

SCHRIFTENREIHE  
FREIBURGER FORSTLICHE FORSCHUNG

BAND 61

**Differenzialdiagnostische Untersuchungen  
zu Eichenschäden  
in Baden-Württemberg**

– Ansprache, Faktoren, Schlussfolgerungen

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT  
BADEN-WÜRTTEMBERG

FREIBURG, JULI 2005

ISSN: 1436-1566

**Die Herausgeber:**

Forstwissenschaftliche Fakultät der  
Universität Freiburg und  
Forstliche Versuchs- und  
Forschungsanstalt Baden-Württemberg

**Redaktion:**

Dr. K. v. Wilpert, B. Vögtle

**Umschlaggestaltung:**

Bernhard Kunkler Design, Freiburg

**Druck:**

Eigenverlag FVA Freiburg

**Bestellungen an:**

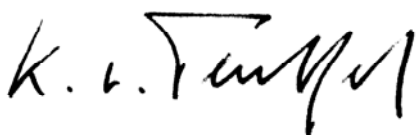
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt  
Baden-Württemberg  
Wonnhalde 4  
79100 Freiburg  
Tel. 0761/4018-0, Fax 0761/4018-333  
e-Mail: [FVA-BW@Forst.bwl.de](mailto:FVA-BW@Forst.bwl.de)

Alle Rechte, insbesondere das Recht  
der Vervielfältigung und Verbreitung  
sowie der Übersetzung vorbehalten

# Vorwort

Von 1995 bis 1998 wurden die neuartigen Eichenschäden in Baden-Württemberg im Rahmen des aus Landesmitteln geförderten Umweltforschungsprojektes „Differenzialdiagnostische Untersuchungen zum Eichensterben“ an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt des Landes Baden-Württemberg untersucht. In das fachgebietsübergreifende Projekt waren die Abteilungen Boden und Umwelt, Waldökologie, Waldschutz und Waldwachstum eingebunden. Das Ziel war, auf Grundlage einer breiten Datenbasis Ursachen der neuartigen Eichenschäden zu identifizieren und aus den Ergebnissen Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. Ausgehend von den andernorts stark auf biotische Schaderreger in Kombination mit Witterungsextremen gestützten Schadenshypothesen wurden die Schwerpunkte in der hiesigen Untersuchung auf die potenziellen Schadfaktoren Bestandesbehandlung, Bestandesgeschichte und Genetik, Insektenkalamitäten sowie Bodenfaktoren fokussiert. Das Zusammenwirken dieser Schadfaktoren bei der Entstehung von Eichenschäden wurde nach prädisponierenden, schadensauslösenden und schadensverstärkenden Faktoren getrennt bearbeitet und so ein schlüssiges Konzept für die kausale Interpretation der Eichenschäden der 90er Jahre in Baden-Württemberg erstellt. In den untersuchten Eichenbeständen waren Kronenschäden i.d.R. an eine verringerte Feinwurzelerschliefung des Bodens gekoppelt. Auf vielen Standorten konnte die verringerte Feinwurzelerschliefung auf Belüftungsstörungen im Oberboden zurückgeführt werden. Das heißt, dass die Standorte für Eichenschäden prädisponiert sind, in denen eine ausreichende Belüftung im Wurzelraum durch verringerte Gasdurchlässigkeit des Oberbodens und/oder Staunässe verhindert wird. Dieser und andere prädisponierende Faktoren wie z.B. nicht angepasste Genotypen und/oder mangelnde Bestandespflege verursachen eine chronische Labilisierung der Eichenbestände, welche durch Auslöser wie Witterungsextreme (z.B. Trockenjahre) und Insektenkalamitäten zu akuten Schäden führen. Die fachübergreifende Arbeit wird mit 12 konkreten Handlungshinweisen für die Forstpraxis abgeschlossen, die jeweils konkret aus i.d.R. mehreren disziplinären Ergebnissen abgeleitet sind und eine Minimierung der Schaddisposition von Eichenbeständen zum Ziel haben.

Angesichts der seit dem extremen Trockenjahr 2003 und den danach folgenden Schädlingsskalamitäten der Jahre 2004/2005 wieder stark zunehmenden Eichenschäden bekommen die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus dem hier vorgelegten interdisziplinären Forschungsprojekt neue Aktualität und ich wünsche der Arbeit eine breite und interessierte Leserschaft.



Prof. Konstantin Freiherr von Teuffel  
- Direktor der FVA -

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>AUSGANGSLAGE DER EICHENSCHÄDEN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG</b>	<b>5</b>
2.1	Forschungsansatz	5
2.2	Ausgangssituation	5
2.3	Untersuchungsschwerpunkte und Arbeitshypothesen	6
2.3.1	Eichengesundheit	6
2.3.2	Bestandesgeschichte und Bestandesbehandlung	7
2.3.3	Faktor Genetik	8
2.3.4	Faktor Insekten	8
2.3.5	Faktor Boden	8
<b>3</b>	<b>UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND</b>	<b>11</b>
3.1	Untersuchungsbestände	11
3.2	Auswahl der Probebäume	12
<b>4</b>	<b>BESTIMMUNG VON SPECIES, STANDORTSEIGENSCHAFTEN UND DURCHWURZELUNG</b>	<b>13</b>
4.1	Allgemeines	13
4.2	Berntung der Probebäume und Artbestimmung	13
4.3	Standortseigenschaften	16
4.3.1	Standortskartierung	16
4.3.2	Bodenprofile und bodenchemische Charakterisierung	16
4.3.3	Bodenphysikalische Charakterisierung	16
4.4	Wurzeluntersuchungen	16
<b>5</b>	<b>BEURTEILUNG DES KRONENZUSTANDES VON EICHEN IM WINTER ANHAND DES FEINREISIGS</b>	<b>17</b>
5.1	Einleitung	17
5.2	Material und methodisches Vorgehen	17
5.3	Kronenansprache der Eiche im Winterzustand	21
5.3.1	Vorbemerkungen	21
5.3.2	Der aktuelle Boniturschlüssel	21
5.3.2.1	Rahmenbedingungen und Definitionen	21
5.3.2.2	Beurteilung der Kronenstruktur im Boniturbereich	22
5.3.2.3	Festlegung der Feinreisigstufe	22
5.3.2.4	Bestimmungsbilder	24
5.4	Ergebnisse	26
5.5	Kronenstruktur	30
5.5.1	Kronenstruktur und Vitalität	30
5.5.2	Entstehen von Kronenstrukturen	31
5.5.3	Grenzen der Ansprache	34
5.6	Schlussfolgerungen	35
<b>6</b>	<b>BESTANDESGESCHICHTE</b>	<b>37</b>

