Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 78 (1989)

Heft: 1-2

Artikel: Ausmass der holländischen Ulmenkrankheit in der weiteren Umgebung der Stadt Freiburg im Jahre 1987 : Forstkreis 8 des Kantons Freiburg

Autor: Binz, Andreas / Wattendorff, Joachim

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308689

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ausmaß der Holländischen Ulmenkrankheit in der weiteren Umgebung der Stadt Freiburg im Jahre 1987 (Forstkreis 8 des Kantons Freiburg)

von ANDREAS BINZ und JOACHIM WATTENDORFF,
Institut für Botanische Biologie der Universität,
CH-1700 Freiburg (Schweiz)

Inhaltsverzeichnis Page

1. Einführung 93
2. Material und Methoden 100
3. Resultate 106
   3.1. Übersicht 106
   3.2. Der Einfluß der Populationsdichte auf die Schäden 108
   3.3. Der Einfluß der Höhenlage auf die Schäden in den Wäldern 110
   3.4. Der Einfluß der Zugänglichkeit und der Hangrichtung auf die Schäden 112
   3.5. Isolationen von *Ceratocystis ulmi* 116
4. Diskussion 118
5. Danksagung 124
6. Zusammenfassung – Résumé – Summary 125
7. Literatur 127

1. Einführung

Während des Ersten Weltkriegs trat in Belgien, Frankreich und den Niederlanden (GROSSMANN, 1932; STIPES and CAMPANA, 1981; THILL, 1985) eine unbekannte Ulmenkrankheit auf, die zahlreiche Ulmen zum Absterben brachte. Solche Bäume wurden in Holland ihrer starken Wuchsform wegen gerne als Widerstand gegen böige Winde und als Deichbefestigungen gepflanzt (GROSSMANN, 1932). Deshalb erstaunt es nicht, daß dieser neuen Krankheit großes Interesse entgegengebracht wurde. Im Jahre 1921 gelang es einer holländischen Forscherin, den Krankheitserreger zu isolieren: Es

handelte sich um den Pilz (Ascomyceten) *Ceratocystis ulmi* (BUISMAN) C. MOREAU (GIRLING and GREIG, 1985; GROSSMANN, 1932; THILL, 1985; WATTENDORFF, 1984; ZIMMERMANN, 1984). Wie sich bald herausstellte, wird dieser vor allem durch Angehörige der Familie Scolytidae (Borkenkäfer) von kranken auf gesunde Bäume übertragen (GROSSMANN, 1932; SENGONCA und LEISSE, 1984; STIPES and CAMPANA, 1981; STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982).

Der Erreger gelangt fast ausschließlich über Wunden der Rinde in die Wirtspflanze. Die Käfer fressen sich durch die Rinde hindurch bis auf das Splintholz. Daher kommt auch der Name Großer und Kleiner Ulmensplintkäfer (*Scolytus scolytus* F. und *Scolytus multistriatus* MARSH) für die beiden Hauptüberträger der Krankheit in Mitteleuropa (Fig. 1; SENGONCA und LEISSE, 1984; STIPES and CAMPANA, 1981). Der Pilz kann auch über Wurzelanastomosen (funktionell verwachsene Wurzeln zweier Ulmen) übertra-

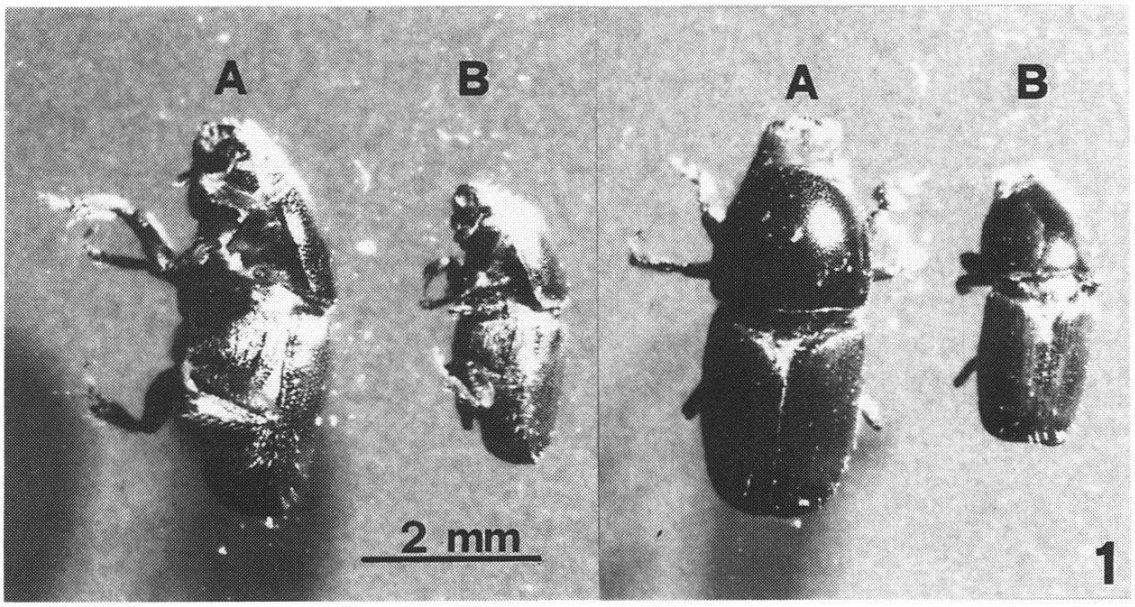


Fig. 1: *Scolytus scolytus* F. (A) und *Scolytus multistriatus* MARSH. (B). Fundort: Magere Au, Freiburg.

gen werden; diese Möglichkeit ist aber, verglichen mit den Schäden, die mit dem Transport durch die Käfer verursacht werden, verschwindend klein (SENGONCA und LEISSE, 1984; STROBEL und MATERN, 1982).

Die Ulmensplintkäfer vermehren sich nur in kranken, anderweitig geschwächten oder gefällten Ulmen (STIPES and CAMPANA, 1981; STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982). Nach der Kopulation bohrt das Weibchen den Muttergang und legt die Eier in regelmäßigen Abständen an

Fig. 2: Kranke Bergulme beim alten Tramdepot Pérolles in Freiburg. An diesem Baum kamen sowohl chronische als auch akute Krankheitssymptome vor.

dessen seitliche Nischen. Hier schlüpfen die Larven und fressen sich tangential zum Ast- oder Stammquerschnitt, das Splintholz furchend, weiter ins Phloem (Rinde) ein. Findet die Vermehrung in Bäumen statt, die vom Pilz infiziert sind, kann man in diesen Brut- und Fraßgängen ascosporenbildende

Fruchtkörper und ungeschlechtliche Fortpflanzungsformen (Fig. 3) des Krankheitserregers beobachten (STIPES and CAMPANA, 1981). Die Käferlarven schleppen beim seitlichen Bohren Sporen mit in die Larvengänge und Puppenwiegen ein. Nach der Verpuppung und dem Schlüpfen erfolgt eine erneute Kontamination mit den Pilzsporen. Die Jungkäfer fressen sich durch

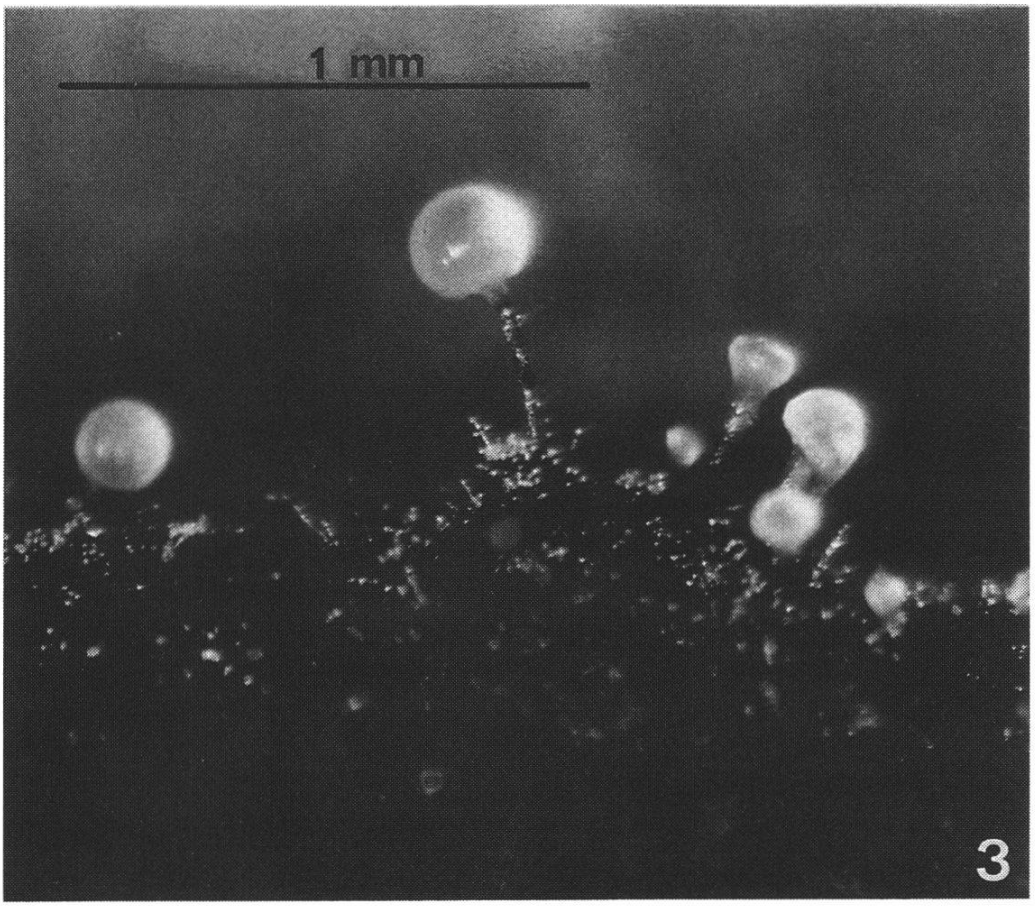


Fig. 3: Synnemata, die Nebenfruchtform von *Ceratocystis ulmi*. Solche Organe finden sich in den Fraßgängen der Ulmensplintkäfer.

die Rinde und fliegen meist zum Reifungsfraß auf gesunde Ulmen, die dabei infiziert werden. Die erkrankenden Bäume (Fig. 2) werden in wenigen Jahren danach selbst zur Brutstätte; eine Ulme kann mehreren Generationen als Fraßort dienen. Die Ulmensplintkäfer produzieren normalerweise ein bis zwei Generationen pro Jahr (STIPES and CAMPANA, 1981; STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982). Die Holländische Ulmenkrankheit verläuft epidemisch, da sie sich in einer Population anfälliger Wirte schnell ausbreitet. Da die Übertragung des Pilzes vor allem durch die Ulmensplintkäfer erfolgt, sind die Schäden einer Ulmenpopulation direkt von der Anzahl dieser Insekten abhängig. Diese wiederum hängt von der

Menge der zur Eiablage befähigten Weibchen ab. Da die befruchteten Eier nur in kranken oder anderweitig geschwächten Bäumen abgelegt werden, besteht zwischen der zur Verfügung stehenden Menge des Brutmaterials und dem Schädigungsgrad einer Ulmenpopulation ein direkter Zusammenhang. Beim Reifungsfraß der Jungkäfer wird durch die Neuinfektion gesunder Bäume der Brutraum erweitert. Dieser synergistische Effekt von Käfer und Pilz hat zur Folge, daß ein ungeschützter Ulmenbestand schnell vernichtet werden kann. Demzufolge gilt es, bei der Bekämpfung der Seuche das allererste Stadium, die Vermehrung der Überträger, zu verhüten. Gewöhnlich gelingt dies nicht, und daher wächst die Seuche exponentiell. Gesunde Ulmen widerstehen den Brutversuchen der Ulmensplintkäfer erfolgreich, und Borkenkäferbefall allein vermag einen Baum kaum abzutöten (STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982).

