

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem**



**Über die Eignung verschiedener physikalisch-  
technischer Verfahren zur phytosanitären Behandlung  
und zur Lagerung von Forstsaatgut unter besonderer  
Berücksichtigung der Stiel- und Traubeneiche**

On the suitability of various physical-technical methods for  
treatment and storage of tree seeds, especially acorns

von

**Dipl.-Forstwirt Thomas Schröder**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz im Forst,  
Braunschweig

Heft 360

Berlin 1999

Parey Buchverlag Berlin  
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

### **Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA)**

Präsident: Professor Dr. Fred Klingauf, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

Die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), deren Entstehung auf die 1898 gegründete Biologische Abteilung am Kaiserlichen Gesundheitsamt in Berlin zurückgeht, ist eine selbständige Bundesoberbehörde und Bundesforschungsanstalt im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Ihre Aufgaben sind im Pflanzenschutz-, Gentechnik- und Bundesseuchengesetz festgelegt und umfassen u. a.:

- Forschungen auf dem Gesamtgebiet des Pflanzen- und Vorratsschutzes,
- Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln,
- Eintragung und Prüfung von Pflanzenschutzgeräten,
- Mitwirkung bei der Genehmigung zur Freisetzung und dem Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen einschließlich Forschung zur biologischen Sicherheit,
- Beteiligung bei der Bewertung von Umweltchemikalien nach dem Chemikalienrecht.

Die Forschungsarbeiten der BBA schaffen Grundlagen für Entscheidungshilfen zur Ernährungs-, Land- und Forstwirtschaftspolitik sowie zur Verbraucherpolitik. Über 900 Mitarbeiter, davon 300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, sind bei der BBA beschäftigt.

### **The Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA)**

President: Professor Dr. Fred Klingauf, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

The Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA), which originates from the Biological Division at the Empirical Health Office, founded in Berlin in 1898, is a federal authority in its own right and federal research centre in the jurisdiction of the Federal Ministry of Food, Agriculture and Forestry (BML). Its tasks are mainly defined by the Plant Protection Act as well as the Genetechnology Act and include among others:

- research in the whole field of plant protection and stored products protection,
- examination and authorization of plant protection products,
- registration and examination of plant protection equipment,
- participation in authorizing genetically modified organisms deliberately released and issued, including investigations on biosafety,
- cooperation in assessing chemicals of environmental relevance according to the Chemicals Act.

The research work of the BBA is providing decisional foundations not only in the political field of food, agriculture and forestry but also for consumer policy. There are more than 900 employees, including 300 scientists, who work at the BBA.

Anschrift für **Tauschsendungen**:

Please address **exchanges** to:

Adressez **échanges**, s'il vous plaît:

Para el **canje** dirigirse por favor a:

Bibliothek der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Königin-Luise-Straße 19, D-14195 Berlin (Dahlem)

Postanschrift: 14191 Berlin

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem**



**Über die Eignung verschiedener physikalisch-  
technischer Verfahren zur phytosanitären Behandlung  
und zur Lagerung von Forstsaatgut unter besonderer  
Berücksichtigung der Stiel- und Traubeneiche**

On the suitability of various physical-technical methods for  
treatment and storage of tree seeds, especially acorns

von

**Dipl.-Forstwirt Thomas Schröder**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz im Forst,  
Braunschweig

Heft 360

Berlin 1999

*Herausgegeben von der  
Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Berlin-Dahlem*

Parey Buchverlag Berlin  
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

ISSN 0067-5849

ISBN 3-8263-3244-X

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Schröder, Thomas:** Über die Eignung verschiedener physikalisch-technischer Verfahren zur phytosanitären Behandlung und zur Lagerung von Forstsaatgut unter besonderer Berücksichtigung der Stiel- und Traubeneiche = On the suitability of various physical- technical methods for treatment and storage of tree seeds, especially acorns / Thomas Schröder. Hrsg.: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz im Forst, Braunschweig. – Berlin: Parey, [in Komm.], 1999.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 360)

ISBN 3-8263-3244-X

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

1999 Kommissionsverlag Parey Buchverlag Berlin, Kurfürstendamm 57, 10707 Berlin. Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Forschung .....</b>	<b>12</b>
2.1	Waldverjüngung und Neuaufforstung in Deutschland .....	12
2.2	Der deutsche Forstsaatgutmarkt der Eiche und Buche .....	15
2.3	Die Eiche und ihr Saatgut sowie Einflüsse auf das Ernteaufkommen .....	17
2.3.1	Die Eiche: Verbreitungsgebiete, Fruktifikation, Morphologie und Physiologie des Saatgutes .....	17
2.3.2	Literaturauswertung zur Mykoflora an Eicheln, sowie Schäden durch Insekten an Blüten und Saatgut der Eichen .....	22
2.4	Entwicklung der Eichensaatgutlagerung .....	27
2.5	Konzepte zur Bekämpfung von samenbürtigen und samenübertragbaren Pathogenen .....	34
2.5.1	Mechanische Behandlung .....	36
2.5.2	Chemische Verfahren .....	36
2.5.3	Herkömmliche thermische Verfahren .....	41
2.5.4	Mikrowellenbehandlung .....	43
2.5.5	Saatgutbehandlung mit Gamma- und Röntgenstrahlen .....	45
2.5.6	Saatgutbehandlung mit Elektronen .....	46
2.5.7	Biologische Verfahren .....	50
2.6	Konzepte zur Optimierung der Lagerung von Forstsaatgut .....	52
2.6.1	Regelung der Lagerraumatmosphäre .....	52
2.6.2	Künstliche Frosthärteinduktion in Eichensaatgut .....	53
2.7	Problemdefinition und Projektplanung .....	54
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>55</b>
3.1	Allgemeine Material und Methodik .....	55
3.1.1	Untersuchtes Saatgut (Eiche, Buche, Sitkafichte) .....	55
3.1.2	Abschwemmen des Eichensaatgutes .....	57
3.1.3	Thermotherapie (Eicheln und Bucheckern) .....	57
3.1.4	Oberflächliche Abtrocknung des Eichensaatgutes .....	59
3.1.5	Mykologische Untersuchungen (Eiche, Buche, Sitkafichte) .....	60
3.1.6	Keimtests .....	61
3.1.7	Wassergehaltsprüfung .....	62
3.1.8	Statistik .....	63
3.2	Elektronenbehandlung von Forstsaatgut .....	66
3.2.1	Aufbau der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1 .....	66
3.2.2	Vorbereitende Untersuchungen .....	69
3.2.3	Elektronenbehandlung mit der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1 .....	77
3.2.4	Elektronenbehandlung von Eicheln in einer Elektronenstrahlschweißanlage .....	81
3.3	Mikrowellenbehandlung von Eichensaatgut .....	84
3.3.1	Konstruktion der Mikrowellenanlage zur Saatgutbehandlung .....	84
3.3.2	Variation der Oberflächentemperatur .....	86
3.3.3	Variation der Behandlungszeiten .....	87

3.3.4	Messung der Eichelinnentemperatur .....	88
<b>3.4</b>	<b>Künstliche Frosthärteinduktion bei Eichensaatgut.....</b>	<b>89</b>
3.4.1	Frosthärtung mit Wechseltemperaturen im Winter 1994/95 .....	89
3.4.2	Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1995/1996 .....	91
3.4.3	Nachträgliche Frosthärtung im Sommer 1996 .....	94
3.4.4	Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1996/1997 .....	95
<b>3.5</b>	<b>Zusammenfassende Logistik und Versuchsdurchführung .....</b>	<b>96</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>98</b>
<b>4.1</b>	<b>Voruntersuchungen zur Elektronenbehandlung von Forstsaatgut .....</b>	<b>98</b>
4.1.1	Pilzbefall an Eicheln am Baum und nach Bodenkontakt .....	98
4.1.2	Perikarp- bzw. Testastärke von Eicheln, Bucheckern und Sitkafichtensamen .....	101
4.1.3	Vakuumeinfluß auf Eicheln und Bucheckern.....	106
4.1.4	Letale Elektronenstrahldosis für Pilze.....	108
4.1.5	Saatgutverteileinstellung in der WESENITZ 1 .....	115
<b>4.2</b>	<b>Wirkung der Elektronenbehandlung mit der WESENITZ 1 auf die Mykoflora und das Auflaufverhalten von Forstsaatgut.....</b>	<b>116</b>
4.2.1	Eichensaatgut.....	116
4.2.2	Buchensaatgut .....	123
4.2.3	Sitkafichtensaatgut .....	127
<b>4.3</b>	<b>Wirkung einer Elektronenbehandlung mit der Elektronenstrahlschweißanlage ESA 50/150 CNC auf Eichensaatgut .....</b>	<b>128</b>
4.3.1	Saatgutverteilung in der Behandlungstrommel .....	128
4.3.2	Wirkung auf die Mykoflora und das Auflaufverhalten von Eichensaatgut.....	129
<b>4.4</b>	<b>Einfluß einer Mikrowellenbehandlung auf die Mykoflora und das Auflaufverhalten von Eichensaatgut.....</b>	<b>132</b>
4.4.1	Einfluß der Oberflächentemperatur .....	132
4.4.2	Einfluß verschiedener Behandlungszeiten .....	134
4.4.3	Einfluß der Eichelinnentemperatur.....	138
<b>4.5</b>	<b>Wirksamkeit der künstlichen Frosthärteinduktion bei Eichensaatgut .....</b>	<b>143</b>
4.5.1	Frosthärtung mit Wechseltemperaturen im Winter 1994/95 .....	143
4.5.2	Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1995/96 .....	144
4.5.3	Frosthärtung im Sommer 1996.....	149
4.5.4	Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1996/97 .....	150
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>155</b>
<b>5.1</b>	<b>Elektronenbehandlung von Forstsaatgut .....</b>	<b>155</b>
<b>5.2</b>	<b>Mikrowellenbehandlung von Eicheln .....</b>	<b>168</b>
<b>5.3</b>	<b>Künstliche Frosthärteinduktion bei Eichensaatgut.....</b>	<b>176</b>
<b>5.4</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der Verfahren und Integration in ein Gesamtkonzept.....</b>	<b>184</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>188</b>
<b>7</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>193</b>
<b>8</b>	<b>Bildtafeln .....</b>	<b>217</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>222</b>

## Contents

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>State of knowledge.....</b>	<b>12</b>
2.1	Natural rejuvenation and replanting of forests in Germany .....	12
2.2	The German forest seed market for oak and beech .....	15
2.3	Oak, its seed characteristics and influences on seed production .....	17
2.3.1	Distribution, fructification, seed morphology and seed physiology.....	17
2.3.2	Evaluation of literature on acorn mycoflora and insect damage to flowers and seeds .....	22
2.4	Historical development of acorn storage .....	27
2.5	Concepts for the control of seedborne pathogens .....	34
2.5.1	Mechanical treatments.....	36
2.5.2	Chemical treatments .....	36
2.5.3	Conventional thermal treatments.....	41
2.5.4	Microwave treatment.....	43
2.5.5	Seed treatments using gamma radiation and x-rays .....	45
2.5.6	Seed treatment with electrons.....	46
2.5.7	Biological methods .....	50
2.6	Concepts for optimizing forest seed storage.....	52
2.6.1	Controlled storage atmosphere.....	52
2.6.2	Induction of frost hardiness in acorns .....	53
2.7	Aims of the project and project planning.....	54
<b>3</b>	<b>Material and methods .....</b>	<b>55</b>
3.1	General material and methods .....	55
3.1.1	Seed material (oak, beech, Sitka spruce).....	55
3.1.2	Washing/sorting of acorns .....	57
3.1.3	Thermotherapy (acorns and beechnuts).....	57
3.1.4	Superficial drying of acorns .....	59
3.1.5	Mycological investigations (oak, beech, Sitka spruce) .....	60
3.1.6	Germination tests.....	61
3.1.7	Determination of moisture content.....	62
3.1.8	Statistics.....	63
3.2	Electron treatment of forest tree seeds .....	66
3.2.1	Construction of the seed treatment facility WESENITZ 1.....	66
3.2.2	Preliminary trials .....	69
3.2.3	Electron treatment with the treatment facility WESENITZ 1 .....	77
3.2.4	Electron treatment of acorns in an electron beam welding facility .....	81
3.3	Microwave treatment of acorns .....	84
3.3.1	Construction of the microwave facility for seed treatment .....	84
3.3.2	Variation of the surface temperature .....	86
3.3.3	Variation of treatment duration .....	87
3.3.4	Determination of inner temperature within acorns .....	88
3.4	Artificial induction of frost hardiness in acorns .....	89

3.4.1	Frost hardiness induction with varying temperatures in winter 1994/95 .....	89
3.4.2	Frost hardiness induction with continuous lowering of temperatures in the winter of 1995/96.....	91
3.4.3	Post-storage induction of frost hardiness in summer 1996 .....	94
3.4.4	Frost hardiness induction with continuous lowering of temperatures in the winter of 1996/1997.....	95
<b>3.5</b>	<b>Summary of trial logistics .....</b>	<b>96</b>
<b>4</b>	<b>Results .....</b>	<b>98</b>
<b>4.1</b>	<b>Preliminary trials regarding electron treatment of tree seeds .....</b>	<b>98</b>
4.1.1	Mycoflora of acorns prior and after soil contact .....	98
4.1.2	Thickness of pericarp and testa in acorns, beechnuts and Sitka spruce seeds.....	101
4.1.3	Influence of a vacuum on acorns and beechnuts .....	106
4.1.4	Lethal electron beam dosis for fungi.....	108
4.1.5	Facility for even seed distribution in the treatment facility WESENITZ 1.....	115
<b>4.2</b>	<b>Effects of the electron treatment with the facility WESENITZ 1 on the mycoflora and germination behavior of forest tree seeds.....</b>	<b>116</b>
4.2.1	Acorns .....	116
4.2.2	Beechnuts .....	123
4.2.3	Sitka spruce seeds.....	127
<b>4.3</b>	<b>Effect of treatment with electron beam facility ESA 50/150 CNC on acorns ..</b>	<b>128</b>
4.3.1	Distribution of seeds in the application container .....	128
4.3.2	Effect on the mycoflora and germination behavior of acorns .....	129
<b>4.4</b>	<b>Effect of microwave treatment on the mycoflora and germination of acorns ..</b>	<b>132</b>
4.4.1	Influence of surface temperature .....	132
4.4.2	Influence of treatment duration .....	134
4.4.3	Influence of inner temperature of acorns.....	138
<b>4.5</b>	<b>Effectiveness of artificial induction of frost hardiness in acorns .....</b>	<b>143</b>
4.5.1	Frost hardiness induction with varying temperatures in winter 1994/95 .....	143
4.5.2	Frost hardiness induction with continuous lowering of temperatures in the winter of 1995/96.....	144
4.5.3	Post-storage induction of frost hardiness in summer 1996 .....	149
4.5.4	Frost hardiness induction with continuous lowering of temperatures in the winter of 1996/1997.....	150
<b>5</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>155</b>
<b>5.1</b>	<b>Electron treatment of forest tree seeds .....</b>	<b>155</b>
<b>5.2</b>	<b>Microwave treatment of acorns.....</b>	<b>167</b>
<b>5.3</b>	<b>Artificial induction of frost hardiness in acorns .....</b>	<b>176</b>
<b>5.4</b>	<b>General assessment of the methods and their integration in an integrated treatment concept .....</b>	<b>183</b>
<b>6</b>	<b>Summary .....</b>	<b>192</b>
<b>7</b>	<b>Literature .....</b>	<b>193</b>
<b>8</b>	<b>Plates.....</b>	<b>217</b>
<b>9</b>	<b>Appendix .....</b>	<b>222</b>

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr	mA	Milliampere
ABA	Abscisinsäure	m.c.	moisture content
atro	absolut trocken	MHz	Megahertz
BGBI	Bundesgesetzblatt	MeV	Megaelektronenvolt
Bu	Buche	m.T.	mit Thermotherapie
BZT	Betriebszieltyp	n	Wiederholungszahl
CA	Controlled Atmosphere	N	Stickstoff
CAC	Codes Alimentarius Commission	NFVA	Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt
CAST	Council for Agricultural Science and Technology	NH	Nadelholz
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid	n <sub>keim</sub>	Anzahl für Keimtest
DNS	Desoxyribonucleinsäure	n <sub>myk</sub>	Anzahl für mykologische Unter- suchung
EPA	United States Environmental Pro- tection Agency	O <sub>2</sub>	Sauerstoff
ESA	Elektronenstrahlschweißanlage ESA 50/150 CNC	o.T.	ohne Thermotherapie
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	p	Irrtumswahrscheinlichkeit
FEP	Fraunhofer-Institut für Elektronen- strahl- und Plasmatechnik	Pa	Pascal
FG	Freiheitsgrad	PE	Polyethylen
Fi	Fichte	PEG	Polyethylenglycol
FsaatG	Gesetz über Forstliches Pflanz- und Saatgut	PP	Polypropylen
FSB	Forstsaatgutberatungsstelle	PVB	Polyvenyl Butyral
FZ	Formzahl: Länge / Breite	rH	relative Feuchte
GHz	Gigahertz	R <sup>2</sup>	Bestimmtheitsmaß
Gy	Gray	r <sub>s</sub>	Spearman'scher Rangkorrelati- onskoeffizient
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid	RW	Relativwert
ha	Hektar	s	Standardabweichung
IAEA	International Atomic Energy Agen- cy	S	Feuchtigkeitsgehalt
ISTA	International Seed Testing Associa- tion	SEi	Stieleiche
J	Joule	sp.	Subspecies
kGy	Kilogray	t	Tonnen
kV	Kilovolt	TEi	Traubeneiche
KTS	Kotyledonentrockensubstanz	TKG	Tausendkorngewicht
LH	Laubholz	U <sub>B</sub>	Beschleunigungsspannung
M	Gewicht	V	Volt
		V%	Variationskoeffizient
		WHO	World Health Organization
		$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert
		μl	Mikroliter
		μm	Mikrometer
		ρ	Dichte
		*	signifikant mit p ≤ 0,05



## 1 Einleitung

Der Flächenanteil der Eichenarten Stieleiche (*Quercus robur* L.<sup>1</sup>) und Traubeneiche (*Quercus petraea* [MATT.] LIEBL.) beträgt in der Bundesrepublik Deutschland 9 % der Waldfläche (BML 1998). Dieser Flächenanteil soll nach den langfristig ausgerichteten Waldbaurichtlinien der einzelnen Bundesländer erhöht werden, wobei die Schaffung stabiler Mischbestände im Vordergrund steht. Die Abkehr vom schlagweisen Hochwald mit Monokulturen hin zu naturgemäßen, mehrstufigen Wäldern hat auch Auswirkungen auf die Art der Waldverjüngung. In Zukunft wird der Naturverjüngung, regional auch der Saat der Vorzug vor künstlichen Verjüngungsverfahren eingeräumt werden, nicht zuletzt aus Kostengründen. Hierbei erfährt neben der Eiche auch die Buche wieder eine Förderung, wobei ihr Flächenanteil von derzeit 14 % (BML 1994a) ebenfalls deutlich zunehmen soll.

Die Bestandesbegründung und Verjüngung der Eiche erfolgt derzeit in der Hauptsache über die Pflanzung; vereinzelt wird die Saat als Verjüngungsmethode durchgeführt. Bei der Buche wird die Naturverjüngung häufig zur Bestandesbegründung genutzt. Die Bestandesumwandlung von Nadelholzbeständen in Laubholzmischbestände oder die Umwandlung nicht standortgerechter Bestände erfolgt hingegen mittels Pflanzung. Insgesamt ist ein Rückgang der Nachfrage an Eichen- und Buchen-Baumschulware zu verzeichnen. Dieser Trend wird zusätzlich durch die Reduzierung der als notwendig erachteten Pflanzenzahlen pro Hektar verstärkt. Dennoch gibt es insbesondere bei der Eiche Defizite bei dem kontinuierlichen Angebot eines ausgewogenen Pflanzensortiments (von Sämlingen bis mehrfach verschulten Pflanzen).

Nach KLEINSCHMIT & STEINHOFF (1996) macht die Verringerung des Pflanzenbedarfes und das Ziel, nach erfolgtem Umbau der Bestände den Wald natürlich zu verjüngen, die Pflanzung zu einer noch verantwortungsvolleren Aufgabe als in der Vergangenheit. Dazu sollten nach Meinung der Autoren alle Möglichkeiten genutzt werden, das jeweils verfügbare höchstwertige Vermehrungsgut, auch unter dem Gesichtspunkt der Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Umweltverhältnisse, zu verwenden. Damit steigen die Anforderungen an die äußere Beschaffenheit des Saatgutes bezüglich der Qualität und des Herkunftsnachweises (DÖRFLINGER 1992) und dadurch auch der Preis. Beide Punkte erfordern die Erhaltung der Ausgangsqualität des Saatgutes und damit des Kapitals während einer Behandlung oder Lagerung. BONNER (1984) hob hervor, daß mit einer Zunahme der Qualität des Saatgutes auch eine Verbesserung der gegenwärtigen Verfahren zur Ernte, Aufarbeitung, Keimprüfung, Lagerung und Pflanzung einhergehen müsse.

Bucheckern weisen einen fast gleichen Anteil an Rohprotein (17,3 %), Rohfett (24,2 %) und Kohlehydraten (19,5 %) auf, während die Eicheln einen Kohlehydratanteil, in der Hauptsache Stärke, von 43 % bis 71 % beinhalten (ROHMEDE 1972). Beide Samenarten besitzen zur Ernte einen hohen Feuchtegehalt. Der hohe Feuchtegehalt und der Reichtum an Reservestoffen macht sie potentiell anfällig gegen den Befall mit Mikropilzen. Bucheckern lassen sich auf 8 % Feuchtegehalt trocknen und bei einer Temperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  einfrieren, während

---

<sup>1</sup> In der vorliegenden Arbeit werden die Eichenarten *Quercus robur* und *Q. petraea* in Anlehnung an das derzeit gültige Gesetz über Forstliches Pflanz- und Saatgut als zwei Arten betrachtet. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß auf Grund von Erkenntnissen neuerer Untersuchungen diskutiert wird, die Eichen als eine Art, *Quercus robur* (Mitteluropäische Eiche), mit den Unterarten *Quercus robur* ssp. *robur* L. (Stieleiche) und *Quercus robur* ssp. *petraea* KL.&KR.&ROL. (Traubeneiche) zu bezeichnen. (KLEINSCHMIT et al 1995a und 1995b).

Eicheln zu den rekalzitranten<sup>2</sup> Samen gehören, die auf eine Trocknung unter einen kritischen Feuchtewert von etwa 40 % mit einer Reduktion der Keimfähigkeit reagieren.

Für eine kontinuierliche Verfügbarkeit der Baumarten Eiche und Buche ist eine Saatgutlagerung notwendig, da die Bäume nicht jedes Jahr fruktifizieren und es daher gilt, Engpässe auf dem Saatgutmarkt zu überbrücken. Die Lagerungstechnologie von Bucheckern ist so weit entwickelt, daß eine Keimkraft erhaltende Lagerung über 6 Jahre durchgeführt werden kann. Die physiologischen Eigenschaften der Eichel ermöglichen dagegen derzeit unter wirtschaftlichen Aspekten lediglich eine einmalige Überwinterung. Die 1989 von der BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE „ERHALTUNG FORSTLICHER GEN-RESSOURCEN“ angeregte Forschung hinsichtlich Methoden und Techniken zur Eichellagerung über ein bis zwei Jahre hinaus wurde zwar durch den Einsatz der Thermotherapie aufgegriffen; eine für die Praxis befriedigende Lösung vergleichbar der Bucheckernlagerung besteht jedoch weiterhin nicht. Das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik stellte auf einer Arbeitstagung zur Pflanzenanzucht heraus, daß die Behandlung und Lagerung des Eichensaatgutes optimiert werden müsse, um das vorhandene Saatgut auszunutzen und die Saat mit dem bestmöglichen Ergebnis hinsichtlich der Pflanzenqualität und des Anzuchterfolges durchzuführen (SOMMER 1994).

Die Ernte der Eicheln erfolgt per Handsammlung vom Waldboden. Daraus resultiert ein hoher Befall mit bodenbürtigen Mikropilzen, die sich auf Grund des hohen Feuchtegehaltes der Eicheln bei entsprechender Temperatur schnell ausbreiten können. Während der gesamten Zeit von der Ernte bis zur Aussaat muß der Feuchtegehalt der Eicheln über 40 % betragen, um die Keimkraft zu erhalten (SCHÖNBORN 1964; SUSZKA 1979 und 1982; GOSLING 1989). Auch ein kurzzeitiges Absinken unter diesen Wert hätte irreparable Schäden zur Folge. Der wichtigste primär pathogene Pilz an Eichensaatgut ist der Erreger der schwarzen Eichelfäule *Ciboria batschiana* (Zopf) Buchwald, aber andere Pilze können unter bestimmten klimatischen Gegebenheiten sekundär schädigend wirken, z.B. *Cylindrocarpon didymum* (Hartig) Wollenw. (WERRES et al. 1992) oder *Penicillium* sp. (SCHÖNBORN 1964). Als spezielle phytosanitäre Maßnahmen wird in zunehmenden Maße die Thermotherapie angewendet, bei der die Eicheln zur Abtötung von *Ciboria batschiana* über zwei Stunden in ein 41 °C warmes Wasserbad getaucht werden (DELATOUR 1977). Weitere Maßnahmen sind die Trennung schlechter Eicheln und Verunreinigungen von den gesunden Eicheln durch das Abschwemmen in kaltem Wasser oder die Applikation von Fungiziden. Für eine chemische Behandlung gibt es aber weder speziell für diesen Anwendungsbereich zugelassene Beizmittel noch einheitliche Anwendungsempfehlungen (BBA 1997). Als zusätzlich kritisch bei der Nutzung chemischer Beizmittel sind Rückstandsprobleme und Umweltbelastungen sowie die Gefahr der Resistenzbildung zu bewerten (MAUDE 1996).

In der vorliegenden Untersuchung sollte, insbesondere für die Eiche, überprüft werden, inwieweit die Anwendung alternativer physikalischer Maßnahmen zur Abtötung von Mikropilzen an forstlichem Saatgut geeignet ist. Zum Einsatz kamen zwei Verfahren, die ursprünglich für die Behandlung von Winterweizen gegen samenbürtige Pilze entwickelt wurden:

- 1.) Die Saatgutbehandlung mit niederenergetischen Elektronenstrahlen, deren Wirkung auf das Perikarp bzw. die Testa des Saatgutes beschränkt ist. Bei diesem Verfahren wird die biozide Wirkung ionisierender Strahlung genutzt. Es sollte überprüft werden, ob es möglich ist, dieses Verfahren bei Forstsaatgut anzuwenden. In erster Linie sollte Eichensaat-

<sup>2</sup> Definition nach ROBERTS (1973): „Rekalzitrante“ Samen sind solche, deren Fruchtwassergehalt auf einem hohen Niveau erhalten werden muß. Trocknung unter diese je nach Art unterschiedlich hohe Grenze führt irreversibel zu Reduktion der Keimfähigkeit. *Q. robur* und *Q. petraea* werden zu rekalzitranten Samen gezählt.



gut behandelt werden. Als Vergleichssaatgutarten wurden Samen der Buche und Sitkafichte ausgewählt.

- 2.) Die Mikrowellenbehandlung, ein physikalisch thermisches Verfahren, welches sowohl auf das Perikarp bzw. die Testa als auch auf die Sameninnenteile wirkt. Mit Hilfe dieser Methode sollte neben der in der Praxis etablierten Thermotheapie ein alternatives Verfahren zur Bekämpfung der *Ciboria batschiana* untersucht werden, welches ohne das Wärmeleitmedium Wasser auskommt.

Ein weiterer Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung und Optimierung von Methoden, die eine mehrjährige Lagerung von Eichensaatgut gestatten. Die Lagermethoden, die derzeit für Eichensaatgut in Deutschland genutzt werden, sind durch unterschiedliche Grade der Ausnutzung technischer Hilfen gekennzeichnet. Im einfachsten Fall erfolgt die Lagerung der Eicheln in Scheunen auf dem Erdboden oder in Mieten. Kühlkammern, die eine Lagerung unter dem Gefrierpunkt ermöglichen, werden in Deutschland für Eichensaatgut erst seit wenigen Jahren genutzt (DELFS-SIEMER 1993, GILLE & NOWAG 1995a). Die Eicheln werden dazu in offenen Tonnen, in deren Mitte ein perforiertes Rohr installiert ist, eingelagert, so daß über das Rohr ein Gasaustausch mit der Lagerraumatmosphäre möglich wird. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird eine Temperatur von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  als Minimalwert angesehen, ab dessen Unterschreitung es zu Keimverlusten kommt (SUSZKA & TYLKOWSKI 1982). Das Saatgut der Traubeneiche reagiert dabei empfindlicher als das der Stieleiche. Für beide Eichenarten gilt, daß eine Lagerungstemperatur von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  die keimkraftmindernden Stoffwechselprozesse des Saatgutes sowie den Befall und das Wachstum sekundär pathogener Pilze nur unzureichend einschränkt.

In den vergangenen Jahren wurden von einer anderen Arbeitsgruppe Ansätze zur Ausnutzung der natürlichen Frosthärtung bei Eichensaatgut entwickelt (GUTHKE 1992), die trotz erster Erfolge allerdings im Hinblick auf die Entstehung von Pilzschäden im Lager noch nicht befriedigend waren. In weiteren Versuchen der vorliegenden Arbeit wurde daher geprüft, ob die Lagerungstemperatur von Eichensaatgut unter den derzeit genutzten Wert von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  bei Beibehaltung der Keimkraft und unter Vermeidung von Pilzschäden gesenkt werden kann. Durch den erstmaligen Einsatz einer kontinuierlichen Temperatursenkung wurde versucht, eine künstliche Frosttoleranz der Eicheln zu induzieren.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war neben der Entwicklung wirksamer Parameter für die phytosanitären Maßnahmen der Elektronen- und Mikrowellenbehandlung auch die Optimierung der Lagerungsmethode für Eicheln unter Ausnutzung der Frosthärtung und insbesondere die Einbindung dieser Verfahren in ein Gesamtkonzept zur Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Als Grundlage dazu mußte zunächst eine umfassende Literaturübersicht zu dem Gesamtkomplex Gewinnung, Aufarbeitung und Lagerung von Eichensaatgut erstellt werden. Das abschließend zu erstellende Konzept sollte die folgenden Einzelaspekte beinhalten: optimaler Sammlungszeitpunkt, Verfahren der Zwischenlagerung, phytosanitäre Maßnahmen vor der Einlagerung (z.B. Abschwemmen, Thermotheapie, Elektronenbehandlung oder Mikrowellenbehandlung) sowie die Möglichkeit der Frosthärteinduktion. Ziel dieses Maßnahmenkatalogs sollte die Erhaltung und Schaffung günstiger Bedingungen für die Qualität und Lebensfähigkeit des Eichensaatgutes während einer künftig mehrjährigen Eichensaatgutlagerung sein.

## 2 Stand der Forschung

In diesem Kapitel soll der Stand der Forschung für Ernte, Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut dargestellt werden. Zuvor muß jedoch noch auf die den Saatgutmarkt beeinflussenden Faktoren eingegangen werden. Hierzu sollen zum einen die Waldbaurichtlinien der Länder, zum anderen die jährliche Aufforstungsfläche im Öffentlichen Wald sowie die Neuaufforstung landwirtschaftlicher Grenzertragsböden herangezogen werden. In der Landwirtschaft sind die Saatgutbehandlungsverfahren auf Grund des wesentlich höheren Mengenaufkommens weiter entwickelt als es für forstliches Saatgut der Fall ist. Daher werden in den folgenden Abschnitten oft Beispiele von landwirtschaftlichem Saatgut herangezogen und, soweit vorhanden, der Bezug zu forstlichem Saatgut hergestellt.

### 2.1 Waldverjüngung und Neuaufforstung in Deutschland

#### Waldverjüngung

Der Wunsch nach einer Erhöhung des Laubholzanteils in den deutschen Wäldern wird in den jüngsten Waldbaurichtlinien der Länder deutlich hervorgehoben (OTTO 1992 & 1994; DÖRFLINGER 1992). Ziel der in diesem Zusammenhang ergriffenen Maßnahmen ist die Bestandessicherung in Form von Mischwald gegen abiotische und biotische Produktionsrisiken (BURSCHEL 1990). Darüber hinaus soll dem häufig negativen Einfluß vor allem von Nadelholzreinbeständen auf den Waldboden und damit auf das Gesamtsystem Wald entgegengewirkt werden.

Eine schriftliche Anfrage im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen bei den Landesforstverwaltungen (ohne Stadtstaaten) sollte bezüglich des Öffentlichen Waldes Aussagen über die derzeitige und zukünftige Waldverjüngung erbringen. In dieser Recherche wurde die jährliche Waldverjüngungsfläche nach Naturverjüngung und Saat, die entsprechende Fläche für Eichen und Buchen, der Stellenwert der Saat sowie der zukünftig geplante Baumartenanteil der Buche und Eiche bezogen auf die Gesamtwaldfläche des jeweiligen Bundeslandes abgefragt. Die gewonnenen Daten stellen damit indirekt einen Teil der Marktanalyse für forstliches Saatgut dar. Eine Gesamtübersicht zu dieser Anfrage ist in Anhang 1 aufgeführt (ohne Rheinland-Pfalz und Sachsen-Anhalt, die nicht geantwortet haben). Im Folgenden soll daher nur kurz auf die wichtigsten Aussagen eingegangen werden.

Die Gesamtverjüngungsfläche, als Verjüngungsfläche im klassischen Sinne alle Baumarten betreffend, wird in Zukunft geringer ausfallen. Der Naturverjüngung wird ein erhöhter Stellenwert beigemessen werden. Annähernd die Hälfte der Länder wollen die Kulturkosten senken, indem sie die Pflanzung durch Saat ersetzen. Beispielsweise wird die Saat von Bucheckern unter Fichtenschirm demnach zunehmen. Wo die Naturverjüngung nicht realisiert werden kann, soll statt dessen gesät werden (Saarland). Der Baumartenanteil der Eiche und Buche soll innerhalb der nächsten ein bis eineinhalb Umtriebsphasen in allen Ländern deutlich erhöht werden.

Die Aussagen bezüglich des Pflanzen- und Saatgutbedarfes während der Umbauphase von Nadelholz- oder Laubholzreinbeständen zu Nadel-/Laubholz-mischbeständen oder Laubholz-mischbeständen sind nicht einheitlich. Soweit ungeeignete Herkünfte (auch Laubholz) den derzeitigen Waldbestand bilden, soll in Niedersachsen eine Überführung in standortgerechtere Wälder durch Pflanzung erreicht werden, da dieses Ziel mittels Naturverjüngung nicht realisierbar ist (RdErl. d. ML Niedersachsen 1994; OTTO 1994). Dabei wird von der Notwendigkeit umfangreicher Pflanzungen während dieser Phase ausgegangen. In anderen

Ländern wird die allgemeine Verringerung der Fläche mit Kunstverjüngung besonders hervorgehoben. Der Bedarf an Pflanzen, die bisher aus Baumschulen angekauft wurden, wird in Zukunft zurückgehen (OTTO 1994). Derzeit ist die Lage bei den Baumschulen nach SCHLEGEL (1997) aufgrund der Umstellung auf Naturverjüngung und weite Pflanzverbände durch einen Umsatzrückgang auf 40 % bezogen auf die Zeit vor 1990 (Sturm „Wiebke“) gekennzeichnet.

Trotz des oben beschriebenen Umkehrs der Forstverwaltungen zu mehr Naturverjüngung (besonders bei der Buche) stellen die beiden Eichenarten sowie die Buche nach RAHTE (1995) zur Zeit noch die „Umsatzträger schlechthin in der Baumschule“ dar.

Wie sich der Saatgutmarkt bezüglich der Quantität ändern wird, läßt sich schwer vorhersagen. Ob die Landesforstverwaltungen das Saatgut, welches sie für o.a. Aktivitäten benötigen, von Saatgutfirmen erwerben wollen oder in Eigenregie werben, behandeln, lagern und aussäen wollen, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht geklärt.

### Erstaufforstung in Deutschland

Die Erstaufforstung ist die Begründung von Waldbeständen durch Saat oder Pflanzung auf nicht forstlich genutzten Grundstücken (ANL 1994). Sie wird in der Regel durch Pflanzung erreicht. Auch hier wird eine Verwendung von Laubholz derzeit besonders gefördert (LÜDEMANN 1993; FRIEDRICHS DORF 1995). Das Gesetz über forstliches Saat- und Pflanzgut (BGBl 1979) greift wie bei der Verjüngung im Wald und stellt somit hohe Anforderungen an das zur Pflanzenanzucht benötigte Saatgut. Im folgenden sei die Entwicklung der Erstaufforstung mit Flächenangaben dargestellt, um auch diesen Pflanzenmarkt zu charakterisieren.

Bereits v. ALEMANN (1884) propagierte die Aufforstung „*landwirtschaftlich schlecht zu verwertender, billiger Ländereien*“ zum Zwecke der Mehrung der Eichenwaldfläche. Diese Diskussion wird seit einigen Jahren auf forstpolitischer Ebene der EU, durch die Bundesregierung und nicht zuletzt durch die Öffentlichkeit, stark gefördert. Die Aufforstung bislang landwirtschaftlich genutzter Flächen könnte nach Angaben des BML (1994) eine dauerhafte Entlastung der Agrarmärkte und eine Erhöhung des eigenen Produktionspotentials für den umweltfreundlichen, nachwachsenden Rohstoff Holz erreichen. Neben der Schaffung der günstigen ökologischen Verhältnisse des Waldes auf Flächen, wo diese bis jetzt nicht vorhanden waren, kann mit der Bindung von CO<sub>2</sub> im Holz der aufgeforsteten Flächen ein positiver Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Bilanz erreicht werden (MÜLLER-USING 1993). In einer Studie des BML (1994) wird das CO<sub>2</sub>- Bindungspotential der bis zum Jahr 2005 um angenommene 150.000 ha gestiegenen Waldfläche mit 2 Mio. t jährlich angegeben. Durch den gemeinsamen Europäischen Agrarmarkt seit 1993 erhöhte sich nach GRUNER (1994) das Aufforstungspotential durch Erhöhung des Anteils landwirtschaftlicher Stilllegungsflächen. In Deutschland wurden nach ERLBECK bis 1993 weniger als 0,5 % der stillgelegten Flächen aufgeforstet. Potentiell könnten nach Schätzungen des BML jährlich 12.000 ha neu aufgeforstet werden, führte ERLBECK weiter aus. Zudem beschrieb er eine Studie des Rates der Sachverständigen aus dem Jahre 1974, wonach in Deutschland 3 Mio. ha Aufforstungsfläche vorhanden seien.

Durch Erstaufforstungen seit dem Jahre 1950 erhöhte sich die Waldfläche in den alten Bundesländern, trotz anhaltender Waldnutzung für z.B. Infrastruktur, um 6 % von 6,95 Mio. ha auf 7,40 Mio. ha im Jahre 1989 (BML 1994). Seit 1991 wurden die Anreize zur Erstaufforstung landwirtschaftlicher Flächen EU-weit durch die Einführung zusätzlicher Erstaufforstungsprämien erheblich verstärkt (BML 1993 und 1995). In Abb. 1 ist die Entwicklung der geförderten Erstaufforstungsflächen von 1968 bis 1995 dargestellt.

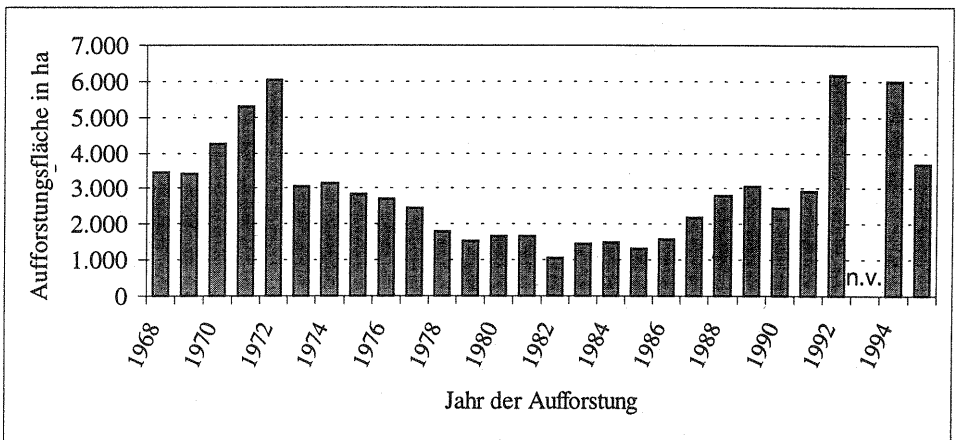


Abb. 1: Geförderte Erstaufforstungsflächen der Jahre 1968 bis 1995. Daten für 1993 nicht vorhanden (n.v.) (Quelle: BML 1994; AID 1993 und 1996; WvH 1994)

Grundsätzlich bietet die Erstaufforstung die Chance, einen Teil des durch die neuen Waldbau-richtlinien reduzierten Pflanzenmarktes zu kompensieren. Zur Zeit wird jedoch wegen der Finanzlage der Länder, bürokratischer Hemmnisse sowie der Rechtsunsicherheit der potentiell aufforstungswilligen Landwirte von den durch die EU zur Verfügung gestellten Fördermaßnahmen nicht ausreichend Gebrauch gemacht (LERMER 1997).

### Derzeitiger Stand der Saat als Verjüngungsmethode

Die Saat ist die älteste Methode zur Begründung von Waldbeständen. In Kap. 2.1 wurde das Ziel der Landesforstverwaltungen herausgestellt, in Zukunft die Saat insbesondere von Bucheckern und Eicheln zu fördern. In Nordbayern stellt die Saat von Eicheln bereits das obligate Verfahren für die Begründung von Eichenbeständen dar (Schriftliche Mitteilung vom 10.09.1997).

OTTO (1994) charakterisierte die Verfahren Naturverjüngung, Saat und Pflanzung anhand der nötigen Prozeßschritte bis zur an ihrem Wuchsort etablierten Pflanze. Die Naturverjüngung benötigt demnach 2 bis 3, die Saat 4 bis 5, die Pflanzung über 20 Prozeßschritte. Ein naturnah ausgerichteter Waldbau bevorzugt nach OTTOs Darstellung bei der Verjüngung Verfahren mit wenigen Prozeßschritten, da mehr Schritte eine Erhöhung der Fehlermöglichkeiten beinhalten würden, die das Anwuchsprozent vermindern könnten. Die Saat schneidet bezüglich dieser Forderung wesentlich günstiger ab als die Pflanzung. Einen weiteren Vorteil der Saat gegenüber der Pflanzung sieht OTTO auf der betriebswirtschaftlichen Seite, denn jeder Prozeßschritt erhöht die Kosten je etablierter Pflanze.

ROSENAUER (1994) berichtete über die im Forstamt Münsingen bereits seit 15 Jahren durchgeführte Edellaubholzvorausfaat unter reiner Fichte zur Bestandesumwandlung. Er beziffert die Kosten mit 1.400 DM/ha im Gegensatz zu 10.000 DM/ha für Buchenvoranbauten. Eine Saat sollte nach dem Prinzip der Naturverjüngung im Überfluß durchgeführt werden. Die Saat solle in Vollmastjahren durchgeführt werden, da das Saatgut dann qualitativ am besten sei und aufgrund des mengenmäßig hohen Aufkommens Kilopreise von lediglich 20 DM ermöglicht würden (GOMMEL 1994). Der Betrag von 20 DM ist nach einer Lagerung nicht zu erzielen, auch wenn eine Bucheckernlagerung potentiell in jedem Jahr eine Saat ermöglicht.

BAUMHAUER (1996) propagierte ebenfalls die Buchensaat in Vollmastjahren, da zu anderen Zeitpunkten die Fraßverluste durch Mäuse, Eichhörnchen, Vögel und das Schwarzwild zu hoch seien. Zudem würde die Frühjahrssaat bessere Erfolge bringen.

Neben der betriebswirtschaftlichen Seite sind die Vorteile der Saat die ungestörte Wurzelentwicklung, der hohe Mechanisierungsgrad, das hohe Auswahlpotential und die Möglichkeit, anspruchsvolle waldbauliche Zielsetzungen auch bei schlechter Ertragslage zu verwirklichen. Als Nachteile gelten höhere Risiken durch Fraßverluste, Keimlingsfäule und längere Gefährdung durch Wildverbiß, der höhere Organisationsaufwand, Wurzelverletzungen durch die Saatmaschine sowie die Bodenverdichtung bei maschineller Saat.

Auf die veränderten Anforderungen seitens der Forstverwaltungen bezüglich Waldverjüngung und die Bereitschaft, vermehrt auf Saat zurückzugreifen, reagierten bereits einige private Anbieter mit der Entwicklung von Saatmaschinen, die teilweise per Pferd (AFZ 1996; TRAUTMANN 1996) gezogen werden können, um den naturgemäßen Ansprüchen moderner Waldbaurichtlinien noch gerechter zu werden. Insgesamt wird die Saat als Verjüngungsmethode derzeit wieder bzw. neu entdeckt und befindet sich teilweise erst in der Aufbauphase. Der Bedarf an qualitativ hochwertigem Saatgut mit guten Keimraten wird jedoch steigen, da ein Ausgleich schlechter Qualitäten mittels einer höheren Saatkichte (praxisüblich auf Baumschulflächen) auch häufigere Rüstzeiten zum Befüllen der Saatmaschine nach sich zieht und so zu höheren Kosten pro Hektar Saatfläche führen würde.

## 2.2 Der deutsche Forstsaatgutmarkt der Eiche und Buche

Die Akzeptanz und der Einsatz neuer Behandlungs- und Lagerungstechnologien für forstliches Saatgut ist sowohl durch die anfallenden Kosten, die potentiell nachgefragte Menge (worauf bereits weiter oben eingegangen wurde), als auch durch das Saatgutaufkommen und den daraus resultierenden Saatgutmarkt geprägt. Aus diesem Grunde wurde versucht, den Markt für Eicheln über die Saatgutbilanzen des Statistischen Bundesamtes sowie die Entwicklung der Baumschulbetriebe zu charakterisieren.

### Ernteaufkommen, Saatgutmarkt und Baumschulen in Deutschland

#### Saatgutmarkt für Eiche

Das Saatgutaufkommen von *Quercus robur* und *Quercus petraea* ist starken Schwankungen unterworfen. Die jährlichen Ernteergebnisse für Eicheln von *Q. robur* und *Q. petraea* sowie das Saatgutaufkommen in Deutschland im Saldo (Heimische Ernte zuzüglich Import abzüglich Export) der Erntejahre 1983/84 bis 1995/96 sind in Abb. 2 aufgeführt.

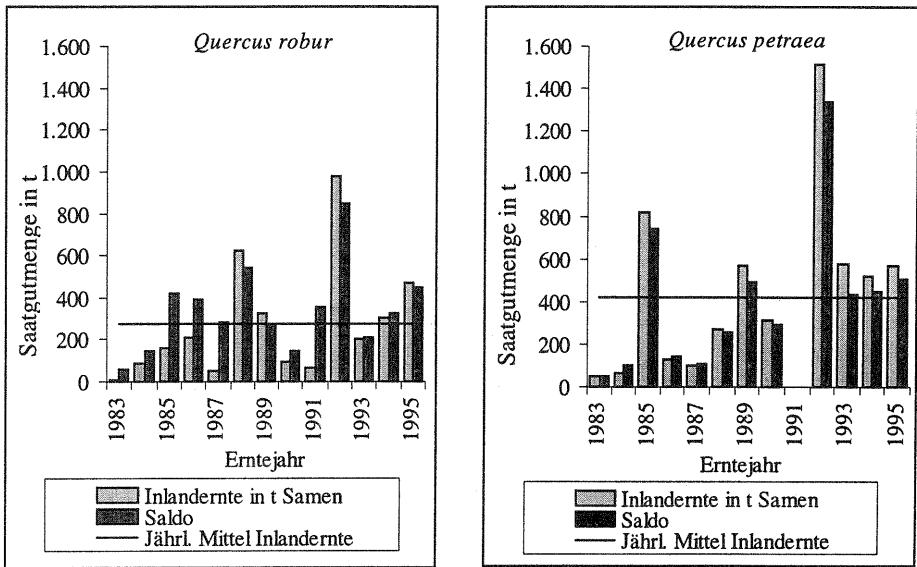


Abb. 2: Jährliche Ernteergebnisse und Handelsbilanz der Saatgutarten *Quercus robur* und *Q. petraea* im Geltungsbereich des Forstsaatgutgesetzes. (Saldo = Inlandernteaufkommen + Import – Export; Jährl. Mittel Inlandernte = mittleres jährliches Inlandernteaufkommen über den gezeigten Zeitraum. Quelle: BFE 1993; BLE 1997)

Die Erntespitzen bestätigen für den betrachteten Zeitraum die allgemeine Aussage über lediglich eine Vollmast im Jahrzehnt, wobei der Zeitraum zwischen den höchsten Erntemengen im vorliegenden Zeitfenster keine zehn Jahre beträgt. Insbesondere bei der Traubeneiche können mehrere Ernten als Mittelernnten bzw. gute Ernten bezeichnet werden. Die in Abb. 2 eingegangenen Exportländer für Eichensaatgut sind Österreich, Belgien, Dänemark, Frankreich, Niederlande und die Slowakische Republik.