<b>7</b>	<b>KRONENZUSTAND, BAUMART UND SOZIOLOGISCHE STELLUNG</b>	<b>40</b>
7.1	Allgemeines	40
7.2	Kronenzustand in den Untersuchungsbeständen	40
7.3	Eichenart	41
7.4	Soziologische Stellung und Brusthöhendurchmesser	42
<b>8</b>	<b>JAHRRINGANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN AN KRANKEN UND GESUNDEN EICHEN</b>	<b>44</b>
8.1	Material und Methoden	44
8.1.1	Allgemein	44
8.1.2	Bestand und Standort	44
8.1.3	Versuchsmethodik	44
8.2	Ergebnisse	45
8.3	Diskussion	49
8.3.1	Gesamtbeurteilung	51
<b>9</b>	<b>DER BODEN ALS DISPONIERENDER FAKTOR DER EICHENSCHÄDEN</b>	<b>52</b>
9.1	Standortskartierung und Eichenvitalität	52
9.2	Durchwurzelungsmuster auf Eichenstandorten	57
9.2.1	Horizontalgradienten	57
9.2.2	Tiefengradienten	58
9.3	Bodenchemie und Ernährungssituation	62
9.3.1	pH-Wert und Basensättigung	62
9.3.2	Magnesium- und Kaliumsättigung der Austauschschicht	63
9.3.3	Bodenchemische Parameter und Durchwurzelung	65
9.3.4	Bodenchemische Parameter und Kronenzustand	66
9.4	Bodenstruktur und Belüftungssituation	69
9.4.1	Lagerungsdichte, Luftporenvolumen und Gasdiffusionskoeffizient	69
9.4.2	Bodenstruktur und Durchwurzelung	70
9.4.3	Kronenzustand in Abhängigkeit v. Bodenstruktur u. Durchwurzelung	74
9.5	Zusammenfassende Interpretation	77
9.5.1	Bodenchemischer Zustand	77
9.5.2	Standortseinheit und Bodentyp	79
9.5.3	Belüftungssituation des Bodens	79
9.5.4	Der Einfluss von Standortfaktoren auf die neuartigen Eichenschäden	80
<b>10</b>	<b>FEINWURZELGESUNDHEIT VON STIEL- UND TRAUBENEICHE IN BEZUG ZU BODENPARAMETERN</b>	<b>82</b>
10.1	Einleitung	83
10.1.1	Pathogene Pilze an Wurzeln	83
10.1.2	Mykorrhiza	83
10.2	Material und Methoden	84
10.2.1	Untersuchungsflächen	84
10.2.2	Probenahme und Aufarbeitung	84
10.2.3	Pilzisolierung	85
10.2.4	Ermittlung der Mykorrhizierung	86
10.3	Ergebnisse	86

10.3.1	Pathogenbesatz der Feinstwurzeln	86
10.3.2	Selektive Isolierung von Oomyceten aus Erdproben	89
10.3.3	Vergleich von Pathogenbesatz und Kronenzustand	89
10.3.4	Vergleich des jahreszeitlichen Vorkommens der pathogenen Pilzarten	90
10.3.5	Feinstwurzelgesundheit in Abhängigkeit von der Durchlüftung des Oberbodens	92
		91
10.3.6	Feinstwurzelgesundheit und pH-Wert	93
10.3.7	Mykorrhizierungsgrad und Feinwurzelverteilung	95
10.4	Diskussion	99
10.4.1	Wurzelpathogene	99
10.4.2	Bodendurchlüftung und Pathogenbesatz	101
10.4.3	pH-Wert und Pathogenbesatz	102
10.4.4	Mykorrhizierung und Wurzelmassen	102
10.5	Schlussfolgerung	103
<b>11</b>	<b>GENETISCHER VERGLEICH GESCHÄDIGTER UND NICHT GESCHÄDIGTER STIEL- UND TRAUBENEICHENBESTÄNDE</b>	<b>104</b>
11.1	Zusammenfassung	104
11.2	Einleitung	105
11.3	Eichensterben	106
11.4	Allgemeine forstgeschichtliche Hintergründe	107
11.5	Artunterschiede	108
11.6	„Tolerante“ und „sensitive“ Teilkollektive	122
11.7	Schlussfolgerungen	131
<b>12</b>	<b>INSEKTEN</b>	<b>132</b>
12.1	Einfluss von blattfressenden Insekten auf den Kronenzustand d. Eiche	132
12.1.1	Einleitung	132
12.1.2	Stand des Wissens	132
12.1.3	Material und Methoden	134
12.1.3.1	Beobachtungsflächen	134
12.1.3.2	Aufnahmemethodik	135
12.1.4	Ergebnisse	136
12.1.4.1	Massenwechsel blattfressender Schmetterlingsraupen	136
12.1.4.2	Prognose der Eichenschadgesellschaft	138
12.1.4.3	Überwachung des Fraßes	138
12.1.4.4	Entwicklung des Blattverlustes	141
12.1.4.5	Fraßbelastung und Blattverlustentwicklung	143
12.1.5	Diskussion	150
12.1.6	Zusammenfassung	151
12.2	Forstl. bedeutsame rinden- und holzbrütende Schadinsekten an Eichen	152
12.2.1	Einführung	152
12.2.2	Beschreibung der Insekten	152
12.2.2.1	Besiedlung des Baumes	152
12.2.2.2	Rindenbrüter	153
12.2.2.3	Holzbrüter	155
12.2.3	Gefährdung der Eichen	156
12.2.3.1	Gefährdung durch Rindenbrüter	156