Erste äußere Symptome der Krankheit zeigen sich im Verwelken der Blätter, das von den zuoberst am Zweig stehenden zu den unteren Blättern fortschreitet (GROSSMANN, STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982). Es folgt oft eine gelbe Verfärbung der Blätter, die sich später einrollen und gewöhnlich rasch abfallen (chronischer Verlauf). Der Welkvorgang kann aber auch sehr schnell stattfinden, wobei die Blätter zunächst eine verwaschen grüne Farbe annehmen, allmählich braun werden und haften bleiben oder nach einigen Wochen abfallen (akuter Verlauf). Tote Zweige krümmen sich einwärts. Chronische und akute Symptome können auch an ein und derselben Pflanze auftreten; der Verlauf hängt von verschiedenen Faktoren wie der Aggressivität des Pilzes, der Jahreszeit, den Wetterbedingungen, der Ulmenart und dem Alter der Bäume ab. Chronisch geschädigte Ulmen siechen über mehrere Jahre dahin. Im Querschnitt infizierter Zweige sind auf dem der Infektion entsprechenden Jahresring braune Flecken zu sehen. Zieht man die Rinde solcher Zweige ab, so entdeckt man braune Längsstreifen auf dem Xylem (Holz) (Fig. 4.). Diese braunen Verfärbungen sind die ersten Anzeichen der Krankheit (GROSSMANN, 1932). Sie sind das Resultat einer durch den Pilz bewirkten, umfassenden Verstopfung der Wasserleitgefäße. Der Erreger, der sich im Wasserleitgewebe vermehrt und ausbreitet, scheidet nach einigen Autoren sogenannte Welketoxine ab, die den Wasserfluß in der Pflanze hemmen (STIPES and CAMPANA, 1981; STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982). Diese versucht, das infizierte Gewebe vom gesunden abzutrennen, respektive die Ausbreitung des Pilzes in der Ulme zu begrenzen, indem sie Wasserleitgefäße durch gummiartige Substanzen und Thyllen verstopft. (Thyllen sind in die Gefäße einwachsende Teile benachbarter lebender Parenchymzellen.) Gelingt dies schnell genug, kann die Infektion aufgehalten werden (ELGERSMA, 1970). Es werden auch andere Mechanismen angegeben, mit denen die Ulme der Infektion entgegenwirkt (BONSEN et al., 1985). Der Krankheitserreger

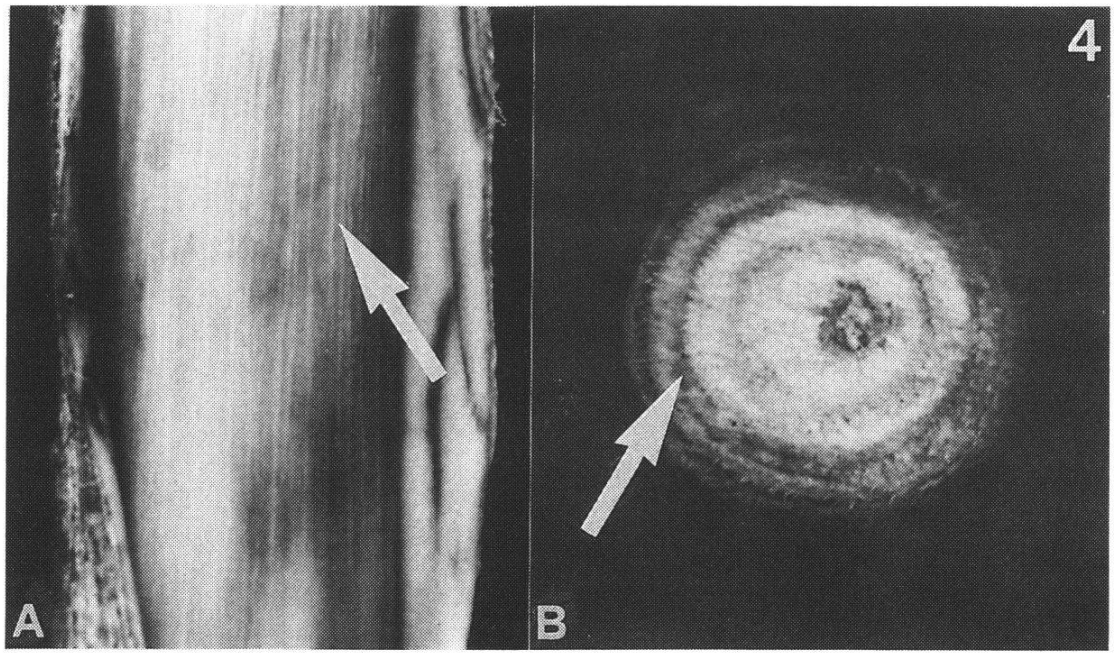


Fig. 4: A) Zieht man die Rinde erkrankter Zweige ab, werden dunkle Streifen auf dem Xylem sichtbar. (Pfeil). B) Auf dem Querschnitt sind dunkle Verfärbungen (Pfeil) zu entdecken.

kommt heute vor allem in zwei verschieden aggressiven Stämmen vor (BAZZIGHER, 1977; BRASIER, 1979; BUTIN, 1983; GIBBS et al., 1972; GIBBS and BRASIER, 1973). Die beiden verschieden aggressiven Stämme können *in vitro* morphologisch und physiologisch unterschieden werden (siehe auch Kapitel 3.5.). Es wird vermutet, daß der Stamm, der die erste Seuchenwelle der zwanziger bis fünfziger Jahre verursacht hatte, heute der weniger aggressive ist. Der aggressivere Stamm ist demnach für die zweite Epidemie der siebziger Jahre verantwortlich. Dieser Stamm existiert in zwei Rassen: einer nordamerikanischen (NAN-) Rasse, die sich in Nordamerika aus dem weniger aggressiven europäischen Stamm entwickelt hat, und einer eurasischen (EAN-) Rasse. Die nordamerikanische Rasse wurde aus Kanada auf Stämmen gefällter Ulmen nach England gebracht, von wo aus die zweite Seuchenwelle bis heute ganz Europa überrollt hat. Die eurasische Rasse dagegen breitete sich vom Iran über Italien und Osteuropa nach Mitteleuropa aus (BRASIER, 1979). Dieser zweite Seuchenzug hält bis heute in unverminderter Heftigkeit an.

Die erste Seuchenwelle des Ulmensterbens erfaßte Freiburg vermutlich erst um 1940. Offenbar erkrankten damals nicht alle unsere Ulmen, und die Erholung erfolgte relativ rasch, da auch die Stockausschläge gefällter Bäume nicht wieder krank wurden (WATTENDORFF, 1984). Gleichzeitig war überall in Europa ein Abflauen dieses Seuchenzugs zu beobachten (GIBBS and BRASIER, 1973; MISSON, 1962). Die zweite Seuchenwelle fiel in Freiburg

erstmals im Jahre 1980 auf, und spätestens vier Jahre danach erfolgte der Einbruch der Krankheit in naturnahe Bestände, nachdem zuerst gepflanzte Bäume in der Stadt gefällt werden mußten (WATTENDORFF, 1984).

Die Bergulme *(Ulmus glabra* HUDS. *var. scabra* [MILL.]) kommt in und um Freiburg mit hoher Stetigkeit vor, während natürliche Bestände anderer Ulmenarten in der näheren Umgebung der Stadt nicht bekannt sind (WATTENDORFF, 1984). Verschiedene Autoren erwähnen die relative Resistenz der Bergulme gegenüber dem ersten Seuchenzug dieses Jahrhunderts, und gelegentlich wird darauf hingewiesen, daß Arthybriden von *Ulmus glabra* eine größere Resistenz zeigten als solche der Feldulme *(Ulmus minor* MILL.) (MISSON, 1962; ROISIN, 1975). Die Angaben zur Resistenz der Ulmenarten sind widersprüchlich, doch ist die Bergulme bezüglich der zweiten Seuchenwelle wohl kaum resistent (BAZZIGHER, 1977; OBERDORFER 1983; STIPES and CAMPANA, 1981; ZIMMERMANN, 1984).

Der Krankheitsbefall mag überdies auch von Standortbedingungen und anderen Umweltfaktoren abhängen (MISSON, 1962; STIPES and CAMPANA, 1981; STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982; TAKAI and KONDO, 1978). In belgischen Arbeiten wird mehrmals auf die Gefahr der Verarmung der genetischen Vielfalt von vegetativ vermehrten Ulmenklonen hingewiesen, da bei dieser Vermehrungsart eventuelle Resistenzfaktoren der Seuche gegenüber verloren gehen könnten. Demnach könnten in natürlichen Beständen wegen der viel größeren genetischen Vielfalt einzelne Ulmen mit einem Resistenzpotential gegenüber der Krankheit vorkommen.

Einzelne Beobachtungen der ersten Jahre nach dem erneuten Krankheitsausbruch und die Resultate einer Umfrage bei den Forstinspektoren des Kantons Freiburg sprachen dafür, daß kranke Ulmen besonders in Höhenlagen um 600–700 m ü.M. vorkamen. Daher wurde eine obere Höhengrenze der Krankheit für möglich gehalten, wobei höher gelegene Bergulmenbestände vielleicht als genetisches Reservoir für die Wiederbesiedlung der verlorenen Gebiete hätten dienen können. Andererseits könnte eine solche Höhengrenze auch nur vorübergehend erscheinen, indem sich die Krankheit von den tiefer bis zu den höher gelegenen Ulmenbeständen allmählich ausbreitet.

Die vorliegende Studie, die im Sommer des Jahres 1987 durchgeführt wurde, sollte abklären, ob eine solche Höhengrenze existiert hat. Sie sollte ferner die Beziehungen zwischen Hangrichtung, Populationsdichte, Alter und dem durch das Ulmensterben angerichteten Schaden abklären.

2. Material und Methoden

2.1. Kartierung

Es wurden vor allem Wälder, Hecken, Einzel- und Alleebäume des 8. Forstkreises des Kantons Freiburg untersucht. Dieses Gebiet wurde wegen seines günstigen Profils, das von 434–1530 m ü.M. reicht, als Untersuchungsareal ausgewählt. Von Ende Juli bis Mitte September wurden Wälder, Hecken und Einzelbäume untersucht. Während die Kartierung bei einigen kleinen, gut begehbarn Wäldchen flächendeckend erfolgte, wurden bei starkem Gefälle und unwegsamem Gelände vor allem die auf den Karten der Maßstäbe 1 : 5000 und 1 : 25 000 eingezeichneten Wege abgeschritten. Beidseits des Weges wurde mit einem Feldstecher nach Ulmen Ausschau gehalten. Stadtwälder, Stadthecken und Einzelbäume in der Stadt standen innerhalb des auf der Übersichtskarte eingezeichneten Vierecks (Fig. 5, 6). Die Einteilung erfolgte nach subjektiver Einschätzung des Einflusses der Stadt. Alle Ulmen außerhalb dieses trapezförmigen Vierecks wurden der ländlichen Region zugerechnet. In der Stadt wurden 9 Wälder, 14 Hecken und 87 Einzel- und Alleebäume (Bäume der beiden größeren Kategorien; siehe unten), auf dem Land 20 Wälder, 7 Hecken und 19 Einzel- und Alleebäume untersucht. Die Einzelbäume auf dem Land stammten zum Teil von außerhalb des 8. Forstkreises. Um die Krankheitsentwicklung innerhalb eines Waldes während eines Sommers zu dokumentieren, wurde ein Wäldchen außerhalb des 8. Forstkreises bei Übewil (Wald Nr. 8) Ende Mai und Mitte September untersucht.

2.2. Einfluß der Größe der Ulmen auf den Krankheitsbefall

Der Stammumfang auf Brusthöhe wurde gemessen und der Fundort auf Karten der Maßstäbe 1 : 5000, 1 : 6250 und 1 : 25 000 vermerkt. Die Zahl der in den verschiedenen Größenkategorien gefundenen Bäume wurde auf einem separaten Beiblatt eingetragen.

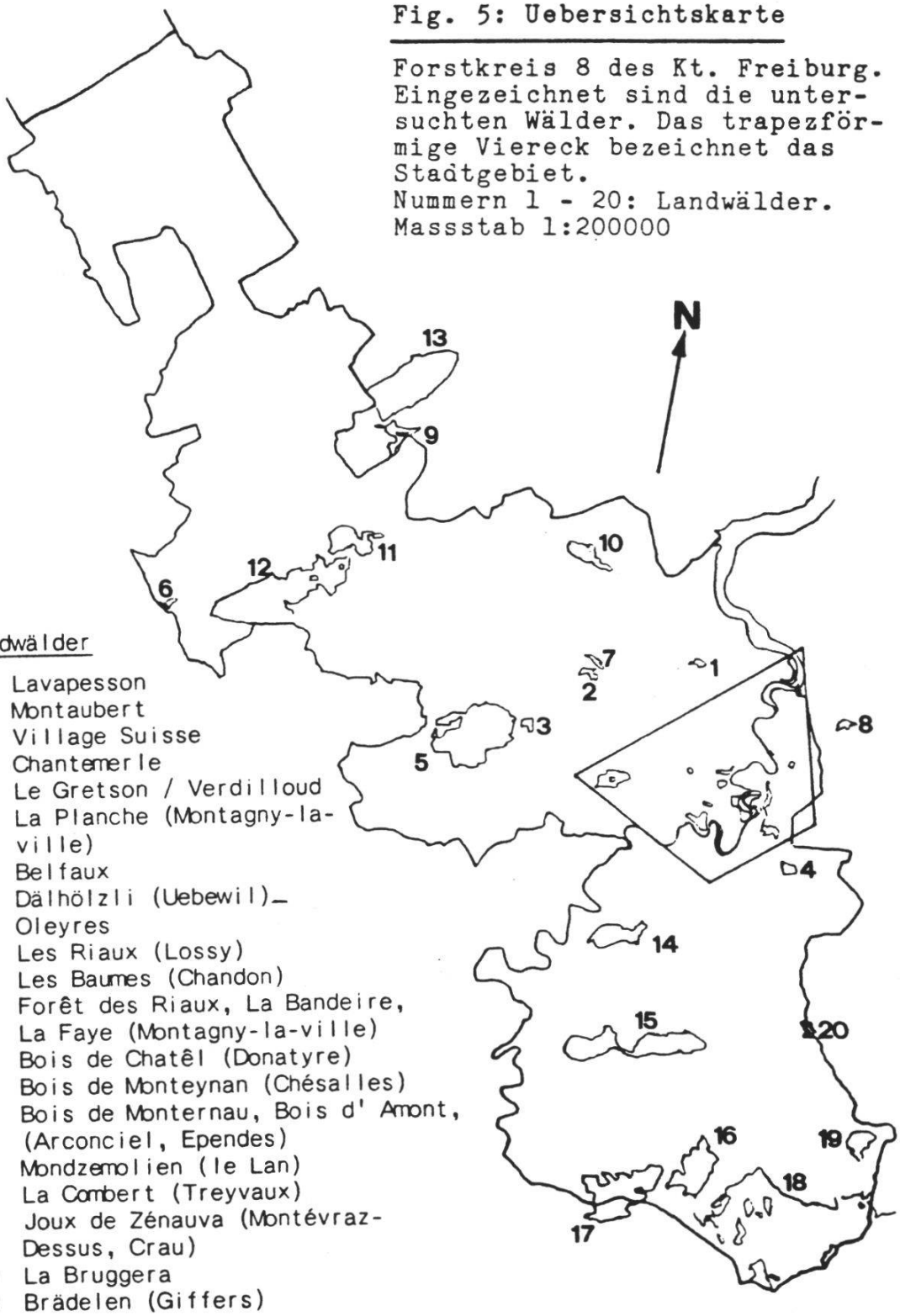
Die verschiedenen Größenklassen wurden wie folgt gewählt:

Stammumfang auf Brusthöhe (150 cm)	einstämmig Kategorie	mehrstämmig Kategorie
größer als 120 cm	1	2
zwischen 20 und 120 cm	3	4
kleiner als 20 cm	5	6

In der Kategorie der kleinsten Ulmen (Kategorien 5 und 6) wurden auch Exemplare mitgezählt, deren Höhe 1.50 m nicht überschritt, die also nicht bis auf Brusthöhenniveau kamen.