### Baumschulen und Baumschulfläche

Die Baumschulfläche, auf der 1996 in Deutschland Forstpflanzen angezogen wurden, gab die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE 1997) mit 4.073 ha an. Diese unterteilten sich in 3.224 ha im früheren Bundesgebiet und 849 ha in den neuen Ländern einschließlich Berlin-Ost. Die Entwicklung der Baumschulbetriebe in den letzten Jahren ist von einer Flächenzunahme von 1992 auf 1994 um 8,3 % und einer Abnahme von 1994 auf 1996 um 2,6 % gekennzeichnet. Die Anzahl der Baumschulbetriebe über alle Kulturarten (Obstgehölze, Ziergehölze, Forstpflanzen und Sonstige) ist von 4.084 Betrieben im Jahr 1992 auf 4.101 Betriebe im Jahr 1996 gestiegen, wobei eine Reduzierung im früheren Bundesgebiet und eine Zunahme in den neuen Ländern zu verzeichnen ist. Hier sind bereits Auswirkungen der in Kap. 2.1 beschriebenen Änderungen der Nachfrage nach Forstpflanzenbaumschulware zu verzeichnen.

## 2.3 Die Eiche und ihr Saatgut sowie Einflüsse auf das Ernteaufkommen

Der Erfolg einer Lagerung von Eichensaatgut wird direkt oder indirekt von folgenden Faktoren bestimmt:

- das Fruktifikationsverhalten der Eiche und der Einfluß auf die Saatgutqualität
- die morphologischen und physiologischen Eigenschaften der Eichel
- pathogen wirkende Insekten und Mikropilze, die sich auf die Mast auswirken oder während der Lagerung Probleme bereiten können
- die aus den Eigenschaften der Eichel resultierenden Grenzwerte bezüglich Luftfeuchte, Temperatur und Dauer der Lagerung

Im Folgenden sollen diese Faktoren einzeln behandelt werden, um das Saatgut Eichel näher zu charakterisieren.

### 2.3.1 Die Eiche: Verbreitungsgebiete, Fruktifikation, Morphologie und Physiologie des Saatgutes

#### Verbreitungsgebiete

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Stieleiche (*Quercus robur*) erstreckt sich auf fast ganz Europa. Es reicht vom Norden Schottlands über das südliche Skandinavien, die Südküste Finnlands durch das mittlere Rußland bis zum Ural. Die südliche Grenze verläuft nördlich des Schwarzen Meeres über Bulgarien, Italien, das nördliche Spanien und Portugal. Sie fehlt in den sommertrockenen Gebieten im Südwesten Spaniens, dem südlichen Portugal sowie im nördlichen Skandinavien und Nordrußland. Das Gebiet der Traubeneiche (*Quercus petraea*) ist wesentlich kleiner. Insbesondere im Osten der Verbreitung verläuft die Grenze auf der Linie Polen/Königsberg, westliche Ukraine bis zum Westteil des Schwarzen Meeres (INSTITUT FÜR WALDBAU 1992). Die natürlichen Areale beider Baumarten sind in der Abb. 3 dargestellt.

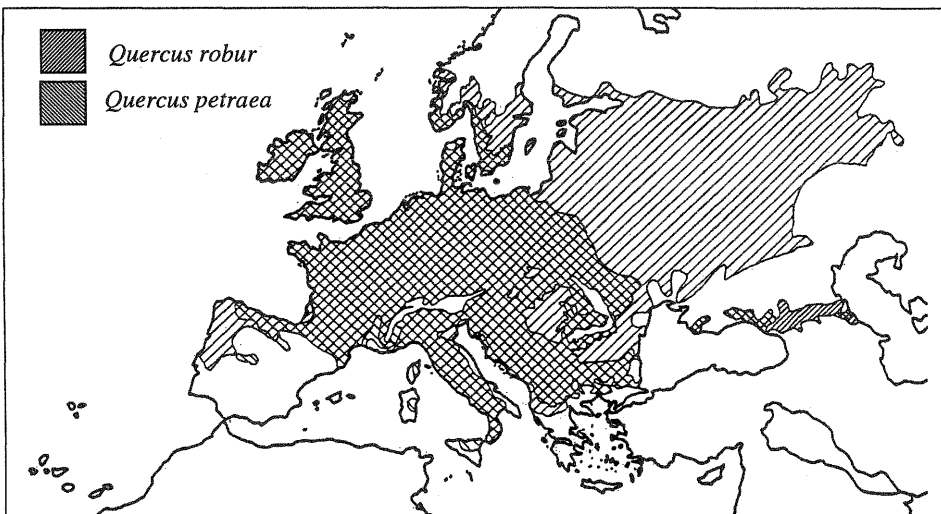


Abb. 3: Natürliche Areale von *Quercus robur* und *Q. petraea*. (Quelle: SCHÜTT et al. 1992)

### Fruktifikation

Das Saatgutaufkommen der heimischen Eichenarten *Quercus robur* und *Quercus petraea* ist unregelmäßigen Schwankungen unterworfen, wobei zwischen Blütenansatz und Fruchtbildung zu differenzieren ist. Die Eichen blühen in jedem Jahr, allerdings mit unterschiedlicher Intensität (UROSEVIC 1959, SUSZKA et al. 1996). Gute Blütenjahre sind bei beiden Eichenarten wesentlich häufiger als gute Mastjahre. Insektenfraß durch Eichenwickler, Frostspanner und Schwammspinner sowie andere Insekten beeinflusst neben Spätfrösten die Fruchtentwicklung negativ. Zudem können langanhaltende Regenfälle während der Blüte die Befruchtung verhindern. Abb. 4 und Abb. 5 geben die prozentuale Blühintensität und die dazugehörige Erntemenge der Jahre 1983 bis 1995 wieder.

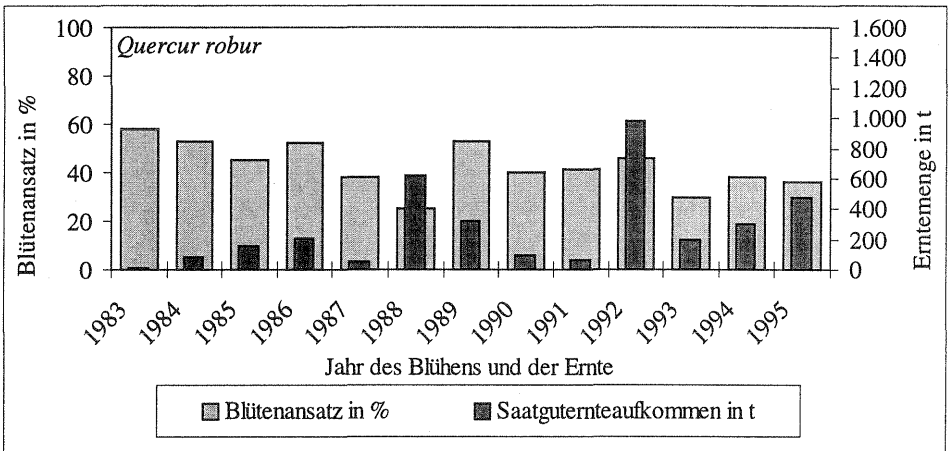


Abb. 4: Blütenansatz und Saatguterntemenge von *Quercus robur* Jahre 1983 bis 1995 (Blühdaten: EICKE, 1983-1995; Erntedaten: BEF 1993; BLE 1997).

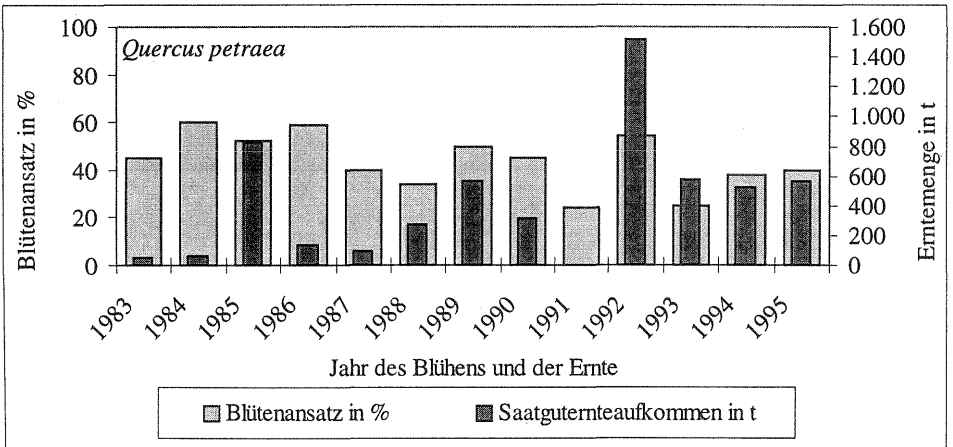


Abb. 5: Blütenansatz und Saatguterntemenge von *Quercus petraea* der Jahre 1983 bis 1995 (Blühdaten: EICKE, 1983-1995; Erntedaten: BEF 1993; BLE 1997).



In den Abbildungen sind Zusammenfassungen über das gesamte Bundesgebiet (ab 1990 auch Daten aus den neuen Bundesländern) dargestellt. Beide Eichenarten weisen danach auf ganz Deutschland bezogen in jedem Jahr eine Blüte auf. Die Blühintensität ist dabei in den einzelnen Herkunftsgebieten sehr unterschiedlich und schwankt von einem Totalausfall bis zu 100 % Blütenansatz. Für Kleingebiete kann demnach KRAHL-URBANs (1959) Aussage zutreffen, wonach die Eiche im langjährigen Durchschnitt nur alle zwei bis drei Jahre in Abhängigkeit des Klimagebietes blüht. Durch die Abb. 4 und Abb. 5 wird jedoch deutlich, daß eine pauschale landesweite Aussage über den Zusammenhang von Blüte und Mast nicht möglich ist bzw. daß der flächige Vergleich dieser Daten nur begrenzt durchgeführt werden kann. Als Ursachen für den Verlust der Blüte wurde von EICKE (1983-1996) in der Hauptsache Spanner-, Wickler-, und Schwammspinnerbefall genannt. Lediglich 1991 war Frost die Ursache für einen annähernden Totalausfall der Blüte.

Die gängige Einteilung einer Eichelmast erfolgt auch heute noch aufgrund von Schätzungen in „Vollmast“, „Halbmast“ und „Sprengmast“. In deutschen Eichenbeständen kommt nach KRAHL-URBAN (1959) eine Vollmast alle 8-12 Jahre, eine Halbmast alle 5-7 Jahre und eine Sprengmast alle 3-4 Jahre vor. Ähnliche Häufigkeiten werden auch von ROHMEDE (1972) genannt, der das Samentragen der Eiche innerhalb eines Jahrzehnts wie folgt angibt: eine Vollernte (71 % bis 100 % einer maximalen Vollernte), eine Halbernte (41 % bis 70 % einer Vollernte) und bis zu vier Teilernten (10 % bis 40 % einer Vollernte). Diese Zeiträume verkürzen sich in den südlichen, klimabegünstigten Verbreitungsgebieten, z.B. Mittel- und Südfrankreich um die Hälfte und mehr. SCHENK (1994) stellte für Mainfranken Eichelmastbefunde der Jahre 1642 bis 1992, also für 350 Jahre, zusammen. Als Grundlage dienten ihm sowohl indirektes Datenmaterial wie Forstrechnungen über Waldweiddepacht, Mastgeldeinnahmen etc. als auch direkte Aufzeichnungen über Mastvorkommen. Aufgrund dieser Datenherkunft differenzierte er lediglich in „ergiebige Jahre“, was einer Vollmast oder guten Halbmast entspricht, und „gute Jahre“, welches durch den heutigen Begriff Halbmast oder gute Sprengmast bezeichnet wird. Im 19. und 20. Jahrhundert war demnach im Durchschnitt in Mainfranken alle 5,4 Jahre eine „ergiebige Ernte“ zu verzeichnen. Auf Grund der Ernteergebnisse in der Forstsaatgutberatungsstelle Oerrel stellte REICHWALDT (1997) fest, daß die Waldbäume in den letzten 10 Jahren weit häufiger fruktifiziert hätten als im langjährigen Mittel. Dies widerlegt nach seiner Auffassung allerdings nicht die oben aufgeführte Regel zur Häufigkeit der Fruchtbildung an Eiche.

Die Autoren KRAHL-URBAN (1959) und ROHMEDE (1972) fordern allerdings zur Verbesserung der Ernteplanung eine Klassifizierung in mehreren Stufen, wie sie erstmals im Jahr 1941 in den vom ehemaligen Reichsforstamt erlassenen Richtlinien für die Ernteeinschätzung veranschlagt wurden. Eine Vollernte wird danach mit 100 %, eine gute Ernte mit 70 % bis 90 %, eine Mittelerte mit 40 % bis 60 %, eine geringe Ernte mit 10 % bis 30 % und eine Fehlernte mit 0 % bezogen auf eine Vollernte angegeben. Nach ROHMEDE wird diese Einteilung durch den Hinweis erleichtert, daß bei Voll- und guter Ernte die vier ersten Baumklassen nach KRAFT<sup>3</sup>, also auch der Nebenbestand, Früchte tragen. Bei einer Mittelerte fruchten im Bestand nur die Bäume der KRAFT'SCHEN Klassen 1 und 2. RÖHRIG und GUSSONE (1990) charakterisieren eine Vollmast derart, daß mehr als 200 Eicheln pro m<sup>2</sup> fallen.

---

<sup>3</sup>Kraft'sche Baumklassen charakterisieren die soziale Gliederung homogener Waldbestände. Sie berücksichtigen die Stellung des Baumes im Bestand im Verhältnis zu seinem Nachbarn und auch die Form der Krone, die ein Ausdruck dieser Stellung ist (RÖHRIG & GUSSONE, 1990)

## Morphologie und Physiologie der Eichel

Im folgenden wird auf den morphologischen Aufbau der Eichel, die Größe, das Gewicht, das Keimprozent und in Ansätzen auch auf die Artdifferenzierung eingegangen. Darüber hinaus wird die stoffliche Zusammensetzung der Eichel beschrieben, da all diese Angaben Einfluß auf die Ergebnisse der nachfolgenden Versuche haben können.

Angaben zum anatomischen Aufbau von Eicheln sind in der Regel in Untersuchungen erfaßt worden, in denen die Fragestellung der Artdifferenzierung zwischen Eicheln von *Quercus robur* und *Q. petraea* bearbeitet wurde. Entsprechend wurden in der Hauptsache makroskopische Merkmale aufgenommen. Abb. 6 zeigt eine Eichel im Querschnitt, wie sie sich zur Ernte darstellt. Die Entwicklung der Eichel (im botanische Sinne eine Nuß) von der Blüte zur Frucht wurde von FEY (1981) untersucht. Das Perikarp der reifen Eichel differenziert sich bei Stiel- und Traubeneichel gleichermaßen in folgende wesentliche Elemente: das Exokarp bestehend aus Epidermis und Hypodermis und das Parenchym, welches das Mesokarp und das Endokarp bildet (FRIEDRICH 1990).

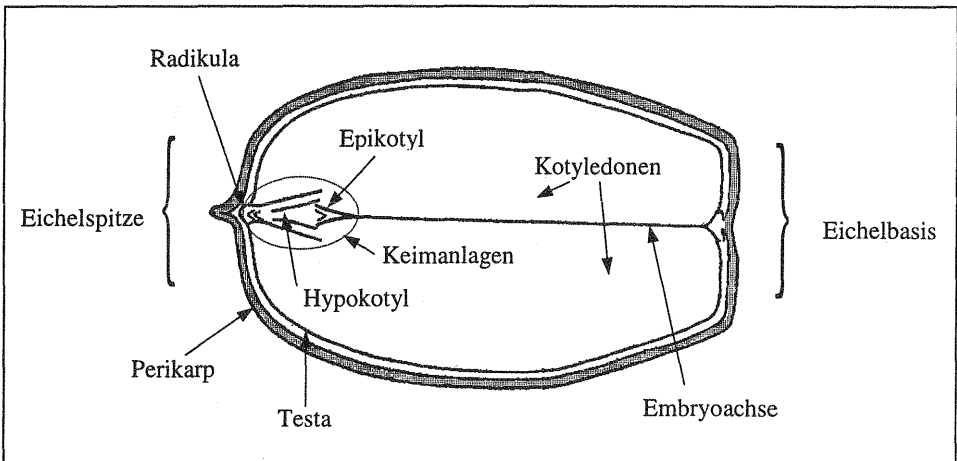


Abb. 6: Querschnitt durch eine Stieleichel

BURGERs Beschreibung (1921) der Merkmale der Eicheln steht für viele Autoren, die eine ähnlich weite Beschreibung dieser Arten ausführten. Die Stieleichel ist danach „meist größer, hell bis dunkelbraun mit dunklen Längsstreifen in frischem Zustande. Mehr längliche Form, maximaler Durchmesser meist in der Mitte oder oberhalb derselben. Verhältnis von Längen zu maximalem Durchmesser ist im Mittel über 1,6. Keimen im Herbst nur wenig oder nicht vor.“ Die Traubeneichel charakterisiert er hingegen so: „im Mittel kleiner, gut ausgereift, kaffeebraun, ohne Längsstreifen. Beim Austrocknen scheckige Farbe. Eiförmig, maximaler Durchmesser fast immer im unteren Drittel, nahe dem Kupulaflecken. Verhältnis von Länge zu maximalem Durchmesser ist im Mittel meist unter 1,6. Keimen im Herbst stark vor, oft schon an den Bäumen.“

## Gewicht, Größe

Das Gewicht und die Größe der beiden Eichenarten schwanken sowohl intra- als auch interspezifisch sehr stark. Für *Quercus robur*-Eicheln wurden in der Literatur Tausendkorngewichte von 1680 g bis 5635 g angegeben; bezüglich Eicheln von *Quercus petraea* wurden Tausendkorngewichte von 780 g bis 5170 g aufgeführt (u.a. BAUR 1880; BURGER 1921; KRAHL-URBAN 1959; KLEINSCHMIT & SVOLBA 1979; GORDON 1992; YOUNG & YOUNG 1992; ZASPEL & KESSLER 1997). Diese Herterogenität läßt vermuten, daß verschieden große Eicheln unterschiedlich auf die Saatgutbehandlung reagieren, da dies für das Wachstumsverhalten der Eichen von der Keimung bis in die ersten Sämlingsjahre bekannt ist. KLEINSCHMIT & SVOLBA (1979) wiesen eine starke Korrelation zwischen Eichelgewicht und Wuchsverhalten in den ersten Jahren nach (mittleres Eichelgewicht zu Pflanzenhöhe im 3. Jahr:  $r = 0,67$ ). Aufgrund CIESLARS (1923) Angaben konnten Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,52$  noch im 7. Jahr nach der Saat errechnet werden. Der Wuchsvorsprung der „Großkornpflanzen“ wird nach ROHMEDEK (1972) jedoch im ersten Lebensjahrzehnt von den „Kleinkornpflanzen“ aufgeholt.

Eine Artdifferenzierung von Stiel- und Traubeneiche aufgrund des Eichelgewichtes ist nach KLEINSCHMIT (1976) nicht möglich, da Standorteinflüsse die genetische Veranlagung so stark überdecken, daß Traubeneichen auf frischen Standorten schwerere Eicheln ausbilden können als Stieleichen auf weniger frischen Standorten.

In der derzeitigen Praxis der Eichelerte und des Verkaufs wird keine Größendifferenzierung des Saatgutes vorgenommen. Häufig werden Partien mit kleineren Eicheln von den Samenhändlern bevorzugt gekauft, da die Stückzahl pro kg bei gleichem Preis wesentlich höher ist.

## Eichellänge und -breite

In vielen Untersuchungen wurde versucht, eine Artdifferenzierung zwischen Stiel- und Traubeneichel mittels makroskopischer Merkmale zu erreichen. OELKERS (1913), FRIEDRICH (1990) sowie AAS und FRIEDRICH (1991) nannten als bestes Kriterium zur Unterscheidung frischen Saatgutes die Längsstreifen der Stieleichel (obwohl auch Traubeneicheln gestreift sein können), da in ihren Untersuchungen bis zu 88 % der Stieleicheln gestreift und 72 % der Traubeneicheln ungestreift waren. Gewicht, Länge (L), Durchmesser (D) oder die Formzahl  $FZ = L / D$  oder  $FZ = L_{1/8} / D_{max}$  etc. sind nach diesen Untersuchungen im Einzelfalle zur Unterscheidung nicht geeignet.

## Physiologie

Eicheln der Stiel- und Traubeneiche gehören zu den „rekalzitranen Samen“, deren Wassergehalt (bezogen auf das Frischgewicht), die 40 % Grenze nicht unterschreiten darf, ohne eine Reduktion der Keimfähigkeit nach sich zu ziehen (u.a. ANCAK 1973; SUSZKA 1979; WALKENHORST 1989; GOSLING 1989; SUSZKA et al. 1996, BONNER 1997). Die Herkunft der vorgenannten Autoren (Slovakische Republik, Polen, Deutschland, England, USA) weist darauf hin, daß dieser 40 %-Wert als kritische Wassergehaltsgrenze inzwischen international anerkannt ist. Damit sollten anderslautende Angaben wie z.B. 22 % bis 25 % (MESSER 1960) oder 25 % (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 1982) als nicht mehr praxisrelevant betrachtet werden. Auch zur Zeit noch umlaufende Merkblätter der Landesforstverwaltungen Hessen (STAATSDARRE WOLFGANG 1982) und Thüringen (THÜRINGISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 1992!), die eine winterfeste Einlagerung der Eicheln empfehlen,

sobald „die Feuchtigkeitsschwelle von 35 % erreicht ist“, entsprechen damit nicht mehr den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen.

In dieser Hinsicht unterscheidet sich die Eiche grundlegend von der Buche, die lange zu den nicht trockenbaren Saatgutarten zählte. Mittlerweile kann Buchensaatgut auf 8 % getrocknet werden, wobei zur Keimung der Abbau der Keimhemmung nötig ist (Stratifikationsdauer ca. drei Monate; EICKE 1991b).

GUTHKE (1992) wies nach, daß während des Winters die Zusammensetzung der Zellinhaltsstoffe, insbesondere der Zuckeranteile, Änderungen unterliegt. Auch wenn in den folgenden Untersuchungen zur Frosthärte von Eichensaatgut keine Quantifizierung dieser Stoffe durchgeführt wird, sollen die Angaben in Tab. 1 dazu dienen, die Eichel näher zu charakterisieren, um Unterschiede zu den „orthodoxen“<sup>4</sup> Saatgutarten herauszuarbeiten. In Tab. 1 sind verschiedene Zellinhaltsstoffe von Eicheln zum Zeitpunkt der Ernte dargestellt.

Tab. 1: Zusammenstellung der wichtigsten Zellinhaltsstoffe von Eicheln zum Zeitpunkt der Ernte bezogen auf das Trockengewicht (KTS: Kotyledonentrockensubstanz).

Inhaltsstoff	Anteil pro Eichel in %	Eichenart	Quelle
Gerbstoffe	1,35 - 3,75 ; > 6	<i>Quercus</i> sp.	KRAHL-URBAN 1959; SCHÜTT et al. 1992
Stärke	25	<i>Quercus</i> sp.	SCHÜTT et al. 1992
Zucker	8	<i>Quercus</i> sp.	SCHÜTT et al. 1992
Eiweiß	6	<i>Quercus</i> sp.	SCHÜTT et al. 1992
Kohlenhydrate (%KTS)	38,4 - 42,7	<i>Q. robur</i>	GUTHKE 1992
└─ Stärke (%KTS)	30,8 - 35,4	<i>Q. robur</i>	GUTHKE 1992
└─ Zucker (%KTS)	7,2 - 7,6	<i>Q. robur</i>	GUTHKE 1992
Eiweiß (% KTS)	5,6 - 6,0	<i>Q. robur</i>	GUTHKE 1992
└─ Protein (% KTS)	4,3 - 4,6	<i>Q. robur</i>	GUTHKE 1992
└─ Aminosäure (%KTS)	1,0 - 1,7	<i>Q. robur</i>	GUTHKE 1992
Fett (%KTS)	4,4 - 5,3	<i>Q. robur</i>	GUTHKE 1992

### 2.3.2 Literaturoswertung zur Mykoflora an Eicheln, sowie Schäden durch Insekten an Blüten und Saatgut der Eichen

Das Ausbleiben einer Eichelmast trotz guter Blüte wird neben Spätfrösten im Frühjahr in der Hauptsache durch Insekten verursacht (LÖFFLER 1988). Im Folgenden werden die teilweise häufiger und besonders mit der Baumart Eiche assoziierten Insekten geordnet nach Befallsort aufgeführt. Die größte Reduktion der Blüte bis hin zum Kahlfraß und damit Totalausfall einer Mast wird durch die fressenden Raupen vor allem des Eichenwicklers (*Tortrix viridana* L.), des Kleinen Frostspanners (*Operophtera brumata* L.) und des Schwammspinners (*Lymantria dispar* L.) verursacht (Tab. 2).

<sup>4</sup> Orthodoxe Samen ertragen im Gegensatz zu den rekazitranen Samen eine Trocknung und erhalten nach Wiederbefeuchtung ihre volle Keimkraft wieder (ROBERTS 1973).

Tab. 2: Schmetterlingsraupen, die durch Fraß an Blättern und Blüten von *Quercus*-Arten eine Mastentwicklung verhindern können („!“: die wichtigsten Schädlinge).

Freifressende Schmetterlingsraupen an <i>Quercus</i> spp.		
Insekt		Literatur
<i>Archips crataegana</i> (Hb.)	Weißdornwickler	NOVAK et al. 1989
<i>Coleophora lutipenella</i> Zll.	Eichenknospenmotte	SCHWERDTFEGER 1981
<i>Coliodes ruber</i> Marsh.		SCHWENKE 1974
<i>Erannis defoliaria</i> Cl.	Großer Frostspanner !	NOVAK et al. 1989
<i>Euproctis chrysorrhoea</i> (L.)	Goldafter	NOVAK et al. 1989
<i>Lasiocampa quercus</i> L.	Eichenspinner	SCHWERDTFEGER 1981
<i>Lymantria dispar</i> L.	Schwammspinner !	SCHWERDTFEGER 1981
<i>Operophtera brumata</i> L.	Kleiner Frostspanner !	SCHWERDTFEGER 1981
<i>Thaumetopoea processionea</i> L.	Eichenprozessionsspinner	SCHWERDTFEGER 1981
<i>Tortrix viridana</i> L.	Eichenwickler !	SCHWERDTFEGER 1961+1981, ESCHERICH 1931

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl gallbildender Insekten, die die männlichen Blüten der Eiche befallen und somit eine potentielle Mast reduzieren können (Tab. 3). Die aufgeführten Arten kommen in Europa vor. Wirtschaftlichen Schaden verursachen sie in Deutschland allenfalls in Ausnahmefällen bei lokalen Massenvermehrungen v.a. im Süden des Landes.

Tab. 3: Gallbildende Insekten an männlichen Blütenständen von *Quercus robur* und/oder *Quercus petraea*, die zur Verringerung der Blüte und damit der Mast beitragen. Die Insekten treten i.d.R. vermehrt im südlichen Verbreitungsgebiet der Eichen auf.

Gallbildende Insekten an männlichen Blütenständen von <i>Quercus</i> spp.	
Insekt	Literatur
<i>Andricus amenti</i> Giraud	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus callidoma</i> (Htg.)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus dentimitratus</i> (Rejtö) von Balás	MEYER 1987
<i>Andricus foecundatrix</i> (Htg.)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus gemma</i> (Gir.) ( <i>kirchsbergi</i> Wachtl)	SCHWENKE 1982
<i>Andricus glandulae</i> (Schenck)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus mayri</i> (Wachtl)	BUHR 1965
<i>Andricus nudus</i> Adler	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus ostrea</i> (Gir.) ( <i>furunculus</i> Kffr.)	SCHWENKE, 1982
<i>Andricus quadrilineatus</i> Htg.	BUHR 1965
<i>Andricus quercusramuli</i> (L.)	BUHR 1965, SCHWENKE 1982
<i>Andricus seminationis</i> (Giraud)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus solitarius</i> (Fonsc.)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Chilaspis nitida</i> (Gir.) ( <i>löwi</i> Wachtl)	SCHWENKE 1982
<i>Cynips divisia</i> Htg.	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Neuroterus laeviusculus</i> Schenck	BUHR 1965
<i>Neuroterus quercusbaccarum</i> (L.)	BUHR 1965
<i>Neuroterus petioliventris</i> (Htg.)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982

Die im Wachstum begriffenen Eicheln können ebenfalls von gallbildenden Insekten parasitiert werden, was zu Verkümmern oder vorzeitigem Abfall der Früchte führt. (Tab. 4)

Tab. 4: Gallbildende Insekten an Früchten bzw. Fruchtbechern von *Quercus robur* und/oder *Quercus petraea* („!“: die bedeutendsten Schädlinge)

Gallbildende Insekten an Früchten bzw. Fruchtbechern von Eichen	
Insekt	Literatur
<i>Andricus caputmedusae</i> (Htg.) !	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus dendrimitratus</i> (Rejtö)	BUHR 1965, SCHWENKE 1982
<i>Andricus lucidus</i> (Htg.)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus quercuscalicis</i> (Burgsd.) !	BUHR 1965; GAUSS 1977
<i>Andricus seckendorffi</i> Schenck	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Andricus superfetationis</i> (Giraud)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Callirhytis aff. glandium</i> (Giraud)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Neuroterus glandiformis</i> (Giraud)	BUHR 1965; SCHWENKE 1982
<i>Synergus clandestinus</i> Eady	SCHWENKE 1982

Wirtschaftlich wesentlich bedeutender sind Verluste durch den Befall der Eicheln mit Larven von Nußbohrern, Schmetterlingen und Käfern, die sich in den Samen entwickeln (Tab. 5). Neben der direkten Zerstörung der Kotyledonen und des Embryos der Eicheln wird, nachdem die Larve die Eichel zur Überwinterung im Boden verlassen hat, eine Eintrittspforte für pilzliche Pathogene geschaffen, die während der Lagerung zu Schäden führen können. Aus diesem Grunde verschmähen die Grauhörnchen Nordamerikas instinktiv „wurmige“ Eicheln für das Anlegen ihrer Wintervorräte, denn diese wären durch den höheren Pilzbefall gefährdet (FAZ 04.12.1996).

Tab. 5: Insektenarten, deren Larvenentwicklung in Eicheln stattfindet.

Eichelparasitierende Insektenarten		
Insekt	Wirt	Literatur
<i>Agriotes lineatus</i> L.	<i>Q. robur</i> , <i>Q. petraea</i>	ROHMEDE 1972
<i>Curculio glandium</i> Mrsh.	<i>Q. robur</i> , <i>Q. petraea</i>	NOVAK et al. 1989
<i>Curculio elephas</i> Gyll	<i>Q. spp.</i>	SCHWERDTFEGER 1984
<i>Curculio nucum</i> L.	<i>Q. spp.</i>	SCHWENKE 1974
<i>Harpalus pubescens</i>	<i>Q. spp.</i>	ROHMEDE 1972
Larven versch. Elateridae	<i>Q. spp.</i>	SCHWERDTFEGER 1984; SCHWENKE 1974
<i>Laspeyresia grossana</i>	<i>Q. spp.</i>	ROHMEDE 1972
<i>Laspeyresia splendana</i> Hbn.	<i>Q. robur</i> , <i>Q. petraea</i>	SCHWERDTFEGER 1984; ESCHERICH 1939
<i>Laspeyresia amplana</i> Hb.	<i>Q. robur</i> , <i>Q. petraea</i>	ESCHERICH 1931, BRAUNS 1964
<i>Pammene juliana</i>	<i>Q. spp.</i>	ROHMEDE 1972
<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Q. spp.</i>	ROHMEDE 1972

### Schäden durch Mikropilze

Für den Mißerfolg einer Überwinterung oder längerfristigen Lagerung von Eicheln ist vor allem die Kontamination mit pathogen wirkenden Mikropilzen verantwortlich. Auch eine reduzierte Auflauftrate findet ihre Ursache teilweise in samenbürtigen Pilzen. Da sich die vorliegende Arbeit in der Hauptsache mit der Reduktion der Mykoflora oder deren Wuchseinschränkung befaßt, soll auf diesen Bereich etwas näher eingegangen werden.

Für den Befall der Eicheln mit Mikropilzen wurden vor allem in der Tschechischen Republik umfangreiche Untersuchungen sowohl an Eicheln am Baum als auch nach der Ernte sowie während der Lagerung durchgeführt. Insgesamt konnten in der Literatur über 200 beschriebene Pilzarten oder -gattungen an Eicheln von *Quercus robur* oder *Q. petraea* gefunden werden. Die meisten Arten stammen aus der Klasse der Deuteromyceten und der Ascomyceten. Die wichtigsten bzw. häufigsten Pilze sind nach Klassen geordnet in Tab. 6 dargestellt. Eine Gesamtübersicht sowohl der in der Literatur beschriebenen Arten als auch der in der vorliegenden Untersuchung nachgewiesenen Pilze ist in Anhang 2 zu finden.

Tab. 6: Häufig in der Literatur beschriebene samenbürtige Mikropilze an Eicheln von *Quercus robur* und *Quercus petraea*.

Pilzart / -gattung	Literatur
<i>Alternaria</i> spp.	2, 8, 10, 11, 13, 14, 22, 23
<i>Aspergillus</i> spp.	10, 11, 13, 14
<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) Arn.	2
<i>Botrytis cinerea</i> Pers.	2, 10, 11, 13, 21, 22, 23
<i>Ciboria batschiana</i> (Zopf) Buchwald	1, 2, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, ,19, 20
<i>Cladosporium</i> spp.	2, 11, 13, 14, 22
<i>Codinaea simplex</i> Hughes&Kendrick	2
<i>Coniothyrium</i> spp.	2, 8, 9, 13, 14, 22
<i>Cylindrocarpon</i> spp.	1, 8, 13, 14
<i>Cytospora</i> spp.	8, 13, 14, 21, 22, 23, 24
<i>Discula quercina</i> (West.) Arx	15
<i>Fusarium</i> spp.	2, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 22, 23
<i>Gloeosporium quercinum</i> West.	8, 10, 14, 21, 22, 28
<i>Mucor</i> spp.	2, 10, 11, 13, 14, 22, 23
<i>Ophiostoma</i> spp.	6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 21
<i>Penicillium</i> spp.	2, 8, 10, 11, 13, 14, 21, 22, 23, 24
<i>Phomopsis</i> spp.	2, 8, 9, 10, 14, 21, 22, 24, 25
<i>Trichoderma</i> spp.	10, 11, 13, 14, 21, 22
<i>Trichothecium roseum</i> Link.	11, 13, 14, 21, 22, 24, 28
<i>Verticillium</i> spp.	8, 10, 13, 14, 22

**Literatur:** [1] WERRES et al. 1992; [2] KEHR & PEHL 1993; [6] FOFFOVA 1992; [8] UROSEVIC 1962; [9] UROSEVIC 1962; [10] KOZLOWSKA 1970; [11] UROSEVIC 1959; [12] ELLIS & ELLIS 1985; [13] MITTAL et al. 1990; [14] UROSEVIC; [15] WILSON 1993; [16] DELATOUR & MORELET 1979; [17] MEN 1976; [19] CHEWTSCHENKO & ZILJURIK 1986; [20] SCHURAWLEW & Sokolow 1969; [21] UROSEVIC 1957; [22] POTLAICHUK 1953; [23] BAIER et al. 1994; [24] SEMENKOWA 1959; [28] SEMENKOWA 1960

Bei den in Tab. 6 aufgeführten Taxa handelt es sich überwiegend um nicht eichelspezifische Pilze. Eine Aussage zur Pathogenität ist nur in Einzelfällen möglich. Als bekannteste und auf Eicheln spezialisierte Art ist hier der Erreger der Schwarzen Eichelfäule *Ciboria batschiana*

(Zopf) Buchwald zu nennen (Syn. nach REHM 1896: *Sclerotinia pseudotuberosa* (Rehm) Rehm, *Stromatinia pseudotuberosa* (Rehm) Boud., *Sclerotinia batschiana* Zopf, *Peziza glandicola* Doass et Pat., *Hymenoscypha pseudotuberosa* Phill., *Ciboria pseudotuberosa* Rehm).

Samenbürtige Pilze können am oder im Saatgut die Lagerung überleben. Einige Arten sind dabei in der Lage über ihre Sporen sowohl sehr tiefe Temperaturen als auch sehr hohe Temperaturen zu überstehen. Bei rekalcitranen Samen kann eine ganze Saatgutpartie während der Lagerung von einzelnen Infektionsherden ausgehend vollständig mit Pilzen befallen werden. In ungünstigen Fällen, z.B. bei einer *Ciboria*-Infektion, kann das zum Totalausfall der gesamten Eichelpartie führen. Zur Lagerung getrocknete orthodoxe Samen können nach Wiederbefeuchtung im Saatbeet, durch Pilze, die am Saatgut die Lagerung überdauert haben, infiziert werden. Einige der zu dem Komplex „Umfallkrankheit“ zählenden pilzlichen Erreger sind samenbürtig. Tab. 7 zeigt die Überlebensfähigkeit während und unter den Bedingungen der Lagerung für einige landwirtschaftliche und Zierpflanzen-Saatgutarten nach taxonomischen Gruppen sortiert.

Tab. 7: Überlebensfähigkeit samenbürtiger Pilze unterschiedlicher taxonomischer Gruppen (verändert nach MAUDE 1996; Datengrundlage aus NEERGARD 1977)

Klassifizierung der Überdauerung	Taxonomische Gruppe	Lebensfähigkeit (Jahre)	
		von - bis	Mittelwert
kurzfristig	Uredinales	1,5 - 2,0+	1,8
mittelfristig	Moniliales	2 - 13,5	4,3
	Melanconiales	1 - 13,5	5,0
	Sphaeropsidales	1,5 - 9,0	5,0
langfristig	Ascomycetes	3 - 13,0+	7,8
	Pigmentbildende Hyphomyceten	1 - 10,0	7,2
	Ustilaginales	1 - 64,0	14,9

Im Zuge der Diskussion der neuartigen Waldschäden wurde von einigen Autoren auch der Einfluß auf die Fruktifikation und die Saatgutqualität untersucht. BURSCHEL et al. (1986) berichteten, daß in ihrer Untersuchung die Qualität von Bucheckern unabhängig vom Schädigungsgrad der Mutterbäume war. Auch LÖFFLER (1988) konnte bei den Laubgehölzen für die Blüte und äußere Fruchtqualität keine Schädigungen durch Immissionen feststellen. Eine Notfruktifikation vor dem Absterben konnte nach LÖFFLER ebenfalls nicht beobachtet werden. Für Tanne und Fichte sei es jedoch erwiesen, daß die Fruktifikation mit zunehmendem Schädigungsgrad abnehme (ALBRECHT 1987, MARTINCOVA et al. 1995). Das Absinken der pH-Werte im Oberboden der Waldbestände durch saure Niederschläge könnte für alle Baumarten Schwierigkeiten bei der Naturverjüngung mit sich bringen (LÖFFLER 1988; GOTTFRIEDSEN 1989).



## 2.4 Entwicklung der Eichensaatgutlagerung

### Geschichte

Die Lagerungstechnologie für Eichensaatgut hat sich in den letzten 200 Jahren nur sehr langsam weiterentwickelt. Die Behandlung des Saatgutes mit technischem Aufwand oder der Einsatz von Klimakammern zur Lagerung findet nur schleppend Beachtung in der Praxis. So kommt es, daß auch in jüngster Zeit Eicheln noch nach Methoden gelagert werden, die vor mehr als 100 Jahren propagiert wurden, ein Umstand, der in krassem Gegensatz zu der modernen Behandlung landwirtschaftlichen Saatgutes steht. Deshalb soll im folgenden zunächst ausführlich auf die geschichtliche Entwicklung und frühere Forschungsarbeit zur Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut eingegangen werden, da sich die Ergebnisse in den heutigen „modernen“ Verfahren niederschlagen und deren Akzeptanz seitens der Anwender immer noch beeinflussen.

Die Anfänge einer geregelten Saatgutwirtschaft lassen sich nach ZEDERBAUER (1910) und ROHMEDE (1972) bis ins 14. Jahrhundert zurückverfolgen. Die älteste Nachricht einer Eichenpflanzung stammt aus dem Jahr 1343 aus dem Raum Dortmund (HASEL 1985). Eine Laubholzsaat im Bestand wurde erstmals 1357 in der Dresdner Heide erwähnt. Der Tannensäer Ritter Peter Stromer von Reichenbach führte im Jahre 1368 erstmals eine Kiefernasaat im Walde aus. Das Kloster und die Stadt Seligenstadt einigten sich 1491, zur Verbesserung des Waldzustandes jährlich auf 20 bis 30 Morgen Land Eicheln auszusäen. Die Forstordnungen und Erlasse der Grundherren (von der Mitte des 16. Jhds. an) sahen die Verpflichtung zur Wiederbestockung abgeholzter Waldflächen vor (ROHMEDE 1972). Im Mittelalter spielten Eicheln bei der Schweinemast eine große Rolle. Die Bauern mußten häufig einen Teil der gesammelten Früchte als Entgelt für die Mastnutzung an den Waldbesitzer zur Aussaat abgeben. Zum Wiederaufforstungsgebot führte MOSER (1757) aus: *„Die Sorge vor die Wiederaanziehung des Holzes ist billig eine Haupt-Beschäftigung aller Forstbedienten, und wo diese verabsäumt wird, darf man sicher schliessen, daß es in Verwaltung der Forste unordentlich hergehe...“*. Er beschreibt, daß zur Wiederbewaldung abgetriebener Schläge *„die Besaamung das vornehmste“* sei *„und [eine] genaue Erwägung verdiene“*.

Die Verbesserung der Saattechnik und die damit einhergehende Verbreitung der Saat sowie auch Pflanzung als künstliche Kulturbegründung, führte zu höheren Ansprüchen an die Artenreinheit des Saatgutes. Zudem wurden Anleitungen zur Sammlung, Aufbewahrung und Aussaat der Samen erlassen. Nach SCHWAPPACH (1886) kannte man schon im 16. Jahrhundert das „Überwintern der Eicheln und Bucheln“ im Sande. MOSER (1757) beschrieb die Aufbewahrung von Eicheln in Gruben gemischt mit Sand und Sägespänen. BIEDERMANN (1890) schilderte die Lagerung in Gruben, die bereits seit 1840 mit gutem Erfolg angewandt wurde. Die Qualität der überwinterten Eicheln sei *„so gut wie eben vom Baume gefallen“*. WIEBER (1870) erläuterte ein Verfahren zur Überwinterung von Stieleicheln für dessen Gelingen *„man geradezu die Garantie [...] übernehmen kann“*. Die geernteten Eicheln wurden ca. 14 Tage an der Luft abgetrocknet und täglich einmal gewendet. In sandigem Boden wurde an einem erhöhten Punkt, geschützt vor Wasser, eine *„drei Fuß“* tiefe Grube ausgehoben, in die *„40 preußische Scheffel“* Eicheln passen. Diese mischte man mit ebensoviel Sand und gab sie in die Grube, die durch einen Erdaufwurf abgedeckt wurde, in den zwei Strohbüschel zum Ausdünsten angebracht wurden. Diese Art der Mietenlagerung, wie man sie aus der Landwirtschaft kannte, wurde bis in die heutige Zeit als Lagerungstechnologie für die Überwinterung von Eicheln beschrieben. Einige dieser Methoden sind in den Zeichnungen der Abb. 7 dargestellt.

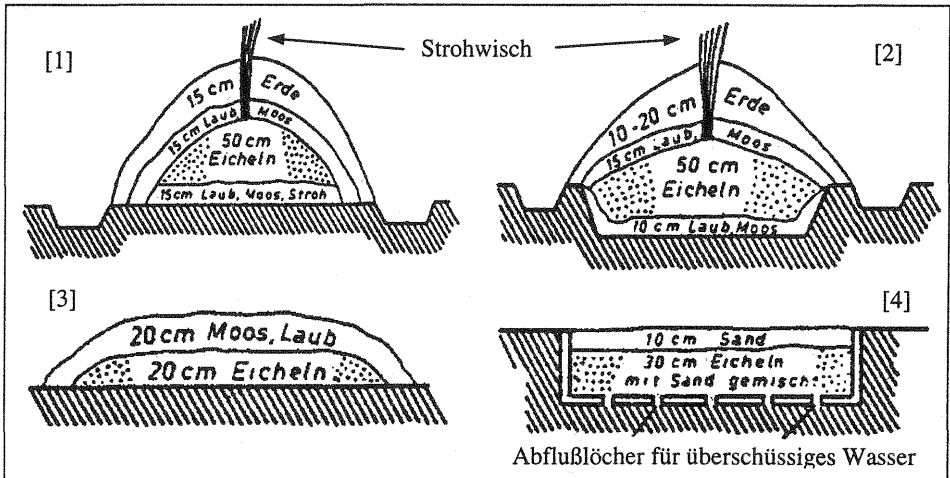


Abb. 7: Verschiedene Methoden der Mietenlagerung von Eichensaatgut; [1] Miete, Lagerung über der Bodenoberfläche; [2] Miete, Lagerung teilweise unter der Bodenoberfläche; [3] Rasenlagerung; [4] Sandkiste (nach ROHMEDEY 1972).

Die Trennung zur Aussaat bzw. Lagerung ungeeigneter Eicheln durch die Methode des „Abschwemmens“ wurde von MANTEUFFEL (1874) im Zuge der Saatgutprüfung beschrieben. Nach E. HEYER (1883) „hat sich nach dem Durchprobieren der verschiedenen Verfahren immer wieder die Ueberwinterung im Sande als bestes Mittel gegen Austrocknung, Vertrocknung und Erfrieren gezeigt“. E. HEYER nutzte zu seinem Verfahren eineinhalb Meter tiefe, runde Gruben mit beliebigem Durchmesser. Diesen Zylinder setzte er oberirdisch fort, indem er rundherum Stangen in einem halben Meter Abstand einschlug, die mit Stroh umwickelt wurden, um eine Luftzirkulation zu gewährleisten. Dort hinein wurden ein Eichel/Sand Gemisch eingefüllt und zwar so, daß keine Eichel die andere berühren sollte. Zur Abdeckung dienten Fichtenzweige mit einer Strohkappe in der Mitte. Rundherum wurde ein Graben gezogen, dessen tiefster Punkt unter der Grundsohle des „Eichelzylinders“ liegen sollte. Er diente zum einem zum Abführen von Wasser, zum anderen zur Abkühlung der unteren Zylinderhälfte (Abb. 8 [1]). Diese Bauart war gewissermaßen ein Mantelkühlraum, der die Außentemperaturen zeitlich versetzt an die Eicheln weitergab, jedoch Frostspitzen zurückhielt. Den Übergang zwischen Freiland und Gebäudelagerung bildet die von ALEMANN 1884 beschriebene „Alemann'sche Eichelhütte“, die bis in die siebziger Jahre dieses Jahrhunderts das am weitesten entwickelte Lagerungsverfahren für große Mengen an Eichensaatgut darstellte. Sie ist der Sächsischen Kartoffel- „Einmietung“ nachempfunden.

Grundlage v. ALEMANN'S Technologie war die Feststellung, „daß Saateicheln bei der Überwinterung selten durch Frost verdorben werden, sondern in der Regel dadurch, daß man diesen zu sehr fürchtet, und die Eicheln zu warm hält, wodurch sie sich erhitzen und zur Saat unbrauchbar werden“. Ein 2,50 Meter breiter und 30 cm tiefer Graben wurde auf der Länge ausgehoben wie durch die einzulagernde Menge Eicheln vorgegeben ist. Am Ende des Raumes wurde genügend Fläche gelassen, um ein Umschaukeln der Eicheln zu ermöglichen. Der Erdaushub wurde seitlich des Grabens aufgeschüttet und darüber ein Dach (Stroh, Schilf oder Rohr) errichtet, welches bei zu großer Hitze zum Lüften am Giebel geöffnet und bei Frost mit

Stroh abgedichtet werden konnte. Bei besonders starkem Frost wurde das Dach mit Nadelstreu, Moos oder Laub abgedeckt. Die Eicheln wurden nach oberflächlicher Abtrocknung 20 cm bis 30 cm hoch aufgeschichtet und nach Bedarf umgeschaufelt. Modifizierte Eichelhütten mit festen Holzgebäuden wurden von THIESE (1906), MESSER (1951 und 1960) und ROHMEDER (1972) beschrieben (Abb. 8 [2]). Ziel dieser Schuppen war im Gegensatz zu ALEMANN die Schaffung frostfreier Eichel-Überwinterungslager.

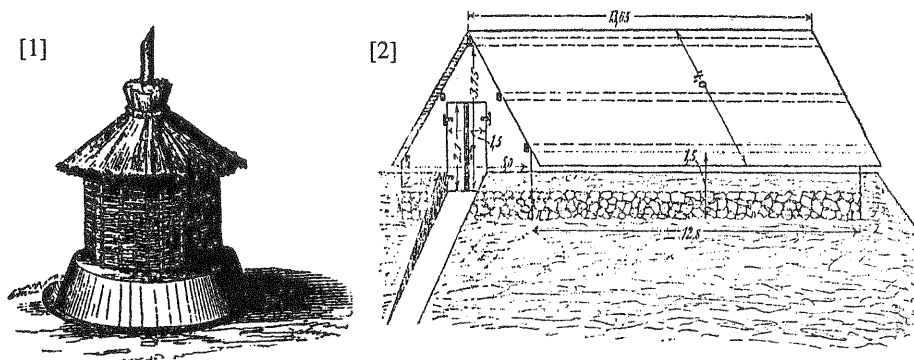


Abb. 8: [1] HEYER'sche Eichelhütte (Quelle: HEYER 1906); [2] modifizierte ALEMANN'sche Eichelhütte (Quelle: THIESE 1906).