12.2.3.2	Gefährdung durch Holzbrüter	158
12.2.3.3	Anzeichen für Holzbrüterbefall	158
12.2.4	Gegenmaßnahmen	159
12.2.5	Zusammenfassung	160
<b>13</b>	<b>SYNOPTISCHE BETRACHTUNG DER AN DEN EICHENSCHÄDEN BETEILIGTEN FAKTOREN</b>	<b>162</b>
<b>14</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND PRAXISRELEVANTE SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>174</b>
<b>15</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>178</b>

## **ANHANG**

	Entschlüsselung der Versuchsflächenkürzel (Tab. 1)	1
	Kronenbilder für Kronenzustandserhebung von Eichen	2
	Bestandesgeschichtliche Erhebungen an den einzelnen Untersuchungsflächen	10
	1. Ei-Projektfläche Bebenhausen	11
	2. Ei-Projektfläche Breisach	15
	3. Ei-Projektfläche Bruchsal	19
	4. Ei-Projektfläche Emmendingen	23
	5. Ei-Projektfläche Güglingen	29
	6. Ei-Projektfläche Langenau (409)	33
	7. Ei-Projektfläche Lauda-Königshofen	37
	8. Ei-Projektfläche Müllheim	40
	9. Ei-Projektfläche Oberkirch (401)	45
	10. Ei-Projektfläche Tauberbischofsheim	51
	11. Ei-Versuchsfläche Lauda-Königshofen	56
	12. Ei-Versuchsfläche Güglingen S5	59
	13. Ei-Versuchsfläche Güglingen S6	64

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abb. 1:</b> Anteil deutlich bis stark geschädigter Eichen (Schadstufen 2 – 4) in den deutschen Bundesländern in den Jahren 1984, '91, '99 und 2000.	Seite 1
<b>Abb. 2:</b> Meldungen von Eichenschäden baden-württembergischer Forstämter im Jahr 1992 und 1996.	..... 2
<b>Abb. 3:</b> Lage der Untersuchungsbestände (aus SEEMANN 1995 geändert).	..... 12
<b>Abb. 4:</b> Blattmorphologie von Traubeneichen (li.) und Stieleichen (re.).	..... 14
<b>Abb. 5:</b> Blattbehaarung von Stiel- und Traubeneiche im Vergleich zu Flaumeiche.	..... 15
<b>Abb. 6:</b> Stufe 0: ohne Strukturfehler; viel Feinreisig, lang (He 1c).	..... 24
<b>Abb. 7:</b> Stufe 1,0: leichte Strukturfehler; mäßig Feinreisig, lang (He 4j).	..... 24
<b>Abb. 8:</b> Stufe 2,0: deutliche Strukturfehler; viel Feinreisig, wenig tote Zweige, kurz (He 5f).	..... 25
<b>Abb. 9:</b> Stufe 3,0: extreme Strukturfehler; bis 2/3 der Krone abgestorben (He 7e), starke Wasserreiserbildung.	..... 25
<b>Abb. 10 a-d:</b> Prozentuale Häufigkeit der Feinreisigstufen ausgewählter Flächen zum Zeitpunkt der Endbonitur.	..... 30
<b>Abb. 11:</b> Median, Interquartile Range und Streubereich der Kronenzustandsstufe (Bonitur 1998) von Stiel- und Traubeneichen sowie den Hybriden.	..... 42
<b>Abb. 12:</b> Zusammenhang zwischen Brusthöhendurchmesser und Kronenzustandsstufe (Bonitur 1998).	..... 43
<b>Abb. 13:</b> Radialzuwächse gesunder Eichen in 1,3 m Schafthöhe (Fbz. Oberkirch).	..... 46
<b>Abb. 14:</b> Radialzuwächse kranker Eichen in 1,3 m Schafthöhe (Fbz. Oberkirch).	..... 46
<b>Abb. 15:</b> Mittlere Radialzuwächse gesunder und kranker Eichen in 1,3 m Schafthöhe.	..... 47
<b>Abb. 16:</b> Relativer Radialzuwachs der Kollektive der gesunden und kranken Eichen in 1,3 m und 10 m Schafthöhe, Fbz. Oberkirch.	..... 48
<b>Abb. 17:</b> Relativer, mittlerer Radialzuwachs (1966–97) der gesunden und kranken Eichen in 1,3 m Schafthöhe, Vergleich mit dem relativen Ariditätsindex.	..... 49
<b>Abb. 18:</b> Zusammenhang zwischen Kronenzustand und der Tiefe der tonführenden Lage in Lauda-Königshofen.	..... 55