Fig. 5: Uebersichtskarte

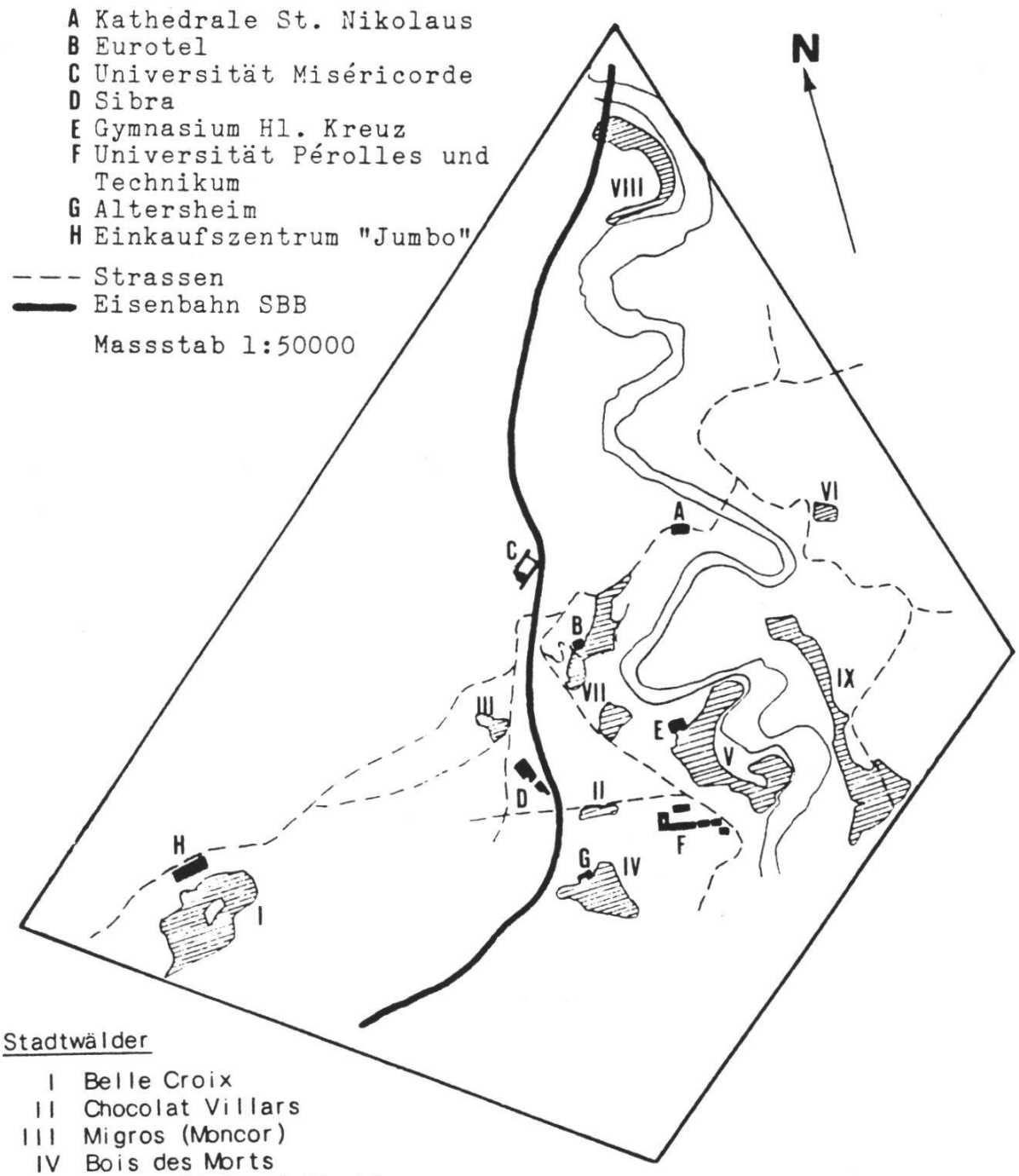
Forstkreis 8 des Kt. Freiburg. Eingezeichnet sind die untersuchten Wälder. Das trapezförmige Viereck bezeichnet das Stadtgebiet.
Nummern 1 - 20: Landwälder.
Massstab 1:200000



Landwälder

1 Lavapesson
2 Montaubert
3 Village Suisse
4 Chantemerle
5 Le Gretson / Verdilloud
6 La Planche (Montagny-la-ville)
7 Belfaux
8 Dälhölzli (Uebewil)
9 Oleyres
10 Les Riaux (Lossy)
11 Les Baumes (Chandon)
12 Forêt des Riaux, La Bandeire, La Faye (Montagny-la-ville)
13 Bois de Chatêl (Donatyre)
14 Bois de Monteynan (Chésalles)
15 Bois de Monternau, Bois d' Amont, (Arconciel, Ependes)
16 Mondzemolien (le Lan)
17 La Combert (Treyvaux)
18 Joux de Zénauva (Montévraz-Dessus, Crau)
19 La Bruggera
20 Brädelen (Giffers)

Fig. 6: Stadtwälder Nr. I - IX



Stadtwälder

I Belle Croix
II Chocolat Villars
III Migros (Moncor)
IV Bois des Morts
V Chemin Ritter / Pérollessee
VI Galterntal
VII Eurotel
VIII Grandfey
IX Les Rittes / Breitfeld

2.3. Einfluß der Populationsdichte auf den Krankheitsbefall

Wo die Kartierung flächendeckend erfolgte, wurde die Waldfläche folgendermaßen ermittelt: Der Wald wurde im Maßstab 1:25 000 auf Millimeterpapier eingezeichnet. Die kleinen Quadrate (1 mm^2) wurden innen gezählt und umgerechnet. Die flächendeckende Kartierung erfolgte, indem Quadrate von 50 m Seitenlänge abgesteckt und systematisch abgeschritten wurden.

Nicht flächendeckende Kartierung:
Die mit einem Kurvimeter auf der zur Kartierung benutzten Karte ermittelte abgeschrittene Strecke wurde mit dem Faktor 40 m multipliziert, womit erfahrungsgemäß die Ulmen innerhalb ca. 20 m links und rechts des Weges erfaßt wurden. Wo sich nur auf einer Seite des Weges Wald befand, multiplizierten wir die Länge dieses Teilstücks mit dem Faktor 20 m. Die gefundene Anzahl Bäume (ohne die Kategorien 5 und 6) wurde dann durch diese Fläche dividiert, was die Dichte der Population ergab. Daraufhin erfolgte die Einteilung in drei verschiedene, willkürlich gewählte Dichteklassen:

Klasse 1 Dichte kleiner als 400 Ulmen pro km^2
(weniger als 4 Ulmen pro Hektar)
Klasse 2 Dichte zwischen 400 und 1000 Ulmen pro km^2
(4 bis 10 Ulmen pro Hektar)
Klasse 3 Dichte größer als 1000 Ulmen pro km^2
(mehr als 10 Ulmen pro Hektar)

Diese Klassen scheinen sehr eng beieinander zu liegen. Es muß daher betont werden, daß es sich bei den Erhebungen um statistische Daten handelt, die aufgrund des sehr heterogenen Auftretens der Ulmen (einzeln oder in Gruppen) in den Wäldern mit entsprechender Vorsicht zu behandeln sind.

2.4. Einfluß der Zugänglichkeit und der Hangrichtung auf den Krankheitsbefall

Ein Baum galt hier als gut zugänglich für die Splintkäfer, wenn er einzeln, in einer Allee, in einer Hecke oder am Waldrand stand. Wies ein Hang mehr als 20% Gefälle auf, so wurden die hier gefundenen Daten bezüglich der Schäden untersucht. Die Hangrichtung wurde auf der Karte ermittelt.

2.5. Einfluß der Höhenlage auf den Krankheitsbefall

Die geschätzte Höhengrenze zwischen 700 m und 800 m ü.M. diente als Kriterium für eine Einteilung in zwei verschiedene Höhenklassen:

Höhenklasse 1 tiefer gelegen als 750 m ü.M.
Höhenklasse 2 höher gelegen als 750 m ü.M.

2.6. *Beurteilung des Krankheitsbildes*

Es wurde nur bei guter Sicht kartiert. Einzel-, Allee- und Heckenbäume wurden als krank eingestuft, sobald mindestens ein Ast klare Symptome, das heißt total vergilbte oder verwelkte Blätter zeigte. Demgegenüber galten vergilbte oder abgestorbene Äste von Waldbäumen nur als Zeichen für einen Krankheitsbefall, wenn sie über die Kronen der anderen Bäume hinausragten. Zu groß wäre sonst die Verwechslungsgefahr mit wegen Lichtmangels vergilbenden und absterbenden Schattenästen gewesen. Tote Bäume, die als Ulmen identifizierbar waren, wurden ebenfalls in die Statistik aufgenommen.

2.7. *Berechnungen*

Zum Vergleich der Schäden miteinander wurde der Test «Vergleich von zwei relativen Häufigkeiten aus zwei unabhängigen Stichproben» verwendet (vgl. z.B. INEICHEN, 1978). Der Test diente dazu abzuklären, ob die relativen Schäden signifikant voneinander abwichen; er wurde nur durchgeführt, wenn sämtliche Voraussetzungen erfüllt waren. Unsere Nullhypothese lautete: Die Unterschiede zwischen diesen relativen Schäden sind nicht signifikant, sie sind nur zufälliger Art.

Bei diesem Signifikanztest wird mit der angenähert normalverteilten Zufallsvariablen

$$U = \frac{n_{k1}/n_1 - n_{k2}/n_2}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)(1-p)p}} \quad \text{mit } p = \frac{n_{k1} + n_{k2}}{n_1 + n_2}$$

gearbeitet. Wir wählten das Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$; der kritische Wert ist dann bei zweiseitigem Testen 1,96. Ist der Wert von $|U|$ größer als 1,96, so können die ermittelten Unterschiede als signifikant betrachtet werden. – Die Voraussetzungen für die Anwendung dieses Testes berechnen wir unten.

Zeichenerklärungen

1, 2, 3, 4, 5, 6	Indizes für die ein- bzw. mehrstämmigen Unterkategorien der verschiedenen Größenklassen
LW	Landwälder
SW	Stadtwälder
LH	Landhecken
SH	Stadthecken
EL	Einzelbäume auf dem Land
ES	Einzelbäume in der Stadt
GLW	Gesamtzahl der Ulmen aus den Kategorien 1 bis 4 in den Landwäldern

GSW	Gesamtzahl der Ulmen aus den Kategorien 1 bis 4 in den Stadtwäldern
	GLH, GSH, GEL, GES analog
α	Signifikanzniveau. Die Bedeutung dieser Variablen soll an untenstehendem Beispiel verdeutlicht werden.
n	Totalanzahl Ulmen (einer bestimmten Kategorie z.B.)
n_k	Anzahl kranker Ulmen
$\lvert U \rvert$	Betrag der oben eingeführten Zufallsvariablen
H_0	Nullhypothese

Beispiel: Vergleich zwischen den Schäden der Kategorie 1 in Land- und Stadtwäldern (LW_1–SW_1; siehe Tab. 1 und 1a).

Erhielten wir für den Wert $\lvert U \rvert$ eine Zahl, die größer als 1,960 ist, würden wir in diesem Vergleich die Nullhypothese H_0 verwerfen: Aufgrund der beiden Stichproben könnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Natürlich besteht die Gefahr, dabei einen Fehler 1. Art zu machen: Die Resultate könnten uns dazu führen, H_0 verwerfen zu müssen, obwohl H_0 wahr ist. Die Wahrscheinlichkeit, diesen Fehler zu begehen, beträgt dann eben 5%, der Wert des Signifikanzniveaus α.

