 2009: Klimafolgenmonitoring Stadt Düsseldorf 2008 - Untersuchungen der Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Gruppen der Tier- und Pflanzenwelt. – Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Umweltamtes der Landeshauptstadt Düsseldorf in Kooperation mit der Unteren Landschaftsbehörde, Garten, Friedhofs- und Forstamt. 83 S.
- SCHMITZ, U., STAPPER, N., STEVENS, M., DAHL, A., BUSCH, J., 2010: Klimafolgenmonitoring Kreis Mettmann 2009. - Untersuchungen der Auswirkungen des Klimawandels auf landschaftsplanrelevante Gruppen der Tier- und Pflanzenwelt. Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der ULB Kreis Mettmann. 133 S.
- SPIER, L., VAN DOBBEN, H., VAN DORT, K., 2010: Is bark pH more important than tree species in determining the composition of nitrophytic or acidophytic lichen floras? - Environmental Pollution (im Druck).
- SCHÖLLER, H., 1991: Flechtenverbreitung und Klima. Vegetationsökologischen Untersuchungen zur Rolle der Flechten in naturnahen Traubeneichenwäldern des Taunus. – Bibliotheca Lichenologica 42, 1-250.
- STAPPER, N.J., 2002: Veränderung der Immissionsbelastung nordrhein-westfälischer Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen zwischen 1999 und 2001 ermittelt mit epiphytischen Moose und Flechten als Bioindikatoren. - Limprichtia 20, 179 - 204.
- STAPPER, N.J., 2005: Epiphytische Moose und Flechten auf vier Level II-Waldflächen des *ICP-Forests* in Nordrhein-Westfalen – Vergleich verschiedener Aufnahmemethoden. - Teilveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der LÖBF (NRW), Recklinghausen. 81 S.
- STAPPER, N.J., 2008: Flechten-Biomonitoring an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein - Vierte Wiederholungsuntersuchung von Dauerquadraten an Bäumen 2007. – Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, Flintbek. 71 S.
- STAPPER, N.J., FRANZEN, I., GOHRBANDT, S. & FRAHM, J.P., 2000: Epiphyten kehren ins Ruhrgebiet zurück. Ergebnisse einer Moos- und Flechtenkartierung entlang von Transekten durch Duisburg, Bochum und Dortmund. - LÖBF-Mitteilungen 2/2000: 12-21.
- STAPPER, N.J., KRICKE, R., 2004: Epiphytische Moose und Flechten als Bioindikatoren von städtischer Überwärmung, Standorteutrophierung und verkehrsbedingten Immissionen. - Limprichtia (Bonn) 24, 187 - 208.
- STAPPER, N.J., FRANZEN-REUTER, I., FRAHM, J.P., 2005: Stickstoffgehalte in der Blattflechte *Parmelia sulcata* als Indikator atmosphärischer Stickstoffeinträge in einer Großstadt am Beispiel Düsseldorf. - Immissionsschutz, 10 (3): 84-89.
- STAPPER, N.J., STETZKA, K.M., STOLLEY, G., SCHIMMING, C., GENBLER, L., ANDREAE, H., 2007: Aufnahmemethoden verglichen. Epiphytische Flechten im Wald. - AFZ-Der Wald 20, 1072 (Heft mit verschiedenen Beiträgen zu *Forest Focus*).
- STETZKA, K.M., STAPPER, N.J., 2001: Moose und Flechten im Level-II-Programm: Erste Untersuchungsergebnisse aus Hessen, Sachsen und Nordrhein-Westfalen. S. 88-157. - In: Dauerbeobachtung der Waldvegetation im Level II-Programm: Methoden und Auswertung. Hrsg.: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL), Referat 533.
- STOCK, M., 2005: KLARA – Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung. - PIK-Report 99. Potsdam. 200 S.

- STÖCKER, G., 1983: Methoden der Erfassung langfristiger Wirkungen ausgewählter anthropogener Umwelteinflüsse auf naturschutzrelevante biologisch-ökologische Objekte (Forschungsbericht Nr. G 403/83). - Akademie der Landwirtschaftswissenschaft der DDR / Institut für Landwirtschaft und Naturschutz; unveröffentlichte Arbeitsanweisung).
- STOFER, S., CATALAYUD, V., FERRETTI, M., FISCHER, R., GIORDANI, P., KELLER, C., STAPPER, N., SCHEIDEGGER, C., 2003: Epiphytic Lichen Monitoring within the EU/ICP Forests Biodiversity Test-Phase on Level II plots. - Methodenentwurf zum Flechtenmonitoring auf Level II-Wald-ökosystemdaueruntersuchungsflächen. [Download pdf](#).
- STOFER, S., BERGAMINI, A., ARAGÓN, G., CARVALHO, P., COPPINS, B. J., DAVEY, S., DIETRICH, M., FARKAS, E., KÄRKKÄINEN, K., KELLER, C., LÖKÖS, L., LOMMI, S., MÁGUAS, C., MITCHELL, R., PINHO, P., RICO, V. J., TRUSCOTT, A. M., WOLSELEY, P., WATT, A., SCHEIDEGGER, C., 2006: Species richness of lichen functional groups in relation to land use intensity. - *Lichenologist* 38, 331-353.