<b>Abb. 19:</b> Zusammenhang zwischen Kronenzustand und Tiefe der tonführenden Lage bzw. Tiefe von Redoxmorphiemerkmalen.	..... 56
<b>Abb. 20:</b> Feinstwurzeldichte in den einzelnen Tiefenstufen mit abnehmender Entfernung vom Stammfuß.	..... 58
<b>Abb. 21:</b> Summenkurve der relativen Feinstwurzelhäufigkeit und der Grobwurzelhäufigkeit von allen Bodenprofilen im Tiefenverlauf.	..... 59
<b>Abb. 22:</b> Verteilungsmuster der Eichenwurzeln in verschiedenen Bodentypen. In der Mitte der Grafiken ist jeweils die Horizontfolge von zwei Braunerdeprofilen (oben), zwei Parabraunerdeprofilen (Mitte) und zwei Pseudogleyprofilen (unten) dargestellt.	..... 60
<b>Abb. 23:</b> Relative Summenhäufigkeiten der Feinstwurzeln im Tiefenprofil getrennt nach Bodentyp.	..... 61
<b>Abb. 24:</b> Tiefenprofil der Feinstwurzeldichte der Stieleichen und der Traubeneichen.	..... 61
<b>Abb. 25:</b> Tiefenprofile der Bodenreaktion (li.) und der Basensättigung (re.).	..... 62
<b>Abb. 26:</b> Tiefenprofile der Magnesium- und Kaliumsättigung.	..... 64
<b>Abb. 27:</b> Tiefenverlauf von pH-Wert, Basensättigung sowie der Sättigung an Magnesium und Kalium des gesunden Eichenkollektivs und des geschädigten Eichenkollektivs.	..... 68
<b>Abb. 28:</b> Tiefenverlauf der Lagerungsdichte, des Luftporenvolumens (bei 300 hPa) und des relativen scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten (bei 300 hPa).	..... 69
<b>Abb. 29:</b> Zusammenhang zwischen dem relativen scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten des Oberbodens (0-10 cm) und der Feinstwurzeldichte (exemplarisch für zwei Tiefenstufen).	..... 74
<b>Abb. 30:</b> Modellierter Veränderung der Feinstwurzeldichte im Tiefenprofil infolge einer Verringerung des relativen scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten der Bodenoberfläche (0-10 cm).	..... 74
<b>Abb. 31:</b> Tiefenverlauf der Lagerungsdichte, des Luftporenvolumens und des relativen scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten für das gesunde Eichenkollektiv und das geschädigte Eichenkollektiv.	..... 75
<b>Abb. 32:</b> Feinstwurzeldichten des „gesunden“ und des „geschädigten“ Eichenkollektivs im Vergleich. Bezugsgröße ist Feinstwurzeldichte des „gesunden“ Eichenkollektivs (100 %).	..... 76
<b>Abb. 33:</b> Zusammenhang zwischen dem relativen scheinbaren Gasdiffusionskoeffizienten des Oberbodens und dem mittleren Feinreisigverlust.	..... 77
<b>Abb. 34:</b> <i>Cryptosporiopsis radicola</i> , isoliert von der Fläche LAN.	..... 87

<b>Abb. 35:</b> Anzahl der untersuchten Bäume eingeteilt nach Baumart und dem Prozentsatz der mit pathogenen Pilzen befallenen Feinstwurzelstücke.	..... 89
<b>Abb. 36:</b> Die Häufigkeit der isolierten pathogenen Pilze an Feinstwurzeln im Frühjahr (F), im Sommer (S) und im Winter (W) (% befallene Wurzeln = Frequenz).	..... 91
<b>Abb. 37:</b> Besatz der Feinstwurzeln der Stieleichen mit pathogenen Pilzen auf unterschiedlichen Standortseinheiten.	..... 92
<b>Abb. 38:</b> Zusammenhang zwischen dem für die Fläche ermittelten Gasdiffusionskoeffizienten (gemessen bei 60 hPa) und dem Anteil mit <i>Cryptosporiopsis radicicola</i> befallener Stieleichen-Wurzeln in Prozent.	..... 93
<b>Abb. 39:</b> Gegenüberstellung der mittleren Boden-pH-Werte (H <sub>2</sub> O) mit dem Besatz der Wurzeln durch <i>Cylindrocarpon destructans</i> .	..... 94
<b>Abb. 40:</b> Gegenüberstellung der mittleren Boden-pH-Werte (H <sub>2</sub> O) mit dem Besatz der Wurzeln durch <i>Cryptosporiopsis radicicola</i> .	..... 95
<b>Abb. 41:</b> Eichenmykorrhiza aus dem Fbz. Langenau.	..... 96
<b>Abb. 42:</b> Trockengewicht der Feinwurzeln (< 2 mm $\phi$ [mg/l]) in den verschiedenen Bodentiefen der Probeflächen.	..... 97
<b>Abb. 43:</b> Anzahl der Wurzelspitzen pro mg Feinwurzelrockgewicht in drei verschiedenen Bodentiefen der untersuchten Standorte.	..... 98
<b>Abb. 44:</b> Anzahl von mykorrhizierten Wurzelspitzen in 100 ml Boden in drei verschiedenen Bodentiefen der untersuchten Probeflächen.	..... 99
<b>Abb. 45:</b> Artenzusammensetzung der Untersuchungsbestände.	..... 109
<b>Abb. 46:</b> Graphische Darstellung der aktuellen Heterozygotie Ha und der erwarteten Heterozygotie He im Vergleich.	..... 116
<b>Abb. 47:</b> Dendrogramm (Unweighted Pair-Group Average) der untersuchten Eichenpopulationen basierend auf dem genetischen Abstand d0 am Genort NADH-A.	..... 121
<b>Abb. 48:</b> Anteil geschädigter und nicht geschädigter Stiel- und Traubeneichen.	..... 122
<b>Abb. 49:</b> Anteil geschädigter Eichen in verschiedenen Baumklassen nach KRAFT.	..... 123
<b>Abb. 50:</b> Graphische Darstellung der genetischen Differenzierung Dj in den „sensitiven“ und „toleranten“ Kollektiven der Stieleichen-Bestände.	..... 129
<b>Abb. 51:</b> Graphische Darstellung der genetischen Differenzierung Dj in den „sensitiven“ und „toleranten“ Kollektiven der Traubeneichen-Bestände.	..... 129