Für das unten gerechnete Beispiel wird aber die Nullhypothese beibehalten: Aufgrund der beiden Stichproben kann kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Auch bei diesem Entscheid besteht die Gefahr, einen Fehler zu begehen, den Fehler 2. Art: Die Resultate könnten uns dazu führen, H_0 beizubehalten, obwohl H_0 falsch ist. Da wir nur einen Signifikanztest durchführen, können wir die Wahrscheinlichkeit, diesen Fehler zu begehen, nicht angeben.

Aus Tabelle 1 entnehmen wir folgende Daten:

Kategorie 1	Landwälder	Stadtwälder
Totalanzahl Ulmen (n)	77 (n_1)	134 (n_2)
davon krank (n_k)	63 (n_{k1})	116 (n_{k2})
Schaden in %	81,82	86,57

Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, damit man den Test anwenden kann:

1) $(n_1 + n_2)\, p > 5$

$(n_1 + n_2)(1 - p) > 5 \qquad \text{mit } p = \frac{63 + 116}{77 + 134} = \frac{179}{211} = 0.8483$

2) $n_1, n_2 \geq 50$

3) Die beiden Stichproben müssen voneinander unabhängig sein.

Unsere Stichproben erfüllen alle diese Voraussetzungen; wir erhalten für

die Testgröße $\lvert U \rvert$ den Wert $\dfrac{\lvert 0{,}8182 - 0{,}8657 \rvert}{\sqrt{\left(\frac{1}{77} + \frac{1}{134}\right)(1 - 0{,}8483) \cdot 0{,}8483}} = 0{,}296$

Für den Vergleich $LW_1 - SW_1$ gilt also $0{,}926 < 1{,}96$; aufgrund unserer beiden Stichproben kann somit zwischen den relativen Schäden kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

3. Resultate

3.1. Übersicht

Sämtliche Erhebungsresultate sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Am stärksten von der Krankheit befallen waren Einzel- und Alleebäume, dann Ulmen in Hecken und am wenigsten stark Waldbäume. Ulmen auf Stadtgebiet waren stärker geschädigt als auf dem Land.

Die Schäden in den Wäldern waren bei den größten Bäumen am stärksten, während sie bei den kleinsten Ulmen, ob ein- oder mehrstämmig, praktisch ausblieben. Ein- und mehrstämmige Bäume der mittleren Größenklasse (Kategorien 3 und 4) waren auf dem Land gleich (Tab. 1 a, Nr. 1), in der Stadt aber signifikant verschieden stark befallen (Nr. 2). Zwischen den Schäden an den größten einstämmigen Bäumen (Kategorie 1) in Land- und Stadtwäldern war kein Unterschied feststellbar (Nr. 3), während die mittlere Größenklasse (Kategorien 3 und 4) in der Stadt signifikant stärker befallen war als auf dem Land (Nr. 4 und 5), was auch für die Gesamtschäden (ohne die Kategorien 5 und 6) zutrifft (Nr. 6).

Auch in den Hecken waren die größten Bäume am stärksten geschädigt, während die kleinsten kaum befallen waren. Die einstämmigen mittelgroßen Ulmen wiesen in den Stadt- und Landhecken nur unwesentlich verschiedene Schäden auf (Nr. 7), was ebenfalls für die Gesamtschäden gilt (Nr. 8).

Es ist bemerkenswert, daß sämtliche statistisch überprüfbaren Kategorien der Stadthecken signifikant höhere Schäden aufwiesen als die der Stadtwälder (Nr. 9–12). Dies gilt auch für die Gesamtschäden (Nr. 13).

Vergleicht man die Schäden der Kategorie 3 der Ulmen in Landhecken und -wäldern, so ist der Unterschied höchstsignifikant (Nr. 14). Die Verhältnisse dürften für die Kategorie 4 ähnlich liegen, obwohl hier nicht getestet werden kann. Der Vergleich der Gesamtschäden (Nr. 15) bestätigt die Vermutung, Ulmen in Landhecken seien derzeit einem höheren Befallsrisiko ausgesetzt als in Landwäldern.

Wenn auch die Schäden an Einzelbäumen auf dem Land hoch waren, konnte man sie nicht mit den Schäden in Landhecken und -wäldern vergleichen, da die Zahl der erfaßten Bäume zu gering war. Demgegenüber waren die Gesamtschäden an den Einzelbäumen in der Stadt mit denjenigen der Stadthecken vergleichbar: Die Einzel- und Alleebäume waren in der Stadt signifikant stärker geschädigt als gleich große Bäume in den Stadthekken (Tab 1 a, Nr. 16). Dieser höhere Schaden geht allerdings nur auf die Kategorien 3 und 4 (mittelgroße Bäume) zurück (Tab. 1). Aus Tab. 1 ist überdies die allgemeine Tendenz ersichtlich, daß mehrstämmige Bäume vor allem im Stadtgebiet stärker als einstämmige befallen wurden.

Kategorien			1	2	3	4	5	6	Gesamt (Kat. 1-4)
Stammumfang auf Brusthöhe			>120 cm		20 - 120 cm		< 20 cm		
Landwälder:		n	77	4	752	152	1600	300	985
	krank	n_k	63	4	161	33	1	0	261
		%	81,82	100	21,41	21,71	0,06	0,00	26,50
Stadtwälder:		n	134	9	799	245	1600	300	1187
	krank	n_k	116	9	353	127	1	0	605
		%	86.57	100	44,18	51,84	0,06	0,00	50,97
Landhecken		n	19		68	21	61	11	108
	krank	n_k	18		39	12	0	0	69
		%	94,74		57,35	57,14	0,00	0,00	63,89
Stadthecken		n	54	11	295	149	213	148	509
	krank	n_k	53	11	174	104	2	11	342
		%	98,15	100	58,98	69,80	0,94	7,43	67,19
Einzelbäume auf		n	18						18
dem Land	krank	n_k	17						17
		%	94,44						94,44
Einzelbäume in		n	47		29	11	5	20	87
der Stadt	krank	n_k	45		21	11	0	1	77
		%	95,74		72,41	100	0,00	5,00	88,51
Total		n	349	24	1943	578	3500	800	2894
	krank	n_k	312	24	748	287	4	12	1371
		%	89,40	100	38,50	49,65	0,10	1,50	47,37

Tab. 1: Übersicht über die Schäden in den einzelnen Kategorien und die Gesamtschäden.

Nr.	Verglichene Gruppen	Wert von |U|	Nr.	Verglichene Gruppen	Wert von |U|
1	LW_3–LW_4	0,082	9	SH_1–SW_1	2,384
2	SW_3–SW_4	2,105	10	SH_3–SW_3	4,348
			11	SH_4–SW_4	3,510
3	LW_1–SW_1	0,926	12	SH_6–SW_6	4,378
4	LW_3–SW_3	9,521	13	GSH–GSW	6,165
5	LW_4–SW_4	5,949			
6	GLW–GSW	11,595	14	LH_3–LW_3	6,609
			15	GLH–GLW	8,035
7	LH_3–SH_3	0,246			
8	GLH–GSH	0,661	16	GSH–GES	4,022

Tab. 1 a: Vergleich der Schäden nach Tab. 1 in verschiedenen Beständen und Größenkategorien (Zeichenerklärung siehe unter Kapitel 2.7).

Aufnahmen des Waldes Nr. 8 bei Übewil Ende Mai und Mitte September 1987 erlaubten, die Schadenszunahme in einem Wald im Verlauf des Sommers zu verfolgen. Während Ende Mai ein einziger Baum (Kategorie 1) befallen war (Gesamtschaden 5%, n = 20), traf dies Mitte September auf alle vier großen (Kategorie 1) und auf fünf mittelgroße Ulmen (Kategorie 3) zu (Gesamtschaden 45%). Der Unterschied belegt deutlich, wie stark entweder der Krankheitsbefall zunehmen kann oder andererseits, in welchem Maße die Beurteilungskriterien des Gesundheitszustands während des Frühlings im Wald unsicher sind. So wurde bei den vier Bäumen der Kategorie 1 Ende Mai überall wohl ein Befall vermutet, aufgrund der Beurteilungskriterien aber nur bei einem bestätigt. Mit dem Fortschreiten der Vegetationsperiode fiel aber die Beurteilung während des Sommers auch bei den anderen Bäumen recht sicher aus.

3.2. Der Einfluß der Populationsdichte auf die Schäden

Zwei nicht flächendeckend kartierte Landwälder besaßen innerhalb des Waldes unterschiedliche Populationsdichten (Landwälder Nr. 5 und 14). Sie wurden daher in zwei Teilflächen unterteilt: 5 a, b und 14 a, b.

Bei den anderen Wäldern waren die Populationsdichten innerhalb eines Waldes nicht so stark verschieden, als daß sie verschiedenen Dichteklassen angehört hätten.

3.2.1. Populationsdichten in den Landwäldern

Nimmt man alle Ulmen der Kategorien 1 – 4 (größte und mittelgroße Bäume) zusammen und vergleicht deren Schäden zwischen den einzelnen Dichteklassen, so ergeben sich signifikante Unterschiede im Krankheitsbefall (Tab. 2). Auch bei den Bäumen der Kategorie 3 und der Summe der Bäume der Kategorien 3 und 4 konnten signifikant verschiedene Schäden errechnet werden. Bestände, in denen die Ulmen dichter stehen, scheinen also deutlich stärker geschädigt zu sein als weniger dichte Ulmenpopulationen.

Kategorie	Dichteklasse 1 Dichte < 4 pro ha	Dichteklasse 2 Dichte 4 - 10 pro ha	Dichteklasse 3 Dichte > 10 pro ha
	krank waren	krank waren	krank waren
3	22 von 211 10.43 %	23 von 123 18.70 %	116 von 418 27.75 %
3 + 4	30 von 270 11.11 %	26 von 140 18.57 %	138 von 494 27.94 %
Gesamt (Kat. 1 - 4)	40 von 289 13.84 %	38 von 152 25.00 %	183 von 544 33.64 %

Vergleiche: Werte für |U|

	Kl 1 - Kl 2	Kl 1 - Kl 3	Kl 2 - Kl 3
a) Kategorie 3	2.135	4.956	2.019
b) Kategorien 3 + 4	2.086	5.369	2.235
c) Gesamt (Kategorien 1 - 4)	2.919	6.144	2.023

Tab. 2: Vergleich der Schäden in den Landwäldern an a) Bäumen der Kategorie 3 der verschiedenen Dichteklassen; b) der Summe der Bäume der Kategorien 3 und 4 der verschiedenen Dichteklassen und c) der Gesamtschäden der Kategorien 1–4 (Stammumfang größer als 20 cm).

3.2.2. Populationsdichten in den Stadtwäldern

Bis auf eine Ausnahme (Wald Nr. I, Dichteklasse 1) wurden in der Stadt nur Ulmenbestände der Dichteklasse 3 überprüft. (Wald Nr. I war gleichzeitig mit 680–720 m ü.M. der am höchsten gelegene Stadtwald.)

Im Wald Nr. I waren von 29 Ulmen der beiden größeren Kategorien 5 Exemplare erkrankt (17,24%), während in der Dichteklasse 3 von 1158 Bäumen deren 600 (51,81%) von der Seuche befallen waren.

3.2.3. Vergleich der Schäden in Land- und Stadtwäldern der Dichteklasse 3

Um die Schäden an den größten Ulmen vergleichen zu können, wurden die Bäume der Kategorien 1 und 2 zusammengezählt. Hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (vgl. Tab. 3). Dagegen sind die Unterschiede der Schäden in den Kategorien 3 und 4 höchstsignifikant. Diese Bäume scheinen in der Stadt sehr viel stärker geschädigt zu sein, was auch für die Gesamtschäden gilt.

Kategorien	1 und 2	3	4	Gesamt
Schäden Land	45 von 50 90.00 %	116 von 418 27.75 %	22 von 76 28.95 %	183 von 544 33.64 %
Schäden Stadt	122 von 138 88.51 %	351 von 786 44.66 %	127 von 234 54.27 %	600 von 1158 51.81 %
Vergleich (Werte für |U|)	a) 0.307	b) 5.733	c) 3.838	d) 7.014

Tab. 3: Vergleich der Schäden in der Dichteklasse 3 zwischen Stadt- und Landwäldern der a) Kategorien 1 und 2; b) Kategorie 3; c) Kategorie 4; d) Gesamtschäden (Kategorien 1–4).

Diese Resultate fügen sich durchaus in das Bild eines allgemeinen Vergleichs der Schäden von Stadt- und Landwäldern ein (vgl. Tab. 1 mit Tab. 3), wonach Stadtwälder stärker geschädigt waren. Daraus ist ersichtlich, daß die Unterschiede zwischen Stadt- und Landwäldern nicht allein auf eine verschiedene Populationsdichte zurückzuführen sind, sondern daß die Unterschiede prinzipiell auch bestehen bleiben, wenn man innerhalb derselben Dichteklasse untersucht (Landwälder der Dichteklasse 3 mit Stadtwäldern der Dichteklasse 3).