Seit der „Erfindung“ der ALEMANN'schen Eichelhütte wurden mehrere Lagerungsverfahren beschrieben und z.T. wissenschaftlich untersucht. BORGGREVE empfahl 1885 für kleine Mengen (20-40 Scheffel) die Überwinterung in der Natur, im Schutz eines Holzbestandes unter mäßiger Laub- und Mooschicht mit Stangenbelag sowie Schutz vor Diebstahl, Wild, Vieh und Mäusen. Bei größeren Mengen gab er der Eichelhütte den Vorzug, beschrieb aber auch Verfahren der Überwinterung auf dem Speicher, der Tenne, unter Wasser, in der Erde oder im Keller. Bei letztgenannten überwiegen nach BORGGREVE allerdings die Mißerfolge. CIESLAR berichtete 1896 über mehrere Überwinterungsversuche mit Stieleicheln. Die Überwinterung oberirdisch unter Moos gemischt mit Sand, in Erdgruben mit Sand oder Erde gemischt und die Lagerung in Brunnenwasser brachten die besten Keimergebnisse. Allerdings blieben die im Wasser gelagerten Eicheln deutlich im Wuchs zurück. DOUGLAS wies 1888 darauf hin, daß bei Lagerung gemischt mit Sand eine Austrocknung vermieden werden könnte und Frost keine Schaden anrichten würde, solange die Eicheln nicht trockenfrieren. Die Alemann'sche Hütte wurde von BURCKHARDT (1893) ebenfalls bevorzugt. Er wies besonders auf die Notwendigkeit der oberflächlichen Abtrocknung der Eicheln vor der Einlagerung hin. Als weniger gebräuchliches Verfahren beschrieb er die Aufbewahrung in „ausgemauerten, fließendem Wasser zugänglichen Behältern“.

Die Trennung der schlechten Eicheln direkt nach der Einsammlung durch Abschwemmen beschrieb GRUNDNER (1901). Mit dieser Methode könne die Schimmelbildung, die von schlechten Eicheln ausgehe und gesundes Saatgut infiziere, verhindert werden. Das Bespritzen der Eicheln mit „Bordelasser Brühe“ oder „Kupfersodabrühe“ war nach GRUNDNER eine weitere Maßnahme, um Schimmelbildung zu verhindern. WEISE (1903) favorisierte ebenfalls

die Lagerung in der Alemann'schen Hütte oder in der Bestandesstreu. Die Verfahren von WIEBER und HEYER sind nach seiner Auffassung weniger zu empfehlen.

Als neue Überwinterungsmethode führte WEISE die Lagerung der Eicheln in Säcken auf Eisblöcken in einem Eiskeller an. C. HEYER (1906) und v. FÜRST (1907) beschrieben ebenfalls die Lagerung nach E. HEYER und ALEMANN. Die eindringliche Forderung nach regelbaren Kühlräumen wurde erstmals von BURGER (1921) aufgestellt. Er beschrieb seine Lagerungsversuche abschließend wie folgt: „Am besten ließen sich die Eicheln wohl aufbewahren in Kühlräumen, deren Temperatur und Luftfeuchtigkeit genau reguliert werden könnte. Mit Hilfe solcher Kühlräume wäre es vielleicht möglich, die Eicheln nicht nur zu überwintern, sondern auch 1 bis 2 Jahre aufzubewahren, was den Vorteil hätte, daß man jedes Jahr, unabhängig von den Mastjahren, Eichensaat ausführen könnte. Solche Kühlräume müssen jeder gut eingerichteten Samengewinnungsanstalt zur Verfügung stehen“. Bereits 1915 beschrieb DELAVAN die Lagerung in Kühlräumen (Minimaltemperatur  $-5^{\circ}\text{C}$ ) als aussichtsreiche Methode zur Aufbewahrung von Eicheln in den südlichen USA. Die mit dieser Methode erzielten Keimergebnisse lagen über denen der bis dahin gebräuchlichen Methoden der Lagerung in Gruben gemischt mit Sand.

Eine zweijährige Lagerung von Stieleicheln gelang HOLTEN im Jahre 1920. JOHANNSON (1921) (zitiert bei KORSTIAN 1930) lagerte Eicheln über mehr als drei Jahre bei niedrigen Temperaturen, wobei das Keimprozent allerdings stetig fiel. Weitere Versuche zur Langzeitlagerung von Eicheln wurden von HOLMES und BUSZEWICZ (1955) durchgeführt. Als beste Methode einer umfangreichen Versuchsserie mit *Quercus robur*-Eicheln stellte sich die Lagerung in luftfeuchtem Torf bei einer Temperatur von  $+4^{\circ}\text{C}$  heraus. Das Keimprozent verringerte sich nach 36 Monaten um 20 % auf 70 % und nach weiteren 12 Monaten auf 52 %.

Die Lagerung von Stieleicheln in destilliertem Wasser bzw. Leitungswasser wurde von JONES (1958) erfolgreich durchgeführt. Traubeneicheln eigneten sich in diesen Versuchen nicht. Für Roteichensaatgut beschrieb BONNER (1971) die Einlagerung bei Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt in Polyethylenbeuteln. Eine vorzeitige Keimung könnte nach BONNER eventuell durch die Applikation von keimhemmenden Stoffen wie z.B. Abscisinsäure etc. verhindert werden. Aus Polen berichtete TYLKOWSKI (1977) über Versuche, Stieleicheln in einer kontrollierten Atmosphäre mit einem erhöhten  $\text{CO}_2$ - und einem verringerten  $\text{O}_2$ - sowie entsprechend angepaßtem N- Gehalt bei einer Temperatur von  $-1^{\circ}\text{C}$  zu lagern. Lagerungsversuche über Zeiträume von mehr als einem Jahr von JANSON (1979) mit Stieleiche brachten gute Keimergebnisse. Er lagerte die Eicheln bei  $+2^{\circ}\text{C}$  bis  $-2^{\circ}\text{C}$  und einer Feuchtigkeit von 40 % bis 41 % und ausreichender Belüftung.

Einen entscheidenden Fortschritt brachten die Langzeitlagerungsversuche von SUSZKA (1979) in den Jahren 1971 bis 1976. Nach Herauslesen von beschädigten, tauben und hohlen Eicheln wurde eine Vortrocknung bis auf einen Fruchtwassergehalt von 40 % bis 45 % bei den Samen der Stieleiche durchgeführt. Es erfolgte eine Einlagerung über drei Winter in offenen Milchkannen vermischt mit Kiefernägespäne bei einer Temperatur von  $-1^{\circ}\text{C}$ . Diese Methode wurde von SUSZKA und TYLKOWSKI (1982) zuerst für Roteicheln weiterentwickelt. Die Eicheln wurden in offenen Tonnen eingelagert in deren Mitte ein perforiertes Rohr zur Regulierung des Gasregimes eingelassen wurde. Diese Lagerungsmethode bei Temperaturen zwischen  $-1^{\circ}\text{C}$  und  $-3^{\circ}\text{C}$  ermöglichte eine Lagerung über 5 Jahre.

Neben Untersuchungen zur Verbesserung der Lagerungstechnologie an sich, erfolgten Versuche zur Reduktion des Pilzbefalls an Eicheln. Die wichtigste Aufgabe war hierbei die aktive Bekämpfung des primärpathogenen Pilzes *Ciboria batschiana* (Zopf) Buchwald, dem Erreger

der schwarzen Eichelfäule. Der Durchbruch gelang DELATOUR (1977) mit der sog. Thermotherapie. Dieser Begriff wurde von den französischen Autoren für die Heißwasserbehandlung von Eicheln geprägt, obwohl es sich eigentlich um einen Oberbegriff sowohl für Kälte- als auch für Wärmebehandlung gegen Pflanzenkrankheiten handelt. In der heutigen Anwendung werden die Eicheln dabei für 2 bis 2,5 Stunden in 41 °C warmes Wasser getaucht. Mit dieser Methode kann der Pilz *Ciboria batschiana* vollständig abgetötet und beginnende Infektionen gestoppt werden. Darüber hinaus wurden umfangreiche Versuche zum Einsatz von chemischen Beizmitteln während der Lagerung durchgeführt (BONNET-MASIMBERT et al. 1977; J. SUSZKA 1997).

Ein neuerer Ansatz in Deutschland befaßte sich mit der Absenkung der Lagerungstemperatur bei Beibehaltung des hohen Feuchtegehaltes in den Eicheln. GUTHKE (1992) versuchte durch künstliche Frosthärteinduktion mittels Wechseltemperaturen das Eichensaatgut bei tieferen Temperaturen als -3 °C zu lagern, um zum einen den Stoffwechsel der Eicheln zu senken, zum anderen das Wachstum sowohl der Lagerpilze als auch der sekundär pathogen wirkenden Pilze zu verringern.

In der Praxis der Saatgutbetriebe, der Baumschulen und der staatlichen Forstsaatgutberatungsstellen erfolgt derzeit vermehrt der Einsatz von Thermotherapieanlagen und die Nutzung von Klimacontainern, um Eicheln einen Winter zu lagern.

### Aktueller Stand der Eichellagerung in Deutschland und anderen Ländern

Nach den positiven Ergebnissen der Untersuchungen von SUSZKA und DELATOUR in den siebziger Jahren fanden in **Deutschland** vor allem in staatlichen Institutionen der Landesforstverwaltungen Versuche zur Überprüfung der Anwendbarkeit von Thermotherapie und Tonnenlagerung bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt statt. In der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung C-Forstpflanzenzüchtung in Escherode (NFVA), erfolgten ab 1981 Versuche zur Thermotherapie, zur Lagerung bei tieferen Temperaturen sowie zur Applikation keimhemmender Stoffe (HOFFMANN & SCHRÖDER 1987; HOFFMANN 1990; STEINHOFF 1993). Aufgrund der positiven Erfahrungen wurde im Jahre 1992 die erste Großthermotherapieanlage in Deutschland in der 1985 gegründeten Forstsaatgutberatungsstelle Oerrel, Niedersachsen (FSB) fertiggestellt und ein umfangreicher Lagerungsversuch mit 6,28 t Stiel- und Traubeneicheln angelegt (DELFS-SIEMER 1993). Die Ergebnisse wurden von GILLE & NOWAG (1995a) dargestellt. Da es sich hier um das aktuell angewendete Verfahren handelt, sei an dieser Stelle auf den Versuchsansatz näher eingegangen.

Nach der Ernte wurden die Eicheln in einer Halle zum Ausschwitzen und zur Vermeidung von Erhitzung breitflächig zwischengelagert und regelmäßig gewendet. Unmittelbar vor der Thermotherapie wurden die Eicheln abgeschwemmt, um faule, taube und hohle Eicheln zu eliminieren. Pro Thermotherapiedurchgang konnten drei Tauchbehälter mit je 80 kg Eicheln bestückt werden. Die Behandlung dauerte zwei Stunden bei einer Wassertemperatur von 41 °C bis 42 °C. Im Anschluß erfolgte eine Kühlung und oberflächliche Trocknung im Klimaraum der FSB. Es erfolgte die Einlagerung von je 40 kg Eicheln in eine 60 l Tonne. Diese blieb oben geöffnet und enthielt in der Mitte ein Drainagerohr, um den Gasaustausch des durch die Atmung der Samen entstehenden CO<sup>2</sup> mit der Umgebung zu ermöglichen. Die Lagerung wurde in einem Kühlcontainer mit Direktkühlung bei -3 °C bis -4 °C und 80 % rF durchgeführt. Einzelne Partien wurden nach der Thermotherapie mit Antioxidantien (Ascorbinsäure), keimhemmenden Substanzen (Sorbinsäure, Cumarin, Abscisinsäure), Nährsalzen (Kaliumphosphat) oder einem Fungizid (0,25 % Benomyl) behandelt. Nach 6 Monaten Lage-

rung der Stieleicheln keimte die Kontrolle nur noch zu 9 %, die thermotherapierten Eicheln bis zu 80 %. Bei Traubeneicheln konnte dieses positive Bild nicht beobachtet werden. Teilweise hatte die Thermotherapie einen negativen Einfluß auf das Keimergebnis oder führte zu Mehrtriebigkeit. Die Ergebnisse nach dreimaliger Überwinterung faßten GILLE & NOWAG wie folgt zusammen: Bei Stieleicheln konnte nach zwei Wintern das beste Ergebnis in der Variante Thermotherapie mit Benomyapplikation festgestellt werden. Nach drei Wintern war das Keimprozent dieser Variante auf 40 % gefallen. Die Traubeneicheln waren nach drei Wintern sämtlich abgestorben. Wirtschaftlich relevant sei das mehrmalige Überwintern nach GILLE & NOWAG auch bei Stieleicheln nicht. Sicherergestellt ist allerdings die Abtötung des Pilzes *Ciboria batschiana* durch die Thermotherapie. Da sich aber nun andere Schadpilze ausbreiten könnten, sei für eine längerfristige Lagerung zusätzlich ein Fungizideinsatz nötig. Im heutigen Praxiseinsatz der FSB wird nach der Thermotherapie nur noch in Ausnahmefällen ein Fungizid appliziert. Eine Applikation mit keimhemmenden Stoffen wird nicht durchgeführt. Die Lagerung beschränkt sich lediglich auf eine Überwinterung. Dieses Vorgehen ist für ganz Deutschland charakteristisch.

In der Staatsklengle Nagold (EBINGER 1997) und der Landesforstbaumschule des Landes Sachsen-Anhalt (NATZKE 1996 und 1997) werden mobile Kleinthermotherapieanlagen mit einem Fassungsvermögen von 200 bis 250 kg Eicheln betrieben, die als Einzelanfertigungen einer in Süddeutschland ansässigen Firma (Haustechnik Sing) hergestellt wurden. Sie bieten mit einem Preis von 8000.- DM eine gute Alternative zu der vergleichsweise aufwendigen Anlage in der FSB Oerrel. In Sachsen-Anhalt erfolgt die Lagerung der Eicheln mittlerweile in offenen Gitterboxen, da die Luftfeuchtigkeit in den Kühlcontainern trotz einer Temperatur von -3 °C aktiv wiederbefeuchtet und auf einem Niveau über 95 % gehalten werden kann.

Die Firma Hellmann in Norddeutschland bietet ein Gesamtkonzept zur Thermotherapie und anschließender Trocknung an (SANFLEBEN 1996). Mittels Gabelstapler können in ein Tauchbecken 24 Standardkisten mit Eicheln (60 cm x 40 cm x 35 cm) auf einem plattenähnlichen Rahmen eingetaucht werden. Im Anschluß an die Thermotherapie wird dieser Rahmen komplett herausgehoben und in einen Trockenschrank mit geschlossenem Umluftverfahren gestellt. Die Trocknung erfolgt mit entwässerter Kaltluft bei 8 °C bis 15 °C. Diese Anlage wird bereits von vier Baumschulen um Pinneberg herum betrieben (HELLMANN 1997, mündl. Mitteilung).

In der forstlichen Praxis und in kleineren Baumschulen hält man, wahrscheinlich aus Kostengründen, oft noch an den alten Verfahren der Lagerung in Scheunen, Speichern und Kellern fest. Ob die Lagerung in der freien Natur oder in Eichelhütten immer noch durchgeführt wird ist dem Autor nicht bekannt. Auf alle Fälle wurden diese Verfahren noch in jüngster Zeit von der THÜRINGER LANDESFORSTVERWALTUNG (1992) propagiert, ohne auf die oben genannten aktuellen technisierten Methoden einzugehen.

Im „La Joux Forest Seed Centre“ in **Frankreich** dürfte das derzeit am weitesten entwickelte und kommerziell betriebene Gesamtkonzept zur Eichellagerung in einer Kombination von Thermotherapie, Fungizideinsatz und Kältelagerung durchgeführt werden. Ausführliche Berichte sind bei BONNET-MASIMBERT & MULLER (1993), BONVICINI (1993), PRENEY (1994), CONCHE (1996), BONVICINI (1996) und SUSZKA et al. (1996) zu finden. Die geernteten Eicheln werden in Netzsäcken in Kühlfahrzeugen (-1 °C) aus ganz Frankreich an das Staatliche Forstamt La Joux Forest Seed Centre gefahren, das eine Lagerkapazität von 300 t Eichensaatgut hat (es existieren in Frankreich lediglich eine staatliche und eine private Institution zur Aufarbeitung von Eichensaatgut). Neben der zentralen Einlagerung der Eicheln aus ganz

Frankreich erfolgt eine Eichellagerung über zwei Winter auch als Dienstleistung für andere Länder (PRENEY 1994). Aus Deutschland hat dieses Angebot bis jetzt das Staatliche Forstamt Nagold in Anspruch genommen.

Vor der Weiterverarbeitung werden die Eicheln zwischengelagert, wobei sie nicht höher als 10 cm - 15 cm liegen. Teilweise wird während dieser Phase eine aktive Vortrocknung der Eicheln durchgeführt. Nach einer maximalen Zwischenlagerzeit von drei Tagen erfolgt nach dem Abschwemmen die Thermotherapie mit 2,5 Stunden in 41 °C (bzw. 3 Stunden in 40 °C) warmem Wasser. In der Folge werden die Eicheln in einem Kaltluftstrom oberflächlich getrocknet (Dauer ca. 1 h) und im direkten Anschluß in einem handelsüblichen Betonmischer mit einem Fungizid behandelt (SUSZKA et al. 1996). Die Einlagerung erfolgt in offenen gelochten Kunststoffboxen, die in offenen Holzgitterkisten stehen, welche in einem Kühlraum bis zu 5 m hoch gestapelt werden. Zu diesem Zeitpunkt haben die Eicheln einen Feuchtegehalt von 47 % bis 48 %. Um die negativen Effekte der Luftschichtung über die gesamte Lagerzeit auszugleichen, werden die Kisten systematisch nach bestimmten Zeitintervallen umgestapelt. Die Reduktion eines Befalls mit sekundär auftretenden Lagerpilzen wird in La Joux Forest Seed Centre durch das regelmäßige Verblasen eines Fungizidnebels, die sog. Thermonebulisation erreicht (BONVICINI 1993). Um in Eichelumgebung in der gesamten Klimazelle eine ständige Temperatur von -1 °C zu gewährleisten, wird bis zu -7 °C kalte Luft mit einem Umluftgebläse in der Klimakammer verblasen. Die Luftfeuchtigkeit liegt über 95 %, um einen Fruchtwassergehalt der Eicheln von mindestens 42 % aufrecht zu erhalten. Jedoch konnte auch dieses Verfahren in der Vergangenheit Keimverluste durch Pilzbefall nicht verhindern (SUSZKA et al. 1996) und es kam teilweise zu erheblichen Ausfällen.

Eine Gefährdung von Eicheln der Stiel- und Traubeneiche durch den Pilz *Ciboria batschiana* trat nach J. SUSZKA (1997) in **Polen** erst im Jahre 1992 überraschend zutage und wächst seit dieser Zeit ständig. Inzwischen ist daher die Thermotherapie als obligates Verfahren auch in kleineren Baumschulen in ganz Polen zu finden. Im Institut für Dendrologie der Polnischen Akademie der Wissenschaften werden derzeit umfangreiche Versuche zur Thermotherapie und möglichem Fungizideinsatz durchgeführt. Die Lagerung der Eicheln erfolgt nach der von SUSZKA in Polen entwickelten Methode in Tonnen bei -3 °C.

In den **Niederlanden** wird die Thermotherapie (1,5 Stunden bei 43 °C) ebenfalls durchgeführt (ROEST 1996). Nach Zurücktrocknung erfolgt die Einlagerung bei Temperaturen von -1 °C bis -3 °C und Aufrechterhaltung eines Fruchtwassergehaltes von 40 % bis 45 %.

In **Großbritannien** erfolgt die Aussaat der Eicheln i.d.R. im Erntejahr. Die Thermotherapie wird nach GOSLING (1996 mündl. Mitteilung) nicht angewendet. Im Zwischenlager werden die Eicheln maximal 4 Eicheldurchmesser hoch aufgeschichtet und täglich gewendet. Die Aussaat im Herbst erfolgt (zum Schutz vor Frost) in einer Bodentiefe von 6 inches (ca. 15 cm). Im Frühjahr werden dann 4 inches (ca. 10 cm) des Bodens abgetragen, um das Auflaufen der Saat zu ermöglichen.

Die Methode von SUSZKA wurde bereits 1977 in **Italien** umgesetzt (GRADI, 1986) und stellt seit dieser Zeit das obligate Verfahren zur Lagerung von Saatgut der Arten *Quercus cerris*, *Q. robur*, *Q. pubescens*, *Q. ilex* und *Q. suber* dar. Zur Thermotherapie wurden Versuche durchgeführt, jedoch erfolgt derzeit keine Anwendung, da der Pilz *Ciboria batschiana* zwar vorkommt, jedoch keinen wirtschaftlichen Schaden anrichtet (MOTTA 1996 mündl. Mitteilung).

In **Rußland** im Wissenschaftlichen Produktionszentrum für Forstsaatgut, Puschkino bei Moskau, laufen derzeit Langzeitlagerungsversuche zum Einfluß von Hypoxie<sup>5</sup> auf die Überlebensfähigkeit der Eicheln (AWSJEWITSCH 1996 zitiert bei NATZKE 1997). Nach 25 Monaten Lagerung mit 4 % Sauerstoffanteil in der Lagerraumluft und Temperaturen zwischen 0 °C und 13 °C verringerte sich das Keimprozent von 92 % auf 72 %. Um welche Eichenart es sich handelte berichtete der Autor nicht. Auf Grund der geographischen Verbreitung der Eichenarten ist davon auszugehen, daß die Versuche mit Stieleicheln durchgeführt wurden.

Aus der **Slowakischen Republik** berichtete FOFFOVA (1992) über den Einsatz der Thermotherapie bei Stieleicheln. In ihren Untersuchungen wurde die Frage nach der Bekämpfungsmöglichkeit von Pilzen der Gattung *Ophiostoma* mittels Thermotherapie bearbeitet. Da *Ophiostoma*-Arten wesentlich hitzetoleranter als *Ciboria batschiana* sind, konnte eine Abtötung dieser Pilze nur bei gleichzeitiger Schädigung der Eichel erreicht werden.

In den baltischen Staaten **Estland**, **Lettland** und **Litauen** werden nach WASILIANSKA (1996 mündl. Mitteilung) keine besonderen Anstrengungen zur Lagerung von Eicheln unternommen. Das Vorkommen des Pilzes *Ciboria batschiana* wird zwar beschrieben, doch konnten bis jetzt keine ausgedehnten Schäden festgestellt werden.

In der „Tree Improvement Station“ in **Dänemark** werden die Eicheln nach Ankunft zur Qualitätsbestimmung bezüglich der Keimfähigkeit einem Schnitttest unterzogen und der Wassergehalt bestimmt (KNUDSEN 1993). Nach dem Abschwemmen erfolgt eine Thermotherapie für 2,5 Stunden bei 41 °C. Bevor die Eicheln in offenen Plastikboxen in einem Mantelkühlraum bei -1 °C bis -2 °C und 90 % bis 100 % rF eingelagert werden, erfolgt eine oberflächliche Abtrocknung auf einem Netzgurtförderband, durch das von unten warme Luft geblasen wird. In Ausnahmefällen erfolgt vor der Einlagerung eine Fungizidbehandlung.

Die Lagerung von Eicheln der Roteichen-Gruppe im **Süden der USA** erfolgt bei Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt in nicht verschlossenen Containern über drei Jahre hinweg mit nur geringem Keimverlust (BONNER 1973; BONNER & VOZZO 1987). Die Langzeitlagerung von Eicheln der Weißbeichen-Gruppe schlug nach BONNER (1996) bis jetzt fehl. Er favorisiert die Suche nach Wegen, Eicheln bei Temperaturen bis zu -10 °C einzulagern. Einen möglichen Weg sieht er in der wöchentlichen Temperaturschwankung mit immer niedriger gestaffelten Temperaturen, um einen Frosthärteeffekt wie von GUTHKE (1992) und SPETHMANN (1995) beschrieben, zu erzielen.

Als Resümee dieser Aufstellung kann festgehalten werden, daß das Lagerungsverfahren mit den Schritten Abschwemmen, Thermotherapie, Lagerung bei -1 °C bis -3 °C bei Aufrechterhaltung der Feuchte im Saatgut von über 40 % als das derzeit am weitesten entwickelte und aktuellste Verfahren zu nennen ist.

## 2.5 Konzepte zur Bekämpfung von samenbürtigen und samenübertragbaren Pathogenen

Biologische Materialien können durch die Kontamination mit Mikroorganismen (Pilzen, Bakterien und Viren) in ihrem Gebrauchswert stark herabgesetzt werden. In der Geschichte spielt dabei das „Verderben“ von Lebensmitteln eine wesentliche Rolle, wobei sowohl der kontaminierende Organismus selbst als auch seine toxischen Stoffwechselprodukte, wie z.B.

<sup>5</sup>Hypoxie: medizinischer Begriff für eine Verminderung des Sauerstoffdrucks in der Umgebungsluft oder in den Zellen der Körpergewebe [...] hervorgerufen durch Beimischung anderer Gase (BROCKHAUS 1969).



von einigen Pilzarten gebildete Mykotoxine (ANONYMUS 1996), in Nahrungs- und Futtermitteln zu schweren Erkrankungen der Verbraucher führen können. Als Beispiel sei hier die im Mittelalter verbreitete epidemische Krankheit des „Heiligen Feuers“ (Ergotismus) genannt, die durch die Sklerotien des Pilzes *Claviceps purpurea* (Mutterkorn) in ungereinigtem Roggen und Weizen hervorgerufen wurde und in Deutschland und Frankreich mehrere zehntausend Tote zur Folge hatte (SCHWANTES 1996). Der zweite ebenso wichtige Bereich ist der Befall von Saatgut mit Mikroorganismen. Hier sind es insbesondere Pilze, die ein Auflaufen der Saat verhindern, die Pflanzen zerstören oder den Ertrag mindern. Dabei ist zwischen bodenbürtigen und samenbürtigen oder samenübertragbaren Pilzen zu unterscheiden. Einer der bekanntesten und wirtschaftlich bedeutendsten Pilze der letzteren Gruppe ist der Erreger des Weizensteinbrandes *Tilletia caries*. Der Franzose TILLET (1755, zitiert bei NOBLE 1971) bewies Mitte des 18. Jahrhunderts, daß sich diese Infektion durch befallenes Saatgut ausbreitet.

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden unter „samenbürtig“ solche Schaderreger verstanden, die mit dem Samen übertragen werden, d.h. dem Samen entweder außen anhaften oder im Inneren vorhanden sind (AUST et al. 1993). Im folgenden soll diese vereinfachte Definition gelten, obwohl sie eine gewisse Ungenauigkeit beinhaltet. „Samenbürtig“ sind eigentlich solche Pilze, die über die Mutterpflanze während der Entwicklung des Saatkornes an dieses weitergegeben werden, die sog. germinative Keimübertragung (NOBLE 1957; GÄUMANN 1951; LITKE 1996). „Samenübertragbar“ sind hingegen solche Pilze, die an oder im Samen, sei es mit Überdauerungsorganen oder mit dem Myzel, überleben können und durch Kontakt mit infiziertem Saatgut oder Bodenkontakt an das befallsfreie Saatgut übertragen werden. Sowohl bei „samenbürtigen“ als auch bei „samenübertragbaren“ Pilzen gibt es Parasiten, Saprophyten und Endophyten. Folgende Schadbilder können am Saatgut nach NEERGAARD (1977) und BONNER et al. (1994) auftreten und sowohl einzeln als auch in Kombination vorkommen: frühzeitiger Abfall der Früchte, Mißbildungen oder Größenreduktion, Fäule, Sclerotisierung, Nekrosen, Farbänderung, Keimreduktion und physiologische Änderungen im Saatgut. Es gibt aber auch Pilze, die symptomlose Infektionen auslösen, sog. Endophyten, die ebenfalls samenübertragbar sind. Beim Getreide sind dies überwiegend Pilze der Ordnung Clavicipitales (BACON & HILL 1996), aber auch an Samen von Laub- und Nadelhölzern wurden solche Pilze nachgewiesen (BLOMBERG 1966, DUBBEL 1992, KOWALSKI & KEHR 1996). Diese Pilze haben möglicherweise auch positive Effekte auf die Keimung oder den Schutz vor pathogenen Pilzen. Im einzelnen ist die Beziehung zwischen Wirt und Pilz noch unklar, möglicherweise handelt es sich bei diesen Pilzen auch um Schwächeparasiten.

Zum Schutz vor oben beschriebener Pilzkontamination oder zur Behandlung nach entsprechendem Befall werden verschiedene Methoden angewandt, die sich in vier Gruppen zusammenfassen lassen:

- mechanische,
- chemische,
- physikalische,
- biologische Methoden.

Im folgenden werden Einzelverfahren aus diesen Gruppen dargestellt, soweit sie in der Literatur für die Behandlung von Saatgut beschrieben wurden. Darüber hinaus wird der derzeitige Einsatzgrad aufgezeigt und eine Wertung des Verfahrens, soweit möglich, dargestellt.

### 2.5.1 Mechanische Behandlung

Derartige Methoden sind nur dann anwendbar, wenn Pathogene oder Schaderreger Abnormitäten im Aussehen, dem Gewicht oder der Form des Saatgutes bewirken, die es gestatten, eine eindeutige Trennung zwischen „guten“ und „schlechten“ Samen vorzunehmen (KYRIAKOPOULOU 1993). Diese Trennung läßt sich manuell nur bei kleinen Saatgutchargen und entsprechend großfrüchtigem Saatgut wirtschaftlich tragbar durchführen. Ein Beispiel ist die manuelle Eliminierung von mit Eichelbohrerlarven (*Curculio glandium*) parasitierten Eicheln vor einer Überwinterung von Kleinchargen oder im Versuchsbetrieb.

Mechanische Anlagen (z.B. die Dossier-Maschine, MARTIN 1967) werden eingesetzt, um unerwünschte Begleitsaaten in einer Saatgutpartie herauszulesen oder eine Größensortierung vorzunehmen. Sogenannte Steigsichter bei der Nadelholz-Saatgutaufarbeitung erfüllen den gleichen Zweck. Als ein Verfahren zur Teilbekämpfung des Flugbrandes (*Ustilago nuda* [Jens.] Rostr.) oder der Streifenkrankheit (*Helminthosporium gramineum* Rebenk) an Gerste nannte MARTIN (1967) das Aussieben kleinerer Saatkörner, da diese häufiger als große Körner befallen seien.

Zu den mechanischen Verfahren ist auch das Abschwemmen tauber, hohler oder parasitierter Eicheln vor einer Weiterverarbeitung zu zählen, welches in Kap. 3.1.2 näher beschrieben wird. Dabei macht man sich das spezifische Gewicht gesunder Eicheln zunutze, die auf den Boden des Abschwemmbekens absinken, wohingegen die unerwünschten Eicheln oben aufschwimmen und leicht abgeschöpft werden können.

### 2.5.2 Chemische Verfahren

Das Ziel einer chemischen Saatgutbehandlung ist häufig sowohl eine abtötende als auch eine kurative Wirkung. Die eingesetzten Chemikalien haben sowohl fungizide als auch fungistatische Wirkung. Die Applikation der Mittel kann in gasförmigem, flüssigem oder festem (Pulver) Zustand erfolgen. Bei der chemischen Beizung werden systemische<sup>6</sup> und nicht systemische chemische Beizmittel genutzt.

### Begasung

Das Saatgut wird in einem luftdichten Behälter für eine bestimmte Zeit mit vergasbaren hochflüchtigen Substanzen behandelt. Zum Einsatz kommen dabei Fungizide, Nematizide oder Insektizide (NEERGARD 1977). Das z.Zt. am häufigsten verwendete Gas ist Methylbromid ( $\text{CH}_3\text{Br}$ ), welches sich durch gutes Eindringvermögen, schnelle Ausbreitung, Pflanzenverträglichkeit und hohe Toxizität gegen Pilze und Insekten auszeichnet. Die Anwendung erfolgt häufig in Vakuumgaskammern bei einem Druck von 660 mm oder 380 mm Wassersäule (FELIU 1993). Weitere zur Saatgutbegasung genutzte Stoffe sind Hydrogenphosphid, Hydrogencyanid und Ethylenoxid. Nach BONNER & VOZZO (1987) war bei der Begasung von Saatgut mit Methylbromid und anderen Gasen wegen des hohen Feuchtegehaltes der Eicheln eine Reduktion der Keimfähigkeit zu beobachten. Aufgrund seines ozonzerstörenden Potentials wird Methylbromid in Zukunft nicht mehr zur Verfügung stehen (USDA 1997).

<sup>6</sup> Systemische Pflanzenschutzmittel können sich durch den Transport gelöster Stoffe mehr oder weniger gleichmäßig innerhalb der Pflanze verteilen (Def. nach AUST et al. 1993).

## Thermonebulisation

Dieses Verfahren wurde in Frankreich aus der Anwendung im landwirtschaftlichen Bereich zur Bekämpfung von Insekten im Saatgut auf die Anforderungen bei der längerfristigen Eichelagerung übertragen (BONVICINI 1993; BONNET-MASIMBERT & MULLER 1993). Der Einsatz mußte in Kühlräumen erfolgen, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkt liegt. Grund war die nachlassende Wirksamkeit des zu Beginn der Einlagerung mittels Schlammbeizung applizierten Fungizids im Laufe der Lagerung und damit sich erneut ausbreitender Pilzbefall. Daher war eine wiederholte Fungizidapplikation gefordert, jedoch möglichst ohne die aufwendige Neubeizung mittels Schlämme o.ä. Bei der Thermonebulisation wird ein sehr feiner Aerosolnebel<sup>7</sup> produziert, der sich aus dem flüssigen Fungizid und Luft zusammensetzt. Dieser Nebel wird mit hoher Geschwindigkeit bei hohen Temperaturen in den Lagerraum verblasen. Die dort zur Kühlung genutzte Umluft ermöglicht die Benetzung jeder Eichel, da diese in offenen Gitterboxen lagern, die wiederum so gestapelt sind, daß eine ständige Luftumwälzung ohne Luftstau ermöglicht ist. Mit diesem Verfahren können Lagerpilze lediglich in ihrer Entwicklung und Ausbreitung gehemmt werden. Eine völlige Abtötung kann nicht erreicht werden. Kritisch zu sehen ist die Gefahr der phytotoxischen Wirkung auf die Eichel insbesondere bei beschädigtem Perikarp oder bei Traubeneicheln, die häufig in bereits angekeimtem Zustand eingelagert werden.

## Allgemeines zur chemischen Saatgutbeizung

Bei der chemischen Saatgutbehandlung nimmt die Beizung den größten Stellenwert ein. Die chemische Beizung von Saatgut hat eine lange Geschichte. Das Tauchen von Saatgut in Wein oder Urin zur Abtötung von Insektenschädlingen war schon zu Zeiten der Römer geläufig (MARTIN 1967). Das „Salzen“ von Saatgetreide gegen *Tilletia caries* oder *Tilletia foetida* war im 17. Jahrhundert in England ein gängiges Verfahren. Die Entwicklung der chemischen Beizung verlief über die Verwendung von Kupfersulfat (ab 1761), welches jedoch phytotoxische Wirkungen zeigte (HUBERT 1974), über Salicylsäure, Kaliumpolysulfid, Formaldehyd hin zu Organo-Quecksilberverbindungen (DUBEN et al. 1988), die in Deutschland in den alten Bundesländern auf Grund ihrer Toxizität 1980 (BGBl. I S. 2335) verboten wurden. Im Zuge des Einigungsvertrages erfolgte auch das Verbot für die neuen Bundesländer. Heute sind insbesondere organische Beizmittel mit selektiver systemischer Wirkung im Einsatz. Die chemische Beizung mit fungiziden Wirkstoffen ist zur Zeit das am häufigsten angewandte Verfahren zur Abtötung von samenbürtigen Mikroorganismen. In einigen Ländern besteht bei Getreidesaatgut eine generelle Beizpflicht.

Die Wirkstoffe werden durch Trockenbeizung, Naßbeizung (Tauchverfahren, Kurz-Naßbeize, Schlammbeizung), Saatgutinkrustierung und Saatgutpillierung auf die Saatgutoberfläche aufgebracht<sup>8</sup> (HEITFUß 1975; JESKE 1978; BÖRNER 1990). Chemische Beizmittel setzen sich meist aus mehreren Wirkstoffen zusammen und lassen so eine breite fungizide und auch insektizide Wirkung entstehen (BÖRNER 1990). Der Vorteil der Beizung liegt in der einfachen Handhabung der Applikationstechnik und kann auch ohne aufwendige maschinelle Verfahren genutzt werden, was diesen Verfahren häufig einen hohen monetären Vorteil gegenüber Alternativverfahren verschafft. HUBERT (1974) bezifferte die Beizkosten mit lediglich 0,5 % des

<sup>7</sup>Aerosol: zumeist kolloiddisperses Gemisch aus Luft und fein verteilten flüssigen Schwebstoffen. Die Tröpfchengröße beträgt wenige tausendstel Millimeter (Def. nach AUST et al. 1993).

<sup>8</sup>Eine weitere Einteilung der Applikationsmethoden wurde von MAUDE (1996) beschrieben. Die Abkürzungen der einzelnen Verfahren sind häufig als Anhänge an den Produktnamen der Beizmittel auch auf dem Deutschen Markt zu finden: 1. Powders for dry seed treatment (DS), 2. Wettable Powders (WP), 3. Water dispersable Powders (WS), 4. Solutions for seed treatment (LS), 5. Flowable concentrates (FS).

Saatgutbruttoertrages. Bei landwirtschaftlichem Saatgut wird neben der direkten Wirkung auf samenbürtige Pathogene der Schutz vor einem Befall mit bodenbürtigen Erregern nach der Aussaat durch die protektive Wirkung des sog. Beizhofes angestrebt (HEITFUB 1975; DUBEN et al. 1988). Systemisch wirkende Fungizide können darüber hinaus ihren Schutz bis in späte Wachstumsstadien der Kulturpflanze aufrecht erhalten (MAUDE 1996; BAYER AG 1997a). Diese langanhaltende Wirkung soll in Zukunft noch erweitert werden (BAYER AG 1997b).

Eine Erhöhung der Penetrierbarkeit von Saatgut mit Fungiziden wird durch die Applikation organischer Lösungsmittel erreicht, wobei teilweise lange Einwirkzeiten von bis zu 24 Stunden nötig sind, die im Anschluß eine Trocknung des Saatgutes nötig machen. Nach MAUDE (1996) wird diesem Verfahren mehr Bedeutung zukommen, wenn in Zukunft wirksamere systemische Beizmittel, die nur noch geringe Konzentrationen benötigen, auf den Markt kommen.

Ein weiteres moderneres Verfahren ist das sog. „process engineering of seeds“, wobei Samen in einer osmotischen Flüssigkeit, z.B. Polyethylenglycol (PEG), für 10 Tage bei 15 °C behandelt werden. Ziel ist es, durch kontrollierte Befeuchtung des Saatgutes die Keimung so weit zu initiieren, bis die Ausbildung der Radikula kurz bevor steht (MAUDE 1996). Der osmotischen Flüssigkeit können Fungizide zugesetzt werden. Ein Problem dieser Methode ist die Ausbreitung und Entwicklung von Mikropilzen in der Flüssigkeit, die die Gefahr der Kontamination unbefallener Saatgutpartien bedeutet.

Die Gefährdung der Anwender (JESKE 1978) durch Kontamination während der Behandlung oder des Saatgutumschlages, Rückstände in Behandlungsräumen und Verpackungen oder nicht ausgesäten gebeizten Restsaatgutes, sowie die Gefahr der Resistenzbildung der Pathogene (FRAHM 1988; MAUDE 1996) sind beim Einsatz von chemischen Beizmitteln als problematisch zu beurteilen. Umweltschutzaspekte spielen eine immer größere Rolle, so daß auch der Eintrag chemischer Stoffe in den Boden sehr kritisch zu betrachten ist. Außerdem schreibt das derzeit gültige GESETZ ZUM SCHUTZ DER KULTURPFLANZEN (1986) vor, daß die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes zu berücksichtigen sind. Letzteres bedeutet, daß biologische und biotechnische Verfahren vorrangig anzuwenden sind und daß die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf ein Mindestmaß zu beschränken ist. Aus diesen Gründen kommt alternativen Verfahren zur Bekämpfung samenbürtiger Krankheitserreger eine immer größer werdende Bedeutung zu. Ein weiterer Motivationspunkt insbesondere auf dem forstlichen Sektor alternative Verfahren zu suchen, stellt die künftig gültige Indikationszulassung (BBA 1996; BEER 1997) in der Pflanzenschutzmittelzulassung durch die BBA dar. Nach diesem Zulassungsverfahren wird es, im Gegensatz zur derzeit gültigen Vertriebszulassung, nicht mehr möglich sein, chemische Beizmittel, die beispielsweise nur für Weizen zugelassen sind, auch für andere Saatgutarten zu nutzen.

### **Chemische Saatgutbeizung von forstwirtschaftlichem Saatgut**

Die Beizung von forstlichem Saatgut ist dadurch gekennzeichnet, daß keine explizit mit diesem Anwendungsbereich zugelassenen Beizmittel zur Verfügung stehen (BBA 1997). Sämtliche eingesetzten Mittel werden aus der Landwirtschaft übernommen und bergen dadurch eine Reihe von Schwierigkeiten wie z.B. ein unklares Wirkungsspektrum sowie Unsicherheiten der Anwender bezüglich der Aufwandmenge. Als Beispiel sei eine Veröffentlichung angeführt, in der davon berichtet wurde, daß trotz dreimaliger Beizung mit einem Fungizid während der Überwinterung von Eichensaatgut Ausfälle bis zu 60 % beobachtet wurden (ANONYMUS 1997). VAARTAJA (1956) untersuchte die Wirkung von 119 Fungiziden auf Kiefern- und Birkensaatgut. Die meisten Mittel zeigten eine phytotoxische Wirkung; 19

Beizmittel zeigten eine ausreichende Wirkung. SUTHERLAND (1984) beschrieb, daß die phytotoxische Wirkung einer chemischen Beizung von Koniferensaatgut häufig größer war als der positive Effekt dieser Behandlung. Nach seiner Einschätzung gab es kein Beizmittel, welches einen ausreichenden Schutz vor der Umfallkrankheit bei Koniferen bietet. GOSLING (1996) beschrieb die phytotoxische Wirkung chemischer Beizmittel auch bei Laubholzsaatgut. ZENTSCH & JAHNEL (1963) konnten keinen Schutz der Keimlinge vor einem Befall mit bodenbürtigen pathogenen Pilzen bei gebeiztem Koniferensaatgut feststellen. Wissenschaftliche Versuche zur Beizung von Forstsaatgut in West-Deutschland wurden Ende der 50er Jahre von VOLGER (1957, 1959) durchgeführt, seither ruht dieses Forschungsgebiet mehr oder weniger. Verschiedene pauschale Anwendungsempfehlungen, z.B. eine Konzentrationsangabe für mehrere unterschiedliche Saatgutarten, pauschale Aussagen über fungizide Wirkung etc. (LANGE 1993) lassen erahnen, welcher Probleme sich insbesondere kleine Baumschulbetriebe ausgesetzt sehen. Einen Überblick über den derzeitigen Stand der Anwendung chemischer Beizmittel in deutschen Forstbaumschulen gibt der nachfolgende Abschnitt.

### **Aktuelle Situation der chemischen Beizung von Forstsaatgut in Deutschland**

In einer schriftlichen Umfrage im Jahre 1994 bei 190 deutschen Forstbaumschulen, 19 Beizmittelherstellern sowie den Pflanzenschutzämtern und Forstlichen Versuchsanstalten der Länder wurde versucht, die Problematik des Einsatzes der chemischen Beizung in der Praxis zu durchleuchten (SCHRÖDER 1994, unveröffentlicht; Fragebogen siehe Anhang 3). WULF & WICHMANN (1989) hatten eine Erhebung über die Art und den Umfang der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel im Forst durchgeführt, wobei der Pflanzenschutzmitteleinsatz in den Forstbaumschulen jedoch nicht abgefragt wurde. Der Rücklauf der Fragebögen aus den Baumschulen war allerdings gering und teilweise wenig aussagekräftig, so daß eine quantitative wissenschaftliche Auswertung unterblieb. Darüber hinaus wurde den befragten Baumschulen gegenüber versichert, daß keine Einzelangaben oder gar Verbindungen der Angaben mit einem Betrieb veröffentlicht würden. Aus diesen Gründen soll im folgenden nur ein kurzer qualitativer Überblick über die Ergebnisse der Umfrage gegeben werden.

- ◆ Von den Mitgliedern des Bundesverbandes Forstsaamen, Forstpflanzen (180 Mitglieder) antworteten 11 %, wobei lediglich 8 % der Fragebögen verwertbare Angaben enthielt. Der Arbeitskreis Deutscher Forstbaumschulen (10 Mitglieder, die den größten Teil der Forstbaumschulfläche halten) lehnte eine Beantwortung des Fragebogens aus grundsätzlichen Erwägungen geschlossen ab. Die geringe Rücklaufquote ist dabei sicher nicht auf Desinteresse zurückzuführen, sondern unterstreicht vielmehr die Brisanz der Thematik.

Um ein Verhältnis der beantworteten Fragebögen aus den Baumschulen bezogen auf alle Baumschulbetriebe zu erhalten, wurde die Fläche für den Anbau von Forstgehölzen herangezogen. Die antwortenden Baumschulen bewirtschafteten im Jahr 1994 eine Forstbaumschulfläche von 305,4 ha, das sind ca. 7 % der in ganz Deutschland für die Anzucht von Forstgehölzen genutzte Fläche (siehe auch Kap.2.2). Nachfolgend sind einige für die vorliegende Arbeit wichtige Aussagen ohne Gewichtung in zusammengefaßter Form aufgeführt:

- Eicheln und Bucheckern bereiten bezüglich Pilzbefall während der Lagerung die größten Probleme. Für diese Saatgutarten ist ein sicheres Verfahren zur mehrjährigen Lagerung noch zu entwickeln.
- Die Angaben über den Befall des Saatgutes mit Pilzen schwankten bei der quantitativen Angabe von 10 % bis 100 %. Um welchen Pilz es sich dabei handelte, war in der Regel nicht bekannt. Vereinzelt wurden folgende pilzliche Erreger oder deren Symptome genannt: Schwarzfäule, *Fusarium*, *Pythium*, Schimmel. Der Pilzbefall sei von der Behand-

lung zwischen Ernte und Lagerung abhängig gewesen. Problematisch wurde mehrfach der Ankauf insbesondere von Laubholzsaatgut gewertet, da der kaufende Betrieb keinen Einfluß auf die Ernte und Zwischenlagerung hatte.