<b>Abb. 52:</b> Dendrogramm der untersuchten Eichenteilkollektive basierend auf dem genetischen Gesamtabstand d0.	..... 130
<b>Abb. 53:</b> Gesamte Schadflächen (ha) von Eichenwickler- und Frostspannerfraß in Baden-Württemberg sowie in Forstämtern mit Eichen-Dauerbeobachtungsflächen von 1977 – 2000.	..... 137
<b>Abb. 54:</b> Verlauf der Summe der Prognosewerte von Eichenwickler und Frostspanner in der Umgebung von Eichendauerbeobachtungsflächen.	..... 138
<b>Abb. 55:</b> Vergleich des Fraßverlaufes der wichtigsten Blattschädlinge an Eiche am Beispiel des Rheintales.	..... 139
<b>Abb. 56:</b> Durchschnittlicher Fraßgrad in Prozent und Verlauf des Fraßgeschehens auf den Dauerbeobachtungsflächen.	..... 141
<b>Abb. 57:</b> Langfristige Entwicklung des mittleren Blattverlustes nach Einzelflächen.	..... 142
<b>Abb. 58:</b> Anstieg der mittleren Blattverluste von 1987 (unterer) bis 2000 (oberer Wert) auf den Dauerbeobachtungsflächen.	..... 143
<b>Abb. 59:</b> Veränderung der Blattverlustwerte zwischen 1991/92 und (1998) 1999/2000.	..... 145
<b>Abb. 60:</b> Veränderung der Blattverluste mit der Fraßbelastung ausgewählter Kollektive.	..... 148
<b>Abb. 61:</b> Veränderungen der Blattverluste in Abhängigkeit von Fraß und anderen Ursachen am Beispiel der Flächen mit den stärksten Veränderungen.	..... 149
<b>Abb. 62:</b> Verteilung des Befalls der wichtigsten Rinden- und Holzschädlinge auf die einzelnen Baumabschnitte.	..... 153
<b>Abb. 63:</b> Vermutliche Schlüsselfaktoren und deren Wirkungsgefüge bei der Entstehung von Kronenschäden und Absterbevorgängen der Eiche.	..... 171

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tab. 1:</b> Blattmerkmale zur Differenzierung von Stiel- und Traubeneiche.	Seite 15
<b>Tab. 2:</b> Boniturschlüssel 1997; Beschreibung der Abbildungen ROLOFF'S (1989a).	..... 18
<b>Tab. 3:</b> Boniturschlüssel 1998.	..... 20
<b>Tab. 4:</b> Kombinierte Kronenstruktur-Feinreisigverlust-Stufen	..... 23
<b>Tab. 5:</b> Aufgenommene Bäume nach Fläche und Aufnahme datum.	..... 26
<b>Tab. 6:</b> Durchschnittliche Feinreisigstufe zu unterschiedlichen Boniturterminen (Stufen 0 – 12).	..... 27
<b>Tab. 7:</b> Anteil der Feinreisigstufen auf den Projektflächen zum Zeitpunkt der Endbonitur.	..... 28
<b>Tab. 8:</b> Mittlere Kronenzustandsstufen (Bonitur 1998) und statistische Differenzierung der Untersuchungsflächen.	..... 41
<b>Tab. 9:</b> Baummerkmale gesunder und kranker Eichen im Fbz. Oberkirch	..... 45
<b>Tab. 10:</b> Standortseinheiten und mittlere Kronenzustandsstufe in den Untersuchungsbeständen.	..... 53
<b>Tab. 11:</b> Baumzahl und mittlere Kronenzustandsstufe von Stiel- und Traubeneichen auf den Standortseinheiten, auf denen beide Baumarten gemeinsam vorkommen.	..... 57
<b>Tab. 12:</b> Bodenchemische Kennwerte von Stiel- und Traubeneichenstandorten.	..... 65
<b>Tab. 13:</b> Abhängigkeit der Feinwurzeldichte von bodenchemischen Parametern.	..... 66
<b>Tab. 14:</b> Bodenphysikalische Kennwerte von Stiel- und Traubeneichenstandorten.	..... 70
<b>Tab. 15:</b> Abhängigkeit der Feinwurzeldichte von ausgewählten bodenphysikalischen Parametern derselben Tiefenstufe.	..... 71
<b>Tab. 16:</b> Abhängigkeit der Feinstwurzeldichte von ausgewählten bodenphysikalischen Parametern des oberflächennahen Mineralbodens.	..... 72
<b>Tab. 17:</b> Auflistung der in die Untersuchung einbezogenen Standorte sowie Art und Zahl der untersuchten Bäume.	..... 85
<b>Tab. 18:</b> Häufigkeit der isolierten Pathogene aufgegliedert nach den Untersuchungsflächen.	..... 88
<b>Tab. 19:</b> Gegenüberstellung von Feinreisigverlust (FRV) als Parameter für den Kronenzustand und Pathogenbesatz an Feinstwurzeln.	..... 90

<b>Tab. 20:</b> Zusammenstellung der untersuchten Enzymsysteme.	.... 110
<b>Tab. 21:</b> Vergleich der durchschnittlichen Allelhäufigkeiten in den Kollektiven „Stieleiche“ und „Traubeneiche“.	.... 111
<b>Tab. 22:</b> Genetische Vielfalt und Diversität der analysierten Eichenbestände.	.... 112
<b>Tab. 23:</b> Aktuelle Heterozygotie $H_a$ in den untersuchten Eichenbeständen.	.... 114
<b>Tab. 24:</b> Erwartete Heterozygotie $H_e$ .	....115
<b>Tab. 25:</b> Genetische Diversität und Nei's Koeffizient $G_{ST}$ in den 12 untersuchten Eichenbeständen.	....117
<b>Tab. 26:</b> Genetische Differenzierung $J_j$ in den analysierten Stieleichen-Beständen.	.... 118
<b>Tab. 27:</b> Genetische Differenzierung $D_j$ in den analysierten Traubeneichen-Beständen.	.... 119
<b>Tab. 28:</b> Genetischer Abstand $d_0$ in den 12 untersuchten Eichenbeständen.	.... 120
<b>Tab. 29:</b> Genetische Vielfalt, Diversität und Differenzierung in den analysierten Eichen-Teilkollektiven.	.... 125
<b>Tab. 30:</b> Aktuelle Heterozygotie $H_a$ in den Eichen-Teilkollektiven.	.... 126
<b>Tab. 31:</b> Erwartete Heterozygotie $H_e$ in den Eichen-Teilkollektiven.	.... 127
<b>Tab. 32:</b> Genetische Diversität und Nei's Koeffizient $G_{ST}$ in den Eichen-Teilkollektiven.	.... 128
<b>Tab. 33:</b> Überwachung der Eichenschadgesellschaft und des Kronenzustandes seit 1994.	.... 135
<b>Tab. 34:</b> Jährlich durchschnittlicher Fraßgrad (FG = Fraßgrad in Prozent der ausgetriebenen Blattmasse) und Fraßsumme.	.... 140
<b>Tab. 35:</b> Veränderung der Blattverluste zwischen 1991/92 und (1998) 1999/2000 in Bezug zur Fraßbelastung unterschiedlicher Kollektive.	.... 146
<b>Tab. 36:</b> Für ausgewählte Kollektive anhand der Regression zwischen Fraßbelastung und Veränderung des Blattverlustes errechnete fraßbedingte Veränderungen der Blattverluste.	.... 148