3.3. Der Einfluß der Höhenlage auf die Schäden in den Wäldern

In vier Landwäldern mit Ulmen konnten keine kranken Exemplare entdeckt werden. Nur einer dieser Waldbestände (Wald Nr. 19, zwischen 820–900 m ü.M.) lag über der vermuteten Höhengrenze von ca. 750 m ü.M. (Insgesamt lagen 5 Wälder höher als 750 m ü.M.). Dies weist darauf hin, daß ein Nichtbefall kaum nur der unterschiedlichen Höhenlage zuzuschreiben ist. Die höchstgelegene Bergulme, die während dieser Arbeit im Forstkreis 8 entdeckt wurde, stand auf einer Höhe von 1080 m ü.M. und war gleichzeitig krank (siehe auch Diskussion).

	Stadtwälder (alle unter 750 m ü. M.)			Landwälder unter 750 m ü. M.			Landwälder über 750 m ü. M.		
Anzahl der Wälder	9			15			5		
Höhenlage von - bis m ü. M.	535 - 680			490 - 710			760 - 1320		
Kategorie	n	n_k	Schaden	n	n_k	Schaden	n	n_k	Schaden
1	134	116	86,57 %	60	53	88,33 %	17	10	58,82 %
2	9	9	100 %	4	4	100 %			
3	799	353	44,18 %	567	143	25,22 %	185	18	9,73 %
4	245	127	51,84 %	103	26	25,24 %	49	7	14,29 %
Gesamt (1 - 4)	1187	585	50,97 %	734	226	30,79 %	251	35	13,94 %

Statistischer Vergleich der Schäden in Stadt- und Landwäldern, Werte für |U|.
(SW= Stadtwälder, LW= Landwälder)

Kategorie	1	2	3	4	Gesamt (1 - 4)
SW - LW < 750 m ü. M.	0.338		7.180	4.564	8.675
SW - LW > 750 m ü. M.			8.712		10.725
LW > 750 m ü. M. - LW < 750 m ü. M.			4.460		5.222

Tab. 4: Vergleich zwischen den Schäden an den Ulmen der Kategorien 1–4 in Stadtwäldern (alle unterhalb 750 m ü.M.), den Landwäldern unterhalb 750 m ü.M. und den Landwäldern über 750 m ü.M.

Die Wälder in der Stadt (Fig. 6) liegen alle unterhalb 750 m ü.M. Sie werden als besondere Gruppe mit in den Vergleich einbezogen. Tab. 4 gibt einen Überblick über die Schäden der beiden oberen Größenklassen (Kategorien 1–4) in den Stadtwäldern, den unter 750 m ü.M. gelegenen Landwäldern und den über 750 m ü.M. gelegenen Landwäldern.

Stadt- und Landwälder unter 750 m ü.M. zeigten in den Kategorien 1 und 2 ähnliche Schäden; in der mittleren Größenklasse (Kategorien 3 und 4) war der Schaden aber in den Stadtwäldern viel größer, so daß auch für die Gesamtheit der Kategorien 1–4 deutlich signifikante Unterschiede bestanden (Tab. 4: $|U| = 8.675$). Die Landwälder oberhalb 750 m ü.M. waren signifikant weniger geschädigt als alle Wälder unterhalb 750 m ü.M., ebenfalls bei separatem Vergleich mit den Landwäldern unterhalb 750 m ü.M. oder mit den Stadtwäldern. Man sieht ganz klar eine abnehmende Schädigung in der Reihenfolge Stadtwälder → Landwälder unterhalb 750 m ü.M. → Landwälder oberhalb 750 m ü.M. Möglicherweise hängt dies mit der Ausbreitung der Epidemie zusammen, wobei der Stadt die Rolle eines Ausbreitungszentrums zukäme (siehe auch Diskussion).

3.4. Der Einfluß der Zugänglichkeit und der Hangrichtung auf die Schäden

Unter Zugänglichkeit verstehen wir hier die mehr oder weniger gute Auffindbarkeit der Wirtsbäume für die Ulmensplintkäfer. Besonders zugänglich waren Bäume an Waldrändern und auf Lichtungen, Einzel- und Alleebäume sowie Ulmen in Hecken.

Es wurde willkürlich angenommen, daß ein Einfluß der Hangrichtung erst bei mehr als 20% Gefälle vorlag. Nur für die Wälder läßt sich somit eine Abhängigkeit von der besonderen Situation innerhalb des Waldes und von der Hangrichtung erkennen.

3.4.1. Zugänglichkeit und Hangrichtung in den Landwäldern

Praktisch alle kranken Bäume der Wälder der Dichteklasse 1 standen am Waldrand oder in dessen unmittelbarer Nähe. Wo dies nicht der Fall war, wie beispielsweise bei den Wäldern Nr. 12 und 18, befanden sich die Ulmen in der Regel auf Lichtungen und/oder überragten die übrige Baumkronendecke um einiges, waren also für die Ulmensplintkäfer gut zugänglich.

Wo auf der Karte eine ausgeprägte Hanglage (Steigung ≥ 20 %) ausgemacht werden konnte, wurde diese je nach Himmelsrichtung klassiert, und die dort gefundenen Ulmen wurden in Tab. 5 eingetragen. Die Ulmen der Kategorien 5 und 6 wurden nicht berücksichtigt.

Die Hypothese für diese Methode ist folgende:

Aus diesem Schema ersieht man leicht, daß die Zugänglichkeit der Bäume am Hang für die Vektoren besser ist als die der Ulmen in horizontal gelegenen Wäldern.

Die Signifikanz der Resultate wird vermutlich dadurch beeinträchtigt, daß in den Kategorien 3 und 4 zwischen den einzelnen Bäumen beträchtliche Größenunterschiede vorkommen. Einige Bäume ragen also gar nicht in die Kronenschicht hinein. Nimmt man aber an, daß die entsprechenden, mehr oder weniger hohen Ulmen an allen Hanglagen gleich stark vertreten sind, ist der Vergleich zulässig.

An folgenden Orten kann man von einer Hangrichtung nach den obigen Kriterien sprechen: Wälder Nr. 6, 7, 14, 15, 16, 17, 18, 19.

Nach BRAUN-BLANQUET (1964) verhalten sich Pflanzen an ostwärts gerichteten Lagen ähnlich wie an Nordlagen. Entsprechendes gilt für Pflanzen an West- und Südhängen. Deshalb wurden hier die Exemplare der Nord- und Ost- sowie der Süd- und Westlagen zusammengezählt und statistische Tests zum Vergleich der Gesamtschäden und der Schäden an den Bäumen der Kategorie 3 durchgeführt (Tab. 5). Da für die südlich exponierten Wäldchen Nr. 6 und 7 in Bezug auf Populationsdichte, Fläche und Höhenlage (unter 700 m ü.M.) so gänzlich verschiedene Bedingungen herrschen, wurden die dort gefundenen Bäume wegen der wohl zu großen Verfälschung der Resultate nicht berücksichtigt.

Die Gesamtschäden an Süd- und Westhängen waren signifikant höher als an Nord- und Ostlagen (Tab. 5: $|U| = 2.459$). Bei Ulmen der Kategorie 3 gehen die Unterschiede in dieselbe Richtung, sind aber nicht signifikant. Demnach fallen die höheren Schäden der größten Ulmen an Süd- und Westhängen stark ins Gewicht.

Hangrichtung	Landwälder: geschädigt waren	Stadtwälder: geschädigt waren
S	26 von 116: 22.41 %	75 von 150: 50.00 %
W	7 von 48: 14.58 %	147 von 349: 42.12 %
S und W	33 von 164: 20.12 %	222 von 499: 44.49 %
N	16 von 160: 10.00 %	80 von 176: 45.45 %
E	4 von 27: 14.81 %	148 von 267: 55.43 %
N und E	20 von 187: 10.70 %	228 von 443: 51.47 %

Vergleich zwischen den Gesamtschäden (Kategorien 1 - 4) aus S und W und N und E der Landwälder:

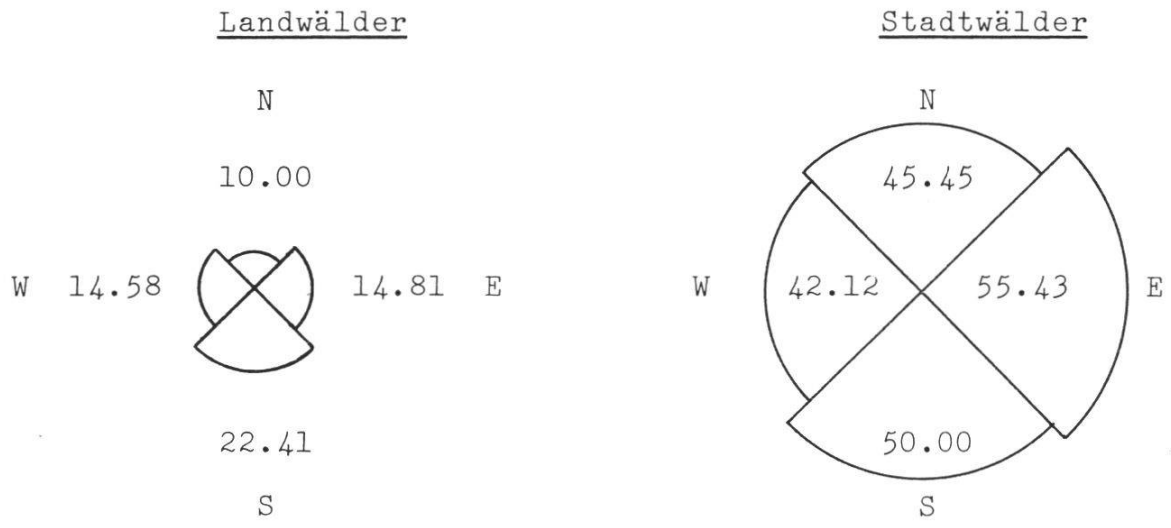
|U| = 2.459

Vergleich zwischen den Schäden an Ulmen der Kategorie 3 aus S und W und N und E der Landwälder:

S und W	N und E
18 von 130 geschädigt: 13.85 %	10 von 138 geschädigt: 7.25 %

|U| = 1,765

Tab. 5: Nach Hangrichtung eingeteilte Bäume der Kategorien 1–4.



2 % ≙ 1 mm auf dem Kreisradius

Schaubild zu Tab. 5: Prozentuale Schäden nach Hangrichtung.

3.4.2. Zugänglichkeit und Hangrichtung in den Stadtwäldern

Mit Ausnahme des Waldes Nr. I gehören alle untersuchten Wälder auf Stadtgebiet der Dichteklasse 3 an. Einer raschen Verbreitung der Krankheit stand hier also nichts im Wege. So wurden am Rand wie auch im Waldinnern gleichermaßen kranke Ulmen der Kategorien 1–4 gefunden. Die kranken Bäume des Stadtwaldes Nr. I hingegen befanden sich vor allem am Waldrand und auf Lichtungen inmitten des Waldes.

Bei folgenden Wäldern konnte eine einigermaßen eindeutige Hangrichtung festgestellt werden: Wälder Nr. II, IV, V, VI, VIII, IX.

Die erhobenen Daten und Berechnungen sind auf den Tabellen 5 und 6 dargestellt. Osthänge scheinen danach in der Stadt stärker vom Ulmensterben verseucht zu sein als Westhänge. Die Differenz kann aber eindeutig den an den Osthängen stärker geschädigten Ulmen der Kategorie 4 zugeschrieben werden, da der Unterschied zwischen den Gesamtschäden ohne diese Kategorie nicht signifkant ist (Tabellen 6a, b). Es wäre durchaus möglich, daß in der Stadt an den Süd- und Westhängen durch Abholzung total abgestorbener Ulmen die Krankheit nicht mehr so gut sichtbar ist, während auf dem Land an den Südhängen die Erkrankungen noch zunehmen: Diese Bäume sind wegen ihres gelben Laubes aufällig sichtbar. In diesem Fall waren an den Nord- und Osthängen der Stadt weniger Abholzungen erfolgt als an den Südhängen: Hier befand sich die Seuche im Maximum der Entwicklung. Die meisten Bäume in den Stadtwäldern standen an West- und Osthängen, die wenigsten an Südhängen (Tab. 5). In den Landwäldern dagegen waren die meisten Ulmen an Nordlagen, wohingegen an West- und Osthängen am wenigsten Bäume standen.

	Hangrichtung		Werte für |U|
Kategorie	S und W; geschädigt waren	N und E; geschädigt waren	
3	140 von 351: 39.77 %	136 von 312: 43.59 %	0.997
4	37 von 95: 38.95 %	53 von 87: 60.92 %	2.961
1 - 3	185 von 404: 45.79 %	175 von 356: 49.16 %	0.928
1 - 4	222 von 499: 44,49 %	228 von 443: 51.47 %	2.140

Tab. 6 a: Vergleich der Schäden an Süd- und Westlagen sowie Nord- und Ostlagen der Stadtwälder.

	Hangrichtung		Werte für |U|
Kategorie	W, geschädigt waren	E, geschädigt waren	
3	86 von 230: 37.39 %	82 von 180: 45.56 %	1.669
4	30 von 84: 35.71 %	45 von 63: 71.43 %	4.287
1 - 3	117 von 265: 44.15 %	103 von 204: 50.49 %	1.364
1 - 4	147 von 349: 42.12 %	148 von 267: 55.43 %	3.277

Tab. 6 b: Vergleich der Schäden an West- und Ostlagen der Stadtwälder.