- Die Angaben zur chemischen Beizung von Eicheln und Bucheckern reichten von der obligaten Anwendung vor der Aussaat über die alleinige Anwendung zum Schutz vor Vogelfraß, bis zur völligen Ablehnung mit dem Hinweis, daß eine derartige Behandlung wirkungslos sei, bzw. daß eine sorgfältige Saatgutbehandlung und Stratifizierung sowie Aussaatvorbereitung eine chemische Beizung unnötig mache.
  - Gebeiztes Saatgut sollte zur Verhinderung von phytotoxischen Wirkungen sofort ausgesät werden.
  - Trotz Beizung des Saatgutes kam es vor allem bei der Buche zu Ausfällen im Saatbeet.
  - Eine chemische Beizung erfolgte bei Eicheln und Bucheckern auch vor der Einlagerung.
  - Als Alternativverfahren zur herkömmlichen Beizung wurde das Abschwemmen und die Thermotheapie bei Eicheln und Bucheckern angewandt.
  - Die Kosten der Beizmittel im Verhältnis zu den Kosten der Saatgutbeschaffung lagen im Mittel unter 3 % (min: 0,05 %; max. 10 %) und waren abhängig von der hauptsächlich angebauten Baumart.
  - Der Kostenanteil der Beizmittel am Gesamtaufwand der Pflanzenschutzmittel pro Betrieb lag im Durchschnitt bei etwa 7 % (min.: 1 %, max.: 21 %)
  - Unter Beizmitteln wurden mehrfach folgende Präparate oder Wirkstoffe aufgeführt: Previcur N<sup>2)</sup>, Polyram Combi<sup>2)</sup>, Mesurool<sup>2)</sup>, Benomyl<sup>1)</sup>, Mancozeb<sup>1)</sup>, Maneb<sup>1)</sup>, Metiram<sup>1)</sup> (<sup>1)</sup>: Wirkstoff, <sup>2)</sup>: Produktname). Die Konzentrationsangaben schwankten dabei deutlich, z.B. bei Previcur N zwischen 0,01 % und 1 %, bei Benomyl zwischen 1 % und 5 %.
- ◆ Die Hersteller der Beizmittel antworteten zu 59 %, wobei lediglich eine Firma Erfahrungen in der versuchsweisen Beizung von Eichensaatgut hatte. Bestrebungen zur Antragstellung auf Zulassung eines Beizmittels für forstliches Saatgut wurde von keiner Firma erwähnt.
- ◆ Die Forstlichen Versuchsanstalten der Länder antworteten zu 70 %. Hauptprobleme bereiten nach deren Aussagen das Saatgut der Eiche und Buche im Lager sowie der Faktorenkomplex „Umfallkrankheit“ bei Buche und Koniferen. Häufig genannte pilzliche Pathogene waren: *Ciboria batschiana*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp., *Pythium* spp. *Phytophthora* sp. Anfragen oder Probeneinsendungen zu Problemen mit Saatgut oder Beizung kamen nur in geringem Umfang vor. Zu Beizmitteln und deren Einsatz bei Nadelholz wurden folgende Mittel bzw. Wirkstoffe aufgeführt: Benomyl<sup>1)</sup>, Dithane<sup>2)</sup>, Polyram Combi<sup>2)</sup>, Mancozeb<sup>1)</sup>, Metiram<sup>1)</sup>, Previcur N<sup>2)</sup> (<sup>1)</sup>: Wirkstoff, <sup>2)</sup>: Produktname). Für die vorliegende Arbeit war die Feststellung wichtig, daß Eichensaatgut mehr Probleme während der Lagerung bereitet als bei der Aussaat. Beizmittel wurden nach diesen Aussagen bei Eicheln nicht angewandt. Probleme während der Lagerung hatten häufig ihren Ursprung in der falschen Behandlung unmittelbar nach der Ernte.
- ◆ Der Rücklauf aus den Pflanzenschutzämtern war ebenfalls als gut zu bewerten, jedoch konnten diese nur wenige Angaben zu forstlichem Saatgut machen, da dieser Bereich nicht in ihre Zuständigkeit gehört. Problematische Baumarten waren Eiche und Buche während

der Lagerung. Folgende Pilzarten wurden aufgeführt: *Ciboria batschiana*, *Rhizoctonia solani*, diverse Schimmelpilze, *Fusarium* sp., *Ceratocystis* sp., *Alternaria* sp., *Penicillium* sp. Pro Jahr gab es im Mittel 3 bis 4 Anfragen zu diesem Komplex.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die chemische Beizung von forstlichem Saatgut bei weitem nicht den Standard der Verfahren in der Agrarwirtschaft aufweist. Dies liegt zum einen daran, daß Forstpflanzen kein Ergebnis züchterischer Anstrengungen sind und somit stark variierende morphologische und physiologische Eigenschaften aufweisen, die entsprechend schwierig zu kontrollieren sind und zum anderen daran, daß dieser Wirtschaftszweig für die Hersteller von Beizmitteln einen zu geringen Markt darstellt, als daß es sich für sie lohnen würde, spezielle Beizmittel zu entwickeln (Entwicklungskosten eines neuen Pflanzenschutzmittels liegen bei über 250 Mio. DM, BBA 1996). Hinzu kommt, daß viele Baumschuler über Pflanzenkrankheiten, die mit dem Saatgut übertragen werden, nur wenig informiert zu sein scheinen. Entsprechend schwer fällt die Umsetzung der stark streuenden Forschungsergebnisse oder Anwendungsrichtlinien in die Praxis und damit die Entwicklung spezifischer Beizmittel. Die Wirkung der chemischen Beizmittel ist mit Ausnahme der systemischen Mittel auf den Bereich des Perikarps und der Testa beschränkt. Eine Bekämpfung von Erregern, die sich in den Kotyledonen oder dem Endosperm befinden, (z.B. *Ciboria batschiana* an Eicheln) kann ohne einhergehende Schädigung der Embryonalanlagen des Saatgutes häufig nicht erreicht werden. Im Zuge der künftigen Indikationszulassung von Pflanzenschutzmitteln werden Indikationslücken entstehen. Dies wird zur Folge haben, daß für forstliches Saatgut keine Beizmittel mehr zur Verfügung stehen.

### 2.5.3 Herkömmliche thermische Verfahren

Diese physikalischen Methoden stellen einen sicheren Weg zur Abtötung von sowohl im Inneren als außen am Saatgut anhaftenden Krankheitserregern dar. Dabei können sowohl Bakterien (GRONDEAU et al. 1992), Viren, Insekten als auch Pilze erfolgreich bekämpft werden, wobei die Keimfähigkeit des Saatgutes erhalten bleibt. Physikalische Verfahren zeichnen sich allerdings häufig durch einen hohen Arbeitsaufwand aus und spielen nach BÖRNER (1990) in der heutigen Landwirtschaft kaum noch eine Rolle. Die Zunahme ökologisch wirtschaftender Betriebe wird diese Verfahren möglicherweise stärken. In der Forstwirtschaft gewinnt die in Abschnitt 2.4 bereits skizzierte Heißwasserbehandlung (Thermotherapie) zur Bekämpfung von *Ciboria batschiana* an Eicheln immer mehr an Bedeutung.

#### Heißluftbehandlung

Die Erwärmung des Saatgutes erfolgt bei der Heißluftbehandlung durch Konvektion. Bedingt durch die geringe Wärmekapazität der Luft ergeben sich in Abhängigkeit der Wärmeleitung des Saatgutes sehr lange Behandlungszeiten. Der Tod einzelner Organismen ist bei diesem Verfahren immer eine Folge von Oxidationsprozessen (MAUDE 1996).

Nach MARTIN (1967) geht die Anwendung von Hitze zur Saatgutdesinfektion auf JENSENS Arbeiten im Jahre 1882 zurück. Dieser bekämpfte den Pilz *Phytophthora infestans*, den Erreger der Kraut- und Knollenfäule an Kartoffel, indem er die Samenknollen vier Stunden einem Warmluftstrom von 40 °C aussetzte. Diese Methode wurde jedoch vier Jahre später durch die Einführung der Bordeauxbrühe<sup>9</sup> ersetzt. GRONDEAU et al. (1992) konnten nachweisen, daß

<sup>9</sup> Bordeauxbrühe: auch Bordelaiser Brühe oder Kupferkalkbrühe genannt. Spritzbrühe mit Kalk und Kupfervitriol gegen Pflanzenkrankheiten.

Bakterien (*Pseudomonas syringae*) an Erbsensaatgut durch eine Heißluftbehandlung mit einer Dauer von 72 Stunden bei 65 °C fast vollständig abgetötet werden können. Die langen Behandlungszeiten hatten zur Folge, daß die Heißluftbehandlung kaum Einfluß in die Praxis der Saatgutbehandlung gefunden hat. Für forstliches Saatgut ist keine Anwendung der Heißluftbehandlung als phytosanitäre Maßnahme bekannt.

### Heißwasserbehandlung

Durch die wesentlich höhere Wärmekapazität und die bessere Wärmeübertragung auf das Saatgut ist Wasser als Medium bei einer Wärmebehandlung wesentlich besser geeignet als Luft (RÖMPP 1950), wobei die Wärmeübertragung ebenfalls durch Konvektion erfolgt. Voraussetzung für die Wirksamkeit ist das schnelle Erreichen einer für den pathogenen Organismus letalen Temperatur, das Halten dieser Temperatur bis zur vollständigen Abtötung dieses Organismus ohne die Schädigung des Saatgutes sowie das unmittelbar anschließende Stoppen der Wärmeeinwirkung, z.B. durch ein Bad in kaltem Wasser, gefolgt von der Rücktrocknung des Saatgutes bis zum Wassergehalt vor der Behandlung (MAUDE 1996). Der Tod der Schadorganismen wird bei der Wärmebehandlung mit Feuchtigkeit durch die Koagulation von Proteinen in den Zellen hervorgerufen (MAUDE 1996).

Das bekannteste Verfahren ist die Heißwasserbehandlung zur Bekämpfung des Gerstenflugbrandes (*Ustilago nuda*) und des Weizenflugbrandes (*Ustilago tritici*) (MARTIN 1967), welches über 75 Jahre die Standardmethode zur Behandlung von Getreidebrand an Weizen und Gerste war (NEERGARD 1977). Grundsätzlich war dieses Verfahren kostengünstig, einfach zu handhaben und auch für kleine Chargen einsetzbar. Jedoch mußte einer Heißwasserbehandlung eine Vorquellphase vorausgehen und nach der Behandlung eine Trocknungsphase, was die Gesamtbehandlung zumindest zeitlich sehr aufwendig gestaltete. Insbesondere bei gelagertem Saatgut führt eine Heißwasserbehandlung zu Keimungsverlusten (MAUDE 1983, zitiert bei KYRIAKOPOULOU 1993). Die Heißwasserbehandlung wurde Ende der 60er Jahre durch die leichter zu handhabenden und effektiver wirkenden Beizmittel ersetzt. Heute werden systemische Fungizide als Beizmittel eingesetzt, die teilweise auch Krankheitserreger im Inneren des Samens bekämpfen können (BÖRNER 1990, MAUDE 1996). NEERGARD (1977) empfahl, soweit die Heißwasserbehandlung immer noch durchgeführt wird, die anschließende Applikation eines Beizmittels (hier Organo-Quecksilberverbindungen), da die Heißwasserbehandlung die nützlichen Antagonisten am Saatgut ebenso abgetötet habe und so kein Schutz vor bodenbürtigen Pathogenen mehr bestehen würde.

Neben der Bekämpfung von Pilzen wurde die Heißwasserbehandlung auch gegen Bakterien (*Xanthomonas campestris* in Saatgut von Brassicaceen) und Nematoden in Reis und Luzerne (*Ditylenchus dipsaci*) angewandt (NEERGARD 1977; KYRIAKOPOULOU 1993).

Die Heißwasserbehandlung bei Eichensaatgut ist derzeit das einzige Verfahren, um den Erreger der Schwarzen Eichelfäule, *Ciboria batschiana*, wirksam zu bekämpfen, der bereits wenige Tage nach der Infektion in das Innere der Eicheln vordringen und die Kotyledonen infizieren kann. Die Methode wurde in Frankreich entwickelt (DELATOUR 1977) und wird in vielen Ländern Europas obligat angewandt. Die Behandlung erfolgt über zwei Stunden in einem 41 °C warmen Wasserbad. Im Anschluß muß eine Abkühlung und oberflächliche Trocknung der Eicheln erfolgen, damit die Eicheln nicht in Keimstimmung gebracht werden. Damit ist auch dieses Verfahren sehr zeitaufwendig und bedarf mehrerer Arbeitsschritte, bis das Saatgut zur Einlagerung kommen kann.



## Dampfbehandlung

Eine Behandlung mit Dampf ist ein Kompromiß zwischen Heißluft- und Heißwasserbehandlung. Die Wärmeübertragung erfolgt zum einen durch Konvektion, zum anderen durch Entstehen von Kondensationswärme auf der Saatgutoberfläche während der Aufwärmphase. Eine Dampfbehandlung benötigt längere Verweilzeiten und höhere Behandlungstemperaturen als eine Heißwasserbehandlung, um die gleichen phytosanitären Effekte bezüglich samenbürtiger Pathogene zu erreichen (MAUDE 1996). Häufig wurde eine Reduktion der Keimung oder ein Totalausfall des Saatgutes beobachtet, jedoch lagen diese Ausfälle unter denen, wie sie in der Literatur für die Heißwasserbehandlung beschrieben wurden. MAUDE (1996) gibt eine Übersicht der mit einer Dampfbehandlung bekämpfbaren Mikropilze. Zur Bekämpfung samenbürtiger Bakterien eignet sich das Verfahren weniger. Ein Vorteil dieser Methode besteht in der geringeren Feuchtigkeitsaufnahme durch das Saatgut im Vergleich zur Heißwasserbehandlung, jedoch macht die Kondensatbildung auf der Saatgutoberfläche ebenfalls eine Nach-trocknung nötig. In der praktische Saatgutbehandlung hat dieses Verfahren durch den Einsatz systemischer Fungizide kaum noch Bedeutung.

MIDDELMANN (1997a, 1997b) stellte Versuche zur Thermotherapie von Traubeneicheln mit Dampf an. Dabei behandelte er Traubeneicheln in einer Klimakammer bei Temperaturen von 41 °C, 42 °C und 43 °C bei einer Luftfeuchtigkeit von 95 % bis 98 % über jeweils zwei Stunden. Vergleichend wurde die Standardthermotherapie mit Wasser durchgeführt, sowie eine Nullvariante. Nach einer Einlagerung gemäß dem Verfahren in der SBS Oerrel über ein Jahr wies die 40 °C Dampfvariante das höchste Keimprozent auf (33,3 %). Das schlechteste Ergebnis brachte die Standardthermotherapie (1 %). Die unbehandelte Kontrolle keimte zu 13,3 %. Die Keimtests wurden dabei mit Perikarp in Erde durchgeführt. MIDDELMANN (1997b) folgerte daraus, daß die Thermotherapie mit Dampf effektiver gegen den Erreger der Schwarzfäule *Ciboria batschiana* wirkt als die Standardthermotherapie und begründet damit auch das schlechte Abschneiden der Standardthermotherapie im Keimtest nach einem Jahr. Diese Aussage ist insofern kritisch zu sehen, als daß MIDDELMANN in der gesamten Untersuchung lediglich Keimversuche nach erfolgter Behandlung durchgeführt hat. Eine mykologische Untersuchung über den tatsächlichen Befall der Eicheln mit *Ciboria batschiana* vor und nach einer Behandlung erfolgte nicht.

### 2.5.4 Mikrowellenbehandlung

Ein weiteres Verfahren, welches zu den physikalisch-thermischen Verfahren zu rechnen ist, ist die Saatgutbehandlung mit Mikrowellen.

In einer Literaturstudie zur Keimreduktion in Lebensmitteln durch Mikrowellenbehandlung im Gar- und Aufwärmverfahren kamen ROSENBERG & BÖGL (1984) zu dem Ergebnis, daß häufig die nötige Keimreduktion nicht erreicht wird, welches die Autoren jedoch auf zu geringe Behandlungszeiten und teilweise technische Unzulänglichkeiten von Haushaltsmikrowellengeräten zurückführten. Die Mikrowellenbehandlung von Lebensmitteln zur Verlängerung der Haltbarkeit durch Pasteurisierung und Sterilisierung fertiger Lebensmittel, z.B. bei der industriellen Brotherstellung, hat inzwischen eine weite Verbreitung gefunden (SPICHER 1990; SCHULTE 1995). SHARP (1996) führte aus, daß Mikrowellen zur Quarantänebehandlung von Krankheiten in Nahrungsmitteln kommerziell nicht eingesetzt werden, jedoch sei die Mikrowellentechnologie möglicherweise zur Abtötung von Insekten im Saatgut (z.B. Mango und Avocado) geeignet. HANKIN & SANDS (1977) konnten mit Mikrowellenenergie eine vollständige Abtötung des Bakteriums *Erwinia carotovora* var. *carotovora* an Tabaksaatgut

ohne Reduktion der Keimkraft der Tabaksamen nachweisen. Untersuchungen von CAVALCANTE & MUCHOVEJ (1993) an Saatgut von Bohne, Sojabohne, Mais, Erdnuß und Weizen zeigten, daß eine vollständige Abtötung aller Pathogene im Samen dieser Arten möglich war. Die Kombination der Mikrowellenbehandlung mit der Zuführung von Heißdampf während der Behandlung wurde durch v. HÖRSTEN (1994) eingehend untersucht. Mit dieser Mikrowellen-Dampf-Behandlung konnte der Krankheitserreger *Fusarium culmorum* an Winterweizensaatgut vollständig abgetötet werden, ohne die Keimfähigkeit des Saatgutes zu beeinträchtigen.

CROCKER et al. (1987) benutzten eine Haushaltsmikrowelle um den Einfluß einer Mikrowellenbehandlung auf Eicheln von *Quercus virginiana* Mill. zur Abtötung verschiedener *Curculio*-Larven zu untersuchen. Die Eicheln und die Insektenlarven zeigten die gleiche Empfindlichkeit gegenüber der Mikrowellenbehandlung, so daß eine wirksame Bekämpfung der Larven nur unter gleichzeitiger Keimreduktion der Eicheln erfolgen konnte.

### Wirkungsweise der Mikrowellenenergie

Die klassische Anwendung der Mikrowellenenergie liegt in der Lebensmittelbehandlung und reicht vom Aufwärmen und Garen bis zum Sterilisieren und Pasteurisieren von Lebensmitteln (SPRENG 1973, SPICHER 1990). Die Abtötung von Mikroorganismen mit Mikrowellen als Alternative zu chemischen Verfahren nimmt an Bedeutung zu. Zu den Einsatzgebieten dieser Technologie, die neu in den praktischen Anwendungsbereich drängen, gehört die phytosanitäre Behandlung von Saatgut (CROCKER et al. 1987; CAVALCANTE & MUCHOVEJ 1993; v. HÖRSTEN 1994). Auch die neuerdings durchgeführte Bekämpfung von Holzschädlingen mit Hochfrequenzenergie in Gebäuden (JÜTTERSCHENKE 1997) und die Bodensanierung (ARBES UMWELT GmbH 1997) macht sich die dielektrische Erwärmung zunutze, jedoch mit einer höheren Frequenz als die Mikrowellentechnologie.

Die Mikrowellenbehandlung ist ein physikalisch-thermisches Verfahren. Mikrowellen liegen innerhalb des elektromagnetischen Spektrums in den Frequenzgrenzen von 300 MHz und 300 GHz. Daraus ergibt sich, daß die Vakuumwellenlänge  $\lambda_0$  (Abstand zweier aufeinander folgender Maxima eines Wellenzuges) zwischen 1 m und 1 mm variiert. Die Nutzung von Mikrowellen ist international geregelt und in ISM-Frequenzbänder<sup>10</sup> für die Bereiche der Industrie, der Wissenschaft und der Medizin eingeteilt (SPRENG 1973). In Deutschland werden Frequenzen von 433,92 MHz, 2.450 MHz, 5.800 MHz und 24.150 MHz genutzt (HEINDL 1993).

Die elektromagnetische Welle besteht aus gekoppelten magnetischen und elektrischen Feldern, die sich zeitlich ändern und in Luft näherungsweise mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, wobei zwischen der Frequenz  $f$ , der Wellenlänge  $\lambda_0$  und der Lichtgeschwindigkeit  $c$  folgender Zusammenhang besteht:  $\lambda_0 = c / f$  (STOLZ 1972).

Dieses elektrische Wechselfeld regt chemische Verbindungen mit einer asymmetrischen Ladungsverteilung und damit Dipoleigenschaften (z.B. Wasser) zu Schwingungen an. Hervorgerufen wird dies durch den Dipolcharakter<sup>11</sup> der behandelten Moleküle, die versuchen sich entlang der elektrischen Feldlinien des Wechselfeldes auszurichten. Die Schwingungen erfolgen mit der Frequenz des Mikrowellenfeldes (2.450 MHz bewirken 2.450 Mio. Schwingungen pro Sekunde; CHIPLEY 1980). Nachbarmoleküle behindern sich bei ihrer Schwingbewegung gegenseitig. Dadurch kommt es zu einer Umwandlung der elektrischen Energie in

<sup>10</sup>ISM-Frequenzbänder: Industrial, Scientific and Medical Frequencies (SPRENG 1973)

<sup>11</sup>Dipolmolekül, besteht aus einem positiven und einem negativen Ion, die zusammen einen elektrischen Dipol bilden (Ionenbindung, polare Bindung)

Wärmeenergie im behandelten Material (WHITE 1973 zitiert in HEINDL 1993). Neben der Energieübertragung auf die Dipole spielt auch die Energieübertragung auf Ionen eine Rolle (v. HÖRSTEN 1994).

Diese Vorgänge und damit die Erwärmbarkeit eines Stoffes sind abhängig von der Fähigkeit des Stoffes, Mikrowellen zu absorbieren. Grundsätzlich können Mikrowellen ebenso wie Licht von den behandelten Körpern reflektiert oder absorbiert werden oder sie durchdringen. Der Grad der Reflexion, der Absorption oder der Transmission ist von den Eigenschaften des Dielektrikums (elektrisch nicht leitende Produkte) abhängig. In dielektrischen Stoffen können die o.a. Vorgänge stattfinden, was bedeutet, daß sich unter dem Einfluß eines elektromagnetischen Feldes Ladungsträger wie Elektronen oder Ionen verschieben und Dipole sich ausrichten können. Diese Verschiebung und Dipolorientierung nennt man Polarisation.

In praktischen Anwendungsfällen wird die erzeugte Wärme gleich der „Dipolwärme“ gesetzt (SPRENG 1973), der Betrag der durch Ionenleitfähigkeit erzeugten Wärme wird vernachlässigt. In Abhängigkeit des Stoffwertes, der elektrischen Feldstärke und der Temperatur des Produktes erfolgt die Temperaturerhöhung langsam oder schnell (SCHUBERT & GRÜNEWALD 1983). In Eis können sich die in einem Kristallgitter fixierten Wassermoleküle kaum bewegen (VENNEN 1994) und der Erwärmungsprozeß dauert entsprechend lange. Wasser kann Mikrowellen gut absorbieren, während Kunststoffe oder keramische Stoffe von den Mikrowellen fast ungehindert durchdrungen werden. Aus diesem Grund sind die Einbauten in der genutzten Mikrowellenversuchsanlage aus Teflon gefertigt

Vorteile der Mikrowellenerwärmung gegenüber herkömmlichen thermischen Behandlungen sind:

- Die Wärmentwicklung erfolgt im Produkt selbst (SPENG 1973; SCHUBERT & GRÜNEWALD 1983).
- Die Behandlungsdauer kann durch die schnellere Durchwärmung reduziert werden.
- Mikrowellen können tief in das zu behandelnde Gut eindringen, so daß größere Volumen behandelt werden können.

## 2.5.5 Saatgutbehandlung mit Gamma- und Röntgenstrahlen

### Gamma-Strahlung

$\gamma$ -Strahlen sind hochenergetische elektromagnetische Strahlen. Die überwiegende Anwendung der Bestrahlung lebender Organismen mit Kobalt-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) oder Cäsium-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) ist in der Lebensmittelkonservierung zu finden (CAC 1984; DIEHL 1990; BFE 1995; SCHULTE 1995).

Zur versuchsweisen Bekämpfung von Krankheitserregern an Saatgut wurden  $\gamma$ -Strahlen erst Mitte der 80er Jahre eingesetzt (FELIU 1993). DECKER und DEGNER (1983) stellten in einer Literaturstudie die Auswirkungen kleiner Dosen ionisierender Strahlung von Gamma- oder Röntgenquellen auf Saat- und Pflanzgut dar. Häufig wurde dabei in den ersten Tagen der Keimung nach der Bestrahlung des Saatgutes ein positiver Effekt beobachtet, der sich in der fortlaufenden Entwicklung jedoch teilweise umkehrte. Das anfangs positiv beeinflusste Wachstum führten die Autoren u.a. auf Überkompensation der anfänglich verringerten Zellteilungsrate zurück. Der zu Beginn positive Einfluß einer Saatgutbehandlung mit Radiumstrahlen auf die ersten Keimungsphasen wurde bereits von NIETHAMMER & TIETZ (1961) beschrieben. In der weiteren Entwicklung der Pflanzen schlug sich nach Angabe der Autoren auch hier die Förderung oft in das Gegenteil um.

Die Saatgutbehandlung mit Gammastrahlen stellt sich sehr schwierig dar, da die Letaldosis für Saatgut bzw. dessen Embryonalanlagen unter der der zu bekämpfenden Mikroorganismen liegt. JO (1964, zitiert bei RAYCHAUDHURI & VERMA 1977) schloß mit der Begründung der höheren Strahlenresistenz der samenbürtigen Pathogen im Vergleich zum Saatgut eine phytosanitäre Behandlung mit Gammastrahlen vollständig aus.

### Röntgenstrahlung

Auch bei der Saatgutbehandlung mit Röntgenstrahlen wurde die Fragestellung einer möglichen Wachstumsstimulation vorrangig untersucht. ZELAWSKI & NALBORCZYK (1971) beobachteten ein halbes Jahr nach erfolgter Röntgenbestrahlung von Kiefern Saatgut (*Pinus sylvestris*) bei Dosisvarianten von 0,01 kGy oder 0,02 kGy eine Erhöhung der produzierten Trockensubstanz bis zu 60 %, eine Erhöhung und Vergrößerung der Assimilationsorgane (Nadeln) und damit in sekundärer Wirkung eine Verbesserung der Photosyntheseaktivität und der Atmung. NIETHAMMER & TIETZ (1961) meinten jedoch, daß Röntgenstrahlen meist schädigend wirken und daß eine derartige Wachstumsförderung auf das Abtöten anhaftender Mikroorganismen zurückzuführen sei.

Röntgenstrahlung wird heute routinemäßig bei der Saatgutprüfung von kleinfrüchtigen Saatgutarten eingesetzt (BELCHER & VOZZO 1979; GORDON et al. 1991; ISTA 1993). Dieses Verfahren bietet nicht nur die Möglichkeit der Kontrolle anatomischer Strukturen des Saatgutes, sondern ermöglicht auch das Erkennen physiologischer Änderungen während der Reifung und Keimung. Die Röntgendosis bei der Untersuchung von z.B. *Pinus sylvestris*- und *Picea abies*-Samen beträgt 0,02 Gy (15 kV, 15 mAs, 30 cm FFD<sup>12</sup>). Diese Dosis führt nach Angaben von NEUMANN (1982) sowie GORDON & VOZZO (1991) nicht zu physiologischen oder genetischen Schäden im Saatgut. Die routinemäßige Keimprüfung wird anhand des geröntgten Saatgutes durchgeführt. Bis zu einer Dosis von 8 Gy zeigten sich in NEUMANN'S (1982) Untersuchungen zwischen dem Keimprozent der behandelten und unbehandelten Fichten- und Kiefern Samen keine signifikanten Änderungen. Ab einer Dosis von 0,12 Gy kommt es in Samen von *Pinus sylvestris* allerdings zu cytologischen Änderungen während der Mitose (KAMRA & SIMAK 1965, zitiert in GORDON & VOZZO 1991). Die Autoren berichteten ebenfalls darüber, daß Koniferensaatgut strahlenempfindlicher reagiert als Laubholzsaatgut und feuchte Samen empfindlicher als getrocknete.

Eine direkte Bekämpfung von Mikroorganismen am und im Saatgut mit Röntgenstrahlung ist nicht möglich, da letale Keimschäden bereits ab einer Dosis von 100 Gy zu beobachten sind, die letale Dosis für Mikroorganismen jedoch erst ab 1.000 Gy beginnt.

### 2.5.6 Saatgutbehandlung mit Elektronen

Die Elektronenbehandlung von Saatgut macht sich ebenfalls die bioziden Wirkungen ionisierender Strahlung zunutze. Der grundsätzliche Unterschied zu  $\gamma$ - und Röntgenstrahlen liegt in der vergleichsweise geringen Reichweite insbesondere niederenergetischer Elektronenstrahlen. Es wird über eine gute Wirkung zur Bekämpfung im Perikarp von Winterweizen siedelnden pilzlichen Pathogenen (*Tilletia caries* und *Septoria nodorum*) berichtet (BURTH et al. 1991; LINDNER et al. 1991; BURTH et al. 1992; LINDNER 1992; LINDNER et al. 1992). Über erste Erfolge bei der Maisbehandlung mit Elektronenstrahlen berichteten BURTH et al. (1992).

<sup>12</sup>FFD: Focus Film Distance (GORDON et al. 1991)

## Wirkungsprinzipien der Elektronenbehandlung

Die Anwendung elektronenstrahltechnischer Effekte sind Erwärmen, Schmelzen, Tiefschweißen, Verdampfen, Abtragen, Ladungsübertragung, strahlenphysikalische, strahlenchemische, und strahlenbiologische Reaktionen (HEGER 1990). Die ersten Untersuchungen zum Einsatz eines Elektronenbeschleunigers zur Bekämpfung von Mikroorganismen erfolgten 1947 von zwei Deutschen, BRASCH und HUBER, zur Behandlung von Fleisch, Milch und anderen Lebensmitteln (DIEHL 1990). Die Lebensmittelbestrahlung ist weiterhin ein wichtiges kommerzielles Einsatzgebiet für Hochenergie-Elektronenbeschleuniger (ICGFI 1995). Die erste kommerzielle Einrichtung dieser Art (ein Van de Graaff Generator) wurde 1957 in Deutschland betrieben. Diese Anlage mußte jedoch auf Grund des neuen Lebensmittelgesetzes 1959 wieder geschlossen werden (SCHULTE 1995). Bis heute ist in Deutschland die Bestrahlung von Lebensmitteln verboten. Weitere Einsatzgebiete von Elektronenbeschleunigern auf dem Gebiet der biologischen Nutzung sind die Sterilisierung von hitzeempfindlichen Labor- und medizinischen Geräten (STOLZ 1972, BFE 1995), Verpackungsmaterialien, Pharmaerzeugnissen, Kosmetika sowie die Entkeimung von Abwässern. Auch zur Behandlung von tiefliegenden Tumoren werden nach RASSOW et al. (1990) in der Medizin Elektronenbeschleuniger eingesetzt. Seit wenigen Jahren werden niederenergetische Elektronen in der Praxis zur Behandlung von Weizensaatgut gegen pilzliche Schaderreger in Perikarp und Testa eingesetzt (RÖDER & KNAPPE 1997).

Die Erzeugung der Elektronen erfolgt durch thermische Emission z.B. aus einer Wolframkatode. Die Elektronen werden im elektrischen Feld beschleunigt und zu einem Elektronenstrahl fokussiert. Die kinetische Energie der Elektronen im Elektronenstrahl beträgt  $E_{\text{kin}} = e \cdot U_B$  mit  $e$  als der elektrischen Elementarladung und  $U_B$  als der im elektrischen Feld durchlaufenen Potentialdifferenz, die als Beschleunigungsspannung bezeichnet wird. Die Maßeinheit der Elektronenenergie ist das eV. Die Energie von 1 eV ist gleich der kinetischen Energie, die ein Elektron erwirbt, wenn es eine Potentialdifferenz von 1 Volt durchläuft. Elektronenstrahlen können nur im Vakuum erzeugt werden und sich nur im Vakuum ungehindert ausbreiten.

Beim Auftreffen auf Materie treten die Elektronen in intensive Wechselwirkung mit den Atomen und Molekülen der Materie. Dabei wird die gesamte Energie der Elektronen schrittweise von den Atomen und Molekülen des bestrahlten Mediums absorbiert. Die Atome und Moleküle werden durch diese Energieübertragung ionisiert oder angeregt. In Abhängigkeit der chemischen Eigenschaften können sich dabei deren Bindungsverhältnisse ändern. Bestehende chemische Bindungen werden aufgebrochen und neue Bindungen entstehen. Bei biologischem Material können diese chemischen Folgereaktionen biozide Wirkungen auslösen.

Die Eindringtiefe  $S$  für Elektronen des Elektronenstrahls und damit der Wirkungsbereich in einem Objekt mit der Dichte  $\rho$  ist bestimmt durch:

$$S(U_B) = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{U_B^{5/3}}{\rho}$$

wobei die Eindringtiefe  $S$  in cm, die Beschleunigungsspannung  $U_B$  in Volt (V) und die Dichte  $\rho$  in  $\text{g/cm}^3$  einzusetzen ist.

Die Wirkungen in einem bestrahlten Objekt werden durch dessen physikalische, chemische und biologische Eigenschaften und die absorbierte Energiedichte bestimmt. Die absorbierte Energiedichte wird als Dosis mit der Maßeinheit Gray (Gy) bezeichnet. Ein Gy ist die in einem Feld ionisierender Strahlung mit konstanter Energieflußdichte auf die Masse von 1 kg übertragene Energie von 1 Joule.

Innerhalb der Elektronenreichweite, d.h. der Eindringtiefe des Elektronenstrahls in das behandelte Material, variiert die Dosis. Abb. 9 zeigt die Abhängigkeit der Dosis vom Abstand zur Oberfläche eines Objektes mit der Dichte  $\rho$  für verschiedene Werte der Beschleunigungsspannung  $U_B$ . Im vorliegenden Zusammenhang ist wichtig, daß die Dosis am Ende der Elektroneneindringtiefe relativ steil zu 0 abfällt.

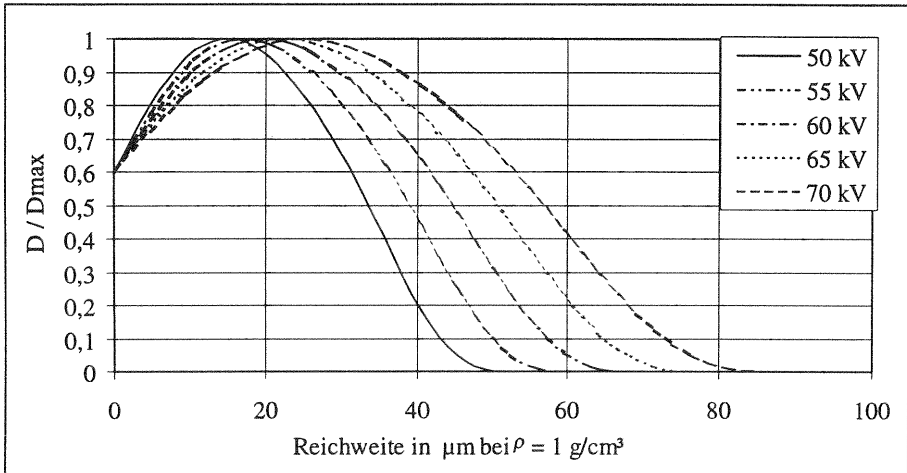


Abb. 9: Dosis-tiefenverteilung bei einer Elektronenbehandlung mit Beschleunigungsspannungen von 50 kV bis 70 kV und einer Dichte des Behandlungsgutes von  $1 \text{ g/cm}^3$ .

Für die Saatgutbehandlung muß eine hinreichend biozide Wirkung in Perikarp und Testa erreicht werden. Die darunter liegenden Samenterteile, insbesondere der Embryo, dürfen von dem Elektronenstrahl nicht erreicht werden, da es sonst zu phytotoxischen Schäden kommt. Bei geeigneter Anpassung der Beschleunigungsspannung in Abhängigkeit der Dicke und Dichte von Perikarp und Testa kann diese Forderung erfüllt werden und die Wirkung des Elektronenstrahls auf das Perikarp und die Testa beschränkt werden (Abb. 10). Eine Beeinflussung der Keimanlagen des Saatgutes kann daher bei einer Elektronenbehandlung ausgeschlossen werden.

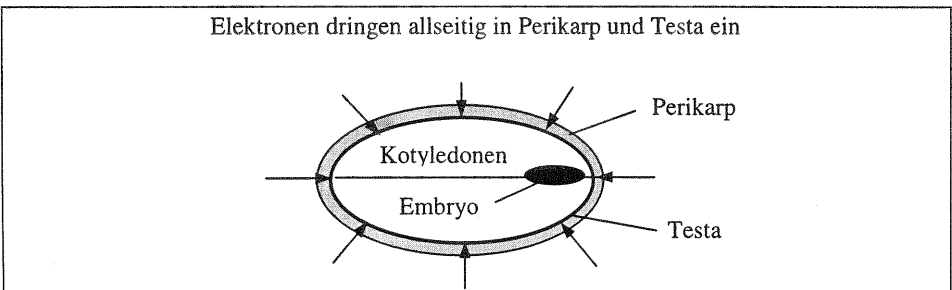


Abb. 10: Prinzipdarstellung der Elektronenbehandlung von Saatgut am Beispiel einer schematisch dargestellten Eichel.

Diese Feststellung beinhaltet aber gleichzeitig, daß prinzipiell nur im Perikarp und der Testa siedelnde Mikroorganismen am Saatgut abgetötet werden können. Erreger, die in den Kotyledonen, dem Endosperm oder dem Embryo siedeln, können mit der Elektronenbehandlung nicht bekämpft werden. Daraus ergeben sich zugleich attraktive phytosanitäre Selektionsmöglichkeiten, da auch nützliche Endophyten im Saatgutinneren überleben und während der Keimphase wirksam werden können, ohne von chemischen Mitteln im sog. Beizhof in ihrer Entwicklung beeinträchtigt zu werden.

### **Chemische und biologische Effekte ionisierender Strahlung**

Diese Effekte lassen sich bezogen auf biologisches Material nur schwer trennen, da sie voneinander bedingt sind. Dem oben beschriebenen physikalischen Wirkungslauf schließt sich der biologische Wirkungslauf an, der durch die Begriffsfolge „Energiedosis“, „relative biologische Wirksamkeit“, „biologischer Effekt“ gekennzeichnet ist, wobei besonders der Zusammenhang von Energiedosis und biologischem Effekt von Interesse ist (DERTINGER & JUNG 1969, REICH 1990).

Es werden verschiedene Erscheinungen als Kriterien für die Inaktivierung von Mikroorganismen genutzt. Dabei bezieht man sich auf Veränderungen, die von außen zugänglich sind wie die Hemmung der Zellteilung, den Verlust der Beweglichkeit, die Hemmung der Atmung und die Schädigung von Enzymen. Das wichtigste Kriterium für die Beurteilung der Wirksamkeit ist der irreversible Verlust der Fähigkeit des Wachstums und der Vermehrung der Mikroorganismen und das in oder auf künstlichem Nährsubstrat, welches optimale Bedingungen für den Mikroorganismus bietet. Zwischen der Sterilisation mit Hitze und der mit ionisierender Strahlung besteht ein grundsätzlicher Unterschied. Hohe Temperaturen bewirken durch Koagulation der Zellproteine ein sofortiges Absterben der Mikroorganismen wohingegen der Zelltod nach Bestrahlung erst allmählich eintritt.

Wenn Elektronenstrahlen mit Materie in Wechselwirkung treten werden primäre und sekundäre Effekte ausgelöst. Zu den Primäreffekten gehört die Ionisation, die Dissoziation und die Anregung. Als Sekundärreaktionen sind die Ion-Elektron-Rekombination, die Ion-Molekül-Reaktion und die Bildung freier Radikale zu nennen. Auf Grund der hohen Reaktivität der entstandenen freien Radikale kommt es zu weiteren Prozessen (SCHILLER et al. 1995). Als Folge dieser chemischen Prozesse kommt es zu molekularen Veränderungen und biochemischen Schädigungen, wobei Veränderungen lebenswichtiger Moleküle den Zelltod zur Folge haben.

Der primären Strahlenwirkung liegt die Treffbereichs- oder Targettheorie zugrunde (DERTINGER & JUNG 1969, STOLZ 1972). Der Grundgedanke dieser Theorie besteht darin, daß die Energie ionisierender Strahlung quantenhaft in Form von Energiepaketen an kleine Bereiche des bestrahlten Organismus übertragen wird. Diese Elementarakte werden als „Treffer“ bezeichnet, dem die bei der Bestrahlung ausgelösten Ionisations- und Anregungsprozesse entsprechen. Der Treffbereich ist das strahlenempfindliche Volumen von Zellpartikeln oder Molekülen, deren Schädigung durch eine bestimmte Anzahl von Treffern zur Inaktivierung des Gesamtorganismus führt. Der kritische Treffbereich ist die DNS der Chromosomen (STOLZ 1972). In einigen Fällen spielen Effekte auf die Cytoplasmamembran eine zusätzliche Rolle (DIEHL 1990). Treffereignisse an der DNS können Strangbrüche und strahlenchemische Reaktionen hervorrufen. Die Art und das chemische Verhalten der Reaktionsprodukte der bei der Ionisation eines Nukleinsäurestranges entstandenen Radikale hängt von der Stelle des getroffenen Stranges ab und kann vielfältig sein. Die entsprechenden Auswirkungen äußern

sich in genetischen Veränderungen, die zum Zelltod führen können. Ionisierte intrazelluläre Strukturen können enzymatische Schädigungen bewirken, die ebenfalls den Zelltod zur Folge haben. Zusätzlich zu dieser Targettheorie spielen Radiolyseprodukte des Wassers eine wesentliche Rolle beim Inaktivierungsprozeß, da Mikroorganismen zu 85 % bis 90 % aus Wasser bestehen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß die Abtötung von Mikroorganismen eine Wirkung von primären und sekundären Strahlenwirkungen ist. Die Theorie der indirekten Strahlenwirkung geht davon aus, daß die direkte Ionisation keine zwingende Voraussetzung für die Abtötung von Mikroorganismen ist. Ionen und freie Radikale, die durch die Behandlung entstanden sind, können in der Umgebung strahlenempfindlicher Zellstrukturen indirekt chemische Reaktionen auslösen. Der Wirkungsort der indirekten Strahlenwirkung kann vom Ort der Energieabsorption räumlich getrennt sein, da Radikale in der Lage sind, über größere Distanzen zu diffundieren. Bei der Strahlenbehandlung werden zuerst strahlenempfindlichere Organismen inaktiviert. Die Abtötung resistenterer Arten bedarf höherer Energiedosen.

Abschließend zur Elektronenbehandlung sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Wirkung dieser phytosanitären Behandlung auf Grund der regelbaren physikalischen Parameter auf die Perikarp- bzw. Testaschichten von Saatgut begrenzt werden kann. Das Verfahren stellt damit eine attraktive und praxisbewährte Alternative zur chemischen Saatgutbeizung dar. Auf die Anwendung für forstliches Saatgut wird später in Zusammenhang mit den experimentellen Untersuchungen der vorliegenden Arbeit eingegangen.

### 2.5.7 Biologische Verfahren

Die biologische Behandlung von Saatgut ist ein vergleichsweise junger Forschungszweig, der in den letzten 15 Jahren auch wirtschaftlich starkes Interesse gefunden hat. Ziel ist, durch derartige Verfahren den Einsatz chemischer Mittel zu reduzieren. Der Markt für „Biopestizide“ (RHODES & POWELL 1994) allgemein hatte 1994 ein Umsatzvolumen von ca. 100 Mio. \$ pro Jahr und soll sich nach RHODES & POWELL (1994) auf 400 Mio. \$ bis 500 Mio. \$ gegen Ende des Jahrtausends ausdehnen, wobei *Bacillus thuringiensis*-Präparate zu Beginn der 90er Jahre 92 % dieses Marktes ausmachten.

#### Behandlung mit Bakterien, Antibiotika

Eine Saatgutbehandlung mit Bakterien oder Antibiotika kann sowohl fungizide als auch pflanzenwachstumsfördernde und resistenzinduzierende Eigenschaften ausweisen.

#### Bakterien

BOCHOW (1994) beschrieb die Wirkungsweise einer Applikation von *Bacillus subtilis*-Sporen an Saatgut über die Interaktion zwischen sich bildender Pflanzenwurzel und Bakterien, die zu phytosanitären Vorteilen durch Förderung des Pflanzenwachstums, der Pflanzengesundheit und der Unterdrückung insbesondere pilzlicher Keimlings- und Wurzelkrankheitsreger führt.

Zum Schutz vor der Umfallkrankheit behandelte ZASPEL Saatgut von *Pinus sylvestris* mit *Bacillus subtilis* und erreicht damit eine Auflaufverbesserung von 10 % gegenüber der unbehandelten Kontrolle. GERHARDSON (zitiert bei KOCH & ELLNER 1994) konnte an Getreide mit einem Bakterienisolat (MA 342) gute Ergebnisse gegen samenbürtige Krankheiten, hervorgerufen durch *Drechslera teres*, *Drechslera graminea*, *Tilletia caries* und *Ustilago avenae*, erreichen. Kommerziell werden in den USA Saatgutbehandlungsmittel wie „Mycostop“ (*Streptomyces griseoviridis*) oder „Kodiak“ und „Quantum 4000“ (*Bacillus subtilis*) vertrieben (SCHEFFER 1994). Der Hauptanwendungsbereich dieser Behandlungsart ist der Schutz des



keimenden Samens und des wachsenden Keimlings gegen bodenbürtige pilzliche Pathogene, die in dem Faktorenkomplex „Umfallkrankheit“ zusammengefaßt werde (BURRIS 1994; WALKER et al. 1994; LUGTENBERG & WEGER 1994; MAUDE 1996).

### **Antibiotika**

Antibiotika sind Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, die bereits in sehr geringen Konzentrationen eine antagonistische Wirkung auf das Wachstum einer oder mehrerer Mikroorganismenspezies entfalten. Sie werden i.d.R. gegen samenbürtige Bakterien eingesetzt.

Der Erreger der Fettfleckenkrankheit der Buschbohne, *Pseudomonas phaseolicola* Burkh., konnte nach HUBERT (1974) erfolgreich durch Beizung des Saatgutes mit Penicillin und Streptomycin bekämpft werden. Mitte der siebziger Jahre wurde in der damaligen UdSSR Fichtensamen mit verschiedenen Antibiotika (0,002 % Phytobakteriomycin; 0,004 % Polymycin; 0,001 % Tichothezin über 12 Stunden) gegen die Umfallkrankheit gebeizt (VITKUNAS 1976, zitiert in ORLICZ-LUTHARDT, 1986).

Antibiotika sind häufig von spezifischer Wirkung und daher nur begrenzt einsetzbar. Darüber hinaus wirken sie häufig phytotoxisch. Dies ist der Grund dafür, daß Antibiotika als Saatgutbeizmittel noch nicht eingesetzt werden. Im Zuge der Diskussion um Resistenzbildung gegen bestimmte Antibiotika durch zu großzügigen Einsatz in der Humanmedizin oder der Tierproduktion ist ein Einsatz als Beizmittel ohnehin kritisch zu bewerten. Nach MAUDE (1996) sollte der Einsatz von Antibiotika als Beizmittel auf Grund der Wichtigkeit für die Humanmedizin weltweit geächtet sein.

### **Antagonistische Pilze**

Damit ein antagonistisch wirkender Pilz einen pathogenen Pilz erfolgreich bekämpfen kann, muß der Antagonist nach SCHEFFER (1994) in einer wesentlich höheren Besiedelungsdichte an das Saatgut aufgebracht werden, als sie durch das Pathogen üblicherweise erreicht werden könnte.

KOCH & ELLNER (1994) referierten über die Versuche von KNUDSEN in Dänemark, der in Feldversuchen mit *Fusarium culmorum*-verseuchtem Weizensaatgut durch eine Behandlung mit *Gliocladium roseum* eine signifikante Erhöhung der Pflanzenzahl und Verbesserung der Keimung erzielte. Die Autoren berichteten weiter, daß TAHVONEN et al. in Finnland aus einem Gesamtscreening mit 1700 Pilzisolaten bei 210 Isolaten vorwiegend von *Gliocladium* ssp. eine gute Wirksamkeit gegenüber *Fusarium culmorum* erreichten. In den USA wird ein Produkt namens „Gliogard“ auf der Basis des Pilzes *Gliocladium virens* zur Bodenbehandlung, z.T. auch zur Saatgutbehandlung, angeboten (SCHEFFER 1994).

Eine gute Mykorrhizierung der jungen Pflanzenwurzeln stellt durch die Kräftigung der Pflanze mittels verbesserter Nährstoffaufnahme einen indirekten Schutz gegen den Befall mit bodenbürtigen Krankheitserregern dar (LUGTENBERG & WEGER 1994). Versuche der Mykorrhizaapplikation an Saateicheln wurden bereits 1951 von GELTNER in Rußland durchgeführt. Die Applikation der Mykorrhiza-Pilze in Eichen- und Buchenquartieren erfolgt heute in Deutschland jedoch hauptsächlich in der Baumschule durch die Vermischung des Bodensubstrates mit dem Inokulum, wobei darauf geachtet wird, daß das Saatgut nicht mit dem Inokulat in direkten Kontakt kommt (SCHÄFER-WILDENBERG 1994).

## 2.6 Konzepte zur Optimierung der Lagerung von Forstsaatgut

### 2.6.1 Regelung der Lagerraumatmosphäre

#### Trocknung

Neben der Reduktion von Atmung und anderen Stoffwechselprozessen des Saatgutes ist die Einschränkung der Lebens- und Wachstumsfähigkeit von Mikroorganismen, insbesondere von Mikropilzen, die Hauptwirkung einer Saatguttrocknung und somit die Voraussetzung für eine Langzeitlagerung. Trockene Samen können nach NEERGARD (1977) Temperaturen bis zu  $-192\text{ °C}$  überstehen, wohingegen feuchtes Saatgut bereits bei wenigen Graden unter  $0\text{ °C}$  geschädigt wird. Dieser Effekt trifft ebenso auf Pilze und Bakterien zu. Die Trocknung ist jedoch nur bei den orthodoxen Samen möglich. Eine Reduktion des Wassergehaltes verdoppelt nach HARRINGTON (1963) bei diesen Saatgutarten je Prozent Wasserabnahme die Lebensdauer im Lager. Saatgut mit einem Früchtewassergehalt von ca. 6 % kann selbst bei hohen Temperaturen (bis zu  $30\text{ °C}$ ) für mehr als drei Jahre ohne Keimverluste gelagert werden. Für das Saatgut der Eiche ist eine Trocknung nicht möglich (s. Kap. 2.3.1)

#### Änderung der Zusammensetzung der Lageratmosphäre ( $\text{CO}_2$ , $\text{O}_2$ , N)

Die Schaffung einer kontrollierten Lagerungsatmosphäre (CA-Lagerung, Controlled Atmosphere) wird vor allem bei der Obst- und Gemüselagerung angewandt (KRUG 1986; FRIEDRICH & PREUBE 1989). In gasdichten Lagerräumen wird durch erhöhte  $\text{CO}_2$ - und erniedrigte  $\text{O}_2$ -Gehalte in der Lageratmosphäre der Stoffwechsel des Lagergutes verlangsamt und damit die Lagerfähigkeit verlängert. Die Schaffung dieser Atmosphäre erfolgt meist über die Atmung des eingelagerten Gutes. Das gleiche Prinzip liegt der Tonnenlagerung der Eicheln nach SUSZKA zugrunde. Jedoch kommt der Kontrolle der jeweiligen Gasanteile eine erhöhte Bedeutung zu, da zu geringe Sauerstoffanteile zu Gärungsprozessen führen können. Zu hohe  $\text{CO}_2$ -Gehalte haben ebenfalls ein erhöhtes Verderben des gelagerten Gutes zur Folge. In der Regel ist die CA-Lagerung mit einer Kühllagerung verbunden. Können Temperaturen unter  $5\text{ °C}$  nicht dauerhaft gehalten werden, müssen weitere Gase, die sich bei der „Reifung“, beispielsweise von Äpfeln, bilden, beobachtet werden, da entstehendes Äthylen bei Temperaturen über  $+5\text{ °C}$  diese Reifungsprozesse beschleunigt.