Feinreisig ist v.a. zum Ende des Winters sicher durchführbar. Zu diesem Zeitpunkt beginnen die Knospen zu schwellen. Vorhandene Knospen an totem Reisig sind dagegen verschwindend klein. Im Bereich der Grob- und Mitteläste vorkommende Proventivtriebe (Wasserreiser) sind von normaler Verzweigung eindeutig zu unterscheiden.

Aus den Untersuchungen zur Bestandesgeschichte des laufenden Projektes ist nachgewiesen, dass in allen untersuchten Beständen genetisch fremde Eichen eingebracht wurden. In keinem Fall handelte es sich um ausschließlich autochthone Bestände (SEYD & FISCHER 1997). Die Untersuchungen zur genetischen Konstitution (Kap. 6 und 11) belegen außerdem die zum Teil starke Durchmischung von Stiel- und Traubeneichen sowie das Vorkommen von Intermediären in den jeweiligen Beständen. Wenn es die von CIESLAR (1923) und ROLOFF (1989a) unterstellten genetisch bedingten Formunterschiede zwischen den Herkünften gleicher Arten bzw. zwischen den Arten gibt, dann wird ein einheitlicher Schlüssel von vornherein zu formabhängigen Einstufungen kommen. Bestimmte Formmerkmale wie z.B. Wipfelschäftigkeit oder Besenform können aber keiner Art, Herkunft, Varietät oder intermediären Typen zugeschrieben werden. Daher ist ein artbezogener Schlüssel nicht ableitbar. Ganz abgesehen davon, dass die Art oder Varietät vor Ort gar nicht erkannt wird.

Die Kronenform verändert sich mit dem Alter. Die vorliegende Untersuchung umfasst Eichen im Alter zwischen 40 und 220 Jahren. Nicht nur zwischen den Probebeständen sind beträchtliche Altersunterschiede vorhanden, sondern auch innerhalb eines Bestandes. Altersbedingte Änderungen können nicht einem bestimmten Alter zugeordnet werden. Vor allem in Altbeständen ist das Alter des Einzelbaumes meist nicht bekannt. Ein einheitlicher Schlüssel für einen weiten Altersrahmen kann daher zu Fehleinstufungen führen.

## 5.6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der unter Abschnitt 5.3 vorgestellte Boniturschlüssel ermöglicht eine reproduzierbare Aufnahme des Kronenzustandes von Eichen im Winter. Unter den vorgegebenen Aufnahmedingungen und den Aufnahmemöglichkeiten ist die Struktur der Krone bis in den Feinreisigbereich zu erkennen. Zur richtigen Einstufung ist der Blickwinkel und die -richtung ausschlaggebend. Die Ursache für das Entstehen vorhandener Aststümpfe am Grundgerüst der Krone ist nicht ableitbar, ebenso wenig, was die Art und Intensität der Verzweigung bewirkt hat. Dieses Grundgerüst setzt sich auch in der Verzweigung der Mittel- und Feinäste fort. Aus dem Fehlen oder im Vorhandensein von Mittel- und Feinästen können nicht grundsätzlich Rückschlüsse auf aktuelle Stärken und Schwächen geschlossen werden. Dafür liegt die Ursache zu lange zurück. Aufschluss über den aktuellen Zustand des Baumes geben allein die während der letzten Vegetationsperiode entstandenen Triebe. Deren Menge, ihre Länge und ihre Verzweigungsintensität kann erfasst werden. Aber diese Parameter sind nicht mehr ausschließlich abhängig von einer Ursache allein. Zur ihrer Beurteilung ist, wie bei der Beurteilung des Laubzustandes während der Sommerbonitur, das Wissen um die äußeren Einflüsse auf ihre Bildung im zurückliegenden Jahr notwendig. Auf gar keinen Fall ist bei dieser Art der Aufnahme eine vorhandene Abfolge kurzer Jahrestriebe erkennbar. Die Unterscheidung von lebendem und

totem Feinreisig ist v.a. zum Ende des Winters sicher durchführbar. Im Bereich der Grob- und Mitteläste vorkommende Proventivtriebe (Wasserreiser) weisen auf eine Stresssituation zum Zeitpunkt ihrer Entstehung hin.