3.5. Isolationen von Ceratocystis ulmi

Während die verschiedenen (NAN- und EAN-) Rassen des aggressiven Stamms von *Ceratocystis ulmi* wohl nur durch Fertilitätstests auseinandergehalten werden können, ist es einfach, den weniger aggressiven vom aggressiveren Stamm in vitro anhand physiologischer und morphologischer Kriterien zu unterscheiden (BRASIER, 1979; BRASIER et al., 1981; BRASIER and WEBBER, 1987). Der aggressivere Stamm hat sein Wachstumsoptimum bei 20–22°C und besitzt ein watteartig-flockiges, stark zoniertes Mycel (Fig. 7).

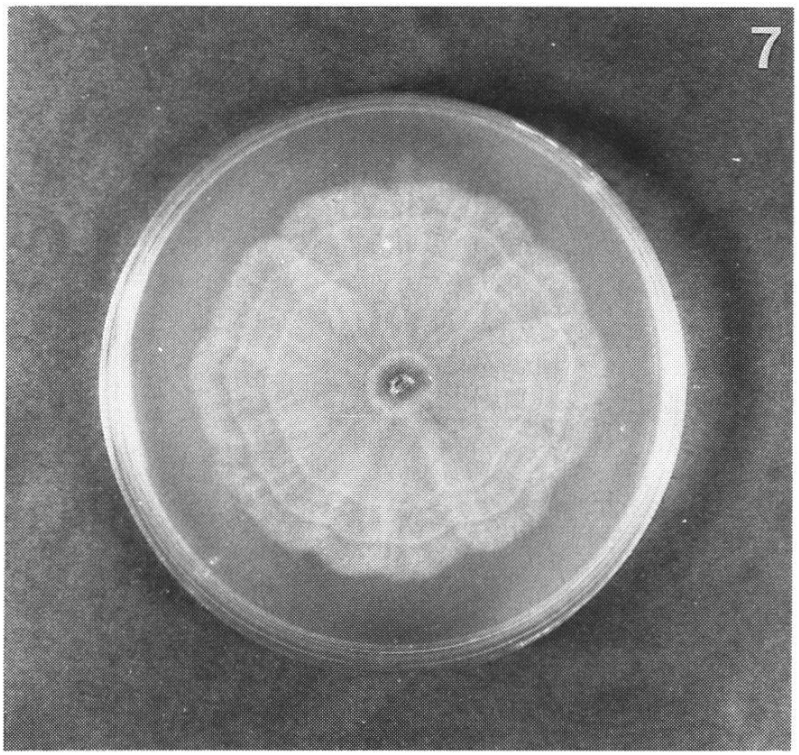


Fig. 7: Das watteartige, stark zonierte Mycel des aggressiveren Stammes von *Ceratocystis ulmi*.

Der weniger agressive Stamm wächst dagegen bei 30°C am schnellsten und ist durch sein flach anliegendes, wachsartiges und wenig zoniertes Mycel charakterisiert.

Von sieben Bäumen unterschiedlicher Herkunft wurden kranke Zweige mit einem an Ort und Stelle flammensterilisierten Messer abgeschnitten und in je einem Plastiksack ins Labor transportiert. Hier erfolgte die Isolation des Pilzes nach der Methode von POMERLEAU and PELLETIER (1967): Kleine Holzstücke wurden mit einer flammensterilisierten Rasierklinge abgeschnitten, auf 1,5 % (w/v) Wasseragar in Petrischalen ausgelegt und im Dunkeln bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Nach zwei Wochen erschienen die charakteristischen Nebenfruchtformen von *Ceratocystis ulmi*, die Synnemata (Fig. 3), die von den übrigen Mikroorganismen gut zu unterscheiden waren. Einige Sporen der Isolate wurden unter sterilen Bedingungen auf 2,0 % Malzextraktagar übertragen, und aufgrund der gewonnenen Daten wurde das tägliche Radiärwachstum des Mycels in vitro nach BRASIER and WEBBER (1987) bestimmt:

$$R/d = \frac{D_2 - D_1}{2\,(T_2 - T_1)}$$

R/d = Radiäres Wachstum pro Tag (mm d^{-1})
D_1 = Durchmesser des Mycels nach 2 Tagen (mm)
D_2 = Durchmesser des Mycels nach 7 Tagen (mm)
T_1 = 2 Tage (d)
T_2 = 7 Tage (d)

Um zu überprüfen, ob es sich tatsächlich um *Ceratocystis ulmi* handelte, wurden nach der zweiten Messung der Kulturen autoklavierte Ulmenholzstückchen gesunder Bäume unter sterilen Bedingungen zugegeben. Weitere drei Wochen danach konnte man die Kulturen auf die Produktion der typischen Synnemata untersuchen, da diese anscheinend meist erst nach Zugabe kleiner Holzstückchen gebildet werden (BUTIN, 1983).

Alle sieben Isolate zeigten ein stark und scharf zoniertes, dünnes und regelmäßig watteartiges Mycel (Fig. 7), das zum Teil etwas dunkel pigmentiert war. Der durchschnittliche Mittelwert des täglichen Radiärwachstums («Mittelwert der Mittelwerte») betrug bei Zimmertemperatur im Dunkeln

$$(3{,}31 \pm 0{,}35)\ \text{mm d}^{-1}$$

Das tägliche Radiärwachstum des am langsamsten wachsenden Mycels betrug 3.05 mm d^{-1} gegenüber 4,03 mm d^{-1} des am schnellsten wachsenden.

Sämtliche Isolate bildeten nach Zugabe sterilisierter Ulmenholzstückchen auf das Nährmedium innert 4 Wochen die charakteristischen Synnemata (Fig. 3). In keiner Kultur konnten Verunreinigungen durch andere Mikroorganismen entdeckt werden.

Es handelte sich also durchwegs um Isolate des aggressiveren Stammes von *Ceratocystis ulmi* (wahrscheinlich die nordamerikanische NAN-Rasse), der die zweite Seuchenwelle verursacht. Dieser Stamm wurde in der Schweiz schon früher isoliert: SVALDI and ELGERSMA (1982) identifizierten anläßlich von Enzymanalysen der verschieden aggressiven Pilzstämme ein eindeutig aggressives Isolat aus dem Kt. Wallis. Die nordamerikanische Rasse des aggressiveren Pilzstamms wurde für die Schweiz im Jahre 1978 von BRASIER entdeckt.

Inwieweit die in vitro festgestellten, unterschiedlichen Optima der Wachstumstemperatur der verschieden aggressiven Pilzstämme einen Einfluß auf die Verbreitungsgeschwindigkeit der Krankheit in der Pflanze haben, wurde bis heute noch nicht untersucht. Möglicherweise ist dies auch ein Grund für die höhere Schädigung der südlich und westlich exponierten Ulmenbestände auf dem Land, da die schnellere Erwärmung des Bodenwassers und somit des Milieus für *Ceratocystis ulmi* ein optimales Wachstum früher ermöglicht. Ein Temperaturbereich zwischen 15–29°C fördert die Entwicklung der Krankheit, und die Bodentemperatur beeinflußt diese ebenfalls (STIPES and CAMPANA, 1981; TAKAI and KONDO, 1978).

4. Diskussion

Viele Krankheiten bedrohen unsere Ulmen, doch nur die Holländische Ulmenkrankheit tritt als Epidemie auf; schon dadurch ist in unserem Fall die Krankheitsursache mit großer Wahrscheinlichkeit festgestellt. Im Wäldchen Nr. 8 bei Übewil wurde die schnelle und starke Ausbreitung des Ulmensterbens im Verlauf einer Saison verfolgt. Schon Mitte September standen die neu befallenen Bäume praktisch blattlos da. Auch in Freiburg starben ganze Kronenteile von erkrankten Ulmen innerhalb zweier Monate oder weniger ab.

Die Bergulme scheint im Kanton Freiburg gegen die erste Seuchenwelle dieses Jahrhunderts relativ resistent gewesen zu sein (vgl. Einführung). Nach eigenen Beobachtungen verursacht der aggressivere Stamm von *Ceratocystis ulmi* bei Bergulmen vor allem chronische Krankheitssymptome. An der gesamten Baumkrone gemessene Laubverluste ließen sich in der Literatur eindeutig mit der Aggressivität und der Erscheinungsform des Pilzmycels in vitro korrelieren (GIBBS and BRASIER, 1973; HINDAL et al., 1979). GIBBS and BRASIER (1973) bemerkten schwerere Schäden an mit aggressiveren Isolaten infizierten vierjährigen Bergulmen als an solchen, denen der schwächere Pilzstamm inokuliert wurde. SHIGO and TIPPETT (1981) entdeckten Erholungsfälle bei *Ulmus americana*. Diese Ergebnisse sind aber nicht ohne wei-

teres auf die Bergulme anwendbar, da GIBBS and BRASIER (1973) bei den erwähnten Infektionsversuchen bei *Ulmus americana* keine so stark verschiedene Krankheitsentwicklung (je nach Aggressivität des inokulierten Pilzes) entdecken konnten wie bei der Bergulme. Es wäre deshalb durchaus denkbar, daß das Überwiegen chronischer Krankheitssymptome an unseren Bergulmen schon auf eine gewisse Resistenz, etwa nach dem Muster «je weniger akute Symptome, desto resistenter», hindeuten könnte.

Die Untersuchung der Ulmenbestände des 8. Forstkreises des Kt. Freiburg ergab, daß hauptsächlich dickere, das heißt ältere Bäume krank waren. Vor allem die Resultate in der Stadt waren statistisch überprüfbar: In den beiden großen Baumkategorien (1 und 2) waren Einzel- und Alleebäume etwa gleich geschädigt wie die in Hecken, während diejenigen in den Stadtwäldern signifikant weniger geschädigt waren als in den Hecken. Qualitativ, obwohl nicht immer statistisch überprüfbar, können diese Ergebnisse auch auf ländliche Verhältnisse übertragen werden: Bei mehr oder weniger gleichen Schäden der großen Einzel- und Heckenbäume fällt der Unterschied zum Befall der Ulmen der Kategorie 1 in den Wäldern auf (Tab. 1). Kranke Einzelbäume fallen allerdings dem Beobachter ihres Blattverlustes wegen in der Landschaft mehr auf als gesunde. Dies gilt vor allem für weiter entfernte Ulmen.

Bäume der größten Kategorie in Stadt- und Landwäldern sind praktisch gleich stark befallen. Dies steht in krassem Gegensatz zu den relativen Schäden der Ulmen der Kategorien 3 und 4: Hier waren die Bestände in der Stadt mehr als doppelt so stark geschädigt wie auf dem Land. Ulmen der Kategorien 5 und 6 wurden hingegen kaum befallen. Bemerkenswert sind aber die Schäden an den mehrstämmigen kleinsten Ulmen (Kategorie 6) in den Stadthecken (Tab. 1).

Diese Ergebnisse legen folgende Schlüsse nahe:

Die Epidemie etabliert sich in Bäumen stark exponierter Standorte wie Einzel-, Allee- oder Heckenbäumen, die für die Ulmensplintkäfer am besten zugänglich sind. Verantwortlich dafür mögen stärkere visuelle Reize oder auch eine intensivere Duftwirkung der Ulmen sein (SENGONCA und LEISSE, 1984; STROBEL and LANIER, 1981). Sind die älteren Bäume einmal befallen und erkrankt, wird die Duftwirkung verstärkt (STROBEL and LANIER, 1981; STROBEL und MATERN, 1982), und mehr Borkenkäfer werden durch solche Stoffe angezogen. Die Bohr- und Fraßtätigkeit bringt für den einzelnen Baum einen erheblich höheren Infektionsdruck mit sich, was eine noch stärkere Schwächung und eine lawinenartig zunehmende Besiedlung durch die Ulmensplintkäfer erlaubt. Stehen mehrere Ulmen auf kleinerer Fläche in Gruppen zusammen, wie es häufig vorkommt (THILL, 1985), so wird ein Befall ebenfalls wahrscheinlicher. Zusammen mit der hohen Aggressivität

des übertragenen Pathogens wirkt sich dies verheerend auf einen solchen Ulmenbestand aus. Die These, daß die Seuche von Einzel- und /oder Hekkenbäumen ausgehend in die Waldbestände getragen wird, haben wir schon früher vertreten (WATTENDORFF, 1984).

Ist die Krankheit einmal, meist über die Waldränder, in Waldbestände eingebrochen, befällt sie auch hier zunächst die hohen, älteren Bäume und geht erst danach auf jüngere über. Ob dies mit den unterschiedlichen Lebensräumen (Stamm, Ast oder Zweig) der verschiedenen Überträger (POSTNER, 1974; STIPES and CAMPANA, 1981) und/oder mit einem zeitlich verschobenen Auftreten derselben zusammenhängt, ist unklar. Die Tatsache, daß Ulmen der Kategorien 5 und 6 kaum befallen werden, könnte durch verminderte Duftwirkung oder auch durch schwächere visuelle Reize erklärt werden, weswegen diese Pflanzen von den Ulmensplintkäfern weniger stark attackiert werden.

ZIMMERMANN (1984) und STROBEL and LANIER (1981) betonen im Zusammenhang mit einem eventuellen Aussterben der Ulme deren ausgesprochene Reproduktionsfähigkeit. Inwiefern diese Aussage auch für die Bergulme gilt, ist uns nicht bekannt. Es ist in diesem Zusammenhang bemerkenswert, daß oft in Gegenden, in denen viele alte kranke Waldbäume standen, junge Sämlinge häufig auftraten. Zudem kann man an Bergulmen, die im Winter 1987/88 geschlagen wurden, kräftige Stockausschläge beobachten.