Eine Anwendung zur Lagerung von forstlichem Saatgut erfolgt bis heute nur auf Versuchsniveau. Gegenstand der Betrachtung war dabei meist eine Erhöhung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes und damit entsprechende Verringerung des Sauerstoff- und Stickstoffanteils zur Reduktion der Respirationsvorgänge im Saatgut. Die Erhöhung des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes förderte bei *Ulmus*- und manchen *Pinus*-Arten, sowie bei *Populus tremula* die Lebensdauer des Saatgutes (SCHUBERT 1992). GUTHKE (1992) erreichte mit einer  $\text{CO}_2$ -Konzentration im Lager von 5 % bei  $-3\text{ °C}$  nach  $1\frac{1}{2}$  Wintern (16 bis 18 Monate) sowohl bei Saatgut der Stiel- als auch der Traubeneiche Keimergebnisse von 75 %. Die Tonnenlagerung von Eicheln nach dem Modell SUSZKA bewirkt ebenfalls einen erhöhten  $\text{CO}_2$ -Gehalt in den Tonnen, wobei sich das Saatgut gewissermaßen sein eigenes Gasregime durch Respiration aufbaut, da die Tonnen oben offen sind. Eine Umsetzung erhöhter  $\text{CO}_2$  Gehalte in großen Kühllagern wie z.B. im La Joux Forest Seed Centre, Frankreich bereiten jedoch erhebliche Schwierigkeiten (SUSZKA 1996).

BONNET-MASIMBERT & MULLER (1993) führten Versuche zur Lagerung von Traubeneicheln in PE-Tüten durch, die mit einer Silikonmembran ausgestattet waren, die  $\text{CO}_2$  sechsmal schneller passieren ließ als  $\text{O}_2$ . Nach 18 Monaten Lagerung waren gute Keimergebnisse le-

diglich für die Temperaturvariante bei  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  zu verzeichnen, die jedoch hinter denen der chemisch gebeizten Variante zurückblieben. Die Methode wurde nicht weiter verfolgt.

Russische Wissenschaftler führen z.Zt. Versuche zur Eichellagerung bei reduziertem  $\text{O}_2$ -Gehalt (Hypoxie) durch (NATZKE 1997). Die Atmung der Eicheln würde sich demnach bei einem  $\text{O}_2$ -Anteil von 4 % bis 7 % und Temperaturen von  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf die Hälfte reduzieren. Keimversuche nach 25 Monaten ergaben eine Reduktion der Auflauftrate um nur 20 % (92 % auf 72 %), was angesichts der schlechten Lagerbarkeit der Eicheln einen beachtlichen Erfolg bedeutet.

Neben der Reduktion oder Erhöhung einzelner Gase erfolgt teilweise die Lagerung unter vollständigem Entzug der Umgebungsluft, im Vakuum. BUSSE erlangte 1935 mit einer Vakuumaufbewahrung von Kiefern- und Aspensamen erstmals gute Ergebnisse für Forstsaatgut, wobei das Verfahren für landwirtschaftliches Saatgut schon bekannt war. Eine Vakuumlagerung wird heute häufig bei Koniferensaatgut genutzt.

### Temperatur

Die Lagerung von Saatgut in Bereichen unter dem Gefrierpunkt erfolgt i.d.R. nach vorausgegangener Trocknung. Die sog. Lagerpilze zeigen bereits bei Temperaturen von  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ein stark reduziertes, aber noch nicht vollständig eingestelltes Wachstum. Aus diesem Grund erfolgt die Langzeitlagerung der orthodoxen Forstsaatgutarten, z.B. *Acer*, *Betula*, *Fagus* etc., in getrocknetem Zustand (m.c.  $\approx 8\%$ ) bei Temperaturen von  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  in verschweißten PE-Beuteln. Rekalzitrannte Samen reagieren unmittelbar nach unterschreiten des kritischen Wertes mit irreversiblen Keimreduktionen. Bei tropischen Saatgutarten liegt dieser Wert teilweise weit über der  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  Grenze. Bei frischem Eichensaatgut ist der kritische Wert bei  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  anzusiedeln.

### 2.6.2 Künstliche Frosthärteinduktion in Eichensaatgut

Eicheln sind rekalzitrannte Samen (s. Kap. 2.3.1). Sie bereiten bezüglich der Lagerung, auf Grund hoher Stoffwechselaktivität und beginnender Keimungsprozesse, große Schwierigkeiten (KING & ROBERTS 1980; FINCH-SAVAGE 1992; POULSEN 1992; PAMMENTER et al. 1994; FINCH-SAVAGE et al. 1992 und 1996). Neben dem hohen Feuchtegehalt, der über die gesamte Lagerungsdauer aufrecht erhalten werden muß, ist die Lagerungstemperatur von derzeit minimal  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ein weiterer Grund dafür, daß eine Eichellagerung momentan nur als Überwinterung mit wirtschaftlich tragbaren Auflaufergebnissen betrieben werden kann (s. Kap. 2.3.1).

Pflanzen erlangen mit Beginn und Fortschreiten niedriger Temperaturen im Winter eine Gefrierpunktniedrigung des Zellsaftes und damit eine erhöhte Frosttoleranz durch ein Enzymsystem, welches Reservestoffe in Zucker überführt. Dadurch steigt die Zuckerkonzentration in den lebenden Zellen, insbesondere in den Zellsaft-Vakuolen, stark an (BRAUN 1988). Die Frosttoleranz schwankt also in Abhängigkeit des physiologischen Zustandes, der wiederum jahreszeitlich bedingt ist. NEMKY (1964) beschrieb, daß reifere Eicheln (d.h. Eicheln, die schon länger auf dem Waldboden lagen) widerstandsfähiger gegen Frost seien, da sie „schrittweise eine gewisse Frostbeständigkeit erlangt“ hätten.

GUTHKE (1992) untersuchte im Institut für Obstbau und Baumschule der Universität Hannover erstmals die Entwicklung der Frosthärte von Eicheln im Verlauf des Winters in natürlicher Umgebung, also auf dem Waldboden unter Laub und Schnee. Er fand eine ausgeprägte Entwicklung der Frosthärte im Verlauf des Winters mit einem Maximum im Januar. Zu diesem Termin überlebten 50 % der untersuchten Traubeneicheln, die nicht von Mikropilzen befallen

waren, eine Temperatur von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  und 10 % eine Temperatur von  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der prozentuale Zuckergehalt im Zellsaft stieg dabei von 5 % im Oktober auf 8,5 % in der Zeit zwischen Dezember und Januar an. Zudem verzeichnete GUTHKE im Verlauf des Winters eine kontinuierliche Zunahme des Wassergehaltes. Der Autor zog aus seinen Untersuchungen den Schluß, daß die tageszeitlichen Wechseltemperaturen für die Induktion der Frosthärte verantwortlich sind. Diese Untersuchungen waren der erste Hinweis, daß Eichensaatgut bei entsprechender Behandlung möglicherweise bei Temperaturen unter dem Grenzwert von  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  eingelagert werden könnte. Am selben Institut erfolgte die Überprüfung dieser These durch künstliche Frosthärteinduktion in Klimaschränken bei Saatgut der Stieleiche. WINTJES (1993) lagerte Stieleicheln über mehrere Monate bei 12stündigen Temperaturwechseln zwischen  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die höchste Frosthärte beobachtete er im April. Zu diesem Zeitpunkt überlebten die Stieleicheln zu 80 % eine Temperatur von  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , zu Beginn der Untersuchungen lag diese Temperatur bei  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 2.7 Problemdefinition und Projektplanung

Aus der vorangegangenen umfangreichen Literaturstudie wurden Daten, Untersuchungsergebnisse anderer Autoren und Randbedingungen bei der Behandlung und Lagerung von forstlichem Saatgut (besonders des Eichensaatgutes) für die eigenen Untersuchungen als Grundlagen dargestellt, die zum einen als Basis dienen sollen, zum anderen aber auch die Hauptprobleme bei der Eichellagerung charakterisieren. Sie sind im folgenden aufgelistet:

- Eichen fruktifizieren nicht jedes Jahr. Die Praxis fordert eine mehrjährige Lagerung.
- Eicheln sind von einer Vielzahl von Mikropilzen besiedelt.
- Der primärpathogene Pilz an Eichensaatgut ist *Ciboria batschiana*.
- Die Thermotherapie (2 h,  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) tötet den Pilz *Ciboria batschiana* zu 100 % ab.
- Frisches Eichensaatgut kann nicht unter einer Temperatur von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagert werden.
- Der Eichelfeuchtegehalt darf während der gesamten Lagerzeit 40 % nicht unterschreiten.
- Das Standardlagerungsverfahren ist die Lagerung in offenen Tonnen nach SUSZKA
- Es existiert derzeit kein bewährtes chemisches Beizkonzept

Von den phytosanitären Maßnahmen sollten nur solche in die Untersuchungen einbezogen werden, die als Alternativen zu chemischen Verfahren angesehen werden können. Auf Grund der positiven Ergebnisse, die bereits bei der Behandlung von landwirtschaftlichem Saatgut gewonnen wurden, fiel die Wahl auf die **Elektronenbehandlung** und die **Mikrowellenbehandlung**. Aus der Reihe der Versuchsansätze zur Verbesserung der Lagerungsbedingungen bzw. Lagerungsmethode schien die **künstliche Frosthärteinduktion** das aussichtsreichste Verfahren darzustellen.

Neben der Untersuchung phytosanitärer Behandlungsmethoden und Lagerungsverfahren vor allem bei Eichensaatgut wurde der Saatguttransport nach der Ernte sowie die Zwischenlagerung und Aufarbeitung bis zum Versuchsbeginn in Eigenregie durchgeführt, um nach Möglichkeit Erkenntnisse über praktische Verbesserungen in der Umsetzung dieser Phasen zu erarbeiten.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Allgemeine Material und Methodik

Die folgende Darstellung von Material und Methoden beinhaltet Elemente, die in allen drei Untersuchungsbereichen (Elektronenbehandlung, Mikrowellenbehandlung, Frosthärteinduktion) vorkommen. Sie werden hier geschlossen dargestellt, so daß in den entsprechenden Kapiteln nicht mehr darauf eingegangen werden muß.

##### 3.1.1 Untersuchtes Saatgut (Eiche, Buche, Sitkafichte)

Das für die Versuche benutzte Saatgut stammte bis auf drei Bucheckernherkünfte und das Sitkafichtensaatgut aus der laufenden Ernte der jeweiligen Versuchsjahre. Ab der Ernte wurden möglichst viele Behandlungsschritte in Eigenregie durchgeführt, um den Werdegang des Saatgutes lückenlos dokumentieren zu können. Das Eichensaatgut für die orientierenden Lagerungsversuche 1994/95 und die Vorversuche zur Elektronenbehandlung aus den Forstämtern Wippra, Tangerhütte, Müllrose, Schernebeck und Klötze wurde von der Landesforstbaumschule Sachsen-Anhalt zur Verfügung gestellt. Im Erntejahr 1995 stellte die Landesforstverwaltung des Landes Niedersachsen Eicheln aus Seelzerthurm und Bucheckern aus Hasbruch bereit. Vom Land Sachsen-Anhalt kamen Eicheln aus Dessau und Klötze. Für Untersuchungen bezüglich des Pilzbefalls von Eicheln am Baum wurde Saatgut im Bundesforstamt Peine erworben. Für Vorversuche zur Elektronenbehandlung von Bucheckern wurde gelagertes Saatgut (Ernte 1992, Ernteforstamt Grund) in der Saatgutberatungsstelle Oerrel gekauft. Für Versuche mit gelagerten Bucheckern konnte die Zusammenarbeit mit der Staatsdarre Hanau aufgebaut werden, die die Bereitstellung von gelagerten Bucheckern der Erntejahre 1990 und 1992 aus Dillenburg übernahm. Das Versuchssaatgut für die Untersuchungen 1996/97 wurde teilweise vom Land Brandenburg gestellt oder im Forstamt Elmstein angekauft. Abb. 11 gibt einen Überblick über die geographische Herkunft des Eichen- und Buchensaatgutes.

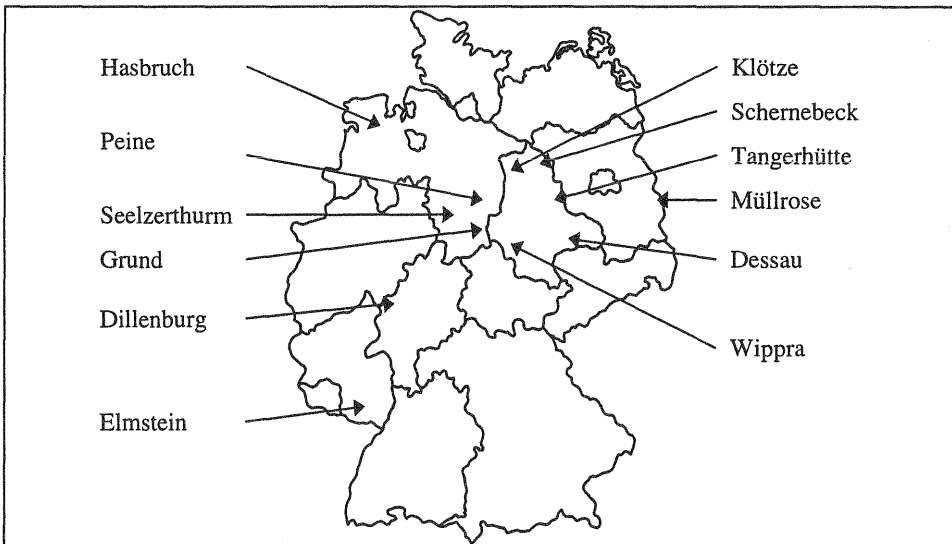


Abb. 11: Ernteforstämter des untersuchten Eichen- und Buchensaatgutes

Das Saatgut aus Wippra, Müllrose, Dessau, Klötze, Hasbruch, Elmstein und Seelzerthurm wurde direkt nach der Ernte an den Zwischenlagerstellen abgeholt. Die nachfolgenden Behandlungen wurden in Zusammenarbeit mit der Landesforstbaumschule Sachsen-Anhalt oder an der BBA durchgeführt. Lediglich für die Eicheln aus Klötze (Ernte 1994) und Tangerhütte, sowie für die Bucheckern aus Dillenburg und Grund können für die Vorbehandlung bis zu den Versuchen nur wenig Aussagen getroffen werden. Das Saatgut der Sitkafichte wurde von der Firma Appel angekauft, so daß auch hier keine Angaben bezüglich der Gegebenheiten in der Aufbereitung und des Versandes gemacht werden können. In Tab. 8 sind die Saatgutarten, die Ernteforstämter, das Herkunftsgebiet, die Klassifizierung nach dem Forstsaatgutgesetz, das Erntejahr, die Menge und die dazugehörigen Versuche aufgeführt.

Tab. 8: Saatgut der vorliegenden Untersuchungen geordnet nach Versuchszeiträumen (<sup>1</sup>: mit herabgesetzten Anforderungen, BGBI 1979; <sup>2</sup>: früheres Herkunftsgebiet, BGBI 1994).

Saatgutart	Ernte-jahr	Ernteforstamt	Herkunfts-gebiets Nr.	Menge in kg	Versuch
<b>Versuchszeitraum 1994/95</b>					
<i>Quercus petraea</i>	1994	Klötze	818 03	40	Frosthärtung
<i>Quercus petraea</i>	1994	Wippra	818 07	20	Frosthärtung
<i>Quercus petraea</i>	1994	Müllrose	818 04	90	Frosthärtung
<i>Quercus robur</i>	1994	Tangerhütte	817 03	40	Frosthärtung
<i>Quercus robur</i>	1994	Schernebeck	817 03 <sup>1</sup>	5	Elektronenbehandlung
<i>Quercus petraea</i>	1994	Wippra	818 07	10	Elektronenbehandlung
<i>Fagus sylvatica</i>	1992	Grund	810 06 <sup>2</sup>	1	Elektronenbehandlung
<b>Versuchszeitraum 1995/96</b>					
<i>Quercus petraea</i>	1995	Klötze	818 03	270	Frosthärtung
<i>Quercus petraea</i>	1995	Klötze	818 03	80	Elektronenbehandlung
<i>Quercus petraea</i>	1995	Seelzerthurm	818 07	100	Mykologie
<i>Quercus robur</i>	1995	Dessau	818 04 <sup>1</sup>	320	Frosthärtung
<i>Quercus robur</i>	1995	Dessau	818 04 <sup>1</sup>	80	Elektronenbehandlung
<i>Quercus robur</i>	1995	Peine	817 03 <sup>1</sup>	5	Mykologie
<i>Fagus sylvatica</i>	1990	Dillenburg	810 08 <sup>2</sup>	6	Elektronenbehandlung
<i>Fagus sylvatica</i>	1992	Dillenburg	811 08 <sup>2</sup>	6	Elektronenbehandlung
<i>Fagus sylvatica</i>	1995	Hasbruch	810 01	20	Elektronenbehandlung
<b>Versuchszeitraum 1996/97</b>					
<i>Quercus petraea</i>	1996	Müllrose	818 04 <sup>1</sup>	100	Elektronenbehandlung, Mikrowellenbehandlung, Frosthärtung
<i>Quercus robur</i>	1996	Elmstein	817 07	100	Elektronenbehandlung, Mikrowellenbehandlung, Frosthärtung
<i>Picea sitchensis</i>	1996	Kanada, Queen Charlotte Island	<sup>1</sup>	0,05	Elektronenbehandlung

### 3.1.2 Abschwemmen des Eichensaatgutes

Ziel war es, die Vorbehandlung des Saatgutes bis zu den Versuchen oder der Einlagerung so gewissenhaft wie möglich durchzuführen, um das Optimum an qualitativ hochwertigem Saatgut zu erhalten. Dabei sollten Verfahren aus der Praxis genutzt werden.

Die Methode des Abschwemmens macht sich das unterschiedliche spezifische Gewicht gesunder und parasitierter oder bereits zu stark getrockneter Eicheln zunutze. Die gesunden Eicheln sinken auf den Grund, während die unbrauchbaren Eicheln sowie Verunreinigungen weitestgehend oben aufschwimmen.

Die Behandlung wurde für alle Eichenherkünfte (Ausnahme: Eicheln aus Klötze, Ernte 1994 und Tangerhütte) an der BBA Braunschweig unmittelbar nach der Abholung vom Zwischenlager durchgeführt. Dazu wurden jeweils ca. 10 kg Eicheln in ein mit kaltem Leitungswasser (Temperatur 12 °C bis 14 °C) gefülltes Becken gegeben und kräftig mit der Hand umgerührt. Die aufschwimmenden Eicheln sowie Verunreinigungen wurden mit einem Sieb abgeschöpft und verworfen. Der Gewichtsanteil der abgeschwemmten Eicheln betrug je nach Herkunft 10 % bis 15 % bezogen auf das Ausgangsgewicht vor dem Abschwemmen.

### 3.1.3 Thermotherapie (Eicheln und Bucheckern)

Die Wirkung der Thermotherapie basiert auf der unterschiedlichen Hitzetoleranz des Saatgutes und einiger der daran siedelnden Pilze.

Eicheln können in Wasser eine Temperatureinwirkung von konstant 41 °C über einen Zeitraum von zwei Stunden ohne negativen Einfluß auf das Keimprozent überstehen. Insbesondere der primärpathogene Pilz *Ciboria batschiana* (Zopf) Buchwald wird während dieser Zeit vollständig abgetötet.

Bucheckern ertragen eine konstante 41 °C hohe Temperatureinwirkung in Wasser für eine Stunde ohne Schädigung der Keimfähigkeit.

### Kleinchargen

Für die Versuche einer Kombinationsbehandlung von Elektronenbehandlung und Thermotherapie (und zwar in dieser Reihenfolge) bei Eicheln und Bucheckern war es nötig, Mengen von 250 Eicheln oder 100 g Bucheckern getrennt einer Thermotherapie zu unterziehen. Die 250 Eicheln pro Versuchsvariante wurden in 50 Eicheln (mykologische Untersuchungen) und 200 Eicheln (Keimtest) getrennt, separat in gelochte PE-Beutel verpackt, die nur zu 2/3 gefüllt wurden und anschließend gemeinsam thermotherapiert. Die Behandlung dauerte bei 41 °C zwei Stunden bei Eicheln und eine Stunde bei Bucheckern in einem Labor-Wärmebad (Fa. GFL, Typ: 1025). Die Überwachung der Temperatur erfolgte mit einem digitalem Thermometer und angeschlossenem Temperaturfühler (Fa.: Testo, Typ: testo 925, Fehlerbereich ± 0,5 °C).

Nach jedem Thermotherapiegedurchgang wurde das Wasser gewechselt und zuvor der Wärmehälter mit 70 %igem Ethanol gereinigt. Das Saatgut wurde erst nach Erreichen der Behandlungstemperatur von 41 °C in das Wasser gegeben. Die Zeitmessung erfolgte, nachdem das Wasser die 41 °C wieder erreicht hatte.

### Thermotherapie von Eicheln in der Landesforstbaumschule des Landes Sachsen-Anhalt

Alle Eichelpartien wurden in einer speziell zur Thermotherapie für Eicheln angefertigten Anlage (Fa. Haustechnik Sing) behandelt, die seit 1994 in der Landesforstbaumschule in Bülstringen betrieben wird. Abb. 12 enthält eine Schemazeichnung dieser Anlage. Die gleiche Anlage wird seit 1991 in der Staatsklenge Nagold mit Erfolg zur Bekämpfung des Pilzes *Ciboria batschiana* an Eicheln eingesetzt (EBINGER 1997).

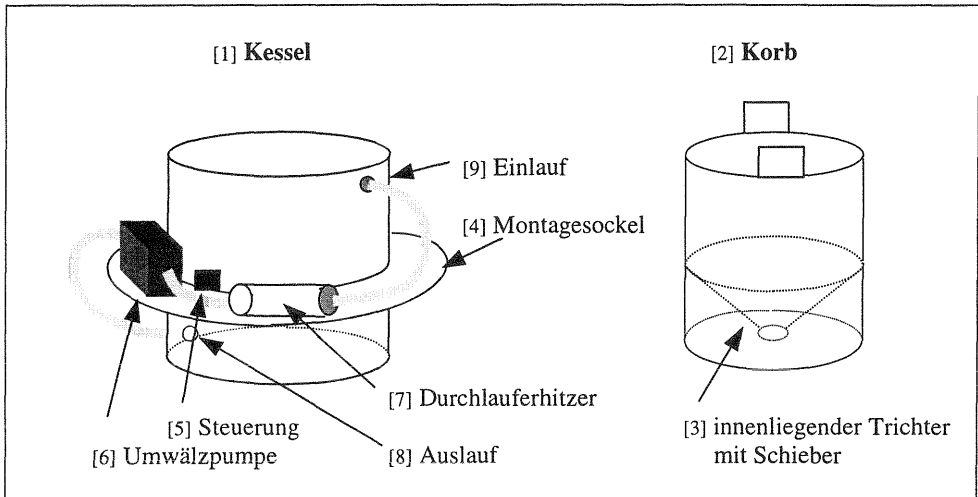


Abb. 12: Schemazeichnung der Kleinthermotherapieanlage in der Landesforstbaumschule des Landes Sachsen-Anhalt.

In einen zylindrischen Kessel [1] aus 6 mm bis 8 mm starkem Polypropylen (PP) wird ein 200 kg bis 250 kg Eicheln fassender Korb [2], ebenfalls aus PP, mittels Lastkran eingesetzt. Der Boden des Korbes ist trichterförmig gebaut [3] und in der Bodenmitte mit einem Schieber versehen, so daß eine schnelle und vollständige Entleerung des Korbes gewährleistet werden kann. In direkter Verbindung mit dem Kessel befindet sich ein Montagesockel [4], auf dem die Steuerung [5], die Umwälzpumpe [6] und ein Elektrodurchlauferhitzer [7] montiert sind. Die Umwälzpumpe läuft während der gesamten Behandlungsdauer mit einem Durchsatz von 8 m<sup>3</sup>/h bis 10 m<sup>3</sup>/h. Das Wasser wird dabei am unteren Kesselrand abgesaugt [8], läuft durch die Umwälzpumpe in den röhrenförmigen Durchlauferhitzer und fließt an der gegenüberliegenden Seite des Kessels oberhalb der Wasserstandslinie [9] wieder in den Kessel. Die Temperatur des Wassers wird im Durchfluß ständig überwacht und regelt somit die Leistung des Durchlauferhitzers. Aus Sicherheitsgründen ist der Durchlauferhitzer so gebaut, daß er eine Temperatur von 43 °C nicht übersteigen kann. Als Netzanschluß wird eine Spannung von 380 Volt benötigt. Während der Behandlung ist der Korb mit einem Edelstahlblech abgedeckt, welches gewährleistet, daß alle Eicheln unter die Wasseroberfläche gedrückt werden.

Die Behandlungsdauer der Eicheln betrug zwei Stunden. Durch das Eintauchen der kalten Eicheln sank die Wassertemperatur zunächst. Die Zeitmessung der zwei Stunden erfolgte daher erst, nachdem das Wasser seinen Ausgangswert von 41 °C wieder erreicht hatte (Dauer ca. 30 min.). Regelmäßige Kontrollen sowohl mit einem festinstallierten Thermometer als auch mit einem zusätzlich in den Kessel eingeführten Fühler und angeschlossenem digitalen Temperaturmeßgerät (Fa. Testo, Typ: testo 925) ergaben Temperaturen zwischen 39 °C und



41 °C ± 0,5 °C während der gesamten Behandlungsdauer. Das Befüllen des Korbes geschah außerhalb des Kessels. Die Entleerung des Korbes in Kunststoffgitterboxen mit gelochtem Boden erfolgte durch Öffnen eines Schiebers im Korbboden. Die Gitterboxen (Normkisten, 60 cm x 40 cm x 35 cm) hatten sowohl gelochte Wände als auch einen gelochten Edelstahlboden (Beschreibung siehe „Trocknung“). Das Thermosterapiewasser wurde täglich gewechselt. Eine spezielle Reinigung oder Desinfektion der Anlage erfolgte nicht. Dies entspricht der in der Praxis gängigen Verfahren (WULF & SCHRÖDER 1997). Bei den Partien aus den Ernteforstärtern Klötze (1994) und Tangerhütte erfolgte nach dem Eintauchen während der Aufheizphase das Abschwemmen der tauben und hohlen Eicheln (s. Kap. 3.1.2).

### 3.1.4 Oberflächliche Abtrocknung des Eichensaatgutes

Die „Trocknung“ der Eicheln ist ein zentraler Behandlungsschritt sowohl nach der Ernte als auch nach der Thermotherapie (BURCKHARDT 1893; MESSER 1951 und 1960; ROHMEDER 1972, SANFTLEBEN 1996; SUSZKA et al. 1996). Insbesondere während der Zwischenlagerung (Ernte bis endgültige Einlagerung) kann es bei unsachgemäßer Handhabung leicht zu Hitzeschäden an Eicheln kommen, da sich diese durch Atmungs- und Gärungsprozesse schnell aufheizen (SUSZKA et al. 1996). Gleiches gilt auch für die Zeit nach der Thermotherapie bei sofortiger Einlagerung z.B. in Tonnen. Die oberflächliche Trocknung hat den Zweck, die Stoffwechselfvorgänge der Eichel zu verlangsamen und damit die Bildung von Wasser auf der Saatgutoberfläche zu verhindern, welches andernfalls einen idealen Nährboden für das Wachstum von Mikropilzen und deren Ausbreitung bildet. Der Wassergehalt der Eichel darf jedoch 40 % nicht unterschreiten.

### Trocknung zwischen Ernte und Weiterverarbeitung

Nach dem Transport und dem unmittelbar anschließenden Abschwemmen erfolgte die oberflächliche Abtrocknung der Eicheln in einem Klimaraum bei Anfangstemperaturen von 3 °C. Die Eicheln wurden in ein Quadratmeter großen Boxen ca. 15 cm hoch aufgeschüttet und täglich, zu Beginn mehrmals, mit der Hand gewendet. Die Benutzung von Schaufeln etc. unterblieb, um die mechanische Einwirkung auf das Saatgut so gering wie möglich zu halten. Ein Abbrechen der bereits angetriebenen Radiceln der Traubeneicheln und eine Beschädigung des Perikarps sollte somit vermieden werden. Mit zunehmender Verlangsamung des „Schwitzens“ der Eicheln wurde die Raumtemperatur auf 0 °C bis 1 °C abgesenkt. Zu diesem Zeitpunkt schwankte der Wassergehalt der Eicheln (m.c.) zwischen 42 % und 48 %. Sobald die Eicheln oberflächlich trocken blieben, erfolgte für die unbehandelten Kontrollen die Einlagerung in Tonnen nach dem Modell SUSZKA. Sollte der Versuchsbeginn oder die Thermotherapie erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen, wurden auch diese Eicheln in Tonnen eingelagert, um eine weitere Austrocknung zu verhindern.

### Trocknung nach erfolgter Thermotherapie

Während der Thermotherapie erhöht sich der Wassergehalt der Eicheln um 2 % bis 4 % (SANFTLEBEN 1996). Darüber hinaus kommt es durch die Energiezufuhr im warmen Wasser zur Anregung der Keimungsaktivität. Um diesen Prozeß zu stoppen, ist es nötig, das Saatgut möglichst schnell herabzukühlen und zusätzlich durch die künstliche Trocknung das „Schwitzen“ zu verkürzen.

Die Trocknung erfolgte in einem Trockenschrank mit geschlossenem Umluftverfahren im Forstamt Haldensleben. Ursprünglich diente dieser Schrank der Rücktrocknung von Buchekernen zur Vorbereitung einer mehrjährigen Lagerung. Die mit Eicheln gefüllten Normkisten, wurden von unten mit entfeuchteter, 8 °C bis 15 °C warmer Luft durchlüftet. Die Trocknung erfolgt dabei durch Oberflächenverdunstung und im Saatgut von innen nach außen, hervorgerufen durch die Wasserdampf-Druckdifferenz zwischen Umgebungsluft und Saatgut. Der Trocknungsvorgang erfolgte parallel zur Thermotherapie; das bedeutet, daß er auf maximal 2,5 Stunden beschränkt war. Diese Behandlungsdauer reichte aber nicht aus, um die o.a. Prozesse zu stoppen. Eicheln, die nach dieser Behandlung in die Lagertonnen nach dem Modell SUSZKA gefüllt wurden, waren schon nach wenigen Stunden wieder naß, was die Gefahr einer starken Verschimmelung in sich birgt. In Vorversuchen wurde festgestellt, daß Eicheln, die so eingelagert wurden, selbst nach 4 Wochen im Inneren der Tonnen noch Temperaturen von bis zu +3 °C aufwiesen, während die Umgebungsluft auf -3 °C gehalten wurde. Das Saatgut wurde daher in einem Klimaraum mit Umluftkühlung an der BBA bei einer Temperatur +2 °C bis +3 °C in 1 m<sup>2</sup> großen Kisten ca. 15 cm hoch aufgeschüttet und täglich, anfangs mehrmals, gewendet, bis die Eicheln oberflächlich trocken blieben. Danach erfolgte entweder der Beginn der Lagerungsversuche oder die Einlagerung in Tonnen.

### 3.1.5 Mykologische Untersuchungen (Eiche, Buche, Sitkafichte)

Mykologische Untersuchungen wurden sowohl zur Überprüfung des Pilzbefalls von Eicheln während der Wachstumsphase am Baum als auch zur Kontrolle der phytosanitären Wirkung nach der Elektronenbehandlung von Eicheln und Bucheckern und der Mikrowellenbehandlung von Eicheln durchgeführt. Je nach Untersuchungsziel wurden dabei Impfstücke aus der Spitze, der Mitte und der Basis des Perikarps und der Kotyledonen entnommen. Zur Verdeutlichung sowie zur Begriffsbestimmung sind die Entnahmepunkte in Abb. 13 anhand einer Eichel skizziert. Zum Einsatz kamen jeweils 50 Samen.

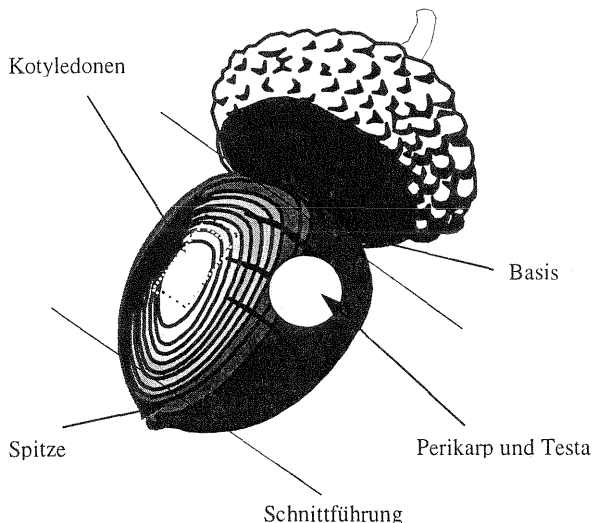


Abb. 13: Entnahmepunkte der Inokulumstücke zur mykologischen Untersuchung von Eicheln.

Vorbereitend wurde eine Oberflächensterilisation sowohl für Eicheln als auch für Bucheckern durchgeführt. Dazu wurden die Samen nacheinander 1 min. in 70 %igem Ethanol, 5 min. in 4 %igem Natriumhypochlorit (NaOH), ½ min in 96 %igem Ethanol getaucht und danach zweimal in sterilem Wasser gewaschen. Die Oberflächensterilisation wurde durchgeführt, da nur solche Pilzarten auswachsen sollten, die sich fest an der Eichel etabliert hatten. Diese Arbeiten, sowie die Probenherstellung und Überimpfung erfolgten an einer sterilen Werkbank (Fa. tritec und Günter Matthiesen GmbH). Anschließend wurden die Samen mit einem sterilen Skalpell geteilt, das Perikarp von den Kotyledonen getrennt und die Impfstücke entnommen. Bei den Bucheckern wurde je Ecker nur ein Impfstück mit einem Korkbohrer ( $\varnothing$  4 mm) aus dem Perikarp ausgestanzt. Die Entnahme der Impfstücke aus der Perikarpmitte der Eicheln erfolgte ebenfalls mittels Korkbohrer ( $\varnothing$  4 mm). Die Spitze und Basis der Eicheln wurden mit einem Skalpell so abgeschnitten, daß Impfstücke entstanden, die von der Fläche in etwa denen der Mittenproben entsprachen. Die Kotyledonenstücke wurden von allen Seiten so beschnitten, daß die Kantenlänge ca. 5 mm x 3 mm x 3 mm betrug. Nach oberflächlicher Trocknung auf sterilem Filterpapier wurden die Impfstücke einzeln auf 2 % Malz-Agar Petrischalen ( $\varnothing$  5,5 cm; 10 ml Agar) mit 50 mg Streptomycin pro Liter Agar, überimpft (Herstellung in Anlehnung an KREISEL & SCHAUER, 1987; siehe auch Anhang 4). Die Inkubation erfolgte in einem Klimaraum bei 20 °C und Beleuchtung in 12 stündigem Wechsel (Radium NL 36W/30 -Warmton-). Im Anschluß erfolgte eine Anregung der Sporulation der Kulturen unter Schwarzlicht (Philips UVA 40W/08) bei einer Raumtemperatur von 15 °C für mindestens 14 Tage.

Als Boniturkriterium wurde der später noch ausführlich zu besprechende „Wirkungsgrad“<sup>13</sup> gegen Pilze“ herangezogen. In diesem Wert sind die Kulturschalen aufgenommen worden, aus deren Impfstücken kein Pilz ausgewachsen ist. In der Hauptsache handelte es sich dabei um sterile Impfstücke oder in Einzelfällen um Bakterienbefall. Bakterien wurden jedoch nicht erfaßt, da sie nicht als schädigend an Eichensaatgut gelten, und daher wurde dem Nährboden zur Unterdrückung der Bakterien Streptomycin zugesetzt.

Zur Bestimmung der Taxa wurde die Literatur nachfolgend aufgelisteter Autoren genutzt: GROVE 1935, GROVE 1937, ARX 1957, BOOTH 1966, BARRON 1968, ELLIS 1971, ELLIS 1976, BOOTH 1977, CARMICHAEL et al. 1980, DOMSCH & GAMS 1980a, DOMSCH & GAMS 1980b, SUTTON 1980, ARX 1981, UPADHYAY 1981, BARNETT & HUNTER 1987, ROSSMAN et al. 1990, NAG RAJ 1993, WATANABE 1994, MALONE & MUSKETT 1997.

### 3.1.6 Keimtests

#### Bucheckern

Die Keimtests der mit niederenergetischen Elektronen behandelten Bucheckern wurden von der ISTA Station Freising durchgeführt. Je Variante wurden drei Wiederholungen zu 50 Bucheckern getestet. Pro Variante erfolgte der Keimtest nach zwei Verfahren:

- Verfahren 1: Dieser Keimtest erfolgt nach der Vorgabe der ISTA (International Seed Testing Association, 1993). Der Test wird auf feuchtem Filterpapier in einem Kühlschrank bei einer Temperatur von 3 °C bis 5 °C über einen Zeitraum von 70 Tagen (sofern die Keimhemmung noch nicht abgebaut ist) durchgeführt. Der Keimerfolge wird alle sieben Tage bonitiert.

<sup>13</sup>Wirkungsgrad: Def. nach AUST et al. (1993): Kriterium zur Bewertung einer Pflanzenschutzmaßnahme, die den Befallsrückgang oder die Schadensminimierung in % angibt.

- **Verfahren 2:** Dieses Verfahren wird in Freising obligat parallel zu dem Verfahren 1 durchgeführt und soll eine Aussage darüber ermöglichen, ob und wie weit die Keimhemmung der vorliegenden Proben bereits abgebaut ist. Der Test erfolgt ebenfalls auf feuchtem Filterpapier in einem Kühlschrank, allerdings mit 12 stündigem Temperaturwechsel von 5 °C und 15 °C. Bei vollständiger Stratifikation der Bucheckern kann der Test nach drei Wochen beendet werden.

Der Endbericht enthielt die Keimergebnisse nach sieben Tagen und einem Vielfachen davon, getrennt nach Verfahren 1 und Verfahren 2. Darüber hinaus wurden jeweils entsprechende Angaben zu den ungekeimten Bucheckern mit den Kriterien „Gesund“, „Faul“, „Insekten“, „Hohl“ sowie eine Angabe zu Keimanomalien gemacht.

## Eicheln

Die Keimtests der Eicheln wurden nach den Vorgaben der ISTA (1993) durchgeführt. Nach einer Vorquellphase von 48 Stunden wurden je Untersuchung 2 x 100 Eicheln für den Test vorbereitet, indem bis zu 1/3 von der Eichelbasis abgeschnitten und das Perikarp der verbleibenden Eichel vollständig entfernt wurde. Der Keimtest erfolgte in Kunststoffschalen (55 cm x 35 cm x 8 cm), die mit acht Litern feuchtem unsterilen Bausand (Körnung 200 µm bis 630 µm) gefüllt wurden, in einem Glasgewächshaus bei einer Temperatur von 20 °C und einer Luftfeuchte von 80 %. Während der ersten 10 Tage bis 14 Tage (Entwicklung der Radicula, Wachstum des Epikotyls bis zu 4 cm Länge) wurden die Schalen mit einer Glasplatte abgedeckt, um eine gleichmäßige Boden- und Luftfeuchte zu gewährleisten. Während dieser Phase wurde kein zusätzliches Wasser zugeführt. Nach Entfernen der Glasabdeckung wurde täglich in Abhängigkeit der Bodenverdunstung bzw. der Assimilation mit Leitungswasser gegossen. Die Endbonitur erfolgte nach 31 Tagen. Unter „gekeimt“ wurden nur solche Eicheln erfaßt, die sowohl eine Wurzel als auch ein Epikotyl mit Blättern gebildet hatten. Zusätzlich wurde die Anzahl der Eicheln, die lediglich eine Wurzel gebildet hatten, sowie die ungekeimten Eicheln, getrennt nach frisch und verfault, bonitiert. Des weiteren wurde die Anzahl der Eicheln aufgenommen, die aus einer Frucht zwei oder mehr Sprosse hervorbrachten.

Zur Überprüfung des Einflusses der Reduktion von Mikropilzen in der Samenschale von Eicheln durch die Elektronenbehandlung auf die Keimung der Eicheln wurden nur bei diesen Varianten Keimtests in Erde durchgeführt. Die Eicheln wurden dabei nach einer Vorquellzeit von 48 h mit Perikarp in Pflanzcontainern (Fa. Meyer, Quickpots QP 42L) ca. zwei cm tief ausgesät. Als Pflanzsubstrat kam Blumenerde mit einem Anteil von 1/3 Sand zum Einsatz. Die Container wurden auf Gitterroste gestellt, um einen „Luftwurzelschnitt“ zu erreichen. Dabei bildet die Pfahlwurzel sowie sie aus dem Containerboden mit Luft in Kontakt tritt Kallusgewebe und stellt das Längenwachstum ein. Nach dem Auspflanzen setzt ein Weiterwachsen der Pfahlwurzel ein.

### 3.1.7 Wassergehaltsprüfung

Alle in der vorliegenden Untersuchung gemachten Angaben zum Wassergehalt von Samen beziehen sich auf das Frischgewicht. Angaben zu Feuchteverlusten während einer Behandlung haben ebenfalls das Frischgewicht zur Bezugsgröße und nicht den Ausgangsfeuchtegehalt. Die Prüfung des Wassergehaltes der Bucheckern und Eicheln erfolgte in Anlehnung an die ISTA Vorschriften (1993). Pro Variante wurde 2 x 10 g Bucheckern und 2 x 30 g Eicheln

in einem Mixer (Fa.: WARRING, Typ: commercial blender) gehäckselt und in Glasschalen gegeben.

Bei Saatgutarten, deren Feuchtigkeitsgehalt mehr als 17 % beträgt (Eichel), ist nach ISTA (1993) eine Vortrocknung obligatorisch, wobei zwei Teilproben von mindestens 25 g untersucht werden müssen. Der Feuchtigkeitsgehalt der Vortrocknungsphase ( $S_1 = 1$ . Trocknungsphase) und der Trocknung bei 103 °C ( $S_2 = 2$ . Trocknungsphase) wurde nach Gleichung 1 errechnet.

$$S = (M_2 - M_3) \times \frac{100}{M_2 - M_1}$$

Gleichung 1: Berechnung des Feuchtigkeitsverlustes der 1. und 2. Trocknungsphase von Saatgut bezogen auf das Frischgewicht nach ISTA (1993) ( $M_1$  = Gewicht in g des Behälters und des Deckels;  $M_2$  = das Gewicht in g des Behälters, des Deckels und des Inhalts vor der Trocknung;  $M_3$  = Gewicht in g des Behälters, des Deckels und des Inhalts nach der Trocknung,  $S$  = Feuchtigkeitsverlust).

Das Ergebnis von  $S_1$  und  $S_2$  wurde in Prozent dargestellt. Aus diesen beiden Werten konnte der ursprüngliche Feuchtigkeitsgehalt der Probe in Prozent nach Gleichung 2 errechnet werden.

$$S_{Ges} = (S_1 + S_2) - \frac{S_1 \times S_2}{100}$$

Gleichung 2: Berechnung des ursprünglichen Feuchtigkeitsgehaltes ( $S_{Ges}$ ) einer Saatgutprobe. ( $S_1$  = Feuchtigkeitsverlust der 1. Trocknungsphase;  $S_2$  = Feuchtigkeitsverlust der 2. Trocknungsphase)

Sofern die Ergebnisse der zwei Wiederholungen um nicht mehr als 2,5 % (ISTA 1993) differierten, wurden das arithmetische Mittel der beiden Bestimmungen als Endergebnis verwendet.

### 3.1.8 Statistik

Als mögliche Skalen kamen nur metrisch skalierte Daten zum Einsatz. Die Datenaufnahme und -verwaltung erfolgte mit dem Programm Microsoft Excel. Die statistische Auswertung erfolgte mit den Programmen Sigma Stat® (Jandel Scientific Software) und dem Statistical Analyses System (SAS®) für Windows (SAS Institut INC). Das Datenmanagement wurde mit den Programmen Microsoft Excel und Microsoft Word durchgeführt.

#### Deskriptive Statistik

Die Charakterisierung der Stichproben erfolgte anhand der Kenngrößen arithmetisches Mittel  $\bar{x}$  als Lagemaß und Standardabweichung  $s$  als Streuungsmaß.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \qquad s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Die Standardabweichung gibt über die Variabilität der Werte den besten Aufschluß und ist auch die beste Schätzung der Streuung in der Grundgesamtheit (LOZAN 1992). Zum Vergleich mehrerer Merkmale hinsichtlich der Standardabweichung muß der Variationskoeffizient  $V\%$

berechnet werden (MUNZERT 1992). Dieser Wert erlaubt den Vergleich unterschiedlich großer Objekte.

$$V\% = \frac{s}{x} * 100$$

### Analytische Statistik

Um die gewonnenen Daten hinsichtlich Gemeinsamkeiten oder Unterschiede statistisch absichern zu können, ist für die Wahl der Testverfahren (z.B. Berechnung des Korrelationskoeffizienten zweier Merkmale) die Verteilung der Meßwerte  $n_1, \dots, n_i$  entscheidend. Das Programm Sigma Stat® verwendet für den Test auf Normalverteilung den KOLMOGOROFF-SMIRNOFF-Test (KS-Test).

Die Beurteilung der in der vorliegenden Untersuchung durchgeführten Behandlungen erfolgte über die Kriterien „gekeimt“, „nicht gekeimt“ bzw. „Pilzwachstum“, „kein Pilzwachstum“. Es handelt sich also um diskrete Zufallsvariable  $x$  und  $y$ , die nur die Werte 1 (Eintreffen des Ereignisses) und 0 (Nichteintreffen des Ereignisses) annehmen. Zur Prüfung auf Abhängigkeit zweier derartiger Stichproben wurde der Chiquadrat-Test ( $\chi^2$ -Test) durchgeführt. Die Aufarbeitung der Daten erfolgte in einer 2x2-Chiquadrattafel (Vierfeldertafel).

Variable y	Variable x		Summe
	„1“	„0“	
1. Stichprobe	a	b	a+b = n1
2. Stichprobe	c	d	c+d = n2
Insgesamt	a+b = n3	b+d = n4	n

Die Berechnung der Prüfgröße  $\chi^2$  erfolgte mit nachstehender Formel. Die Nullhypothese  $H_0$  (Es besteht keine Abhängigkeit zwischen den Prüfgrößen) wurde angenommen, wenn der berechnete  $\chi^2$ -Wert aus der  $\chi^2$ -Verteilung mit FG = 1 bei gegebener Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p = 0,05$ ) nicht überschritt.

$$\chi^2 = \frac{(a \cdot d - b \cdot c)^2 \cdot n}{(a + b) \cdot (a + c) \cdot (b + d) \cdot (c + d)} \quad \text{FG} = 1$$

Beim Test der Nullhypothese  $H_0$  gegen die Alternativhypothese  $H_a$  wird zu jedem einzelnen Vergleich eines behandelten Kollektivs mit der unbehandelten Kontrolle der  $\chi^2$ -Test zum vorgegebenen Niveau  $\alpha$  durchgeführt. Bei mehreren Vergleichen (Anzahl  $m$ ) zu einer Kontrolle wird das Niveau  $\alpha$  durch die BONFERRONI-Korrektur auf die Anzahl der Vergleiche angepaßt (DUFNER et al. 1992).

$$\alpha_{\text{bon}} = \frac{\alpha}{m} \quad (\text{Bonferroni-Korrektur})$$

Für kleine Stichproben wurde die Auswertung der Vierfeldertafel durch den exakten Test nach FISCHER durchgeführt (JANDEL CORPORATION 1995).

### Vergleich zweier Stichproben

Zum Vergleich zweier verbundener, nicht normalverteilter Stichproben ist nach SACHS (1992) ein nicht parametrisches Testverfahren heranzuziehen. Im vorliegenden Fall wurde der WILCOXEN-Rangsummentest verwendet. In diesem Test wird geprüft, ob die Paardifferenzen  $d_i$  aus den verbundenen Meßwerten  $x_i$  und  $y_i$  symmetrisch um den Median gleich Null verteilt sind (LOZAN 1992).