Die erhobenen Feinreisigstufen beschreiben den aktuellen Zustand der äußeren Krone. Der Aussagewert der Kronenzustandserhebung als aktueller Weiser für die Vitalität des Baumes ist wie oben beschrieben eingeschränkt. Zur Bestimmung der Vitalität können auf Grund der Aufnahmeart nur „visuelle“ Merkmale herangezogen werden. Sie beschränken sich im Wesentlichen auf den Gesundheitszustand, die Verteilung und auf die Menge des Feinreisigs in der Peripherie der Lichtkrone. Bäume, deren Kronen zahlreiches, dichtstehendes, langes und gesundes (lebendes) Feinreisig aufweisen, werden als Bäume höchster Vitalität eingestuft. Kronen mit hohen Anteilen toten Feinreises, geringer oder fehlender Verzweigung werden Bäumen geringer Vitalität zugeordnet. Unabhängig davon, was unter Vitalität verstanden wird, fällt es nicht schwer, eine vierstufige Abstufung der Vitalität zwischen Kronen mit geschlossener und aufgerissener Peripherie sowie mit geringen und hohen Totastanteilen vorzunehmen. Schwierigkeiten bestehen aber bei der Einwertung der Menge und Länge der Zweige sowie der Verzweigungsintensität. Dazu sind weitere Informationen aus dem Geschehen der vergangenen Vegetationszeit notwendig. Zwischen den Stufen 1, 4, 7 und 10 scheinen die Vitalitätsunterschiede gesichert zu sein. Nicht jedoch in den Stufen dazwischen, also z.B. zwischen 3,4 und 5. Unklar ist auch, ob die Stufenabstände eine lineare Beziehung zur „Vitalität“ aufweisen.

Zur Einschätzung der Vitalität muss auch das Alter und die soziologische Stellung berücksichtigt werden. Die meisten Bäume der vorliegenden Untersuchung liegen in vergleichbarem Rahmen und sind auf die KRAFT'SCHEN Klassen 1-3 beschränkt, sodass hierdurch keine größeren Fehler bei der Einschätzung zu erwarten sind.

Mit dem vorgestellten Boniturschlüssel wird der Kronenzustand ausreichend genau beschrieben. Dadurch lassen sich zwischen den Bäumen einer Projektfläche und zwischen Projektflächen nachvollziehbare Unterschiede im Kronenzustand der Eichen erkennen. Die Ergebnisse der Kronenansprache ermöglichen die angestrebten Vergleiche innerhalb und zwischen den Teilprojekten im Hinblick auf die „Vitalität“ der Bäume.

Unter den untersuchten Wurzelparametern hat die Anzahl von Mykorrhizen pro Bodenvolumen den steilsten Tiefengradienten, da die mit der Tiefe abnehmende Wurzelmasse mit der geringer werdenden Zahl von Mykorrhizen pro Wurzelmasse einhergeht. Die besonders hohe Zahl von Mykorrhizen in der größten Bodentiefe am kiesigen Standort Breisach dürfte mit der besonders guten Belüftungssituation zu tun haben.

Der durchschnittliche Tiefengradient bei der Abnahme der Wurzelmasse zeigt eine gute Entsprechung mit den Zählwerten von GAERTIG (s. Kap. 9.2.2, Abb. 24). Die Wurzelmenge von Einzelflächen weichen von den Durchschnittswerten aller Flächen nicht extrem stark ab. Hieraus kann also keine gravierende Störung der Wurzelfunktion in einzelnen Flächen abgeleitet werden. Bei Bodenverdichtung in Gefäßversuchen fand KOROTAEV (1991) u.a. für Stieleiche eine stark geminderte Erschließung von verdichteten Bodenbereichen.

## 10.5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bodenfaktoren einen erheblichen Einfluss auf Präsenz und Häufigkeit der Pathogene und somit den Gesundheitszustand der Eichenfeinstwurzeln haben. Ist der Standort durch erhöhten pH-Wert oder schlechte Belüftungsverhältnisse des Bodens gekennzeichnet, weisen die Feinstwurzeln einen erheblichen Pathogenbesatz auf. Die Funktionsstörung der Feinstwurzeln kann zur verringerten Aufnahme von Wasser und Nährsalzen führen. Je höher der Anteil an befallenen Wurzeln, desto eingeschränkter ist ihre Funktion. Wie in der Untersuchung auf der Fläche OBE (Oberkirch) an den absterbenden Eichen gezeigt werden konnte, scheinen die Pathogene auch einen Einfluss auf den Kronenzustand der Eichen zu haben. Diese korrespondiert mit dem von GAERTIG in Kap. 9.5 dargestellten Befund, dass mit höherem pH-Wert und Basensättigung des Bodens höhere Feinreisigverluste einhergehen. Verdichtete Standorte scheinen trotz zahlreicher Untersuchungen und Praxiserfahrungen über die gute Durchwurzelung der Stieleiche auf diesen Problemstandorten nicht uneingeschränkt für diese Baumart geeignet zu sein und dürfen diesbezüglich nicht überschätzt werden. Für die forstliche Praxis bedeutet dies, dass das Bestocken solcher Standortseinheiten mit Stieleiche Probleme nach sich ziehen kann. Kommen zur standortsbedingten Labilisierung des Feinstwurzelapparats weitere Belastungsfaktoren hinzu (z.B. Überschwemmung, Fraß durch Insekten, Trockenperioden), kann dies zum Absterben der Eichen führen. Außerdem sollte vorbeugend eine zusätzliche Verschlechterung der Durchlüftungssituation, insbesondere durch Befahrung, vermieden werden.

Inwieweit Schäden durch Blattfraß in der Krone Auswirkungen auf die Gesundheit der Eichenwurzeln haben (BLOCK et al. 1995), konnte nicht überprüft werden, da während des Untersuchungszeitraums keine ausgeprägten Fraßschäden entstanden sind.



## 11.7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Als Fazit der Untersuchungen wird festgehalten:

- Mit Hilfe spezifischer Isoenzymmuster lassen sich innerhalb von Eichenpopulationen zwei genetisch unterschiedliche Kollektive unterscheiden, die als Stiel- und Traubeneichen im Sinne zweier „guter“ Arten oder als zwei Unterarten (bzw. Ökotypen) der einen „guten“ Art *Quercus robur* aufgefasst werden können. Eine Trennung auf der Individualebene ist mit Hilfe der derzeitigen Isoenzymanalysetechnik weiterhin nicht möglich.
- Bestimmte Teilkollektive innerhalb von Eichenpopulationen, die eine höhere phänotypische Sensitivität bzw. Toleranz gegenüber Umweltstress zeigen, lassen sich auch genetisch gegeneinander differenzieren.
- Genetische Konsequenzen aufgrund des Verlustes von „sensitiven“ Individuen sind vorläufig nicht zu erwarten, da die genetische Konstitution der „toleranten“ Kollektive ein hohes Anpassungspotenzial erkennen lässt.
- Standort und Standraum können prädispositionierend hinsichtlich der Sensitivität gegenüber Umweltbelastungen wirken.