Die signifikant höheren Schäden der mittelgroßen Ulmen (Kategorien 3 und 4) in der Stadt lassen vermuten, daß hier die Krankheit schon weiter fortgeschritten war als auf dem Land. Allerdings sind andere Faktoren wie Populationsdichte und Hangrichtung wohl ebenso für einen Befall mitentscheidend wie die Lage in Stadt oder Land. So war beispielsweise der Landwald Nr. 7 ähnlich stark geschädigt wie die einzelnen Stadtwälder derselben Dichteklasse 3. Die geringe Größe dieses Wäldchens mag den Schaden ebenfalls beeinflußt haben, da die Ulmen für die Überträger gut auffindbar waren.

Der signifikante Unterschied zwischen den Schäden der stärker befallenen östlichen Hanglagen und denjenigen der Westhänge in der Stadt geht ausschließlich auf die stärker geschädigten mehrstämmigen mittelgroßen Bäume zurück (Tabellen 6 a und b). Dabei handelte es sich vielfach um Ulmen, die einen Stammunfang von fast 120 cm erreichten. Diese Bäume wurden also möglicherweise schon während der ersten Seuchenwelle der vierziger Jahre infiziert und gefällt; die Mehrstämmigkeit spricht eindeutig für alte Stockausschläge. Die sonst kaum unterschiedlichen Schäden an den verschiedenen Hanglagen gehen wahrscheinlich auf die weiter fortgeschrittene Krankheit und den damit massiv verstärkten Infektionsdruck zurück. Möglicherweise wurden an Süd- und Westhängen ebenfalls tote Bäume ihres

häufigeren Vorkommens wegen vermehrt entfernt, wodurch der erfaßbare Prozentsatz an erkrankten Bäumen an diesen Hängen herabgesetzt wurde.

Vergleicht man die Schäden der verschiedenen Hanglagen der Landwälder Nr. 14–19, die vergleichbare Dichten aufwiesen, so ergibt sich ein fast doppelt so hoher Schaden der Süd- und Westlagen gegenüber den Nord- und Osthängen; der Unterschied war signifikant (Tab. 5). Dies widerspricht den Resultaten aus den Stadtwäldern und könnte darauf hindeuten, daß die Seuche auf dem Land erst anfing, Boden zu fassen. Vielleicht sind die stärkeren Schäden an Süd- und Westlagen dadurch zu erklären, daß sowohl Temperaturen als auch direkte Sonnenbestrahlung eine wesentliche Rolle für das Verhalten der Ulmensplintkäfer spielen (SENGONCA und LEISSE, 1984). So schwärmt beispielsweise *Scolytus scolytus* erst bei Temperaturen über 20 °C, die an sonnigen Süd- und Westhängen wohl eher erreicht werden als an schattigen Nord- und Ostlagen. Demzufolge könnten die Borkenkäfer ihren Reifungsfraß eher beginnen als in nördlich und östlich gelegenen Ulmenbeständen, was sich in einem erhöhten Krankheitsbefall auswirken würde, kann doch der Reifungsfraß eines einzigen Käfers auf verschiedenen gesunden und erkrankten Ulmen durchgeführt werden (SENGONCA und LEISSE, 1984). Diese Resultate stehen in Einklang mit den Ergebnissen der Umfrage bei den Forstinspektoren des Kantons Freiburg, wonach besonders warme und trockene Sommer die Verbreitung der Ulmensplintkäfer förderten. Angaben über schwere Schäden nach heißen, trockenen Sommern finden sich auch bei THILL (1985). STROBEL and LANIER (1981) sowie STROBEL und MATERN (1982) bemerkten verstärkte Symptome an heißen Frühsommertagen, erwähnen aber gleichzeitig, daß länger andauernde Hitze- und Trockenperioden den Krankheitsverlauf verlangsamen. Auch ELGERSMA (in STIPES and CAMPANA, 1981) erwähnt den Einfluß von Temperatur, Bodenfeuchtigkeit und Nährstoffangebot auf die Krankheitsentwicklung.

Während also längere Hitze- und Trockenperioden die Vermehrung und Verbreitung der Borkenkäfer fördern, hemmen sie wahrscheinlich aufgrund des verminderten Wasserstroms die Ausbreitung des Pilzes in der Pflanze. Wo die Regulation des Wasserhaushalts aber durch eine weiter fortgeschrittene Infektion zu stark beeinträchtigt ist, mag dies nicht mehr stimmen, da hier der Transpirationsvorgang relativ ungestört weiterläuft und das Wasserdefizit in heißeren Perioden viel größer wird, so daß der Baum rascher abstirbt.

ELGERSMA (in STIPES and CAMPANA, 1981) beschreibt anatomische Unterschiede im Xylem zwischen resistenten und suszeptiblen Ulmenarten oder Individuen derselben Art. So besitzen resistentere Bäume anscheinend kürzere und engere Wasserleitgefäße und kleinere Gefäßgruppen, die voneinander durch parenchymatisches Gewebe getrennt werden. Derselbe Autor

betont weiter die erhöhte Anfälligkeit schnellwachsender Bäume. Möglicherweise könnten die Schäden an Süd- und Westlagen auf dem Land mit einem standortbedingten beschleunigten Wachstum zusammenhängen, zumal Ulmen an lichten, warmen Standorten besonders gut gedeihen. Bergulmen, die dominierende Ulmenart im Kt. Freiburg, sind allerdings im Unterwuchs weniger heliophil als Feldulmen (KIRCHNER et al., 1931). Vielleicht hängt die früher beobachtete erhöhte Anfälligkeit der letzteren Ulmenart auch damit zusammen.

Auch die Ulmendichte in den verschiedenen Wäldern scheint den Infektionsverlauf zu beeinflussen. Obwohl die Einteilung der drei Dichteklassen willkürlich erfolgte, nahmen von der höchsten zur niedrigsten Klasse die Schäden in jeweils signifikanter Weise ab. Dichtere Ulmenbestände bedeuten eine erhöhte Wahrscheinlichkeit der Erstinfektion sowie eine schnellere Ausbreitung der Krankheit innerhalb dieser Ulmenpopulation.

Die Ulmenbestände der Stadtwälder gehörten mit einer Ausnahme zur Dichteklasse 3. Deren eher hohe Schäden werden, wie schon erwähnt, wahrscheinlich durch verschiedene Faktoren mitbeeinflußt. Während die Übertragung der Krankheit in Europa hauptsächlich durch den Grossen und Kleinen Ulmensplintkäfer erfolgt, spielt der Transport des Pilzes über Wurzelanastomosen eine eher untergeordnete Rolle (BUTIN, 1983; PLEXMAN et al., 1982; SENGONCA und LEISSE, 1984; STROBEL und MATERN, 1982). Trotzdem könnte diese Übertragungsart in ähnlich dichten Beständen, wie sie in Freiburg auftreten, zur Erhöhung der Schäden beitragen, zumal die Ulme ein weitverzweigtes, solides Wurzelwerk besitzt (THILL, 1985). STROBEL und MATERN (1982) erwähnen diese Übertragungsmöglichkeit bei Ulmen, deren Baumkronen aneinanderstoßen, was in den Stadtwäldern oft beobachtet wurde. Obwohl hier die Standorte für diese Bäume günstig sind, fallen die Schäden beträchtlich aus. Umwelteinflüsse sind denkbar. Besonders mitten in der Stadt (Pérolles, Grand-Places) könnten die Wurzeln der Ulmen unter der Bodenverdichtung leiden und so in ihrer Widerstandskraft geschwächt werden. Die hohe Luftbelastung in der Stadt Freiburg könnte einen zusätzlichen Faktor bilden (vgl. FÜHRER, 1985). Die dadurch geschwächten Ulmen wären so einem nochmals erhöhten Befallsrisiko ausgesetzt.

Allerdings wurde auch schon in umgekehrter Richtung argumentiert: R. MISSON (1962) vermutete nach dem Abflachen der ersten Seuchenwelle, die in den belgischen Städten herrschende starke Luftverschmutzung sei ein Grund für den Nichtbefall der dortigen Ulmen durch die Borkenkäfer. Bei den positiven wie bei den negativen Einflüssen der Umwelt auf die Erkrankung handelt es sich aber um Spekulationen.

Vielleicht läßt sich die höhere Schädigung der mehrstämmigen mittelgroßen Ulmen in der Stadt gegenüber den einstämmigen Bäumen derselben Größenklasse dadurch erklären, daß diese zu einem großen Teil aus Stock-

ausschlägen gefällter Bäume hervorgegangen sind. Wahrscheinlich wurden diese nach dem ersten Seuchenzug gefällt und erscheinen heute nach erneutem Ausschlagen als mehrstämmige Ulmen. Die mehrstämmigen Ulmen der kleinsten Größenklasse (Kategorie 6) waren, verglichen mit den einstämmigen Pflanzen derselben Kategorie, in den Stadthecken viel stärker geschädigt. Dieser relativ hohe Schaden geht möglicherweise auch auf eine früher erfolgte Infektion und das damit verbundene Abholzen eines mittelgroßen Baumes zurück, zumal diese Ulmen meist klar als Stockausschläge identifiziert werden konnten.

Wenn auch eine von den beiden aufgefundenen Flatterulmen (*Ulmus laevis* PALLAS) erkrankt war, so fiel trotzdem auf, daß dieser Baum erst im September 1987 Symptome zeigte, obwohl er einzeln stand und rings von außerordentlich stark geschädigten Ulmenbeständen umgeben war (Standort beim Bürglentor) [1]. Die andere Flatterulme steht weiterhin in der Allee an der Ecke der Hauptstraße im Breitfeld zwischen Bürglen und Marly, ebenfalls in einem sehr stark infizierten Gebiet. Die Beobachtungen von ZIMMERMANN (1984), wonach die Rinde von Flatterulmen für die Ulmensplintkäfer weniger attraktiv ist, scheinen sich also zu bestätigen. Anhand der Früchte einwandfrei identifizierte Feldulmen in Laupen (BE) waren hingegen sehr stark geschädigt.

Eine Höhengrenze für die Holländische Ulmenkrankheit konnte nicht gefunden werden: Die höchstgelegene kranke Bergulme im 8. Forstkreis wurde auf 1080 m ü.M. gefunden. Dies kommt nahe an die von JAQUET (1930) angegebene obere Verbreitungsgrenze von «gegen 1200 m» im Kt. Freiburg heran. (Der Forstinspektor des 4. Forstkreises, Herr Castella, beobachtete auf 1400 m ü.M. kranke Bergulmen. Der eine von uns [A.B.] sah im Sommer 1988 kranke Bergulmen auf 1300 m ü.M. eingangs des Naturreservats Vanil Noir. An diesem relativ steilen Nordhang scheint die Bergulme ebenfalls natürlich vorzukommen, so daß die von JAQUET angegebene Höhengrenze des Verbreitungsgebietes der Bergulme nach oben korrigiert werden muß.)

Trotzdem konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Schäden an den Ulmenbeständen in Wäldern über und in solchen unter einer willkürlich gesetzten Höhengrenze von 750 m ü.M. festgestellt werden (Tab. 4). Vermutlich beruht dieser Unterschied aber eher auf der Ausbreitungsdynamik der Krankheit, die von den Tälern her zu den höher gelegenen Standorten aufsteigt. Ob in diesen höheren Regionen eine Kampfzone verbleibt, in der sich resistentere Individuen halten könnten, kann noch nicht gesagt werden. Seit unseren Beobachtungen, wonach man im Bereich des Eisenbahnviadukts Grandfey an den südlich exponierten Hängen über dem rechten Ufer der

[1] Derselbe Baum zeigt im Sommer 1990 keine Symptome mehr.

Saane noch keine Schäden sah (WATTENDORFF, 1984), ist die Krankheit auch in diese Bestände eingebrochen. Die Befürchtung, daß in den nächsten Jahren «die Mehrzahl der Ulmen absterben wird», ist angesichts der dramatisch hohen Schäden berechtigt. Sie wird über die vorliegende Studie hinaus auch von den Resultaten der angesprochenen Umfrage bei den kantonalen Forstinspektoren gestützt, wonach in allen Kantonsteilen kranke Ulmen beobachtet wurden. Während im Sommer 1987 noch praktisch keine Ulmen der Kategorien 5 und 6 von der Krankheit befallen waren, erkrankten im Frühsommer 1989 auch solche Bäumchen.

1962 bemerkte MISSON, daß die Krankheit europaweit zurückginge, und er zitierte die Meinung von PEACE (1960), der schrieb, ein neuerlicher Ausbruch der Holländischen Ulmenkrankheit sei nur möglich, wenn sich die Virulenz des Pilzes steigere. Dies ist durch den Import des aggressiveren Stammes von *Ceratocystis ulmi* geschehen, und die Zukunftsperspektiven fallen eher düster aus, was die Existenz unserer Ulmen angeht. Die Aussichten auf Erfolg der bisher bekannten Bekämpfungsmaßnahmen sind gering, und auch in den letzten Jahren konnte keine für die forstliche Praxis taugliche Heilmethode gefunden werden.