In wenigen Fällen der vorliegenden Untersuchung waren die Meßwerte normalverteilt oder annähernd normalverteilt. In diesen Fällen wurde der parametrische t-Test für den Vergleich von Paardifferenzen herangezogen.

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}}$$

Die entsprechenden Prüfgrößen der beiden Testverfahren sind in der Routine von Sigma Stat® vorhanden. Als Signifikanzniveau wurde  $p \leq 0,05$  zugrundegelegt.

### Relation zu einem Standard

Unabhängig davon, ob die behandelten Kollektive im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikante Unterschiede aufwiesen, wurde die Wirksamkeit mit einem Relationswert RW ausgedrückt (BBA 1984). Die Bezeichnung erfolgte als „Wirkungsgrad gegen Pilze“ (siehe Kap.: 3.1.5, Mykologische Untersuchungen).

Die unmittelbare Relation (Relationswert  $RW_I$ ) bezieht sich auf den Ertrag (im vorliegenden Fall die Keimrate). Der praktische Wert sollte nach einer Behandlung zunehmen. Die Relation der i-ten Behandlung zur Bezugsbehandlung in Prozent errechnet sich nach

$$RW_I\% = \frac{B_i}{U} * 100$$

wobei  $B_i$  den Mittelwert der i-ten Behandlung und  $U$  den Mittelwert der Bezugsbehandlung darstellt. Die komplementäre Relation (Relationswert  $RW_{II}$ ) bezieht sich auf den Befall (im vorliegenden Fall die Verpilzungsrate). Der praktische Wert sollte durch die Behandlung abnehmen. Unter Beibehaltung der für  $RW_I$  genutzten Symbolik errechnet sich  $RW_{II}$  wie folgt:

$$RW_{II}\% = \frac{U - B_i}{U} * 100$$

### Maß des linearen Zusammenhanges

Sind Zusammenhänge zwischen nicht normalverteilten Reihen zu ermitteln (in der vorliegenden Untersuchung der Fall), d.h. die zweidimensionale Stichprobe entstammt einer beliebigen stetigen Verteilung, so läßt sich die Abhängigkeit von Y und X durch den SPEARMAN'SCHEN Rangkorrelationskoeffizienten  $r_s$  beurteilen (SACHS 1992). Die Meßreihen  $n_i$  werden dazu in einer Reihe entsprechend der Größe geordnet und mit Rängen versehen, wobei mehrfach auftretende Ränge entsprechend gemittelte Werte erhalten. Der Korrelationskoeffizient berechnet sich aus den Rangdifferenzen  $d_i$  nach:

$$r_s = 1 - \frac{6 * \sum_{i=1}^n d_i^2}{n * (n^2 - 1)}$$

Ein zusätzlicher Vorteil dieses Rangkorrelationskoeffizienten ist, daß er auch bei kleinem Stichprobenumfang zuverlässige Werte liefert.

Mit der Regressionsanalyse wurde die quantitative Abhängigkeit zwischen zwei oder mehr Variablen untersucht. In den vorliegenden Untersuchungen wurden Polynomialregressionen 2. Grades, der nachfolgende Funktion zu Grund liegt, durchgeführt.

$$y = a + b_1x + b_2x^2$$

Als Güte für die Schätzfunktion wurde das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  herangezogen, welches das Verhältnis des Anteils der Streuung der Punkte auf der Funktion zur Gesamtstreuung ausdrückt.

### 3.2 Elektronenbehandlung von Forstsaatgut

Die Elektronenbehandlung von Saatgut bietet die Möglichkeit, auf physikalischem Wege Pathogene im Perikarp und der Testa abzutöten, ohne den Embryo zu schädigen. Diese Art der Behandlung stellt eine Alternative zum Einsatz chemischer Beizmittel dar, deren Ziel ebenfalls die Eliminierung samenbürtiger und samenübertragbarer Schaderreger ist. Es wurde untersucht, ob die Ergebnisse anderer Autoren aus der Behandlung von landwirtschaftlichem Saatgut (Kap. 2.5.6) auf forstwirtschaftliches Saatgut übertragen werden können. Eine weitere Aufgabe war die Ermittlung der dazu nötigen Parameter. Ziel war, das Perikarp vom Saatgut der Eiche, Buche und die Testa der Sitkafichte bezogen auf den Pilzbefall in einem hohen Maße zu sterilisieren<sup>14</sup>. Die Versuchsdurchführung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern des FEP Dresden, wobei anlagen- und verfahrenstechnische Parameteranpassungen in Absprache und unter Mitwirkung des Autors vorgenommen wurden.

#### 3.2.1 Aufbau der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1

Für die Behandlung von Saatgut stand eine speziell für diesen Zweck im Jahre 1995 aufgestellte Elektronenbehandlungsanlage (WESENITZ 1) im Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl und Plasmatechnik Dresden zur Verfügung. Sie ist eine Weiterentwicklung der Laboranlage, die für die Grundlagenversuche zur Behandlung von Winterweizen genutzt wurde. Diese Anlage verfügt über zwei sich gegenüberliegende Elektronenkanonen, die eine weitgehend homogene Verteilung der Dosis auf der Saatgutoberfläche gewährleisten (GABER et al. 1995). Die Anlage wurde 1997 neben dem Einsatz als Forschungs- und Pilotanlage bereits im dritten Jahr zur Elektronenbehandlung von ca. 1.000 t Saat-Winterweizen für landwirtschaftliche Praxis genutzt. Da einige der unter Kap. 3.2.2 aufgeführten Voruntersuchungen durch die technischen Vorgaben der Anlage bedingt waren, soll nachfolgend ausführlicher auf die Anlagentechnik eingegangen werden.

Die Anlage besteht aus den Hauptkomponenten „einer evakuierbaren Behandlungskammer“ mit zwei „Elektronenkanonen“, dem „Evakuierungssystem“ und der „Saatgutzu-“ bzw. „Saat-

<sup>14</sup> „Sterilisieren heißt Abtöten oder Entfernen aller lebensfähigen Vegetativ- und Dauerformen von pathogenen und apathogenen Mikroorganismen in Stoffen, Zubereitungen oder an Gegenständen (STOLZ 1972).



gutabführung“. Das zu behandelnde Saatgut wird kontinuierlich über drei Zellenradschleusen der Verteileinrichtung zugeführt, von der aus es im freien Fall die Behandlungszone in der Behandlungskammer passiert und ebenfalls mittels dreier Zellenradschleusen wieder abgeführt wird. Für die Behandlung von Kleinchargen (zutreffend für die vorliegenden Untersuchungen) werden für die Zu- und Abführung des Saatgutes spezielle „Behälter für Chargenbetrieb“ genutzt, was jedoch keine Auswirkungen auf die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf die kontinuierliche Saatgutbehandlung hat. In dieser Betriebsart kann ein Durchsatz von bis zu 10 t Winterweizen pro Stunde durch die Zuführung des Saatgutes über ein Becherwerk und Förderbänder direkt vom anliefernden LKW und auf ein zweites Fahrzeug zurück erreicht werden. Kurzzeitiges Ausbleiben von Saatgut sowohl bei der Befüllung als auch bei der Ausschleusung kann durch zugeschaltete Silos gepuffert werden. Zur Veranschaulichung der Anlagentechnik ist in Abb. 14 eine Querschnittszeichnung der Anlage, die sich über drei Stockwerke im FEP-Technikum Helmsdorf erstreckt, dargestellt.

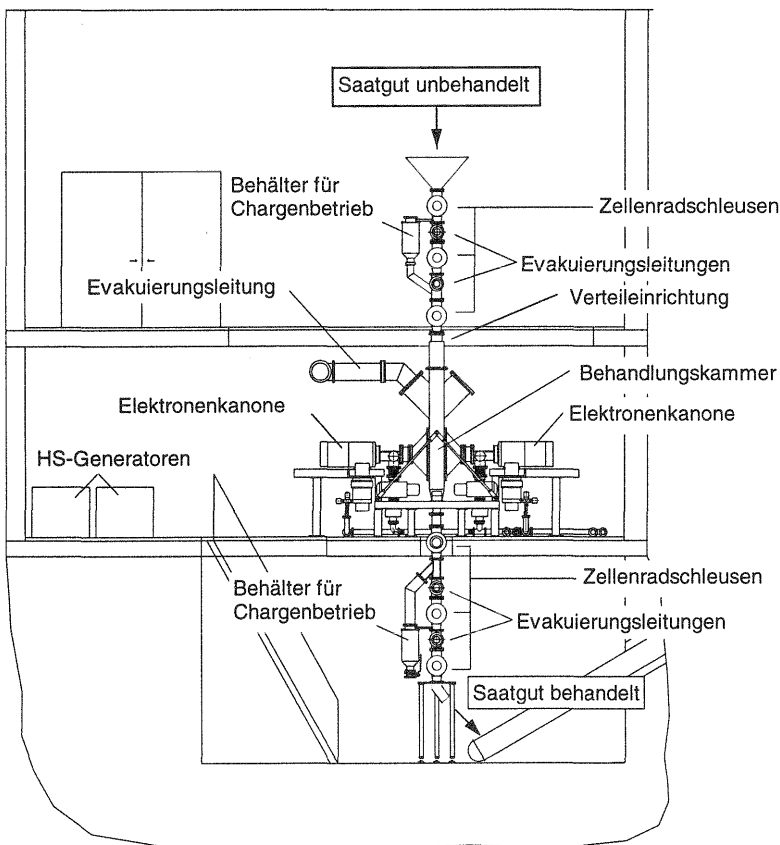


Abb. 14: Aufbau der Elektronenbehandlungsanlage WESENITZ 1.

Die Verteileinrichtung hat die Aufgabe, das Saatgut so zu vereinzeln, daß die Körner in einem einlagigen Saatgutstrom durch die Behandlungszone fallen (Abb. 15) und somit ein Schattenwurf der Samenkörner aufeinander gegenüber dem einfallenden Elektronenstrahl vermie-

den wird. Die Anpassung der Verteileinrichtung an Eichel- und Bucheckern wird im folgenden noch beschrieben.

Die Behandlungskammer wird durch ein System von Vakuumpumpen auf einen geregelten Prozeßdruck von 100 Pa evakuiert. Die Elektronenkanonen sind gegenüberliegend seitlich am Rezipienten angebracht. In Verbindung mit ihrer Fallbewegung werden die Samen aus vier Hauptrichtungen der Elektroneneinwirkung ausgesetzt. Durch ein Strahlableitungs-System an den Kanonen werden die Elektronenstrahlen zu einem Zeilenraster aufgefächert, ähnlich wie in einer Fernsehbildröhre. Die Anordnung von Elektronenreflektoren in der Behandlungskammer sorgt dafür, daß auch Elektronen mit Bewegungsrichtungen senkrecht zur Zeichenebene von Abb. 15 (im Schema nicht dargestellt) auf die Samenkörner einwirken. Die Samenkörner passieren die Behandlungszone mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s. Auf diese Weise wird eine weitgehend homogene Dosisverteilung auf der Saatgutoberfläche erzielt.

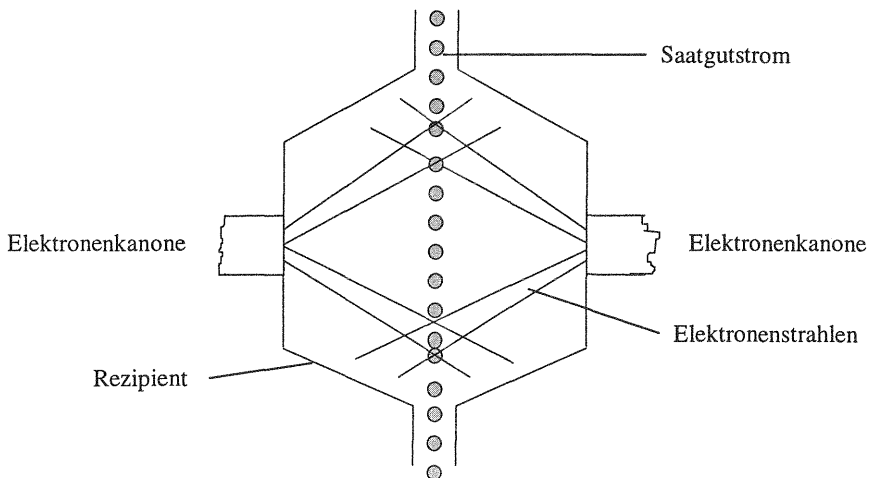


Abb. 15: Schematisierter Rezipientenquerschnitt mit Saatgutstrom und Elektronenstrahl.

Die Erzeugung des Elektronenstrahls in der Elektronenkanone und seine Führung in der Behandlungskammer veranschaulicht das Schema in Abb. 16.

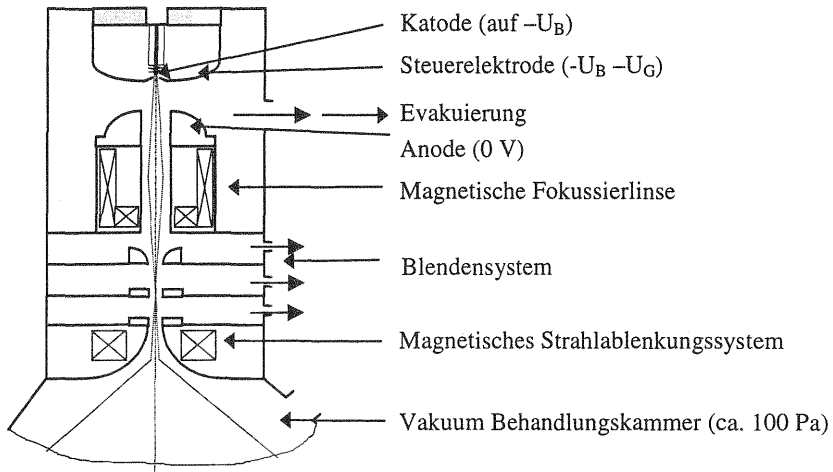


Abb. 16: Schemazeichnung einer Elektronenkanone.

Die aus der Katode durch thermische Emission freigesetzten Elektronen werden zwischen Katode und Anode, in einem durch Anlegen der Beschleunigungsspannung erzeugten elektrischen Feld, zum Elektronenstrahl beschleunigt. Die Steuerelektrode mit ihrer zur Katode negativen Vorspannung trägt zur Bündelung des Elektronenstrahls bei. Gleichzeitig kann durch geeignete Wahl dieser Vorspannung der Strahlstrom auf den gewünschten Wert eingestellt werden. Der die Anodenöffnung passierende divergente Elektronenstrahl wird durch eine magnetische Linse in die Ebene eines Blendensystems fokussiert. Das Blendensystem trennt den auf Hochvakuum evakuierten Raum der Elektronenkanone vom Grobvakuum in der Behandlungskammer. Nach dem Blendensystem wird der Elektronenstrahl über eine magnetische Ablenkeinheit entsprechend dem zu erzeugenden Zeilenraster abgelenkt. Sowohl die Anodenöffnung als auch das Blendensystem werden vom Elektronenstrahl weitgehend verlustfrei passiert, so daß der in die Behandlungskammer eintretende Elektronenstrom in guter Näherung dem erzeugten Strahlstrom entspricht.

Aus dieser kurzen Darstellung der Elektronenerzeugung ergibt sich, daß die Elektronenreichweite durch geeignete Wahl der Beschleunigungsspannung, der Dicke der Samenschale des zu behandelnden Saatgutes angepaßt werden kann. Die Dosis dagegen wird durch die entsprechende Wahl des Strahlstromes bestimmt.

Die entsprechenden Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Samenschalenstärke von Eicheln, Bucheckern und Sitkafichtensaatgut und der Letaldosisbestimmung häufig an o.a. Saatgutarten vorkommender Mikropilze werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

### 3.2.2 Vorbereitende Untersuchungen

#### 3.2.2.1 Pilzbefall an Eicheln am Baum und nach Bodenkontakt

Das Ziel, möglichst viele Mikropilze an Saatgut abtöten zu wollen (s. Kap. 2.7) macht die Klärung der Frage nötig, ob das Saatgut am Baum oder erst nach dem Fall auf den Waldboden

mit Mikropilzen infiziert wird. Wie bereits weiter vorne beschrieben, werden Bucheckern erst nach Bodenkontakt mit dem primärpathogenen Pilz *Rhizoctonia solani* Kühn kontaminiert. Zur Klärung der Verhältnisse bei der Eiche wurden entsprechende Untersuchungen für Saatgut von *Quercus robur* in der vorliegenden Arbeit durchgeführt. Zusätzlich wurde der Befall der Eicheln mit Mikropilzen während der Fruchtentwicklung am Baum untersucht. Von einem Stieleichensolitärbaum im Bundesforstamt Peine wurden an folgenden Terminen jeweils 50 Eicheln aus der Krone gepflichtet: 11.09.1995, 04.10.1995 und 26.10.1995. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Eicheln aus den oberen, mittleren und unteren Kronenteilen entnommen wurden. Am 13.11.1995 erfolgte eine Probenahme von Eicheln dieses Baumes, die nach der Samenreife Bodenkontakt hatten. Obwohl der Baum am Rande eines Eichenbestandes steht, wurde davon ausgegangen, daß die Bodenmykoflora derjenigen im Inneren eines Eichenbestandes entspricht. Die Herstellung von Pilzisolierungen aus der Eichelspitze, der Mitte, der Basis und der Kotyledonen erfolgte nach der in Kap. 3.1.5 beschriebenen Methode.

Nach einer Inkubationszeit von 14 Tagen erfolgte die Auszählung der steril gebliebenen Impfstücke. Die Artidentifikation der Pilze erfolgte auszugsweise für die Proben aus der Perikarpmitte. Die übrigen Isolate wurden verworfen.

### 3.2.2.2 Perikarp- bzw. Testastärke von Eicheln, Bucheckern und Sitkafichtensamen

Der Elektronenstrahl soll seine biozide Wirkung lediglich im Bereich des Perikarps und der Testa entfalten. Die Reichweite des Elektronenstrahls kann variiert werden. Die mittlere Dicke der Samenschale der zu behandelnden Saatgutarten bestimmt den Bereich der zulässigen Eindringtiefe des Elektronenstrahls, um phytotoxische Schäden an den Keimanlagen auszuschließen.

Die Dickenmessung des Perikarps von Stiel- und Traubeneicheln sowie von Bucheckern erfolgte mit einem mechanischen Dickenmeßgerät (Fa. Käfer, Typ J50 mit Tasterform E) mit einer Auflösung von 0,01 mm. Zur Überprüfung der grundsätzlichen Eignung eines solchen Gerätes wurden zuvor die mit dem mechanischen Gerät ermittelten Werte durch Ausmessen in einem Lichtmikroskop kontrolliert. An je 150 Eicheln wurde die Dicke des Perikarps an der Spitze, der Mitte und der Basis gemessen. Für die Dickenbestimmung des Perikarps bei Bucheckern wurden an 100 getrockneten (m.c.=8 %) und 100 feuchten (m.c.=32 %) Bucheckern je Eckernseite eine Messung in der Mitte vorgenommen.

Um die Stärke der Testa von Sitkafichtensaatgut zu ermitteln, wurden ganze Samen in Kunstharz eingebettet und danach Mikrotomschnitte von 5 µm Dicke erstellt (Anhang 4). Das Ausmessen der Samenschalendicke erfolgte mit einem Lichtmikroskop an 13 Samen.

### 3.2.2.3 Vakuumeinfluß auf Eicheln und Bucheckern

Während der Elektronenbehandlung in der Saatgutbehandlungsanlage sind die Samen einem Vakuum von ca. 100 Pa<sup>15</sup> ausgesetzt. Die plötzliche Evakuierung stellt eine mechanische Belastung der Samenschale dar. Weiterhin kann es durch Verdampfung von Wasser zu einem beschleunigten Feuchteverlust der Samen kommen.

<sup>15</sup> Die Meßinstrumente der für die Vakuumversuche genutzten Anlage gaben die Werte in Torr an. Um die durch die Umrechnung in Pascal (Pa) entstehenden unübersichtlichen Werte zu vermeiden, werden nachfolgend alle

Werte in Torr angegeben.  $1 \text{ Torr} = \frac{101325}{760} \text{ Pa}$

Bei Zuführung des Saatgutes in der Behandlungsanlage WESENITZ 1 über den Kleinchargenbehälter ist lediglich eine Druckstufe zwischen Atmosphärendruck (760 Torr) und Rezipientendruck geschaltet, so daß für das Saatgut die Druckfolge 760 Torr, 20 Torr, 1 Torr gilt, wobei die Verweilzeit in der 1 Torr-Phase nur Bruchteile von Sekunden ausmacht. Die Übergänge erfolgen plötzlich. Für den während der Saatgutbehandlung herrschenden Temperaturbereich erfolgt eine nennenswerte Abgabe von Feuchtigkeit erst ab einem Druck von ca. 20 Torr.

Durch nachfolgend beschriebene Versuche sollte geklärt werden:

- Wie hoch ist der Feuchteverlust des Saatgutes bei unterschiedlich langer Verweilzeit in einem Vakuum von 1 Torr?
- Welchen Einfluß haben Schäden der Samenschale auf den Feuchteverlust?
- Hat die plötzliche Evakuierung einen Einfluß auf die visuell erkennbare morphologische Struktur der Samenschale, wie etwa Ribbildung?
- Wird das Auflaufverhalten der Samen durch den Aufenthalt im Vakuum beeinflußt?

Diese Vorversuche erfolgten an der Elektronenstrahlanlage „TEA“ im FEP Technikum Helmsdorf. An den Rezipienten wurde ein Magnetventil mit anschließender Kleinkammer mit einem Volumen von ca. 400 cm<sup>3</sup> (T-Stück) angeflanscht, welches an 2 Seiten vakuumdicht verschlossen wurde. Damit nach dem Öffnen des Magnetventils und dem damit sofort eintretendem Vakuum von 1 Torr keine Eicheln in den Rezipienten gelangen konnten, wurde zwischen Ventil und T-Stück ein Sieb gesetzt (Abb. 17).

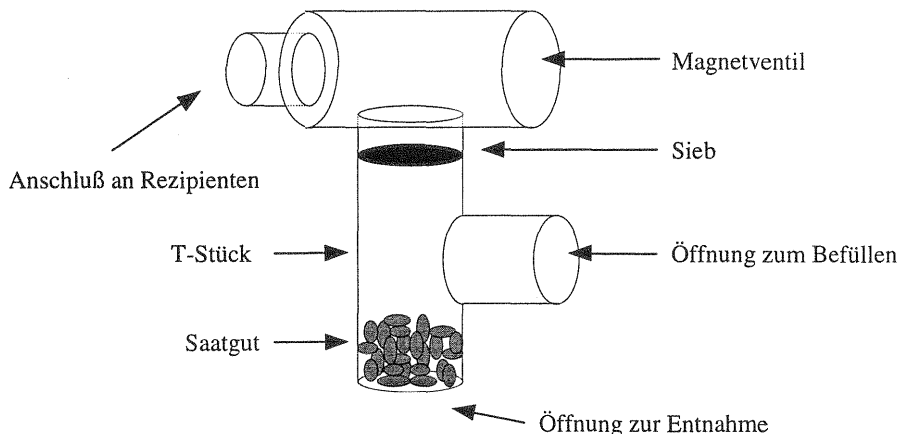


Abb. 17: Kleinkammer mit Magnetventil zur Untersuchung des Vakuumeinflusses auf Saatgut.

Sowohl Stiel- als auch Traubeneicheln wurden mit intakter und angerissener Samenschale untersucht. Das bedeutete insbesondere für die Traubeneicheln, daß das Saatgut bereits angekeimt war und die Spitzen der Radikula die Samenschale durchbrochen hatten. Bei den Bucheckern kamen für die zum Keimtest bestimmten Samen bereits angekeimte Eckern zur Untersuchung. Der Ausgangsfeuchtegehalt der Stieleicheln betrug 41 %, der der Traubeneicheln 42 % und bei den Bucheckern waren es 35,3 %.

Neben der erläuterten Untersuchung von Kleinmengen wurden Traubeneicheln und Bucheckern im Rezipienten der TEA einem längeren Evakuierungszyklus ausgesetzt, um den „Worst-case-Fall“ zu simulieren. Die Gesamtevakuierungsdauer betrug 154 Sekunden.

In den Kleinmengenuntersuchungen wurden jeweils 35 g Saatgut in die Kleinkammer gegeben und verschlossen. Nach Öffnung des Magnetventils mittels elektronischer Handauslösung war das Saatgut sofort dem Druck von 1 Torr ausgesetzt, da der Rezipientendruck während der gesamten Behandlungszeit auf diesem Wert gehalten wurde und das Luftvolumen der Kleinkammer zu gering war, als daß ein nennenswerter Druckabfall hätte auftreten können. Es wurden Verweilzeiten bei einem Druck von 1 Torr von 2 s, 5 s, 10 s und 20 s mit dreimaliger Wiederholung gehalten. Für eine spätere Überprüfung der Keimfähigkeit wurde eine Menge von 200 Eicheln und Bucheckern 30 s lang dem Vakuum ausgesetzt. Eine zusammenfassende Darstellung der untersuchten Varianten ist in Tab. 9 aufgeführt.

Tab. 9: Varianten der Vakuumbehandlung von Trauben- (TEi) und Stieleicheln (SEi) sowie Bucheckern (Bu) jeweils mit gerissenem und intaktem Perikarp in einer Kleinkammer bei unterschiedlicher Einwirkdauer des Vakuums (n: s. Angaben in g).

Baumart (Menge)	Perikarp	Vakuumhaltezeit in s	Wiederholungen [Anz.]
TEi (35 g)	gerissen	2, 5, 10, 20	3
TEi (35 g)	intakt	2, 5, 10, 20	3
SEi (35 g)	gerissen	2, 5, 10, 20	3
SEi (35 g)	intakt	2, 5, 10, 20	3
TEi (200 Stck.)	gerissen	30	1
Bu (18 g)	intakt	2, 5, 10, 20	3
Bu (200 Stck.)	angekeimt	30	1
TEi		Rezipient (ca. 150)	1
Bu		Rezipient (ca. 150)	1

Die Zeitnahme erfolgte mit Hilfe einer Stoppuhr, der Druck wurde an einem geräteinternen Manometer abgelesen. Unmittelbar vor und nach der Vakuumbehandlung wurde das Gewicht des Saatgutes mit einer elektronischen Feinwaage (Fa. Sartorius, Typ 1419, Genauigkeit  $\pm 0,001$  g) bestimmt. Im Anschluß wurde der relative Wasserverlust des Saatgutes ermittelt. Neben der Aufnahme o.a. Meßgrößen wurde das Saatgut auf makroskopisch erkennbare Schäden (insbesondere Risse in der Samenschale) hin untersucht. Der im Anschluß durchgeführte Keimtest sollte klären, ob eine physiologische Schädigung des Saatgutes eingetreten war.

### 3.2.2.4 Saatgutverteilerinrichtung in der Saatgutbehandlungsanlage

Für die auf Perikarp und Testa des Saatgutes übertragene Dosis ist neben der Energie der Elektronen und dem Strahlstrom auch die Verweildauer des Saatgutes in der Wirkzone und das ungehinderte Auftreffen der Elektronen ohne gegenseitige Schattenwirkung der Samenkörner entscheidend. Darüber hinaus ist die Dosis abhängig vom Abstand des Kornes zur Elektronenquelle und vom Auftreffwinkel der Elektronen. Ziel ist es, eine allseitig gleichmäßige Einwirkung der Elektronen auf die Saatgutoberfläche zu erhalten. Im Idealfall bewegen sich dabei alle Körner mit gleicher Translationsgeschwindigkeit durch die Behandlungszone. Dazu wird der Saatgutstrom, der bedingt durch die Zellenradschleusen portionsweise dem

Rezipienten zugeführt wird, vor Eintritt in diesen durch eine Verteileinrichtung gleichmäßig und auf den nötigen Querschnitt formatiert. Der Saatgutstrom wird anschließend so verteilt, daß sich durch jedes Flächenelement im Querschnitt des Kornstromes etwa die gleiche Anzahl Körner bewegt; es entsteht also ein „Kornvorhang“, der in einfacher Schichtdicke durch die Behandlungszone fällt.

Die unterschiedliche anatomische Gestalt verschiedener Saatgutarten macht es nötig, die Verteileinrichtung für jedes Saatgut optimal einzustellen. Für die Anpassung an Eicheln und Bucheckern wurde die Verteileinheit so auf ein Gestell montiert, daß der Saatgutstrom nach einer dem Rezipienten entsprechenden freien Falllänge, in 10 nebeneinander angeordneten Behältern aufgefangen wurde (Abb. 18). Die Saatgutzuführung erfolgte über eine Zellenrad-schleuse (31,5 U/min), so daß der Massenstrom des zugeführten Saatgutes konstant war.

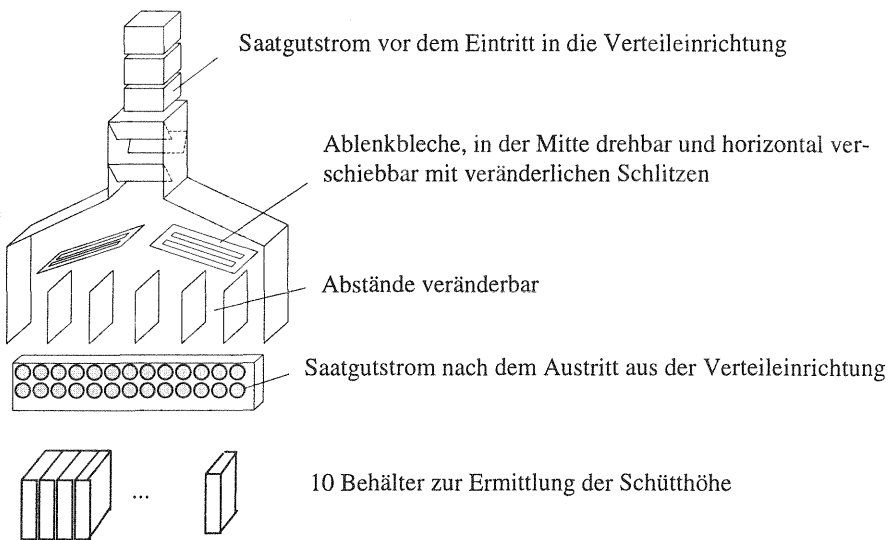


Abb. 18: Verteileinrichtung mit Versuchsaufbau zur Ermittlung der optimalen Einstellung für Bucheckern und Eicheln (verändert nach WEBER 1995).

Mit Hilfe der Saatgutmenge, die sich in den Behältern gesammelt hatte, konnte direkt eine Aussage über die Gleichmäßigkeit der Saatgutvereinzelung in der Breite des Saatgutstromes gemacht werden. Innerhalb der Verteileinheit angebrachte Ablenkbleche können stufenlos so verstellt werden, bis eine gleichmäßige Saatgutverteilung erreicht wird. Außen an der Verteileinrichtung angebrachte Skalen ermöglichen es, nach einmaliger Feststellung der Einstellbedingungen die entsprechende Einstellung ohne erneute Überprüfung zu reproduzieren. Diese Untersuchung wurde an Atmosphärendruck durchgeführt.

Die Einstellungen für Eicheln wurde anhand von Roteicheln von WEBER (1995) bestimmt. Die Anpassung an Bucheckern erfolgte durch den Autor während der vorliegenden Untersuchung. Dazu wurden jeweils 800 g Bucheckern mit verschiedenen Winkeleinstellungen der Abweiserbleche in der Verteileinrichtung durch die Verteilereinheit fallen gelassen. Die

Schüttmenge wurde anhand der Höhe des Saatgutes in den 10 Behältern in cm festgestellt und die Variante ausgewählt, die die gleichmäßigste Verteilung über alle 10 Behälter ergab.

### 3.2.2.5 Letale Strahlendosis von Pilzen an Eicheln und Bucheckern

Die wichtigste Voraussetzung einer erfolgreichen Bekämpfung eines Mikroorganismus ist die Kenntnis der für ihn letalen Dosis, sei es in Form von Hitze, Chemikalien oder Energieübertragung mit Elektronenstrahlen.

#### Versuchsanlage

Die Versuche zur Bestimmung der letalen Strahlendosis von Mikropilzen wurden im Institut für Polymerforschung Dresden mit einem 1,5 MeV Elektronenbeschleuniger (Herst. IYaF<sup>16</sup>, Typ ELT-1,5) durchgeführt. Der Einsatz dieser Anlage war zweckmäßig, da bei der hohen Elektronenenergie sowohl die Pilzkulturschalen als auch Perikarppräparate mit einer homogenen Dosisverteilung durchstrahlt werden konnten. Die Bestrahlung erfolgte an Atmosphärendruck, die Proben wurden auf einem Förderband durch das Bestrahlungsfeld geführt. Die benötigten Dosisvariationen wurden durch eine entsprechend angepaßte Transportgeschwindigkeit erreicht. Die jeweilige Bestrahlungsdosis wurde mittels Dosismessfolien bestimmt.

#### Pilzmaterial

Es wurden insgesamt 24 häufig an Eichen- und Buchensaatgut vorkommende Pilze unterschiedlicher Gattungen auf ihre letale Strahlendosis hin untersucht (Tab. 10). Zur Überprüfung der Wirksamkeit wurde das Myzelwachstum der durchstrahlten Originalkulturen, die daraus hergestellten Subkulturen, die Sporenkeimfähigkeit der zum Behandlungstermin sporulierenden Arten sowie das Myzelwachstum auf durchstrahltem Originalsubstrat (Perikarp) überprüft.

---

<sup>16</sup>IYaF: Institut für Kernphysik der Sibirischen Abteilung der Akademie der Wissenschaften der ehem. UdSSR, Novosibirsk



Tab. 10: Pilze für die Bestimmung der letalen Strahlendosis und Boniturverfahren. Pilze, die mit einem „\*“ gekennzeichnet sind, entstammen einer zweiten Versuchsreihe, bei der die Bonitur lediglich anhand der Originalkulturen erfolgte.

Pilzart/-gattung	Myzelwachstumstest		Sporenceimtest
	durchstrahlter Originalkulturen	Subkulturen	
1. <i>Alternaria alternata</i>		X	
2. <i>Apiognomonina</i> sp.*	X		
3. <i>Aposphaeria</i> sp.*	X		
4. <i>Ascocoryne sarcoides</i> *	X		
5. <i>Botrytis cinerea</i> *	X		
6. <i>Camarosporium</i> sp.*	X		
7. <i>Chaetomium</i> sp.*	X		
8. <i>Ceuthospora</i> sp.		X	
9. <i>Ciboria batschiana</i>	X	X	
10. <i>Cladosporium cladosporioides</i>	X	X	X
11. <i>Codinaea simplex</i>	X	X	
12. <i>Cylindrocarpon didymum</i>		X	X
13. <i>Discula</i> sp.*	X		
14. <i>Epicoccum nigrum</i>	X	X	
15. <i>Fusarium</i> spec. 1		X	
16. <i>Fusarium</i> spec. 2		X	
17. <i>Mucor</i> sp.		X	X
18. <i>Nodulisporium</i> sp.*	X		
19. <i>Penicillium</i> sp.		X	X
20. <i>Phoma</i> sp.*	X		
21. <i>Rhizoctonia solani</i>	X	X	
22. <i>Trichoderma</i> sp.		X	X
23. <i>Ulocladium chartarum</i>		X	X

Die Herstellung der in Tab. 10 aufgeführten Kulturen erfolgte aus Pilzkulturen, die in Vorversuchen aus Eicheln und Bucheckern isoliert wurden. Die Inkubation erfolgte mittels flacher Impfstücke von maximal 1 mm Dicke aus diesen Originalkulturen auf 4 % Malzagarplatten, die 1 mm hoch in Kunststoffpetrischalen gegossen wurden (Herstellung s. Anhang 4). Diese Maximalstärke mußte eingehalten werden, da die Durchstrahlungstiefe des Elektronenbeschleunigers bei einer Materialdichte von  $\rho = 1$  und einer Beschleunigungsspannung von 1,4 MeV im Hinblick auf die gewünschte Dosis auf ca. 3 mm begrenzt ist. Das Dosismaximum lag dabei in der Ebene der Myzelschicht. Die mit Deckeln versehenen und durch Laborfilm abgedichteten Kulturschalen wurden mit durchstrahlt. Die mit einem „\*“ versehenen Pilze (Tab. 10) wurden so lange in der Kulturschale wachsen gelassen, bis etwa die Hälfte der Nährbodenfläche mit Myzel bedeckt war und danach bei +5 °C gelagert, um das Wachstum zu verlangsamen. Bei diesen Kulturen wurde das Bestrahlungsergebnis nur durch die Überprüfung eines Wiedereinsetzens des Myzelwachstums beurteilt.

## Behandlung

Aufgrund der von anderen Autoren für *Fusarium culmorum* und *Septoria nodorum* ermittelten Letalwerte von 6 kGy sowie von 7 kGy für *Gerlachia nivalis* (LINDNER 1992), wurden für die vorliegenden Untersuchungen Dosiswerte sowohl unter als auch über diesen bekannten Werten gewählt. Es wurden Behandlungen mit folgenden Dosiswerten durchgeführt 2, 4, 6, 8, 10, 13, 16, 19, 22 und 25 kGy.

Es ist bekannt, daß Pilze in Reinkultur unter künstlichen Bedingungen (optimale Nährstoffversorgung, hoher Feuchtigkeitsgehalt) empfindlicher auf äußere Einflüsse reagieren als in ihrem natürlichem Medium (hier Perikarp). Um zu überprüfen, ob und wie stark sich die Letaldosis erhöht, wurden mit einem Korkbohrer ( $\varnothing$  6 mm) Impfstücke aus dem Perikarp und der Testa aus jeweils 8 Stiel-, 8 Traubeneicheln und 8 Bucheckern ausgestanzt und mit einem Paraffintropfen in jeweils einer Kunststoffpetrischale befestigt (Eichelaußenseite in Strahlrichtung). Es wurde darauf geachtet, daß kein überquellendes Paraffin auf die Impfstücke kam. Die Schalen wurden mit Laborfilm verschlossen und mit den o.a. 10 Dosisvarianten durchstrahlt. Um zu verhindern, daß der Luftstrom, der das Strahlaustrittsfenster kühlt, die Petrischalen von den 1 m<sup>2</sup> großen Transportblechen weht, wurden die Schalen mit Klebefilm oder doppelseitigem Klebeband darauf befestigt.

Für die Durchstrahlung der Pilzkulturen wurden je Pilz 4 Kontrollen und für die Durchstrahlung der Samenschalenstücke je Baumart 8 Kontrollen erstellt, die sämtliche Transportwege mitmachten, um sicher zu gehen, daß alle Proben, bis auf die eigentliche Bestrahlung, die gleiche Behandlung erfahren würden.

Die Überprüfung der eingestellten Dosiswerte erfolgte mit Dosismessfolie, die in Kunststoffkulturschalen aufgeklebt wurde, welche links, rechts und in der Mitte der Transportplatten postiert wurden. Pro Messfolie wurden 10 Dosismessungen mit einem Dosismessgerät (Fa. Polymerphysik) durchgeführt.

## Auswertung

Aus den in Tab. 10 ohne „\*“ bezifferten durchstrahlten Pilzkulturen wurden je Wiederholung eine Subkultur auf eine 2 % Malzagarplatte angelegt. Aus der Mitte der Originalkultur wurde ein im Durchmesser 5 mm großes Impfstück ausgestanzt und auf eine 2 % Malzagarschale übertragen. Die Probenahme aus der Mitte gewährleistete, daß der Nährboden tatsächlich völlig durchstrahlt wurde. Die erste Bonitur des Inkubationserfolges wurde nach drei Tagen, dann alle 24 Stunden 5 Tage lang und danach nach Wachstumsfortschritt durchgeführt. Das Myzelwachstum wurde auf der Schalenunterseite dokumentiert und auf Zeichenpapier übertragen. Ausgehend von dem inkubierten Impfstück wurde der Zuwachs in vier Richtungen gemessen und darüber eine Wachstumskurve erstellt.

Die Originalschalen (ohne „\*“), deren Kulturen zum Bestrahlungstermin noch nicht bis zum Schalenrand gewachsen waren, wurden aufbewahrt und das Myzelwachstum bonitiert. Die Bonitur erfolgte in Abhängigkeit der Wachstumsgeschwindigkeit des jeweiligen Pilzes. Die Originalschalen (mit „\*“) wurden bis zum Behandlungstermin bei 5 °C gelagert, nachdem das Pilzmyzel ca. 50 % der Nährbodenfläche besiedelt hatte. Nach der Elektronenbestrahlung wurde der Wachstumsfortschritt wie bei den vorhergehenden Kulturen bonitiert. Die behandelten Impfstücke aus Perikarp und Testa wurden je zu zweit unter sterilen Bedingungen auf eine 2 % Malzagarschale übertragen. Die Inkubation erfolgte über 4 Wochen. Da lediglich die

Frage geklärt werden sollte, bei welcher Dosis kein Pilz mehr aus den Impfstücken auswachsen würde, wurde nur das Datum des ersten erkennbaren Wachstums festgehalten.

Bei den zum Bestrahlungstermin sporulierenden Pilzarten wurde zusätzlich ein Sporenceimtest angelegt. Die Erstellung der Sporensuspension erfolgte ca. 36 Stunden nach der Bestrahlung. Von einer 0,1 %igen Tweenlösung mit autoklaviertem Wasser wurden 2 ml mit einer Spritze in die jeweilige Kulturschale gegeben. Durch kräftiges Aufschütteln wurden die Sporen abgeschwemmt. Je Pilzart wurde mit Hilfe des Mikroskops einmal die Sporendichte bestimmt, damit gewährleistet war, daß ausreichend Sporen für die Auszählung zur Verfügung standen. Mit einer Pipette (Fa. Eppendorf, Typ 10  $\mu$ l bis 100  $\mu$ l) wurde die Sporensuspension auf 2 % Malzagarplatten (Schichtdicke 0,5 mm bis 1 mm) gegeben und mit einem Spatel ausgestrichen. Die Menge der Sporensuspension wurde abhängig von der Sporenmenge der jeweiligen Pilzart in der Suspension gewählt: *Trichoderma* sp. und *Penicillium* sp.: 25  $\mu$ l; *Mucor* sp.: 30  $\mu$ l; *Ulocladium chartarum* und *Cladosporium cladosporioides*: 40  $\mu$ l. Für weitere Beobachtungen wurde die Sporensuspension bei +5°C im Klimaschrank gelagert.

Die Sporenceimung wurde anhand von 400 zufällig ausgewählten Sporen nach 6, 9, 12, 24, 48 und 72 Stunden bestimmt. Dazu wurde nach entsprechender Inkubationszeit ein ca. 15 mm x 15 mm großes Agarstück aus der beimpften Schale geschnitten, auf einen Objektträger gelegt und die Keimung mit Anilinblau und Lactophenol gelöst in Milchsäure gestoppt. Unter dem Mikroskop bei 400facher bis 630facher Vergrößerung wurde das Sporenceimprozent bestimmt. Eine Spore wurde als gekeimt gewertet, wenn sie einen Keimschlauch gebildet hatte. Die gekeimten Stadien wurden mit 100facher bzw. 400facher Vergrößerung fotografisch dokumentiert. Um festzustellen, ob die keimenden Sporen auch in der Lage waren, lebensfähiges Myzel und Reproduktionsorgane zu bilden, wurden die beimpften Schalen 8 Wochen lang inkubiert und das Wachstum bonitiert.

### 3.2.3 Elektronenbehandlung mit der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1

Die Voruntersuchungen bezüglich der Dicke der Samenschalenstärke ergaben für Eiche und Buche, daß es trotz maximaler Beschleunigungsspannung der Anlage von 70 kV nicht möglich sein würde, den gesamten Bereich des Perikarps zu durchstrahlen. Da es jedoch nicht möglich war, den exakten Siedlungsort der Pilze innerhalb des Perikarps zu bestimmen, wurden zuerst Versuche mit der WESENITZ 1 durchgeführt, um herauszufinden, ob eine z.B. bei der Eichel extrem oberflächennahe Sterilisation Auswirkungen auf die Quantität oder die Qualität der Mykoflora hat. Hierzu lagen Überlegungen im Vergleich zur chemische Beizung zugrunde, deren Wirkung häufig ebenfalls auf oberflächennahe Samenschalenschichten beschränkt ist. Um ein forstliches Saatgut, welches von der Struktur der Samenschale ähnlich der eines Weizenkornes ist, im direkten Vergleich zu haben, wurde Sitkafichtensaatgut ebenfalls mit der WESENITZ 1 behandelt. Für die Eicheln wurde abschließend eine Elektronenbehandlung mit einer 150 kV Elektronenstrahlanlage durchgeführt. Damit konnte eine theoretische Eindringtiefe des Elektronenstrahls von 280  $\mu$ m bei  $\rho=1$  erreicht werden.

#### 3.2.3.1 Dosimetrie

Der Kontrolle bzw. der Dokumentation der tatsächlich auf der Saatgutoberfläche wirksamen Dosis kommt eine wichtige Bedeutung zu. Sie soll deshalb nachfolgend dargestellt werden.

Bei jeder Behandlungsvariante wurde die Dosis durch Detektoren, die mit dem Saatgutstrom behandelt wurden, kontrolliert. Als Detektoren kamen Foliendosimeter aus Polyvinyl Butyral (PVB)-Folie mit verteiltem Pararosanilin Cyanid Farbstoff zum Einsatz. Diese Indikatorfolie

(20  $\mu\text{m}$ ) ist zur besseren Handhabung einer Trägerfolie (50  $\mu\text{m}$ ) aufgebracht. Das Pararosanilin verfärbt sich während der Bestrahlung durch die chemische Reaktion mit den durch die Ionisation freigesetzten Radikalen. Der Grad der Transmission der verfärbten Folie wird mit einem spektralfotometrischen Meßverfahren bestimmt und ist der absorbierten Energiedosis zugeordnet. Das benutzte Meßverfahren und Gerät der Fa. POLYMER-PHYSIK ermöglicht die aus der Verfärbung ermittelten Dosiswerte entsprechend der Foliendicke ( $\pm 2 \mu\text{m}$  bis  $3 \mu\text{m}$ ) zu korrigieren und damit den Meßfehler auf  $\pm 5 \%$  zu begrenzen (POLYMERPHYSIK 1991).

Die Messung der Energiedosis erfolgte mit von Knappe (1997) entwickelten zylindrischen Modellkörpern aus Dosismeßfolie mit einem Durchmesser von 7 mm und einer Länge von 10 mm (s. Abb. 19).

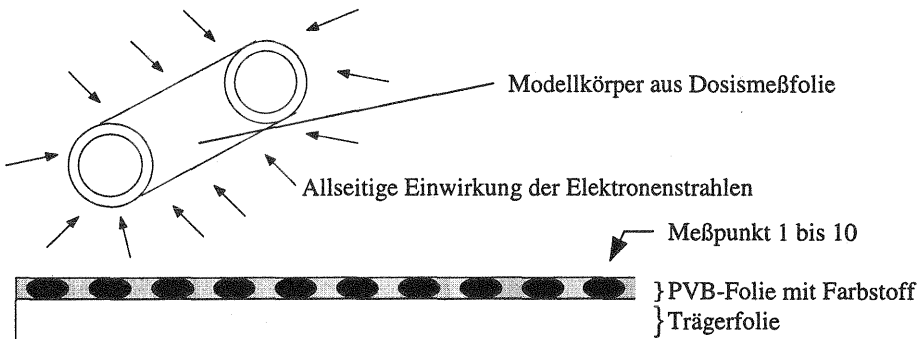


Abb. 19: Modellkörper aus Dosismeßfolie zur Bestimmung der Oberflächendosisverteilung (aus Knappe 1997 unveröffentlicht).

Nach der Behandlung wurden auf der abgewickelten Folie 10 Dosiswerte gemessen, die jeweils einem Winkelabstand von  $36^\circ$  zugeordnet werden können. Die statistische Auswertung (deskriptive Statistik) wurde direkt vom Meßgerät durchgeführt, so daß auch Aussagen über den Mittelwert und die Dosishomogenität (Variationskoeffizient) auf der Modellkörperoberfläche gemacht werden konnten.

### 3.2.3.2 Elektronenbehandlung von Eicheln

Die Literaturlauswertung sowie die Begrenzung der Wirkungstiefe der Elektronenbehandlung auf die oberflächennahen Perikarpschichten, führte zu dem Entschluß, Eicheln nicht nur einer Elektronenbehandlung als einzige phytosanitäre Maßnahme zu unterziehen, sondern auch ein Kombinationsverfahren mit Thermotherapievarianten durchzuführen. Dabei sollte geklärt werden, ob eine Thermotherapie vor oder nach einer Elektronenbehandlung zu besseren Ergebnissen bezüglich der Reduktion der Pilzkontamination führen würde. Zusätzlich wurde eine Behandlung ohne Elektronenbehandlung, nur unter Vakuum, durchgeführt, um die Ergebnisse der Vakuumvorversuche (Kap. 3.2.2.3) zu verifizieren. Die Dosiswahl für die Elektronenbehandlung erfolgte aufgrund der Ergebnisse der Letaldosisbestimmung aus Kap. 3.2.2.5.