Die Arbeitshypothese, wonach (Teil-) Populationen der Stieleiche (*Quercus robur* L.) bzw. der Traubeneiche (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.) mit unterschiedlich ausgeprägten Symptomen neuartiger Waldschäden bei gleicher standörtlicher Schadstoffbelastung unterschiedliche genetische Strukturen besitzen, wird somit angenommen. Standort- und Bestandesfaktoren haben gleichfalls Einfluss auf die Expression der Schadsymptome.

Alle Maßnahmen gegen Prachtkäfer im Bestand wirken indirekt auch gegen **kernholzentwertende Käfer**. Zur Vermeidung des Befalls gelagerten Holzes hilft:

- Eine rechtzeitige – vor dem Käferflug im Frühjahr – erfolgende Abfuhr nach außerhalb von Laubholzgebieten.
- Es sollten nicht immer dieselben Lagerplätze beschickt werden.
- Eine Absenkung des Befallsdrucks ist durch die räumliche Trennung von befallenen und unbefallenen Holz möglich.
- Ein Befall noch unbefallener Stämme ist durch sachkundigen Einsatz von Insektiziden möglich.

Bereits befallenes Holz ist zur Vermeidung weiterer Entwertung frühzeitig im Jahr einzuschneiden.

### **12.2.5 Zusammenfassung**

#### **Differenzialdiagnostische Untersuchungen zu Eichenschäden der 90er Jahre in Baden-Württemberg**

##### **Die Eichenschäden der 90er Jahre in Baden-Württemberg**

Anlässlich der Anfang der 90er Jahre verstärkt in Baden-Württemberg auftretenden Eichenschäden, die sich schnell auf das gesamte Eichenverbreitungsgebiet ausbreiteten, wurde in den Jahren 1995 – 98 ein interdisziplinäres Forschungsprojekt an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg mit dem Ziel durchgeführt, die regional dominierenden Schadfaktoren der Eichenschäden zu identifizieren und differenzialdiagnostisch zu bewerten. Als ursächliche Schadfaktoren der Eichenschäden wurden die Entstehungsgeschichte, die Bestandesbehandlung, die genetische Konstitution, Gradationen phyllophager sowie rindenbrütender Insekten und Standortseigenschaften in die Untersuchung einbezogen. Ebenfalls werden anthropogene Veränderungen von bodenchemischen und bodenphysikalischen Standortseigenschaften als mögliche Schadursachen geprüft. Schwerpunkte der überwiegend in einzelnen Projektgruppen sektoral durchgeführten disziplinären Auswertungen waren:

- Die Entwicklung eines praxistauglichen Boniturschlüssels für die Erfassung von Kronenstruktur und Feinreisigverlust im Winterzustand.
- Durchführung von Kronenaufnahmen auf den intensiv oder extensiv untersuchten Versuchsflächen nach einem einheitlichen Boniturverfahren.
- Identifikation von Boden- und Standortseigenschaften als erklärende Variable der Feinwurzelverteilung.
- Untersuchungen zur Feinwurzelgesundheit und Wurzelpathogenen.
- Genetische Konstitution der untersuchten Eichenbestände sowie die genetische Differenzierung „gesunder“ und „geschädigter“ Teilkollektive.
- Bedeutung blattfressender und rindenbrütender Schadinsekten.

Das Wirkungsgefüge bei der Entstehung von Kronenschäden und Absterbevorgängen der Eiche wurde nach prädisponierenden, schadensauslösenden und schadensverstärkenden Faktoren gegliedert. Im Bereich der prädisponierenden Faktoren ergaben die

Untersuchungen im waldwachstumskundlichen und forstgenetischen Bereich, dass der bestandessoziologischen Stellung der Baumindividuen bei der Entstehung von Kronenschäden hohe Bedeutung zukommt und die genetische Unterscheidbarkeit zwischen „schadenstoleranten“ und „schadensdisponierten“ Teilkollektiven deutet auf eine substantielle Beteiligung der genetischen Ausstattung und damit der Entstehungsgeschichte der Eichenbestände an der Entstehung von Eichenschäden hin. Ein schadensauslösender bzw. verstärkender Einfluss von Trockenheit und Frostereignissen sowie der Gradationen von phyllophagen Insekten konnten belegt werden. Diese scheinen jedoch erst im Zusammenwirken mit einem oder mehreren prädisponierenden, belastenden Faktoren tatsächlich zu Kronenschäden und/oder reduziertem Wachstum zu führen. Ein innerhalb des Verbundprojektes sehr intensiv untersuchter Bereich war der prädisponierende Faktorenkomplex Standort, Bodenstruktur und Bodenbelüftung. Hier konnten hoch signifikante Zusammenhänge zwischen Bodenbelüftung und Feinwurzeldichte bzw. Tiefenerschließung durch Wurzeln belegt werden. Auch das Auftreten und die Abundanz von Wurzelpathogenen konnten teilweise mit Belüftungsstörungen erklärt werden. Die in der untersuchten Region offensichtlich zentrale Bedeutung von Wurzelschäden und einer Reduktion des Wurzelraumes für die Entstehung von Kronenschäden müssen einerseits Anlass geben, in der Waldbewirtschaftung alle Faktoren, die zu einer Labilisierung der Bodenstruktur und damit einer Verminderung der Bodenbelüftung führen können zu vermeiden (konsequente Vermeidung flächiger Befahrung) sowie die gängige Waldbaupraxis eines schwerpunktmäßigen Anbaus von Eichen auf belüftungsgestörten, hydromorphen Böden zu überdenken.