- TEUBER, D., 2006: Naturwaldreservate in Hessen. Bd. 9. Ergebnisse flechtenkundlicher Untersuchungen aus vier bodensauren Buchenwäldern. – Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung 40: 1-86.
- VDI 1995: VDI-Richtlinie 3799 Blatt 1, 1995: Messung von Immissionswirkungen. Ermittlung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen von Immissionen mit Flechten – Flechtenkartierung zur Ermittlung des Luftgütewertes (LGW). Beuth, Berlin. 24 S.
- VDI 2005: VDI-Richtlinie 3957 Blatt 13, 2005: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Flechten (Bioindikation). - Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten als Indikator der Luftgüte. - Beuth, Berlin, 27 S.
- VDI 2009: VDI-Richtlinie 3957 Blatt 19, 2009: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen (Bioindikation) - Nachweis von regionalen Stickstoffdepositionen mit den Laubmoosen *Scleropodium purum* und *Pleurozium schreberi*. – Beuth, Berlin, 12 S.
- VONARBURG, C., 1993: Das Mikroklima an Standorten epiphytischer Flechten. - Immissionsökologische Untersuchungen entlang eines Höhengradienten in den Zentralschweizer Voralpen. - Veröffentlichungen aus dem Natur-Museum Luzern, Nr. 5 (1993), 123 S.
- WINDISCH, U., 1999: Evaluierung der Bioindikationsverfahren mit Flechten zur Bestimmung der Luftgüte anhand landesweiter Erhebungen in Hessen und Bayern. *Dissertationes Botanicae* 314. Cramer, Stuttgart, 164 S.
- WINDISCH, U., 2010: Dauerbeobachtung von Flechten in Hessen. Untersuchungen von 1992 bis 2007. – Kurzfassung eines Vortrages auf der Fachtagung Biomonitoring und Bioindikation, 27. bis 28. Januar 2010 in Linz. – Tagungsband ISBN 978-3-200-01718-4, 134 S.
- WIRTH, V., 1986: Flechtenkartierung. In: Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU): Immissionsökologisches Wirkungskataster. Jahresbericht 1985: 96-97.
- WIRTH, V., 1987 (?): Flechten 1986 – Ergebnisse 1986 – Kommentare zu Flechtenaufnahmen (Folien). – Bericht im Auftrag der LUBW, Karlsruhe (Werkvertrag 49); nicht veröffentlicht.
- WIRTH, V., 1988: Phytosociological approaches to air pollution monitoring with lichens. *Lichens, bryophytes and air quality*. - *Bibl. Lichenol.* 30, 91-107.
- WIRTH, V., 1992: Zeigerwerte von Flechten. - In: Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., Paulißen, D. 1992: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. - *Scripta Geobotanica* 18(2), 215-237.
- WIRTH, V., 2001: Zeigerwerte von Flechten. S. 221-243 In: H. Ellenberg, Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* XVIII.
- WIRTH, V., 1995: Flechtenflora. – Ulmer, Stuttgart, 661 S.
- WIRTH, V., 2008: Rote Liste und Artenverzeichnis der Flechten Baden-Württembergs. - LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.). Karlsruhe. 64 S.
- WIRTH, V., 2010: Ökologische Zeigerwerte von Flechten - erweiterte und aktualisierte Fassung.- *Herzogia* 23(2): 229-248.

- WIRTH, V., OBERHOLLENZER, H., 1991: Epiphytische Flechten. Einsatz als Reaktionsindikatoren im passiven Monitoring bei der Erstellung des Immissionswirkungskatasters Baden-Württemberg. - Beih. Veröff. Naturschutz und Landschaftspflege Bad. Württ. 64, 164-173.
- WIRTH, V., OBERHOLLENZER, H., 1992: Immissionsökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg / Untersuchung der Flechtenvegetation - Ergebnisse 1990/1991, Stuttgart, Tübingen; nicht veröffentlicht.
- WIRTH, V., OBERHOLLENZER, H., 1993: Beurteilung der Immissionssituation mit Hilfe der Flechtenindikation. - LFU (Hrsg.): Ökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg, Jahresbericht 1990/91: 79-86.
- WIRTH, V., CEZANNE, R., EICHLER, M., 1999: Beitrag zur Kenntnis der Dynamik epiphytischer Flechtenbestände. - Stuttgarter Beitr. Naturk. Ser. A, 595, 1-17.
- WIRTH, V., v. BRACKEL, W., DE BRUYN, U., CEZANNE, R., DÜRHAMMER, O., FEUERER, T., HAUCK, M., LITTERSKI, B., OTTE, V., SCHIEFELBEIN U., SCHOLZ, P. & SCHULTZ, M. (2007): Checkliste der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze Deutschlands. Stand Dezember 2007. <http://www.checklists.de>
- WIRTH, V., HAUCK, M., DE BRUYN, U., SCHIEFELBEIN, U., JOHN, V., OTTE, V., 2009: Flechten aus Deutschland mit Verbreitungsschwerpunkt im Wald. – Herzogia 22, 79–107.
- ZIMMER, D., 2000: Dauerbeobachtung der epiphytischen Flechtenvegetation unter immissionsökologischen Aspekten an Bodendauerbeobachtungsflächen in Schleswig-Holstein. - Bibl. Lichenol. 75, 231-251.