Als Dosiswerte wurden Vielfache von 4 kGy gewählt. Pro Variantengruppe (Tab. 11) wurde die gesamte Saatgutmenge zweimal mit einer Dosis von 4 kGy behandelt (= 8 kGy), danach wurde die entsprechende Probenmenge für die 8 kGy Variante entnommen. Nach dem dritten Durchgang wurde der 12 kGy Teil entnommen und nach dem vierten Durchgang konnte die 16 kGy Variante weiterbearbeitet werden. Vor und nach jeder Elektronenbehandlung wurde das Gewicht bestimmt und die Menge der Wasserdampfabgabe im Rezipienten ermittelt.

In Tab. 11 sind alle Varianten der Elektronenbehandlung aufgeführt. Die Versuche zur Elektronenbehandlung von Eichel­n wurden im Februar 1996 durchgeführt. Das Saatgut wurde bis zu diesem Zeitpunkt nach erfolgter Vorbehandlung im November 1995 in einem Klimaraum der BBA bei -3 °C in Tonnen gelagert.

Tab. 11: Varianten der Elektronenbehandlung von Saatgut der Stiel- und Traubeneiche (1996).

Baumart	Vorbehandlung	e-Behandlung	Nachbehandlung
Stieleiche / Traubeneiche	⇒ ohne Thermotherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kontrolle</li> <li>→ 8 kGy</li> <li>→ 12 kGy</li> <li>→ 16 kGy</li> </ul>	
Stieleiche / Traubeneiche	⇒ mit Thermotherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kontrolle</li> <li>→ 8 kGy</li> <li>→ 12 kGy</li> <li>→ 16 kGy</li> </ul>	
Stieleiche / Traubeneiche	⇒ ohne Thermotherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kontrolle</li> <li>→ 8 kGy</li> <li>→ 12 kGy</li> <li>→ 16 kGy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ anschließende Thermotherapie</li> <li>⇒ anschließende Thermotherapie</li> <li>⇒ anschließende Thermotherapie</li> <li>⇒ anschließende Thermotherapie</li> </ul>

Zur Wirksamkeitsüberprüfung wurde gemäß Kap. 3.1.5 an Impfstücken aus der Eichelspitze, der -mitte und der -basis eine mykologischen Überprüfung durchgeführt. Die Kotyledonen wurden dabei außer acht gelassen, da die Elektronen dort ohnehin nicht einwirken können. Zur Überprüfung möglicher phytotoxischer Einflüsse wurden Keimtests in Sand und in Erde durchgeführt (s. Kap. 3.1.6).

### 3.2.3.3 Elektronenbehandlung von Bucheckern

Bezüglich der Dosis lagen der Bucheckernbehandlung die gleichen Überlegungen wie zu der Eichelbehandlung zugrunde. Neben der Behandlung von frischem (bereits stratifiziertem) Saatgut sollte auch der Einfluß auf bereits mehrere Jahre gelagertes Saatgut untersucht werden, da zuweilen Pilzprobleme während einer nachträglichen Stratifikation auftreten können. Tab. 12 gibt alle Varianten der Bucheckernbehandlung mit niederenergetischen Elektronen wieder. Die gelagerten Bucheckern wurden mit 12 kGy behandelt, da dieser Wert nach den Ergebnissen der Letaldosisbestimmung der Pilze zur wirksamen Desinfektion ausreichen müßte.

Tab. 12: Varianten der Elektronenbehandlung von Bucheckern (1996).

Baumart (Erntejahr)	Vorbehandlung	e-Behandlung	Nachbehandlung
Buche (1995)	Stratifikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kontrolle</li> <li>→ 8 kGy</li> <li>→ 12 kGy</li> <li>→ 16 kGy</li> </ul>	
	Stratifikation + Lagerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kontrolle</li> <li>→ 16 kGy</li> <li>→ 20 kGy</li> <li>→ 24 kGy</li> <li>→ 28 kGy</li> <li>→ 32 kGy</li> </ul>	
Buche (1990)	ohne Thermotherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kontrolle</li> <li>→ 12 kGy</li> </ul>	
	mit Thermotherapie	→ 12 kGy	
	ohne Thermotherapie	→ 12 kGy	→ Thermotherapie
Buche (1992)	ohne Thermotherapie	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Kontrolle</li> <li>→ 12 kGy</li> </ul>	
	mit Thermotherapie	→ 12 kGy	
	ohne Thermotherapie	→ 12 kGy	→ Thermotherapie

Alle Varianten wurden einer mykologischen Untersuchung zugeführt, wobei pro Buchecker ein Impfstück aus dem Perikarp auf 2 % Malz-Agar inkubiert wurde. Die Keimtests der Ernte 1995, stratifiziert mit anschließender Lagerung, wurden nach ISTA-Standard an der BBA durchgeführt. Die Überprüfung der Keimfähigkeit aller anderen Varianten erfolgte durch die ISTA Station Freising.

### 3.2.3.4 Elektronenbehandlung von Sitkafichtensaatgut

In Deutschland bereitet Nadelholzsamtgut während der Lagerung kaum Probleme bezüglich Vitalitätsverlust durch Pilzbefall. Auflaufreduktionen im Saatbeet werden in der Regel durch bodenbürtige Erreger hervorgerufen, die die sog. Umfallkrankheit verursachen. In Kanada berichteten SUTHERLAND et al. (1987) über einem Pilz, *Caloscypha fulgens* (Pers.) Boud., der häufig an Sitkafichtensamtgut, *Picea sitchiensis*, (u.a. auch an *P. engelmannii*, *P. glauca*, *Picea sp.*, *Pseudotsuga menziesii*, *Abies grandis*) zu finden ist und die Samen während der Lagerung abtötet. Da die Infektion über die Ascosporen des am Waldboden sporulierenden Pilzes erfolgt, findet die Kontamination des frischen Saatgutes oberflächlich statt und erst im Laufe der Lagerung kann das sich entwickelnde Myzel in das Saatgut einwachsen.

Es sollte überprüft werden, ob die Elektronenbehandlung eine Möglichkeit darstellt, Pilze in der Testa von Sitkafichtensamtgut abzutöten und damit einen möglichen Weg zur Bekämpfung von *Caloscypha fulgens* bietet, wenn die Behandlung unmittelbar nach der Zapfenernte und Klengung erfolgt. Da der Pilz in Deutschland noch nicht beschrieben ist, wurde aus Quarantä-

negesichtspunkten nicht mit dem Erreger gearbeitet, sondern lediglich die potentielle Anwendbarkeit überprüft.

Sitkafichtensaatgut hat den Vorteil, daß seine Testastärke der Summe der Perikarp- und Testastärke von Winterweizen ähnelt, so daß die Sitkafichtentesta bei einer Beschleunigungsspannung um 60 kV vollständig durchstrahlt wird.

Die Elektronenbehandlung erfolgte mit einem Vielfachen der Dosis von 8 kGy mit dem gleichen System wie in Kap. 3.2.3.2 für Eicheln beschrieben. Es wurden Varianten mit einer Beschleunigungsspannung von 60 kV und 70 kV gewählt (Tab. 13). Die theoretische Eindringtiefe bei  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  beträgt bei 60 kV 61,3  $\mu\text{m}$  und bei 70 kV 79,3  $\mu\text{m}$ .

Tab. 13: Varianten der Elektronenbehandlung von Sitkafichtensaatgut (1997). (n  $\approx$  1500)

Baumart	Beschleunigungsspannung	Dosis
Sitkafichte	Kontrolle	
Sitkafichte	60 kV	8 kGy
		16 kGy
Sitkafichte	70 kV	8 kGy
		16 kGy
		24 kGy

Die mykologische Untersuchung erfolgte durch Inkubieren ganzer Samen auf 15 % Wasseragarplatten (Anhang 4). Je Kulturschale wurden 17 Samen ausgelegt. Als Vorbereitung hierzu wurde wie bei den Eicheln und Bucheckern eine Oberflächensterilisation durchgeführt. In Anlehnung an die ISTA-Empfehlung (1987) zur Detektion von *Caloscypha fulgens* an Sitkafichtensaatgut wurden die Samen 15 min in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> getaucht, danach 5 min in sterilem Wasser gewaschen und anschließend auf sterilem Filterpapier getrocknet. Als weitere Varianten wurde die Sterilisation mit lediglich 1 min in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und eine weitere Variante ohne Oberflächensterilisation durchgeführt. Bei der Variante 15 min H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> wurden 20 Schalen mit je 17 Samen beimpft, die beiden anderen Varianten mit jeweils 10 Schalen á 17 Samen. Die Inkubation erfolgte analog zu dem in Kap. 3.1.5 beschriebenen Verfahren. Die Bestimmung des Wirkungsgrades erfolgte nach 14 Tagen.

Da es sich bei der Oberflächensterilisation mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> um ein obligates Mittel bei der Keimfähigkeitsprüfung handelt (ISTA 1987) und Vorversuche mit einer 30minütigen Behandlung in H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> keinen negativen Einfluß auf das Keimverhalten der Sitkafichtensamen hatten, wurden die Kulturschalen der Wirksamkeitsprüfung gleichzeitig zur Bestimmung des Keimprozentes herangezogen. Die Endbonitur erfolgte nach 28 Tagen.

### 3.2.4 Elektronenbehandlung von Eicheln in einer Elektronenstrahlschweißanlage

Die Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1 erreicht eine maximale Eindringtiefe des Elektronenstrahls in das Perikarp von ca. 70  $\mu\text{m}$ . Um tiefer in der Samenschale wirken zu können, ist eine entsprechend höhere Beschleunigungsspannung erforderlich. Aus diesem Grund wurden weitergehende Versuche zur Behandlung von Eicheln mit einer Elektronenstrahl-

schweißanlage (Typ: ESA 50/150 CNC) der SMI Strömungsmaschinen-Industrietechnik GmbH Pirna mit einer maximalen Beschleunigungsspannung von 150 kV durchgeführt, die bei einer Dichte von  $\rho=1$  eine Eindringtiefe von 282  $\mu\text{m}$  ermöglicht. Um diese Anlage nutzen zu können, mußte eine Konstruktion zur Aufnahme des Saatgutes gebaut werden, die gewährleistete, daß der Elektronenstrahl möglichst allseitig mit gleicher Dosis in der Samenschale wirkt. Darüber hinaus mußte eine Strahlablenkung konstruiert werden, die ein genügend großes Behandlungsfeld aufscannt und im weiteren auch die Dosis beeinflussen konnte.

### 3.2.4.1 Modifizierung der ESA 50/150 CNC zur Saatgutbehandlung

Die Elektronenstrahlschweißanlage besteht aus einer horizontal angeordneten zylindrischen Behandlungskammer, an der die Elektronenkanone mit vertikaler Strahlaustrittsrichtung angeflanscht ist. In der Behandlungskammer befindet sich ein in Achsrichtung der Kammer verfahrbarer Tisch. Auf dem Tisch ist eine Drehvorrichtung mit ebenfalls achsparalleler Spindel montiert, die mit dem Tisch in Achsrichtung verfahren werden kann. Entsprechend der Zweckbestimmung der Anlage ist die installierte Strahlablenkung auf kleine Strahlablenkwinkel begrenzt. Die Beschickung der Anlage ist nur bei belüfteter Behandlungskammer möglich.

Um die Elektronenstrahlschweißanlage zur versuchsmäßigen Elektronenbehandlung von Saatgut nutzbar zu machen, wurde unmittelbar unter der Elektronenkanone eine zusätzliche Weitwinkel-Ablenkeinheit montiert, die es gestattete, den Elektronenstrahl in einem Zeilenraster mit Zeilenrichtung senkrecht zur Achsrichtung der Behandlungskammer mit zur Saatgutbehandlung ausreichender Amplitude zu scannen. Über einer der Ablenkeinheit angeordnete Schlitzblende wurde ein Teil des Rasters ausgeblendet. Diese Maßnahme wurde getroffen, um die zur Elektronenbehandlung von Saatgut erforderlichen kleinen Effektivwerte des Strahlstromes überhaupt realisieren zu können.

Das Saatgut wurde in eine für den Elektronenstrahl transparente Trommel gegeben, die im Spannfutter der Drehspindel aufgenommen wurde. Jede Saatgutcharge in der Trommel wurde 20 mal ohne Trommelrotation mit 4 cm/s Verfahrensgeschwindigkeit durch das Elektronenstrahlungsfeld gefahren. Zwischen jedem Durchlauf wurde die Trommel gedreht und damit das Saatgut erneut durchmischt, um mit genügender statischer Sicherheit jedes Oberflächenelement der Samen der Elektroneneinwirkung auszusetzen. Zur Elektronenbehandlung waren die Samen ca. 25 Minuten Vakuumbedingungen ausgesetzt.

### 3.2.4.2 Erstellung einer Behandlungstrommel und Rotationsversuche

Es wurde eine Trommel konstruiert ( $\varnothing$ : 45 cm; Breite: 28,5 cm), deren Seitenplatten mit drei Stegen (Breite: 2,5 cm) gehalten wurden. Über diese Stege wurde ein Edelstahlrahtgeflecht (Draht $\varnothing$ : 0,5 mm) mit einer Maschenweite von 4 mm<sup>2</sup> so gespannt, daß es den Rundungen der Seitenplatten folgte und möglichst wenig Unebenheiten aufwies. Eine Seitenplatte wurde mit einer zentrierten Welle versehen und einer Vorrichtung, um in der ESA in einer Spindel eingespannt zu werden. In der anderen Seitenplatte wurde eine Öffnung zum Befüllen und Entnehmen des Saatgutes gelassen und mit einer Verschlussmöglichkeit versehen. Vorversuche ergaben, daß 100 Stieleicheln oder 150 Traubeneicheln in der Trommel so nebeneinander lagen, daß eine gegenseitige Verdeckung weitgehend ausgeschlossen werden konnte. Die nötige Durchmischung der Eicheln wurde durch drei jeweils nach einem Drittel des Trommelumfangs angeordneten Schraubenreihen (Schraubenabstand:  $\approx$ 3,6 cm), deren Gewinde in die Trommel ragte, erreicht. Bei jeder Trommelumdrehung wurden die Eicheln vollständig vermischt. Um zu überprüfen, ob die Durchmischung dazu führte, daß jede Seite der Eichel



gleich häufig in Richtung Elektronenstrahl liegt, wurden 50 Eicheln auf einem viertel der Oberfläche in Längsrichtung farbig markiert und in die Trommel gegeben. Für die Auswertung wurde vorausgesetzt, daß jede Seite einer Eichel gleich häufig sichtbar ist. Damit ist die Wahrscheinlichkeit  $p(E)$  gleich der Anzahl der günstigen Ausfälle  $g$  (Farbe oben) geteilt durch die Anzahl der möglichen Ausfälle  $m$  (vier Seiten) (SACHS 1992). Die theoretische Häufigkeitsverteilung pro Farbe und Durchgang liegt damit bei  $p = 0,25$ . Es wurden 20 Einzelumdrehungen der Trommel durchgeführt (eine Umdrehung =  $12 \text{ min}^{-1}$ ). Nach jeder Trommelumdrehung wurde die Häufigkeit der Farbmarkierungen, die in Richtung des Elektronenstrahls ausgerichtet waren, aufgenommen.

### 3.2.4.3 Elektronenbehandlung von Eicheln

Die Behandlung der Eicheln in der Elektronenstrahlschweißanlage erfolgte mit folgenden Parametern: Beschleunigungsspannung 150 kV, Strahlstrom 1 mA. Eine Beschleunigungsspannung von 150 kV ermöglicht ein  $280 \mu\text{m}$  tiefes Eindringen des Elektronenstrahles in das Perikarp. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Dosis jedoch ab. Um in einem möglichst großen Bereich der Dositiefenverteilung (Abb. 9) noch Dosiswerte zu erhalten, die den Letaldosen für Pilze entsprechen, wurde die Oberflächendosis entsprechend hoch gewählt. Es wurden daher Dosiswerte von 28 kGy und 42 kGy festgelegt.

Es wurden lediglich die Mengen, die für eine anschließende Untersuchung gebraucht wurden behandelt; das waren jeweils 200 Eicheln für einen Keimtest und 50 Eicheln für eine mykologische Untersuchung. Die Varianten sind in Tab. 14 aufgelistet. Da die pro Variante benötigte Gesamtmenge von 250 Eicheln nicht auf einmal behandelt werden konnte (siehe oben), wurden mehrere Wiederholungen mit gleichen Behandlungsparametern durchgeführt. Die Gesamtbehandlungsdauer überschritt die Werte der WESENITZ 1 und auch die der Vorversuche an der Elektronenstrahlschweißanlage TEA (Vakuumversuche), dementsprechend lagen keine Erfahrung über den Einfluß eines derartig langen Aufenthaltes von Eicheln in einem Vakuum vor. Zur Überprüfung wurde deshalb eine Variante nur mit Vakuum durchgeführt.

Tab. 14: Varianten der Elektronenbehandlung von Eicheln mit einer 150 kV Elektronenstrahlschweißanlage.

Baumart	Dosis	Menge
Traubeneiche ohne Thermotherapie	→ nur Vakuum	→ 250 Stück
Traubeneiche ohne Thermotherapie	→ 28 kGy und 42 kGy	→ Je 250 Stück
Stieleiche ohne Thermotherapie	→ 28 kGy und 42 kGy	→ Je 250 Stück

Die Keimtests erfolgten analog der ISTA-Vorschriften. Die mykologischen Untersuchungen wurden entsprechend Kap. 3.1.5 an je einem Impfstück aus der Perikarpmittle und der Perikarpspitze durchgeführt.

### 3.3 Mikrowellenbehandlung von Eichensaatgut

#### 3.3.1 Konstruktion der Mikrowellenanlage zur Saatgutbehandlung

Die Basiselemente einer Mikrowellenanlage setzen sich aus den Komponenten Spannungsversorgung, Magnetron, Hohlleiter und Behandlungsraum zusammen (Abb. 20).

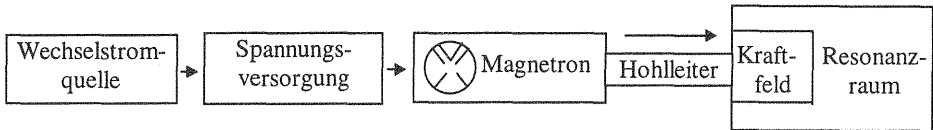


Abb. 20: Grundlegende Elemente einer Mikrowellenanlage nach GERLING (1987)  
(→ : Primärer Energiefluß).

Grundlage der Mikrowellenversuchsanlage im Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen bildet das Gehäuse einer handelsüblichen Haushaltsmikrowelle. Die technische Ausstattung einer Haushaltsmikrowelle hat jedoch den Nachteil, daß die Feldstärke des Mikrowellenfeldes im Garraum großen Schwankungen unterliegt und daher keine gleichmäßigen, reproduzierbaren Behandlungen ermöglicht. Darüber hinaus bereitet die Meßtechnik einer Haushaltsmikrowelle große Probleme, eine reproduzierbare Behandlung zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurden alle jene Elemente, die die Hochfrequenzerzeugung, die Wellenleitung sowie die Meß- und Dokumentationstechnik beeinflussen auf den speziellen Bereich der Saatgutbehandlung abgestimmt und ersetzt. Die Versuchsanlage wurde bereits seit mehreren Jahren für die Behandlung von landwirtschaftlichem Saatgut und zur Gewürzentkeimung genutzt (v. HÖRSTEN 1994).

Der Anlagenaufbau sowie die Einzelparameter der Meßgrößen, der Prozeßführung und der Prozeßüberwachung sind in Abb. 21 schematisch dargestellt. Die anlagentechnischen Angaben, auf die im folgenden eingegangen wird, sind v. HÖRSTENS Ausführungen (1994) entnommen, soweit sie für das Verständnis der vorliegenden Untersuchungen nötig sind.

Es wurde für die vorliegende Arbeit auf detaillierte Angaben verzichtet, da die Überprüfung der Anwendbarkeit von Mikrowellen als phytosanitäre Maßnahme bei dem rekalkitranen Saatgut der Eiche im Vordergrund der Arbeiten stand. Im Gegensatz zur Elektronenbehandlung wurden vom Autor keine technische Entwicklungen an der Versuchsanlage durchgeführt, so daß für entsprechende technische Details wie Feldstärkenverteilung etc. auf die Arbeiten anderer Autoren verwiesen wird: MUDGETT (1982, 1986), DECAREAU (1985), GERLING (1987), HEINDL (1992), v. HÖRSTEN (1994).

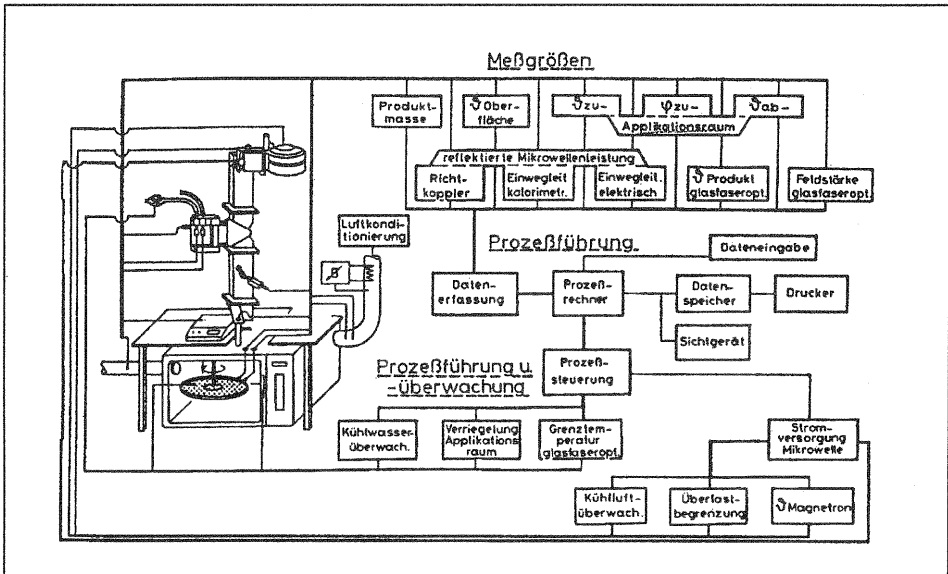


Abb. 21: Die Mikrowellenversuchsanlage im Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen nach LÜCKE (1992).

Die Steuerung der Leistung der Mikrowellenanlage (stufenlos zwischen 120 W und 1200 W) erfolgt durch die Regelung des Anodenstroms, der in der Versuchsanlage durch eine spezielle Regelung konstant gehalten werden kann. Derartige sog. „Dauerstrichmagnetrons mit konstantem Anodenstrom“ ermöglichen die geforderte gleichmäßige und reproduzierbare Leistung.

Innerhalb des Garraumes befindet sich ein aus Teflon gefertigter Probenteller, der mit einer Drehvorrichtung gekoppelt ist. Dieser Teller kann in der Drehzahl stufenlos gesteuert, in der Höhe variiert und während des Betriebes an eine Waage angehängt werden. Bei Benutzung eines durch eine Drehkupplung mit dem Teflonteller verbundenen Temperaturfühlers, mit dem während der Behandlung die Temperatur im Inneren einer Eichel gemessen werden kann, ist der Waagenbetrieb nicht möglich. Zusätzlich zur Mikrowellenbehandlung besteht die Möglichkeit die Atmosphäre im Garraum durch die Zuführung von Wasserdampf oder die aktive Zu- und Abführung von Luft zu verändern. Die Außenwände des Garraumes können mit Heißluft umströmt werden, um Wärmeverluste des Behandlungsgutes an die Garraumwand zu reduzieren.

Die Mikrowellenanlage ist mit einem Prozeßrechner verbunden, der unter Einbeziehung der aufgenommenen Meßdaten die Spannungsversorgung des Magnetrons regelt und die Möglichkeit bietet, alle Meßdaten aufzuzeichnen und teilweise parallel zur Behandlung auf einem Bildschirm zu dokumentieren.

### Temperaturmessung

Für die Mikrowellenversuche wurde als Grundlage eine Behandlungstemperatur von 41 °C gewählt. Dieser Wert ist aus der Bekämpfung des Pilzes *Ciboria batschiana* bekannt und bietet die Gewähr, keine phytotoxischen Auswirkungen auf die Eichel zu haben. Für andere Pilze an Eichensaatgut ist dieser Letalwert nicht bekannt.

Der Temperatursteuerung im bzw. am Saatgut kommt während der gesamten Behandlungsdauer eine wichtige Bedeutung zu. Um Hitzeschäden am Saatgut zu verhindern, erfolgt die Prozeßsteuerung über die Messung der Oberflächentemperatur des Saatgutes während der Mikrowellenbehandlung. Die Temperaturmessung geschah mittels berührungsloser Infrarotmeßtechnik, da Meßeinrichtungen i.d.R. Metallbestandteile enthalten und somit während einer Mikrowellenbehandlung nicht einsetzbar sind, ohne Anlagenschäden zu erzeugen. Die Temperatur der Zielfläche (Meßfelddurchmesser 30 mm) erfolgte mit einem Strahlungsthermometer durch eine Öffnung auf der Oberseite des Gehäuses. Vor jeder Behandlung wurde der Temperaturfühler kalibriert. Der Nachteil dieser Meßmethode besteht darin, daß lediglich Aussagen über die Oberflächentemperatur gemacht werden können. Angaben über den Temperaturverlauf (Mikrowellen wirken von innen heraus) im Inneren des Saatgutes können nicht erfolgen. Dies ist allerdings besonders bei feuchten Samen wie der Eichel (m.c.>40 %) von großem Interesse.

Diese Forderung konnte erst für die dritte Untersuchungsphase mit einem Gerät zur faseroptischen Temperaturmessung realisiert werden (Fa. Luxtron, Meßgenauigkeit bei  $\pm 50$  °C: um den Kalibrierpunkt 0,5 °C, am Kalibrierpunkt 0,1 °C, Ansprechzeit 0,5 s bis 4 s). Mittels Drehkupplung wurde eine Verbindung mit dem Behandlungsteller hergestellt und mit einem flexiblen Meßfühler, der in eine Eichel gesteckt wurde, der Temperaturverlauf innerhalb einer Eichel über die gesamte Behandlungszeit dokumentiert. Aufgrund des geringen Durchmessers der Fühlerspitze ( $\varnothing$  1 mm) konnte davon ausgegangen werden, daß kein Einfluß auf die Temperatur des Saatgutes stattfindet.

Für die nachfolgend beschriebenen Versuche wurden folgende Meßdaten dokumentiert:

- Oberflächentemperatur in Abhängigkeit der Zeit (gleichzeitig leistungsbestimmende Größe für die Regulierung des Magnetrons)
- Zeit von Behandlungsbeginn bis zum Erreichen der Oberflächenzieltemperatur
- Anfangsleistung (Watt)
- Wassergehalt des Saatgutes
- Gewicht des Saatgutes vor und nach der Behandlung (mit Ausnahme der Dampfvarianten)
- Behandlungsdauer
- Garraumatmosphäre (Dampf, Abluft, Wandheizung)

Aus den Untersuchungen zur Thermotherapie hat sich der Temperaturwert von 41 °C mit einer Einwirkzeit über zwei Stunden als hinreichend wirksam gegen *Ciboria batschiana* ohne Keimschädigung am Saatgut erwiesen, wobei in der Praxis Temperaturen zwischen 39 °C und 41 °C realisiert werden. Dieser Temperaturbereich war Ausgangspunkt für die erste Versuchsreihe. Dabei wurden sowohl Temperaturen unter als auch über dem 40 °C-Wert aus der Thermotherapie genutzt, da die Dauer mit 5 min wesentlich geringer war und es zu klären galt, ob bereits die kurzzeitige Einwirkung von Temperaturen über 40 °C zu Schäden am Saatgut führen würde.

### 3.3.2 Variation der Oberflächentemperatur

Im ersten Variantenkomplex sollte der Einfluß unterschiedlicher Mikrowellenleistung sowie die Kombination mit Abluft oder der Zufuhr von Dampf bei gleicher Behandlungsdauer (5 Minuten) und vorgegebener maximaler Oberflächentemperatur auf die phytosanitäre Wir-

kung sowie das Keimverhalten auf Eicheln untersucht werden. Die Zeitnahme erfolgte ab dem Zeitpunkt, an dem die vorgegebene Oberflächentemperatur erstmals erreicht wurde. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde die definierte Mikrowellenleistung verwendet. Der entsprechende Wert wird durch den Begriff „Anfangsleistung“ charakterisiert. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Oberflächentemperatur konstant gehalten, wobei zur Aufrechterhaltung dieses Wertes nicht kontinuierlich Mikrowellenleistung appliziert wurde, sondern zeitweise keine oder nur eine verringerte Mikrowellenleistung. Die für diese Fragestellung untersuchten Varianten sind in Tab. 15 aufgeführt.

Tab. 15: Behandlungsvarianten von je 400 g Stieleicheln mit Mikrowellen mit unterschiedlicher Anfangsleistung sowie den Parametern Abluft oder Dampf bei gleichbleibender Behandlungsdauer von 5 Minuten.

Stieleicheln Anzahl bei ≈ 400 g	Behandlungsparameter	
	Oberflächentemperatur in °C	Anfangsleistung/Zusatzbehandlung
81		Kontrolle
83	40 °C	300 Watt
86	45 °C	600 Watt
80	35 °C	1200 Watt
83	40 °C	1200 Watt
85	45 °C	1200 Watt / Abluft
80	50 °C	1200 Watt / Abluft
77	55 °C	1200 Watt / Abluft
85	60 °C	1200 Watt / Abluft
80	35 °C	300 Watt / Dampf
85	40 °C	300 Watt / Dampf
87	45 °C	450 Watt / Dampf
75	50 °C	450 Watt / Dampf
81	55 °C	450 Watt / Dampf
85	60 °C	450 Watt / Dampf

Zur Überprüfung der Wirksamkeit dieser Mikrowellenbehandlungen wurde an 20 Eicheln eine mykologische Untersuchung durchgeführt, wobei jeder Eichel ein Impfstück aus der Perikarpmittte und den Kotyledonen entnommen wurde (s. Kap. 3.1.5). Als Wirksamkeitskriterium wurde der Wirkungsgrad gegen Pilze herangezogen. Die verbleibenden Eicheln wurden einem Keimtest zugeführt.

### 3.3.3 Variation der Behandlungszeiten

Nach der Auswertung der ersten Versuchsreihe wurde der Einfluß unterschiedlich langer Behandlungszeiten (5 min bis 60 min) bei gleicher Anfangsleistung (300 Watt) und gleicher maximaler Oberflächentemperatur (40 °C) bei Traubeneicheln untersucht. Die Behandlungsvariante mit Zuführung von Dampf wurde nicht mehr durchgeführt. Der Baumartwechsel wurde durchgeführt, da die vorhandenen Traubeneicheln deutlich kleiner waren als die Stieleicheln und somit mehr Material pro Probenteller und Versuchsdurchlauf zur Verifizierung

der Ergebnisse zur Verfügung stand. Darüber hinaus sind Traubeneicheln weniger tolerant gegen Temperaturextreme, so daß ein Verfahren, welches keine Schäden an Traubeneicheln-Saatgut hervorruft, leichter auf Stieleicheln übertragen werden kann als das umgekehrt der Fall sein würde. Die Behandlungskollektive der zweiten Versuchsreihe sind in Tab. 16 dargestellt.

Tab. 16: Behandlungsvarianten von je 250 g Traubeneicheln mit Mikrowellen mit unterschiedlicher Behandlungsdauer sowie den Parametern Abluft bei gleichbleibender maximaler Oberflächentemperatur von 40 °C und gleicher Anfangsleistung (300 Watt).

Traubeneicheln Anzahl bei ~ 250 g	Behandlungsparameter	
	Behandlungsdauer in Minuten	Anfangsleistung/Zusatzbehandlung
123		Kontrolle
122	5 min	300 Watt
120	10 min	300 Watt
119	30 min	300 Watt
143	60 min	300 Watt
121	5 min	300 Watt / 15 % Abluft
121	10 min	300 Watt / 15 % Abluft
123	30 min	300 Watt / 15 % Abluft

Die Wirksamkeit der Mikrowellenbehandlung wurde quantitativ und qualitativ anhand des Pilzbefalls an jeweils 20 Eicheln überprüft. Zusätzlich zur Bonitur der Sterilrate wurde das Artenspektrum bestimmt. Die verbleibenden Eicheln wurden einem Keimtest unterzogen.

### 3.3.4 Messung der Eichelinnentemperatur

Für die folgenden Versuche sollte möglichst voll keimfähiges Versuchsmaterial zur Verfügung stehen. Deshalb erfolgte, im Gegensatz zu den Behandlungen I und II, vor der Behandlung eine manuelle Auslese der Eicheln, die offensichtlich nicht mehr keimen würden, da die Behandlung Ende Juli 1997 erfolgte und bereits zu erkennen war, daß durch starken Pilzbefall mit mehr als 50 % Keimreduktion gerechnet werden mußte. In der dritten Versuchsserie wurde neben zwei Anfangsleistungen eine neue Zusatzvariante in Form einer Aufheizung der Garraumaußenwände gleichzeitig zur Mikrowellenbehandlung durchgeführt (Tab. 17).

Tab. 17: Behandlungsvarianten von je 250 g Traubeneicheln mit Mikrowellen mit unterschiedlicher Anfangsleistung sowie dem Parameter „beheizte Wände“ bei gleichbleibender maximaler Oberflächentemperatur von 40 °C und gleicher Behandlungsdauer (10 min).

Traubeneicheln Anzahl bei ≈ 250 g	Behandlungsparameter	
	Temperatur / Zeit	Anfangsleistung/Zusatzbehandlung
133		Kontrolle
139	40 °C / 10 min	150 Watt
142	40 °C / 10 min	300 Watt
143	40 °C / 10 min	150 Watt / beheizte Wände
141	40 °C / 10 min	300 Watt / beheizte Wände

Durch eine Anlagenmodifizierung war es nun möglich, exemplarisch für eine Eichel die Innentemperatur mittels eines faseroptischen Temperaturfühlers mit Einstechfühler zu dokumentieren.

Zusätzlich sollte am Ende der Behandlung die Temperatur im Inneren von 20 Eicheln gemessen werden. Dazu standen vier der o.a. faseroptischen Temperaturmesser zur Verfügung. Um die Fühler nicht zu beschädigen, wurde das Einsteckloch mit einem Draht vorgestochen. Die Messung wurde mit 5 Personen durchgeführt, um die Dauer zwischen Behandlungsende und Temperaturmessung gering zu halten und damit den Temperaturverlust zu reduzieren. Die für diese Untersuchung benötigten Eicheln wurden vor der Behandlung einzeln nummeriert und gewogen. Nach der Behandlung und Temperaturmessung erfolgte ein erneutes Wiegen, das Vermessen der Länge und maximalen Breite sowie die Bestimmung des Feuchtegehaltes. Durch Aufnahme dieser Merkmale sollte geklärt werden, ob die gemessene Temperatur in einem Zusammenhang zu den ermittelten Werten steht.

### 3.4 Künstliche Frosthärteinduktion bei Eichensaatgut

Eine phytosanitäre Behandlung wie beispielsweise in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, ist die Grundlage für eine erfolgreiche Lagerung. Jedoch kann die Qualität des Eichensaatgutes während der Lagerzeit nur dann aufrecht erhalten werden, wenn wenig Reservestoffe durch entsprechend herabgesetzte Stoffwechselprozesse verbraucht werden. Darüber hinaus muß der Schutz vor einer sekundären Infektion mit Mikropilzen gegeben sein. Diese Anforderungen lassen sich bei rekalzitranten Samen wie der Eichel nur über die Lagertemperatur erreichen.

#### 3.4.1 Frosthärtung mit Wechseltemperaturen im Winter 1994/95

Auf Grundlage der Ergebnisse von GUTHKE (1992) und WINTJES (1993) sollte im Winter des Jahres 1994/95 die erste Umsetzung des Verfahrens einer künstlichen Frosthärteinduktion bei Eichensaatgut in die Praxis mit über 200 kg Eichensaatgut erfolgen. Die Frosthärte sollte entsprechend der Laborerfahrungen mit Wechseltemperaturen induziert werden, mit dem Ziel, daß Eicheln eine Temperatur von -6 °C tolerieren können.

### **Vorbehandlung bis zum Versuchsansatz**

Bis zu Beginn der Abhärtung am 31.01.1995 lagerte das Saatgut in Tonnen in einem Container bei -3 °C.

### **Steuerung der Klimazelle**

Für diese Härtungsversuche wurde in der Landesforstbaumschule des Landes Sachsen-Anhalt eine Klimakammer (Fa. Kälte & Klima, Magdeburg) mit einem Lagervolumen von 6,125 m<sup>3</sup> installiert. Um während der gesamten Versuchsdauer eine Raumfeuchte von über 90 % zu gewährleisten, wurde die Kammer mit einem Dampf-Luftbefeuchter (Fa.: condair, Typ: LS 2608) ausgestattet. Dieses Gerät ermöglichte die Befeuchtung der Luft auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt. Die Forderung nach hoher Luftfeuchte führte dazu, daß das Dampfgerät oft arbeiten mußte. Das wiederum bedeutete, daß die Temperatur durch den eingblasenen Dampf erhöht wurde und eine erhöhte Aktivität des Kälteaggregates bewirkte. Als Folge war ein erhöhter Energieaufwand zu verzeichnen sowie eine langsame aber stetige Vereisung der Klimakammer und des Dampfgerätes. Für die vorliegende Untersuchungsdauer konnte dieser Umstand toleriert werden. Die Eicheln wurden ebenfalls mit einem Rauhref ähnlichen Eiskristallmantel überzogen. Ein negativer Einfluß auf die Keimfähigkeit konnte allerdings ausgeschlossen werden. Im Dauereinsatz wird dem Phänomen der Kammervereisung derzeit dadurch begegnet, daß die Luftfeuchte auf 80 % bis 85 % abgesenkt wird (SCHUMANN 1997, pers. Mitteilung).

Die Anlagensteuerung erfolgte über einen programmierbaren Computer, in den die Temperaturen und die Dauer eingegeben wurden.

Vor Versuchsbeginn wurde der Kühlraum mit 70 %igem Ethanol desinfiziert. Zusätzlich wurde 48 Stunden lang starke UV-Strahlung (Hanau-Lampen, Fa. Heraeus, Typ 5015, 50 Hz, 30 W) appliziert. Die Einlagerung des Saatgutes erfolgte in Normkisten, die ebenfalls mit 70 %igem Ethanol desinfiziert wurden.

### **Lagervarianten**

Die Frosthärte sollte mittels 12stündiger Temperaturschwankungen mit einer Amplitude von 5 °C induziert werden. Aufgrund der Erfahrungen von GUTHKE (1992) mit einem negativen Einfluß von Mikropilzen bezüglich des Keimerfolges im Temperaturbereich 0 °C / +5 °C sollte in den vorliegenden Versuchen die Temperatur nach jeweils 21 Tagen, unter Beibehaltung des 5 °C-Wechsels, kontinuierlich gesenkt werden. Den Temperaturverlauf gibt Abb. 22 wieder.



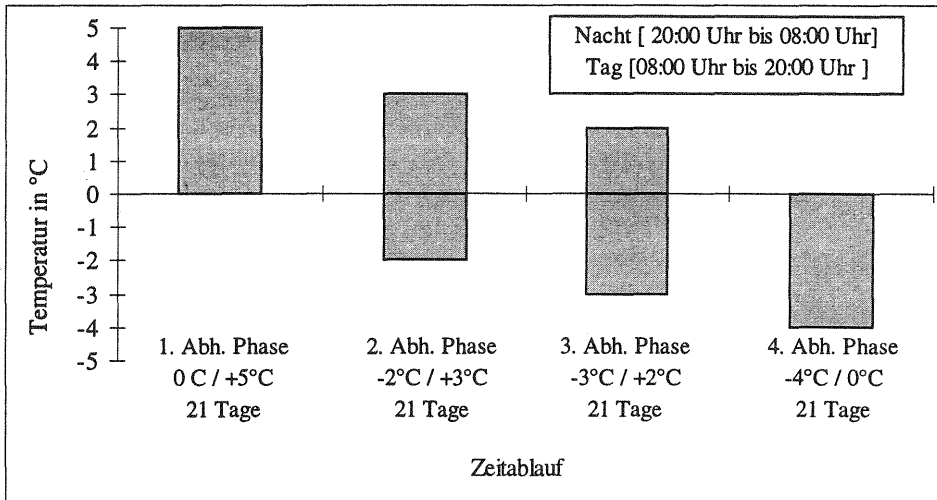


Abb. 22: Temperaturverlauf während der Frosthärteinduktion in Eicheln mit Tages-Wechseltemperaturen (12stündiger Wechsel für je 21 Tage).

Der Erfolg einer erhöhten Frosttoleranz sollte, analog den Untersuchungen von GUTHKE, mit Frosthärtetests überprüft werden. Dazu wurden je 200 Eicheln nach jeder Abhärtungsphase in einem Kühlschrank bei  $-6^{\circ}\text{C}$  für 21 Tage eingefroren und danach einem Keimtest unterzogen. Dieser Frosthärtetest wurde ebenso mit dem Ausgangsmaterial zu Beginn der Abhärtung und mit Eicheln, die unter herkömmlichen Lagerungsbedingungen ( $-3^{\circ}\text{C}$  in Tonnen) gelagert wurden, durchgeführt.

### 3.4.2 Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1995/1996

Die Versuche mit der Kühlzelle in der Landesforstbaumschule Sachsen-Anhalt hatten gezeigt, daß eine exakte Temperatursteuerung nur schwer umzusetzen ist. Nach Auswertung der Versuche, eine Frosthärte mit Wechseltemperaturen zu erzeugen, wurde ein anderer Weg beschritten. Es wurde vermutet, daß eine Gewöhnung an tiefere Temperaturen auch mit kontinuierlicher Temperatursenkung erreicht werden könnte.

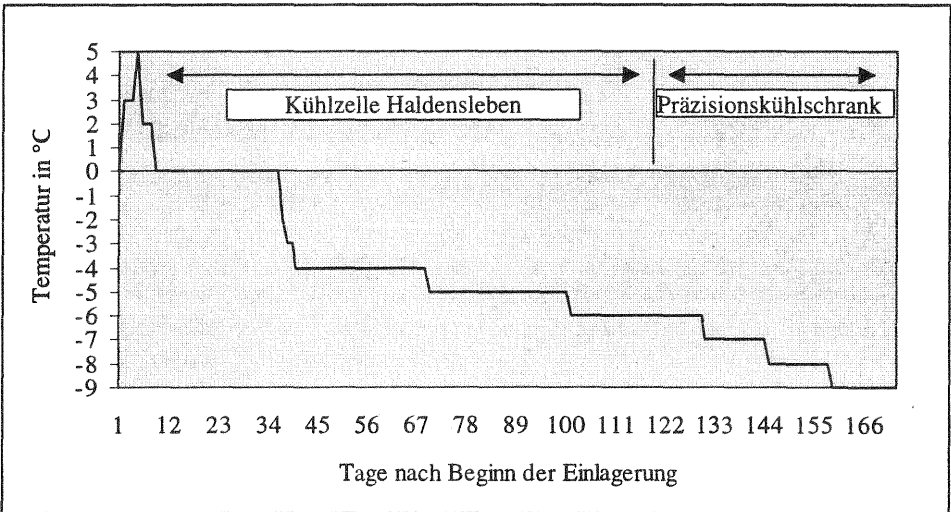
Da in den folgenden Versuchen lediglich kleine Saatgutmengen zur Verwendung kamen, wurden Kühlschränke auf der Basis herkömmlicher Haushaltsgefrierschränke (Fa. Liebherr, Typ: LSN 2006-11) nach speziellen Anforderungen umgebaut (Fa. Wiese Göttingen):

- Eine Austrocknung der Eicheln durch gekühlte Umluft sollte verhindert werden. Dazu wurde die Luftumwälzung so weit herabgesetzt, daß eine gleichmäßige Temperatur im Kühlschrank gewährleistet werden konnte, ohne das Saatgut durch Verdunstung zu stark auszutrocknen. Um diesen Effekt zusätzlich zu minimieren, wurde ein Verdampfer installiert.
- Die Temperatur sollte von  $+10^{\circ}\text{C}$  bis  $-10^{\circ}\text{C}$  stufenlos mit einer Abweichung von maximal  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  geregelt werden können.
- Die Temperaturregelung erfolgte mittels Präzisionssteuerung (Fa. Carel, Serie IR32). Die Ist-Temperatur war mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  in einem Display ablesbar.

### Saatgut ohne Sortierung

Die Untersuchung der Frosthärteinduktion an unsortierten Eicheln erfolgte bis zu einer Temperatur von  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  unter Praxisbedingungen in der Kühlzelle der Landesforstbaumschule des Landes Sachsen-Anhalt. Für die nachfolgenden Temperaturen bis zu  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurden die Eicheln in gelochte PE-Tüten verpackt und in einem Präzisionskühlschrank eingefroren. Der Temperaturverlauf dieses Versuches ist in Abb. 23 dargestellt.

Die Varianten (je 200 Eicheln) ohne Sortierung wurden bis zu einer Temperatur von  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  herabgekühlt. Die Kontrolle der Keimfähigkeit erfolgte nach Erreichen von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Der Versuch wurde im November 1995 angesetzt und dauerte insgesamt 172 Tage.



Temperatur in °C	+3	+5	+2	0	-2	-4	-5	-6	-7	-8	-9	Ende
Tage nach Einlagerung (Nov. '95)	1	4	5	8	36	39	69	100	130	144	158	172

Abb. 23: Temperaturverlauf der Abhärtung von Stiel- und Traubeneicheln ohne Sortierung. (Kühlzelle: Lagerung in Gitterboxen, da Zelle aktiv befeuchtbar; Präzisionskühlschrank: Lagerung in PE-Beuteln)

### Saatgut mit Sortierung

Zusätzlich zur Härtung von Eicheln aus der laufenden Lagerung wurden Stiel- und Traubeneicheln getrennt nach Größe (groß, klein), Vorbehandlung (mit oder ohne Thermo-therapie) und dem physiologischen Zustand (angekeimt, nicht angekeimt) betrachtet. Die Größensortierung erfolgte visuell in zwei Größenklassen. Als angekeimt wurden solche Eicheln gewertet, deren Radicula bereits sichtbar war. Nicht gekeimte Eicheln zeichneten sich durch geschlossenes Perikarp aus und werden daher im folgenden als geschlossen bezeichnet.

Als Charakterisierung der Größensortierung wurde das Tausendkorngewicht (TKG) bestimmt. Folgende Werte wurden ermittelt:

- TEi klein : TKG = 2449,35 g
- TEi groß : TKG = 4087,50 g
- SEi klein : TKG = 3913,75 g
- SEi groß : TKG = 5953,65 g

Die Frosthärtung begann im Januar 1996. Zu diesem Termin erfolgte auch die manuelle Sortierung nach den o.a. Kriterien. Bis zu diesem Zeitpunkt lagerten die Eicheln bei  $-3^{\circ}\text{C}$  in Tonnen. Die Stieleicheln waren zu Versuchsbeginn trocken und wiesen keinerlei oberflächliche Verpilzung auf. Die Traubeneicheln zeigten oberflächliche Eiskristallbildung, was auf „Schwitzen“ zu Beginn der Einlagerung hinweist, und waren zudem oberflächlich mit Pilzmyzel besetzt.

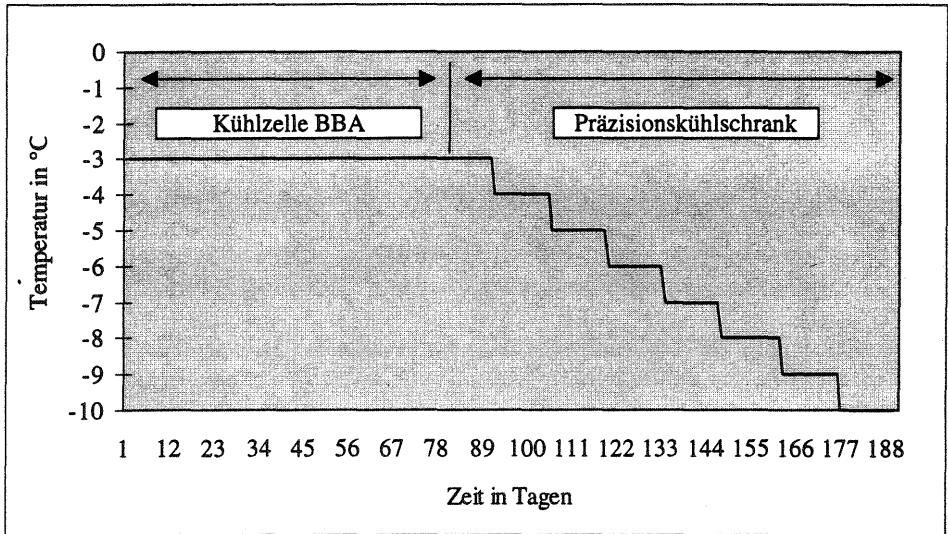
**Frosthärtevarianten und Temperaturverlauf bei sortierten Varianten**

Um den Effekt einer kontinuierlichen Temperaturabsenkung (Frosthärtung) im Gegensatz zu Wechseltemperaturen zu ermitteln, wurde für je eine Stiel- und Traubeneichelherkunft die Temperatur langsam von  $+3^{\circ}\text{C}$  auf  $-10^{\circ}\text{C}$  abgesenkt. Die Varianten der Untersuchungen mit Sortierung sind aus Tab. 18 ersichtlich, den Temperaturverlauf gibt Abb. 24 wieder.