Wollte man im Kanton Freiburg mittels Entfernen toter und kranker Bäume diese Seuche einigermaßen wirksam bekämpfen, wäre dies nur mit beträchtlichem finanziellen Aufwand zu schaffen. Da es bisher weitgehend versäumt wurde, neu erkrankte und abgestorbene Ulmen sofort zu entfernen, mögen in naher Zukunft getroffene Maßnahmen nicht oder nur langsam greifen, da die Epidemie schon zu weit fortgeschritten ist. Deshalb finden die Ulmensplintkäfer bei uns noch reichlich Nahrung und Brutstätten, und die Anzahl der Käfer und damit wohl auch der Infektionsdruck auf die schwindende Ulmenpopulation dürfte im Augenblick noch zunehmen. Der Käferbefall einer Ulme kann bei *Ulmus americana* bis zu 10 000 Individuen pro m^2 Rinde betragen (KEYSERLINCK, 1980, zitiert in SENGONCA und LEISSE 1984), so daß die Abnahme der Käferzahl wohl erst kurz vor dem Aussterben der heimischen Ulmen zu erwarten ist.

5. Danksagung

Herr Kantonsoberförster Dr. Anton Brülhart und Herr Forsting. ETH J. Deschenaux gaben uns hilfreiche Auskünfte und materielle Unterstützung. Frau Dr. U. Heiniger, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, gab uns wertvolle Hinweise und Literaturangaben. Herr Prof. Dr. R. Ineichen, Mathematisches Institut der Universität Freiburg, überprüfte die Formulierung unserer statistischen Berechnungsweise. Wir danken allen herzlich für ihre Hilfe.

6. Zusammenfassung – Résumé – Summary

Zusammenfassung

Die durch die Holländische Ulmenkrankheit verursachten Schäden an den Ulmenbeständen des 8. Forstkreises des Kantons Freiburg wurden im Jahre 1987 erhoben. Alle sieben Pilzisolate, die aus verschiedenen Teilen des untersuchten Gebiets stammten, gehörten dem aggressiveren Stamm von *Ceratocystis ulmi* an, der für die zweite Seuchenwelle der siebziger und achtziger Jahre verantwortlich ist. Diese erneute Epidemie scheint unsere Bergulmenbestände stärker zu schädigen als der erste Seuchenzug in den vierziger Jahren.

Größere, ältere Bäume wurden bevorzugt befallen. Die unterschiedlichen Schäden der entsprechenden Größenkategorien an Einzel-, Hecken- und Waldbäumen (in absteigender Reihenfolge) sind wahrscheinlich auf die verschieden leichte Auffindbarkeit der Wirtspflanzen durch die Ulmensplintkäfer zurückzuführen.

Die – verglichen mit ländlichen Regionen – höheren Schäden in der Stadt lassen vermuten, daß die Stadt die Rolle eines Ausbreitungszentrums der Seuche innehat. Das häufige Vorkommen von Bergulmen in Freiburgs Wäldern bietet für die Überträger des Ulmensterbens günstigste Vermehrungsbedingungen. In dieser «Momentaufnahme» aus dem Jahre 1987 konnte allgemein festgestellt werden, daß dichtere Populationen stärker geschädigt waren als weniger dichte.

Höher gelegene Ulmenbestände waren signifikant weniger von der Seuche betroffen als tiefer gelegene. Dies hängt wahrscheinlich mit der geringeren Populationsdichte bei steigender Höhenlage und mit der Ausbreitungsdynamik der Krankheit zusammen.

In den Landwäldern konnten darüber hinaus bei gleichen Populationsdichten höhere Schäden an südlich und westlich exponierten Hängen, verglichen mit Ulmenbeständen an Nord- und Ostlagen, festgestellt werden.

Es ist zu befürchten, daß sich die Seuche im Kanton Freiburg weiter ausbreiten und in den nächsten Jahren auch bis anhin weniger stark befallene Gebiete massiv erfassen wird. Im Frühsommer 1989 konnten häufig kranke Ulmen der Kategorien 5 und 6 beobachtet werden, welche im Sommer 1987 kaum Symptome erkennen ließen. Auch dies läßt für unsere Ulmen Schlimmes befürchten. Trotzdem war es beeindruckend zu sehen, wie im Winter 1987/88 gefällte kranke Bergulmen erneut stark ausschlugen und so möglicherweise in einigen Jahren wieder zu starkem Wuchs kommen könnten.

Résumé

Les dégâts causés par la graphiose des ormes dans le huitième arrondissement forestier du Canton de Fribourg ont été évalués en 1987. Tous les échantillons de l'agent de la maladie qui ont été pris de plusieurs différents endroits de cette région faisaient partie de la souche la plus aggressive de *Ceratocystis ulmi* qui est responsable de l'épidémie actuelle. On suppose que la reprise actuelle de cette maladie soit plus pernicieuse pour l'orme commun que la propagation des années quarante.

Les arbres plus grands et vieux ont été attaqués plus gravement par la maladie. Les différences entre les pourcentages des dégâts des différentes catégories de grandeur des arbres isolés, des ormes situés dans les haies et dans les forêts peuvent probablement être attribuées au fait que les vecteurs (transporteurs) de la maladie trouvent plus facilement les arbres isolés que les autres.

On présume que la ville de Fribourg est le centre de propagation de la maladie dans notre canton. En fait, la grande fréquence de l'orme de montagne dans les forêts de la ville représente un endroit idéal pour la multiplication des vecteurs. On constatait que les populations d'ormes plus denses étaient plus endommagées que celles moins denses.

Des populations d'ormes en altitude plus haute montraient moins de dégâts que celles d'altitude basse, ce qui est probablement lié au fait que plus on monte, la population d'ormes devient moins dense. De plus, cela dépend aussi de la vitesse et de la dynamique de propagation de la maladie. On constatait aussi qu'en campagne les ormes situés aux versants de l'ouest et du sud ont été plus endommagés que les arbres exposés au nord et à l'est.

On doit craindre que la maladie aille se propager encore plus dans notre canton pendant les années suivantes, et qu'elle augmentera aussi les dégâts dans les régions moins touchées. Mais il reste des espoirs: si on voit avec quelle vitalité des arbres malades abattus ont recommencé à pousser, c'est tout à fait possible qu'ils vont atteindre de nouveau une belle grandeur.

Summary

The damages caused by the Dutch elm disease have been investigated in 1987 for a part of the Canton of Fribourg, Switzerland. All the seven isolates of *Ceratocystis ulmi* which had been collected at different places of the region under question were identified as samples of the aggressive strain of this fungus. This strain is responsible for the recent epidemic causing far more serious losses than the first epidemic of the forties of this century.

Bigger and older trees were more strongly infected than younger ones. The more accessible an elm is for the vectors (elm bark beetles) of the Dutch elm disease, the higher is the risk of infection. This could be an explanation for the fact that forest trees were less infected than isolated ones. Elms placed in hedges were more damaged than elms in woods, but less than isolated trees.

We presume that the city of Fribourg plays a role of a propagation centre for the disease. There are a lot of wych elms in the city woods so that this town represents a very good breeding and multiplication site for the bark beetles. It has been shown that denser elm populations were more damaged than less dense ones.

In the countryside there was evidence that south- and west-exposed trees showed more losses than elms growing on north- and east-exposed slopes.

During the next years, Dutch elm disease will continue to cause serious damages also in regions not heavily attacked so far. In spring 1989 we could observe many little elm trees (size categories 5 and 6) infected which were hardly diseased in 1987.

Nevertheless, we were impressed to see how strongly wych elms which were cut in winter 1987/88 did bud again and may grow up to large trees in several years.

7. Literatur

BAZZIGHER, G.: Ein neues epidemisches Ulmensterben. Schweiz. Z. Forstwes. *128*, 1–6 (1977).

BONSEN, K.J.M., SCHEFFER, R.J., and ELGERSMA, D.M.: Barrier zone formation as a resistance mechanism of elms to Dutch elm disease. IAWA Bull. *6*, 71–77 (1985).

BRASIER, C.M.: Dual origin of recent Dutch elm disease outbreaks in Europe. Nature *281*, 78–80 (1979).

– – , LEA, J., and RAWLINGS, M.K.: The aggressive and non-aggressive strains of *Ceratocystis ulmi* have different temperature optima for growth. Trans. Br. mycol. Soc. *76*, 213–218 (1981).

– – , and WEBBER, J.F.: Positive correlation between in vitro growth rate and pathogenesis in *Ophiostoma ulmi*. Plant Pathology *36*, 462–466 (1987).

BRAUN-BLANQUET, J.: Pflanzensoziologie, 3. Aufl. Springer: Wien, New York 1964.

BUTIN, H.: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Thieme: Stuttgart, New York 1983.

ELGERSMA, D.M.: Length and diameter of xylem vessels as factors in resistance of elms to *Ceratocystis ulmi*. Neth. J. Pl. Path. *76*, 179–182 (1970).

FÜHRER, E.: Air pollution and the incidence of forest insect problems. Z. ang. Ent. *99*, 371–377 (1985).

GIBBS, J.N., and BRASIER, C.M.: Correlation between cultural characters and pathogenicity in *Ceratocystis ulmi* from Britain, Europe and America. Nature *241*, 381–383 (1973).

– – , HEYBROEK, H.M., and HOLMES, F.W.: Agressive strain of *Ceratocystis ulmi* in Britain. Nature *236*, 121–122 (1972).

GIRLING, M.A., and GREIG, J.: A first fossil record for *Scolytus scolytus* F. (elm bark beetle): its occurrence in elm decline deposits from London and the implications for Neolithic Elm Disease. J. Archaeol. Sci. *12*, 347–351 (1985).

GROSSMANN, H.: Das Ulmensterben. Schweiz. Z. Forstwes. *83*, 50–59 (1932).

HINDAL, D.F., HARNER, E.J., and MACDONALD, W.L.: Further studies on the relationship between cultural characteristics and pathogenicity in *Ceratocystis ulmi*. Phytopathology *69*, 108–111 (1979).

INEICHEN, R.: Elementare Beispiele zum Testen statistischer Hypothesen, 2. Aufl. Orell Füssli: Zürich 1978.

JAQUET, F.: Catalogue raisonné des plantes vasculaires du Canton de Fribourg et des contrées limitrophes, Mitt. Naturf. Ges. Freiburg *5*, 90–91 (1930).

KIRCHNER, O. VON, LOEW, E., und SCHROETER, C.: Lebensgeschichte der Blütenpflanzen Mitteleuropas, II. Band, 1. Abteilung, 2. Teil, 5. Familie: Ulmaceae, bearbeitet von H. WALTER. Ulmer: Stuttgart 1931.

MISSON, R.: Faut-il en Belgique relever l'orme de sa déchéance? Bull. Soc. Roy. For. de Belgique *69* (3) (1962).

OBERDORFER, E.: Pflanzensoziologische Exkursionsflora, 5. Aufl. Ulmer: Stuttgart 1983.

PLEXMAN, C.A. (ed.): Dutch elm disease research, mangement and technology transfer. Canadian Forestry Service: Forestry Research Newsletter Spring 1982.

POMERLEAU, R., and PELLETIER, R.: A new technique to determine the presence of *Ceratocystis ulmi* (BUIS.) C. MOREAU in fresh elm leaves, shoots and wood. Le Naturaliste Canadien *94*, 59–62 (1967).

POSTNER, M.: Scolytidae, Borkenkäfer. In: SCHWENKE W.: Die Forstschädlinge Europas, Band *2*, 474–481. Parey: Hamburg und Berlin 1974.

ROISIN, P.: Il y a cinquante ans. Bull. Soc. Roy. For. de Belgique *82*, 281–283 (1975).

SENGONCA, C., und LEISSE, N.: Bedeutung der Borkenkäfer (Col., Scolytidae) bei der Verbreitung des Erregers der Holländischen Ulmenkrankheit im Raum Euskirchen. Z. ang. Ent. *98*, 413–423 (1984).

SHIGO, A., and TIPPETT, J.T.: Compartmentalization of American elm tissues infected by *Ceratocystis ulmi*. Plant Disease *65*, 715–718, (1981).

STIPES, R.J., and CAMPANA, R.J. (eds.): Compendium of elm diseases. Published by the American Phytopathological Society, 2–22 (1981).

STROBEL, G.A., and LANIER, G.N.: Dutch elm disease. Scientific American *245*, 40–51 (1981).

– – , und MATERN, U.: Neue Entwicklungen in der Erforschung des Ulmensterbens. Biol. uns. Zeit *12*, 82–90 (1982).

SVALDI, R., and ELGERSMA, D.M.: Further studies on the activity of cell wall degrading enzymes of aggressive and non-aggressive isolates of *Ophiostoma ulmi*. Eur. J. For. Pathol. *12*, 29–36 (1982).

TAKAI, S., and KONDO, E.S.: Seasonal development of Dutch elm disease on white elms in Central Ontario, Canada. I. Following wound inoculation. Can. J. Bot. *57*, 341–352 (1978).

THILL, A.: L'orme, une essence de vie en voie d'extinction. Bull. Soc. Roy. For. de Belgique *92*, 217–236 (1985).

WATTENDORFF, J.: Botanische Spaziergänge um Freiburg im Üchtland. 3. Notiz zum Ulmensterben. Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. *73*, 126–131 (1984).

ZIMMERMANN, G.: Ulmensterben: Resistente Ulmensorten und Stand der biologischen Bekämpfung. Schweiz. Beitr. Dendrol. *34*, 448–449 (1984).