Tab. 18: Varianten für Versuche zur Frosthärteinduktion in Eicheln der Stiel- (SEi) und Traubeneiche (TEi) unter Berücksichtigung der Vorbehandlung, des physiologischen Zustandes und der Größe (n = 100 Eicheln je Variante).

Baumart	Thermo- therapie	angkeimt/ geschlossen	Größe
SEi / TEi	ohne	angkeimt	groß
			klein
		geschlossen	groß
			klein
	mit	angkeimt	groß
			klein
		geschlossen	groß
			klein

} jeweils für Kontrolle,  $-5^{\circ}\text{C}$ ,  
 $-6^{\circ}\text{C}$ ,  $-7^{\circ}\text{C}$ ,  $-8^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ;  
d.h. nach jeder Temperaturstufe  
wurden die 8 entsprechenden  
Proben entnommen



Temperatur in °C	-3 °C	-4 °C	-5 °C	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	Ende
Tage nach Beginn der Einlagerung	1	91	105	119	133	147	162	176	190

Abb. 24: Temperaturverlauf der Abhärtung von Stiel- und Traubeneicheln sortiert nach Vorbehandlung, physiologischem Zustand und Größe. (Kühlzelle: Herkömmliche Lagerung in Tonnen bei -3 °C in einer Kühlzelle an der BBA; Präzisionskühlschrank: Frosthärtung in speziell gefertigtem Gefrierschank).

Je Temperaturstufe und Variante wurden 200 Eicheln in gelochte PE-Beutel verpackt. Insgesamt wurden 40 Proben Stieleicheln und 40 Proben Traubeneicheln eingefroren. Nach Durchlaufen jeder Temperaturstufe wurden die acht entsprechenden Proben entnommen.

Neben der Überprüfung der Keimfähigkeit wurde der Feuchteverlust bis zur -10 °C Temperaturstufe bonitiert.

### 3.4.3 Nachträgliche Frosthärtung im Sommer 1996

In einem weiteren Versuch sollte geklärt werden, ob Eicheln mit der Methode der kontinuierlichen Temperatursenkung eine Frosthärte lediglich im unmittelbaren Anschluß an die Ernte aufbauen können, oder ob dies auch noch zu einem späteren Zeitpunkt der Lagerung möglich ist. Dazu wurden Eicheln, die zuvor einer Thermoerapie unterzogen wurden, über neun Monate bei -3 °C gelagert und im Anschluß nach der Abfolge laut Tab. 19 mit Zeitintervallen von 14 Tagen in tiefere Temperaturen verbracht.

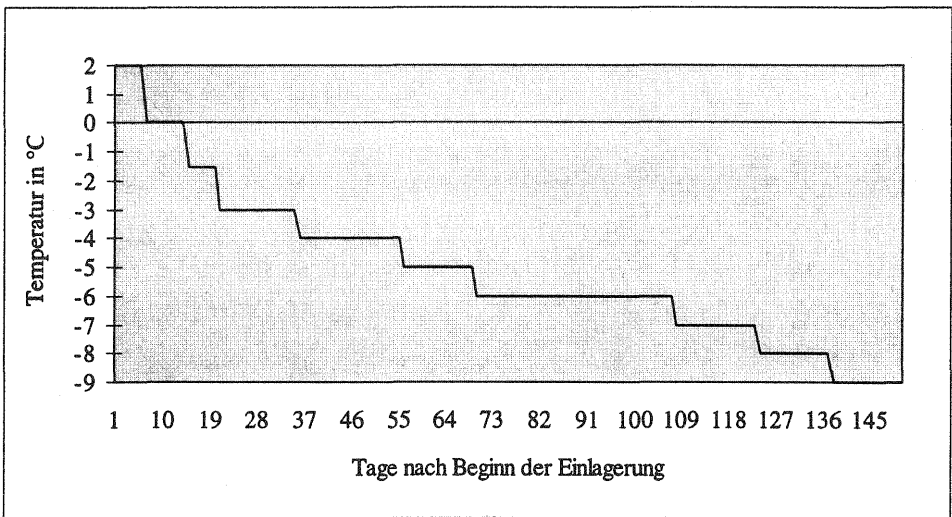
Tab. 19: Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Zeit. Abhärtungsversuch von thermotherapierten Stiel- und Traubeneicheln im Sommer 1996.

Temperatur in °C	-3 °C	-4 °C	-5 °C	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	Ende
Tage nach Einlagerung (Nov. '95)	1	232	246	260	274	288	302	316	330	344

Der Abhärtungserfolg wurde nach Erreichen der Temperaturstufen von -5 °C, -9 °C und -11 °C anhand von Keimtests bonitiert.

**3.4.4 Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1996/1997**

Im Winter 1996/97 erfolgte eine Wiederholung der Versuche des Vorwinters. Es wurden Stiel- und Traubeneicheln unsortiert und sortiert nach Vorbehandlung, physiologischem Zustand und Größe durch kontinuierliche Temperatursenkung an tiefere Temperaturen gewöhnt. Die Härtung erfolgte in Präzisionskühlschränken. Das Saatgut wurde dazu zu Beginn der Untersuchung zu je 100 Eicheln für die sortierten Varianten und zu je 200 Eicheln für die unsortierten Varianten in gelochte PE-Beutel verpackt. Der Beginn der Abhärtung erfolgte am 13. November, nach erfolgter Thermotherapie, mit einer Temperatur von +2 °C. Zu Beginn wurde eine rasche Absenkung der Lagertemperatur auf -3 °C angestrebt, die drei Wochen nach Beginn realisiert wurde. Der Temperaturgang sowohl für die sortierten als auch für die unsortierten Varianten vom Tag der Thermotherapie bis zum Versuchsende ist in Abb. 25 dargestellt.



Temperatur in °C	+2	0	-1,5	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	Ende
Tage nach Einlagerung (Nov. '96)	1	7	15	21	36	56	70	108	124	138	151

Abb. 25: Temperaturverlauf der Abhärtung (bis -3°C in Kühlzelle, ab -3°C in Präzisionskühlschrank) von Stiel- und Traubeneicheln sortiert nach Vorbehandlung, physiologischem Zustand und Größe. Zählung der Tage ab Thermotherapie am 13. Nov. 1996.

Nach den Temperaturstufen  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde der Feuchtegehalt der Eicheln in den unsortierten Kollektiven anhand von zwei mal zehn Eicheln bestimmt, um die Änderung des Wassergehaltes im Vergleich zum Ausgangsfeuchtegehalt zu dokumentieren.

Um zu kontrollieren, ob durch die kontinuierliche Temperatursenkung tatsächlich eine Frosthärte induziert werden konnte, wurden Eicheln aus der herkömmlichen  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  Tonnenlagerung (entsprechend der unsortierten Varianten) Mitte Februar für 14 Tage einer Temperatur von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt. Dieser Versuch wurde bewußt mit gelagertem Saatgut durchgeführt, da zum einen für frisches Saatgut aus der Literatur bekannt ist, daß derartig tiefe Temperaturen zu Keimreduktionen führen, zum anderen überprüft werden sollte, ob möglicherweise eine gleichmäßige Temperaturen von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  eine Frosthärte induzieren kann (vgl. Ergebnisse Frosthärtung mit Wechseltemperaturen 1994/95).

### **3.5 Zusammenfassende Logistik und Versuchsdurchführung**

Um einen Überblick über die zeitliche Abfolge der oben beschriebenen Versuche zu geben wurden diese in Abb. 26 als Fließdiagramm zusammenfassend dargestellt.

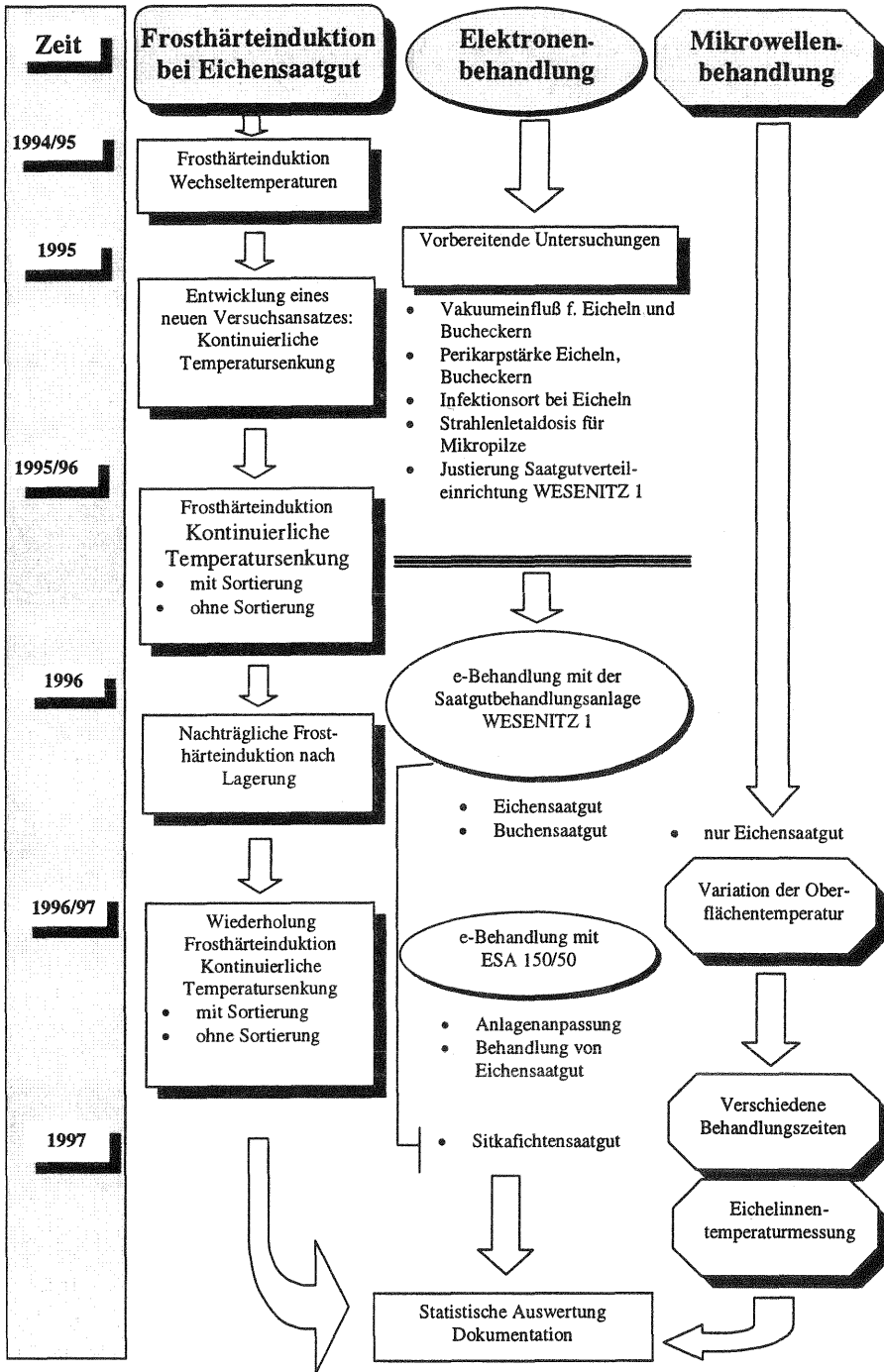


Abb. 26: Projektablauf mit Zeitfolge und Hauptuntersuchungsinhalten

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Voruntersuchungen zur Elektronenbehandlung von Forstsaatgut

#### 4.1.1 Pilzbefall an Eicheln am Baum und nach Bodenkontakt

Diese Untersuchung sollte klären, ob Eicheln bereits am Baum von Pilzen infiziert werden oder erst durch Bodenkontakt. Neben der quantitativen Auswertung der Sterilrate wurde das Pilzartenspektrum exemplarisch an den Abimpfungen aus der Perikarpmitte durchgeführt.

Das Perikarp der Eichelspitze war bereits Anfang September am Baum zu 96 % mit Pilzen besiedelt. Die Eichelmitte, die zu diesem Zeitpunkt bereits außerhalb des Fruchtschalenbechers lag, war dagegen nur zu 6 % und die noch von der Cupula bedeckte Eichelspitze zu 12 % mit Mikropilzen besiedelt. Die Kotyledonen wiesen in 14 % der Kulturen einen Pilzbefall auf. Drei Wochen später hatte sich die Pilzinfektion bereits drastisch erhöht. Die Perikarp-Spitze wies zu 98 %, die Perikarp-Mitte zu 46 %, die Perikarp-Basis zu 62 % und die Kotyledonen zu 44 % eine Kontamination von Mikropilzen auf. Zum Zeitpunkt des Fruchtfalls, Ende Oktober, in der Zeit, in der erfahrungsgemäß die „guten“ Eicheln fallen, waren auch bei den Eicheln, die noch am Baum hingen, alle Perikarpteile zwischen 96 % und 100 %, die Kotyledonen zu 86 % mit Pilzen infiziert. Jene Eicheln, die Mitte November zum Teil schon mehrere Wochen Bodenkontakt hatten, wiesen eine 100 %ige Pilzkontamination der Perikarpteile auf. Die Kotyledonen waren zu 88 % infiziert. Den Befallsverlauf von Eicheln mit Mikropilzen in den letzten sechs Wochen vor dem Fruchtfall und die Kontaminationshäufigkeit nach Bodenkontakt gibt Abb. 27 wieder.

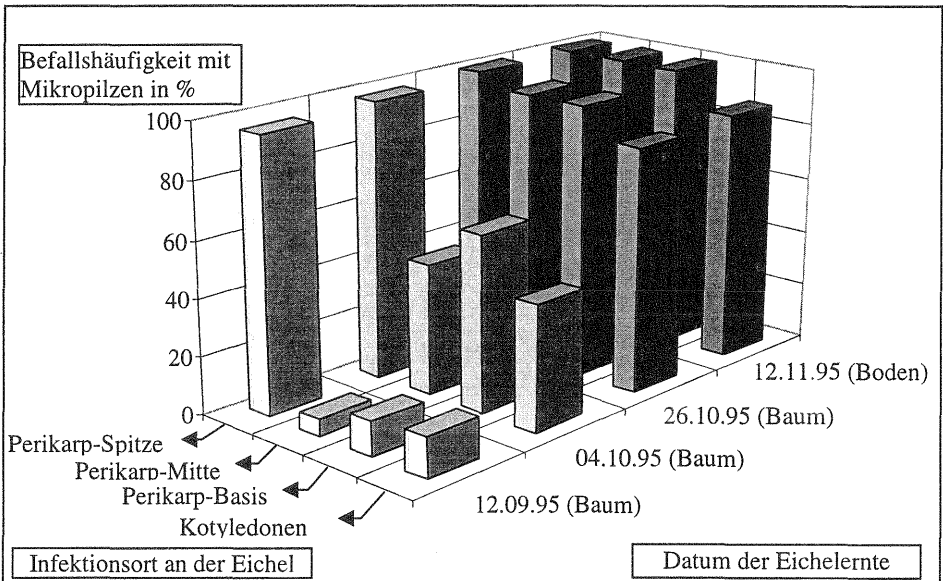


Abb. 27: Befall von Eicheln mit Mikropilzen während des Wachstums am Baum und nach Bodenkontakt (n=50 je Infektionsort und Datum).



Neben der zahlenmäßigen Erfassung einer Pilzinfektion von Eicheln kommt dem Artenspektrum eine wichtige Rolle zu. In der vorliegenden Untersuchung konnte ein geringer Befall mit *Ciboria batschiana* erst im November, nach Bodenkontakt der Eicheln, nachgewiesen werden. Andere Arten, die unter bestimmten Umständen sekundär pathogen wirken können, nehmen allerdings einen vergleichbar höheren Stellenwert ein, daher wurde das Pilzspektrum der Perikarpmitte über die vier Erntetermine hin untersucht. Die Ergebnisse sind in Tab. 20 aufgeführt.

Die Bilder 1-1 und 1-6 der Bildtafel 1 (Seite 216) verdeutlichen die Identifikationsmerkmale des primärpathogenen Pilzes *Ciboria batschiana* an Eichensaatgut. Die Apothecien des Pilzes sind im Oktober an Eicheln zu finden, die aus dem Vorjahr stammen und vollkommen mumifiziert sind (Bildtafel 1, Bilder 1-1 und 1-2). Das Auffinden solcher Eicheln im Erntebestand ist der sichere Hinweis, daß die frische Eichelpartie aus diesem Bestand mit *Ciboria batschiana* infiziert ist. Das Bild 1-1 der Bildtafel 1 verdeutlicht jedoch die Schwierigkeit, alte Eicheln aus dem Vorjahr zu finden. Die Samen sind teilweise vollständig in die Mullschicht eingearbeitet. Dies ist um so ausgeprägter, je besser der Boden und je höher die Zersetzungsrates der Humusaufgabe ist. Mehr oder weniger vollständige mumifizierte Eicheln (Bildtafel 1, Bild 1-2) sind unter Laub, trockenem Gras und in feuchteren Bodenvertiefungen zu finden. Die Bilder 1-3 bis 1-5 der Bildtafel 1 zeigen einen Querschnitt durch ein Apothecium sowie Mikroskopabbildungen der Asci und Ascosporen. Um einen Befall einer Partie mit *Ciboria batschiana* im Erntejahr sicher zu diagnostizieren, ist die mikroskopische Identifikation der *Rhacodiella* Nebenfruchtform nötig. Die auf dem Bild 1-6 der Bildtafel 1 abgebildeten Mikrokonidien sind an dem Myzel frisch infizierter Eicheln zu finden. Zur besseren und sichereren Diagnose sollte jedoch eine Reinkultur angelegt werden (Bildtafel 2, Bild 2-1, Seite 217). Die Bilder 2-2 bis 2-6 der Bildtafel 2 auf Seite 217 zeigen einige weitere Pilze in vier Wochen alten Reinkulturen (inkubiert bei 20 °C auf 2 % Malzagar), die im Rahmen der Untersuchung zum Pilzbefall von Eicheln am Baum isoliert werden konnten.

Tab. 20: Pilzarten während des Wachstums (Baum) im Perikarp (Mitte) von Stieleicheln sowie nach Fruchtfall (Boden) zu unterschiedlichen Terminen (n = 50 je Termin).

<i>Quercus robur</i> Isolierter Pilz	Pilzbefall während der Eichelentwicklung			
	12.09.1995	Baum 04.10.1995	26.10.1995	Boden 12.11.1995
<i>Acremonium</i> sp.			2	
<i>Alternaria</i> sp.			32	22
<i>Amphiporthe leiphaemia</i>				2
<i>Aposphaeria</i> sp.		2		
<i>Aureobasidium</i> sp.		2	2	4
<i>Botrytis cinerea</i>				6
<i>Camarosporium</i> sp.				4
<i>Ciboria batschiana</i>				2
<i>Cladosporium</i> sp.		18	22	4
<i>Codinaea simplex</i>				10
<i>Cylindrocarpon</i> sp.				4
<i>Cytospora</i> sp.			4	2
<i>Discula quercina</i>		2		4
<i>Epicoccum nigrum</i>	2		2	
<i>Fusarium</i> sp.			4	2
<i>Mollisia</i> sp.			2	
<i>Mucor</i> sp.				2
<i>Ophiostoma quercus</i>			2	
<i>Penicillium</i> sp.			6	12
<i>Phialophora</i> sp.				2
<i>Phoma</i> sp.		2		2
<i>Phomopsis</i> sp.			2	2
<i>Pyrenochaeta</i> sp.			2	
<i>Trichoderma</i> sp.	2			
<i>Ulocladium</i> sp.		2		
Xylariales		2		
unidentifizierter Basidiomycet				2
unidentifiziertes Myzel		6	18	22
steriles Myzel			6	6
<b>Summe % Pilzarten *</b>	<b>4</b>	<b>36</b>	<b>104</b>	<b>116</b>
Bakterien (ausschließlich) sterile Kultur	96	20 54	2 2	0
Gesamtauswertung:				
Anzahl der Inokula	50	50	50	50
- prozentualer Pilzbefall	4	26	90	100

\*: Die Summe der prozentualen Pilzrate kann 100 % übersteigen, da teilweise mehr als ein Pilz pro Inokulum ausgewachsen ist.

#### 4.1.2 Perikarp- bzw. Testastärke von Eicheln, Bucheckern und Sitkafichtensamen

##### Eicheln

Zur Vermeidung phytotoxischer Schäden an den Keimanlagen von Saatgut bei gleichzeitiger maximaler Sterilisationstiefe in der Samenschale ist die Kenntnis der Dicke von Perikarp und Testa wichtig. Die Ergebnisse von je einer Messung an der Spitze, der Mitte und der Basis von 150 Eicheln ist in Tab. 21 aufgeführt. Die Angaben beziehen sich auf Saatgut, welches für die Versuche zur Elektronenbehandlung von Saatgut zum Einsatz kam. Da die Meßgenauigkeit auf 10 µm begrenzt war, wurden die statistischen Angaben auf volle µm gerundet.

Tab. 21: Perikarpstärke von Eicheln (*Quercus robur*). Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen den Meßpunkten (t-Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 150$ ).

Eicheln von <i>Quercus robur</i>						
Auswertung je Position	Perikarpstärke in µm					
	Spitze	sign.	Mitte	sign.	Basis	sign.
Mittelwert [ $\bar{x}$ ]:	362	a	413	b	935	c
Minimum [min]:	120		196		188	
Maximum [max]:	819		725		1890	
Standardabweichung [s]:	105		112		246	
Variationskoeffizient [V%]:	29		27		26	

Die Perikarpstärken der Eicheln der Stieleiche lagen je nach Meßpunkt im Mittel um das fünf- bis 13fache über der maximalen Eindringtiefe der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1 von 70 µm. Die Embryonalanlagen der Eichel liegen unter dem Perikarp der Spitze, deshalb ist die Häufigkeitsverteilung der Meßwerte der Perikarpstärke an der Stieleichelspitze in Abb. 28 dargestellt.

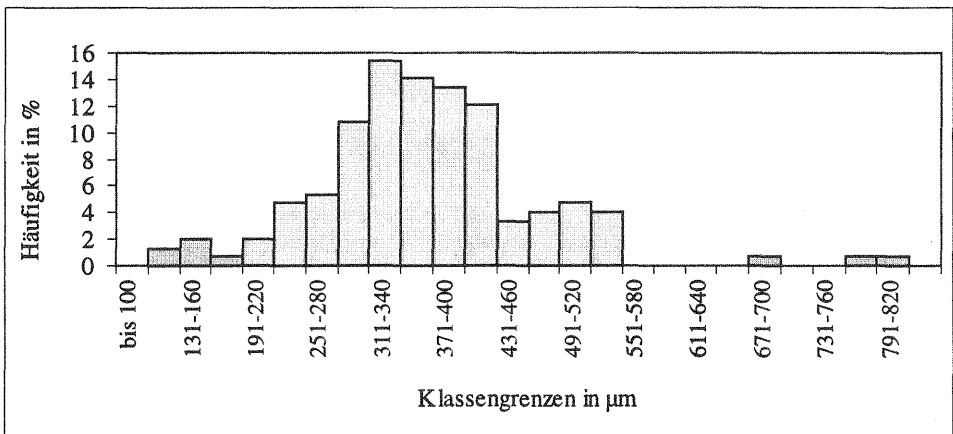


Abb. 28: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Perikarpstärke von Eicheln der Stieleiche gemessen an der Eichelspitze eingeteilt in 30 µm Klassen ( $n = 150$ ).

Im Bereich der Eichelspitze lagen 90 % der Meßwerte im Bereich bis zu einer Perikarpstärke von 490  $\mu\text{m}$ . Die restlichen 10 % verteilten sich bis zu 820  $\mu\text{m}$ , wobei im Bereich 491  $\mu\text{m}$  bis 550  $\mu\text{m}$  der größere Anteil zu finden ist.

Die Tab. 22 beinhaltet die Ergebnisse der Perikarpstärkenmessung an Eicheln der Traubeneiche, die Abb. 29 die entsprechende Häufigkeitsverteilung. Die Werte lagen an allen drei Meßpunkten wie bei der Stieleiche um ein Vielfaches über der maximalen Eindringtiefe des Elektronenstrahls der Anlage WESENTITZ 1.

Tab. 22: Perikarpstärke von Eicheln (*Quercus petraea*) Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen den Meßpunkten. (WILCOXEN-Rangsummentest,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 150$ ).

Eicheln von <i>Quercus petraea</i>						
Auswertung je Position	Perikarpstärke in $\mu\text{m}$					
	Spitze	sign.	Mitte	sign.	Basis	sign.
Mittelwert $[\bar{x}]$ :	567	a	600	b	1330	c
Minimum [min]:	178		176		714	
Maximum [max]:	1134		1040		2016	
Standardabweichung [s]:	125		161		277	
Variationskoeffizient [V%]:	22		27		20	

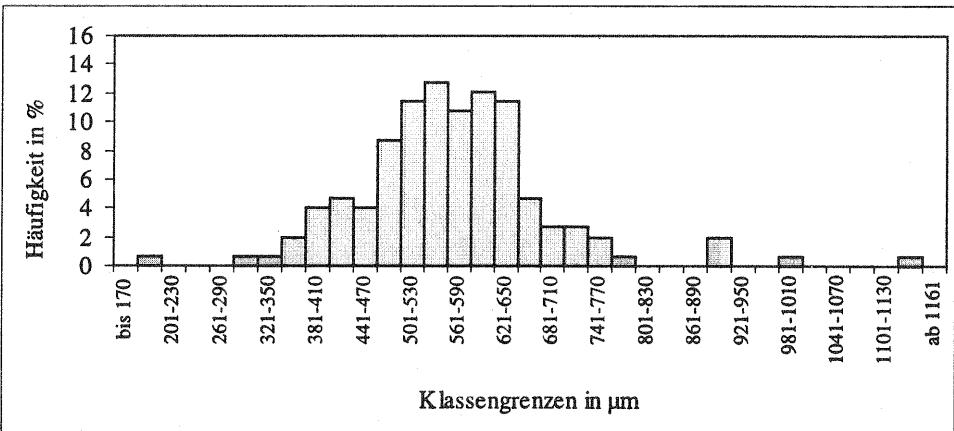


Abb. 29: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Perikarpstärke von Eicheln der Traubeneiche gemessen an der Eichelspitze eingeteilt in 30  $\mu\text{m}$  Klassen ( $n = 150$ ).

Der Bereich, in dem sich 90 % der Meßwerte befinden, liegt mit 710  $\mu\text{m}$  30 % über der Angabe für Eicheln der Stieleiche.

Die Fruchtschale der hier untersuchten Traubeneicheln war im Durchschnitt an allen drei Meßpunkten der Eicheln dicker als die der Stieleicheln, obwohl die Früchte in ihren Ausmaßen deutlich kleiner waren. Sowohl bei Stiel- als auch bei Traubeneicheln lagen die Mittelwerte der Messungen an der Perikarpspitze und -mitte dichter beieinander als die im Mittel mehr als den doppelten Wert der Perikarpstärke an der Spitze und der Mitte aufweisenden

Basis. Die Perikarpstärken an der Spitze, Mitte und der Basis unterscheiden sich signifikant voneinander.

Im Zusammenhang mit der Perikarpstärke der Eicheln soll nachfolgend kurz der Bezug zur Elektronenbehandlung hergestellt werden. Die Eindringtiefe des Elektronenstrahls in das Perikarp hängt wesentlich von der Dichte des Perikarps ab. Die Dichtebestimmung ist jedoch nur mit großem Aufwand möglich und zudem durch hohe Fehlerziffern behaftet. Daher soll folgend für die hauptsächlich untersuchte Baumart Eiche durch den Vergleich zwischen der chemischen Zusammensetzung der Samenschale und der von Eichenholz eine Einordnung des Dichtewertes ermöglicht werden. Die Dichte wird bestimmt durch den Anteil von Zellulose, Hemizellulose, Lignin sowie den Feuchtegehalt. In Tab. 23 sind die prozentualen Anteile von Lignin, Zellulose, Holzpolyosen und Wasser im Perikarp von *Quercus ilex* sowie dem Holz von *Quercus robur* und *Q. petraea* dargestellt.

Tab. 23: Prozentuale Zusammensetzung der wichtigsten chemischen Komponenten im Perikarp und dem Holz von *Quercus*-Arten. (SAURA-CALIXTO et al. 1983; WAGENFÜHR & SCHEIBER 1989)

Material	Wassergehalt	Holzpolyosen, i.d.H. Pentosane	Lignin	Zellulose
Perikarp: <i>Quercus ilex</i>	16,6 % ±0,4	20,5 % ±0,9	21,4 % ±1,0	35,9 % ±2,6
Holz: <i>Q. robur</i> , <i>Q. petraea</i>		19,0 %- 25,5 %	24,9 % - 34,3 %	39,5 % - 42,8 %

Die Werte für das Perikarp von *Q. ilex* liegen an den unteren Werten von Holz oder darunter. Unter der Annahme, daß die stoffliche Zusammensetzung des Perikarps der Eicheln von *Quercus robur* und *Quercus petraea* ähnlich der von *Q. ilex* ist, wird vermutet, daß sich die Dichte  $\rho$  in ähnlichen Grenzen bewegt wie die des Holzes. LOHMANN (1995) gibt die Rohdichte  $\rho_0$  von Eichenholz im Mittel mit  $0,65 \text{ g/cm}^3$  an (min:  $0,39 \text{ g/cm}^3$ , max:  $0,93 \text{ g/cm}^3$ ). Dieser Vergleich gibt einen Hinweis darauf, daß das Perikarp der Eichel nach der Ernte bei einem Feuchtegehalt unter 20 % den Dichtewert von  $1 \text{ g/cm}^3$  wahrscheinlich nicht überschreitet. Daher wurde für die Berechnung der Eindringtiefe des Elektronenstrahles in das Perikarp der Dichtewert mit  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  angenommen.

### Bucheckern

Die Messung des Bucheckerperikarps erfolgte an den drei Fruchseiten in der Mitte, einmal in getrocknetem (m.c. = 8 %) und einmal in gequollenem Zustand (m.c. 32 %) der Samen. Die Ergebnisse sind in Tab. 24 dargestellt.

Tab. 24: Perikarpstärke von Bucheckern (*Fagus sylvatica*) bei Feuchtegehalten (m.c.) von 8 % und 32 %. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen Varianten. (WILCOXEN-Rangsummentest,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 150$ ).

Bucheckern	Perikarpstärke in $\mu\text{m}$ bei			
	m.c. = 8 %		m.c. = 32 %	
		sign.		sign.
Mittelwert [ $\bar{x}$ ]:	190	a	211	b
Minimum [min]:	130		140	
Maximum [max]:	260		310	
Standardabweichung [s]:	24		28	
Variationskoeffizient [V%]:	12		13	

Die Perikarpstärken differieren je nach Feuchtegehalt signifikant voneinander. Die Mittelwerte der Samenschalenstärke, 190  $\mu\text{m}$  bei m.c. 8 % und 211  $\mu\text{m}$  bei m.c. 32 %, lassen es nicht zu, daß der Elektronenstrahl der Anlage WESENITZ 1 den gesamten Perikarpbereich durchstrahlen kann. Somit können nur oberflächennah siedelnde Pilze bekämpft werden.

In der Praxis ist davon auszugehen, daß eine phytosanitäre Maßnahme unmittelbar nach der Ernte, also vor der Stratifizierung, durchgeführt werden würde. Das bedeutet, daß die frischen Bucheckern zum Behandlungszeitpunkt einen Feuchtegehalt von 32 % aufweisen würden und damit eine mittlere Perikarpstärke von 211  $\mu\text{m}$  besitzen würden. In Abb. 30 ist die Häufigkeitsverteilung der Meßwerte für die 32 % feuchten Bucheckern dargestellt.

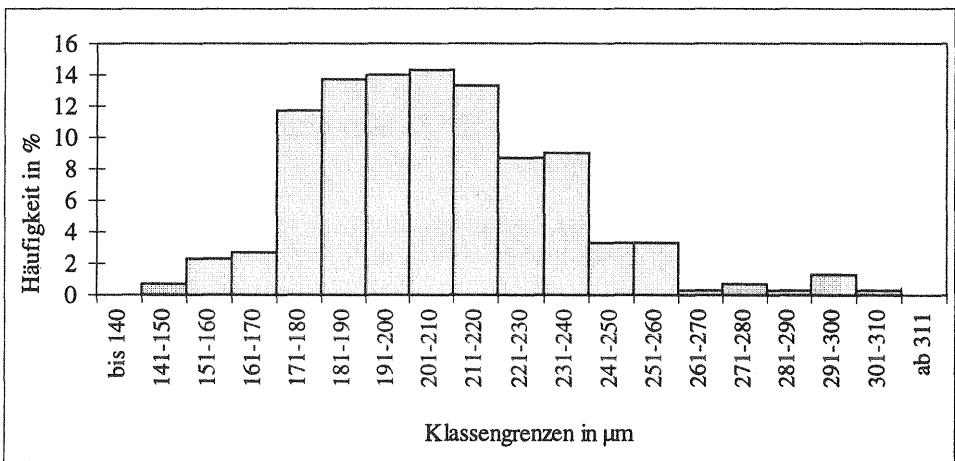


Abb. 30: Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Perikarpdicke stratifizierter Bucheckern (m.c. = 32 %) eingeteilt in 10  $\mu\text{m}$  Klassen ( $n = 300$ ).

Keine Buchecker wies einen Wert um 70  $\mu\text{m}$  auf, der mit der WESENITZ 1 vollständig durchstrahlt werden könnte. Der Bereich bis zu einer Samenschalenstärke von 240  $\mu\text{m}$  beinhaltet 90 % der Meßwerte.

### Sitkafichte

Die Messungen der Testastärke erfolgten an 5  $\mu\text{m}$  dünnen Mikrotomschnitten bei 400-facher Vergrößerung mit einem Lichtmikroskop. Die Ergebnisse sind in Tab. 25, die Häufigkeitsverteilung in Abb. 31 dargestellt.

Tab. 25: Testastärke von Sitkafichtensaatgut (*Picea sitchensis*) (n = 13, á 10 Meßpunkte).

Sitkafichte	Testastärke in $\mu\text{m}$
Mittelwert [ $\bar{x}$ ]:	58,52
Minimum [min]:	36,00
Maximum [max]:	120,00
Standardabweichung [s]:	15,70
Variationskoeffizient [V%]:	26,83

Die mittlere Testastärke des untersuchten Sitkafichtensaatgutes betrug 58,52  $\mu\text{m}$  und bot damit die Möglichkeit, mit der Elektronenbehandlung den gesamten Testabereich sterilisieren zu können. Die Streuung der Minimal- und Maximalwerte war sehr hoch, jedoch ist aufgrund der Häufigkeitsverteilung in Abb. 31 zu erkennen, daß 82 % der Meßwerte im Bereich bis 70  $\mu\text{m}$ , der maximalen Eindringtiefe des Elektronenstrahls bei einer Beschleunigungsspannung von 70 kV, lagen.

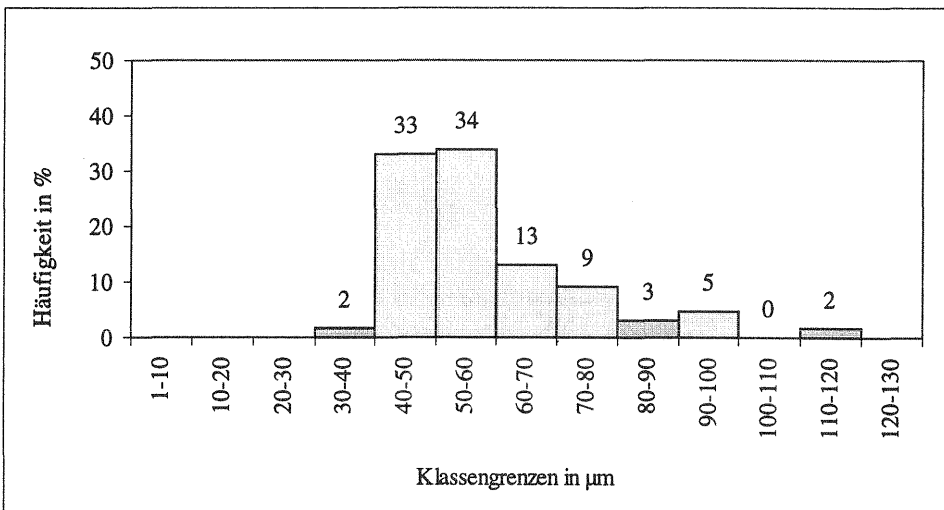


Abb. 31: Prozentuale Häufigkeitsverteilung (10  $\mu\text{m}$  Klassen) der Testastärke von Sitkafichtensamen (n = 13, á 10 Messungen).

### 4.1.3 Vakuumeinfluß auf Eicheln und Bucheckern

Im Behandlungsrezipienten der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1 herrscht ein Druck von etwa 100 Pa. Die Aufenthaltsdauer des Saatgutes unter diesem Druck beträgt ca. 1,7 Sekunden. Es wurde der Einfluß dieses Vakuums auf die Abgabe von Wasserdampf aus dem Saatgut, makroskopische Schäden an der Samenschale und mögliche Einflüsse auf das Auflaufverhalten von Eicheln und Bucheckern untersucht.

Die visuelle Beurteilung der Eicheln und Bucheckern nach jeder Behandlung ergab keine sichtbaren Beschädigungen am Perikarp. Die Überprüfung der Wasserdampfabgabe über eine Zeitreihe von 2, 5, 10, 20 und 30 Sekunden wurde in einer Kleinkammer durchgeführt. Die mittlere Wasserdampfabgabe über alle untersuchten Vakuumhaltezeiten lag sowohl bei Samen mit intaktem Perikarp (TEi, Bu) als auch bei solchen mit beschädigtem Perikarp<sup>17</sup> (TEi, SEi, Bu) unter 1 % bezogen auf das Frischgewicht. Der Mittelwert des Wasserverlustes der Untersuchungen, mit je drei Wiederholungen für Traubeneicheln und Bucheckern und einem Versuch mit angekeimten Stieleicheln, ist in Abb. 32 aufgeführt. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs wurde auf eine weitergehende statistische Auswertung verzichtet.

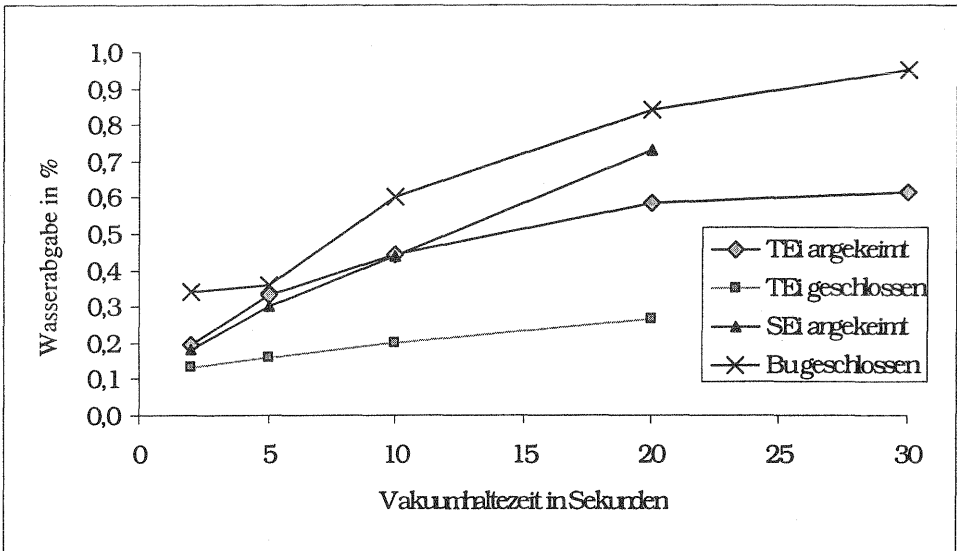


Abb. 32: Mittlere prozentuale Wasserdampfabgabe von Stiel- (SEi) und Traubeneicheln (TEi) sowie Bucheckern (Bu) bei einer Vakuumeinwirkung (1 Torr) über 2 s, 5 s, 10 s, 20 s und 30 s (TEi: jeweils 35 g, nur TEi angekeimt 30 s: 200 Stück; SEi: 35 g; Bu: 18 g, nur 30 s 200 Stück).

Neben dieser Zeitreihe mit „plötzlicher Evakuierung“ in einer Kleinkammer wurden Versuche durchgeführt, bei denen das Saatgut über die gesamte Evakuierungsdauer (ca. 150 s) im Rezipienten verblieb. Diese Einwirkzeit des Vakuums auf Saatgut liegt um ein Vielfaches über der Verweilzeit, die in der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1 benötigt wird und wurde als „worst-case“ Szenario durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 26 aufgeführt.

<sup>17</sup>Hierunter fielen Samen, die bereits angekeimt waren und deren Radikula das Perikarp bereits durchbrochen und aufgerissen hatte. Im weiteren werden diese Samen auch mit „angekeimt“ bezeichnet.



Tab. 26: Einfluß einer Evakuierung von Atmosphärendruck (760 Torr) auf 1 Torr auf den Wassergehalt von Stiel- (SEi), Traubeneicheln (TEi) und Bucheckern (Bu).

Variante	Evakuierungsdauer gesamt	Zeit vom 20 Torr bis 1 Torr	Menge	Wasser- verlust
TEi intaktes Perikarp	150 s	37 s	59 g	0,53 %
TEi angekeimt	150 s	37 s	21 g	0,64 %
SEi intaktes Perikarp	150 s	37 s	50 g	0,37 %
Bu intaktes Perikarp	150 s	37 s	43 g	1,57 %

Mit zunehmender Aufenthaltsdauer im Vakuum nahm erwartungsgemäß der Feuchteverlust sowohl der Eicheln als auch der Bucheckern zu (Abb. 32). Die Werte der angekeimten Eicheln lagen dabei über den Eicheln mit intakter Samenschale. Alle Werte lagen jedoch auch nach 20 Sekunden Vakuumeinfluß noch unter einem Prozent (TEi 0,26 % und 0,58 %; SEi 0,73 %). Mit diesem Feuchteverlust wurde der kritische Wert von 40 % Eichelfeuchte nicht erreicht. Die erhöhte Wasserabgabe bei Eicheln mit gerissenem Perikarp lag zum einen daran, daß freies Wasser ungehindert aus den Kotyledonen diffundieren konnte und nicht durch das Perikarp verdampfen mußte, zum anderen am höheren Wassergehalt der Kotyledonen. Durch die geöffnete Samenschale ist die Fläche auf der das Wasser abgegeben werden kann erhöht.

Der Wasserabgabewert der Bucheckern lag mit 0,95 % bei 20 Sekunden Vakuumhaltezeit über dem der Eicheln. Bei den Bucheckern ist davon auszugehen, daß die Wasserabgabe dadurch erhöht war, daß sie bis zum Behandlungstag durch aktive Wiederbefeuchtung von 8 % auf einen Feuchtegehalt von über 35 % gebracht wurden, um unmittelbar nach der Behandlung mit einem Keimtest beginnen zu können. Das noch im Perikarp vorhandene überschüssige Wasser wurde dann vermutlich während der Vakuumeinwirkung abgegeben.

Die vorliegenden Ergebnisse des Wasserverlustes allein betrachtet lassen keinen negativen Einfluß eines Vakuums auf die Lebensfähigkeit von Eicheln und Bucheckern erwarten. Um dies zu überprüfen wurden Eicheln und Bucheckern, die 30 Sekunden einem Vakuum ausgesetzt waren, einem Keimtest unterzogen. Die Keimergebnisse sind in Tab. 27 aufgeführt. Zur Keimfähigkeitsbestimmung von Bucheckern wird von der ISTA die 3fache Wurzellänge im Vgl. zur Eckernlänge genutzt und für Eicheln die Ausbildung eines Epikotyls.

Tab. 27: Keimergebnisse von Bucheckern (Bu) und Traubeneicheln (TEi) nach 30 Sekunden Aufenthalt im Vakuum (1 Torr). Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen den Meßpunkten ( $\chi^2$ -Test  $p \leq 0,05$ ,  $n = 200$ ).

Baumart	Zustand	Behandlung	Keimergebnis Wurzel- zu Eckernlänge	
			> 3 x Wurzellänge	sign.
Bu	geschlossen	Kontrolle	67,5 %	a
		Vakuum 30 s	67,5 %	a
	angekeimt	Kontrolle	67,0 %	a
		Vakuum 30 s	55,5 %	b
			<b>Epikotyl</b>	
TEi	angekeimt	Kontrolle	61,5 %	a
		Vakuum 30 s	59,0 %	a

Bei den untersuchten Bucheckern zeigten die geschlossenen Eckern der Kontrolle und der Vakuumbehandlung nach insgesamt drei Monaten das gleiche Keimergebnis von 67,5 %. In der angekeimten Variante wurde nach der Vakuumbehandlung eine signifikante Verringerung der Keimrate von 11,5 % beobachtet. Die Wurzeln der Kontrolle waren darüber hinaus deutlich kräftiger und länger als die der Bucheckern, die angekeimt dem Vakuum ausgesetzt waren. Die Untersuchung angekeimter Bucheckern stellt jedoch insofern ein nicht praxisrelevantes Verfahren dar, da Bucheckern eine Keimruhe besitzen und somit zu einem normalen Behandlungstermin unmittelbar nach der Ernte keine Beschädigung des Perikarps aufweisen.

Bei Eichensaatgut wurde der Keimtest nur für angekeimte Traubeneicheln durchgeführt. Im Gegensatz zu den Bucheckern ist dies für die Praxis relevant, da Traubeneicheln teilweise angekeimt vom Baum fallen. Das um 1,5 % unter der Kontrolle liegende Keimprozent läßt keinen Rückschluß auf einen möglichen negativen Vakuumeinfluß zu.

#### 4.1.4 Letale Elektronenstrahldosis für Pilze

Ziel dieser Untersuchung war die Bestimmung der Dosis, bei der sich die betrachteten Pilze (in vitro) weder durch Myzelwachstum noch durch Sporenkeimung weiterentwickeln konnten. Dazu wurden Myzelwachstums- und Sporenkeimtests durchgeführt. Zur Überprüfung der aus diesen Tests gewonnenen Dosiswerte wurden ganze Perikarpstücke von Eicheln und Bucheckern durchstrahlt.

Die Überlebensrate von 14 Pilzarten bzw. Gattungen nach erfolgter Elektronenbehandlung zeigt Tab. 28. Der vollständig letal wirkende Dosiswert je Pilz (0 % Überlebensrate) ist in dieser Darstellung grau unterlegt. Da für die Dosiswerte ab 10 kGy ebenfalls kein Myzelwachstum mehr festgestellt werden konnte, wurden die Daten nicht in die Tabelle aufgenommen.

Tab. 28: Überlebensrate von Pilzmyzel in Subkulturen aus durchstrahlten Kulturschalen. (Letaldosis: 0% ; n=4)

Pilzart/-gattung	Behandlungsdosis				
	Kontrolle	2 kGy	4 kGy	6 kGy	8 kGy
<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	100 %	100 %	0 %		
<i>Ceuthospora</i> sp.	100 %	100 %	25 %	0 %	
<i>Ciboria batschiana</i> (Zopf) Buchwald	100 %	75 %	25 %	75 %	0 %
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen) de Vries	100 %	100 %	100 %	25 %	0 %
<i>Codinaea simplex</i> Hughes & Kendrick	100 %	0 %			
<i>Cylindrocarpon didymum</i> (Hartig) Wollenw.	100 %	75 %	0 %		
<i>Epicoccum nigrum</i> Link	100 %	100 %	0 %		
<i>Fusarium</i> spec. 1	100 %	100 %	0 %		
<i>Fusarium</i> spec. 2	100 %	50 %	0 %		
<i>Mucor</i> sp.	100 %	100 %	100 %	25 %	0 %
<i>Penicillium</i> sp.	100 %	0 %			
<i>Rhizoctonia solani</i> Kühn	100 %	100 %	0 %		
<i>Trichoderma</i> sp.	100 %	0 %			
<i>Ulocladium chartarum</i> (Preuss) Simmons	100 %	75 %	0 %		

Die Dosimetrie in Vorversuchen ergab, daß die Dosis-Soll- und Istwerte des 1,5 MeV Elektronenbeschleunigers exakt übereinstimmten. Daher wurden alle vier Pilzkulturen einer Art pro Dosis gleichzeitig behandelt. Der Myzelwachstumstest der aus diesen durchstrahlten Kulturen hergestellten Subkulturen ergab Letaldosiswerte zwischen 2 kGy (*Codinaea simplex*, *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp.) und 8 kGy (*Cladosporium cladosporioides*, *Mucor* sp.).

Die vier Wochen nach dem Behandlungstermin nochmals ausgewerteten Originalpilzkulturen bestätigten die Überlebensrate und entsprechende Letaldosis analog der Dosiswerte in Tab. 28.

### **Subletale Dosiswerte**

Die Bonitur des Radialzuwachses der Subkulturen in den Petrischalen wies darauf hin, daß es für die geprüften Dosiswerte, die jeweils unmittelbar unter der Letaldosis lagen, subletale Erscheinungen gab. Dieser Effekt äußerte sich sowohl in verspätet beginnendem als auch in verlangsamtem Wachstum. Zur Verdeutlichung ist in der Abb. 33 der Zuwachs (Kulturradius) in Abhängigkeit der Zeit (Tage) beispielhaft für einige Pilze dargestellt.

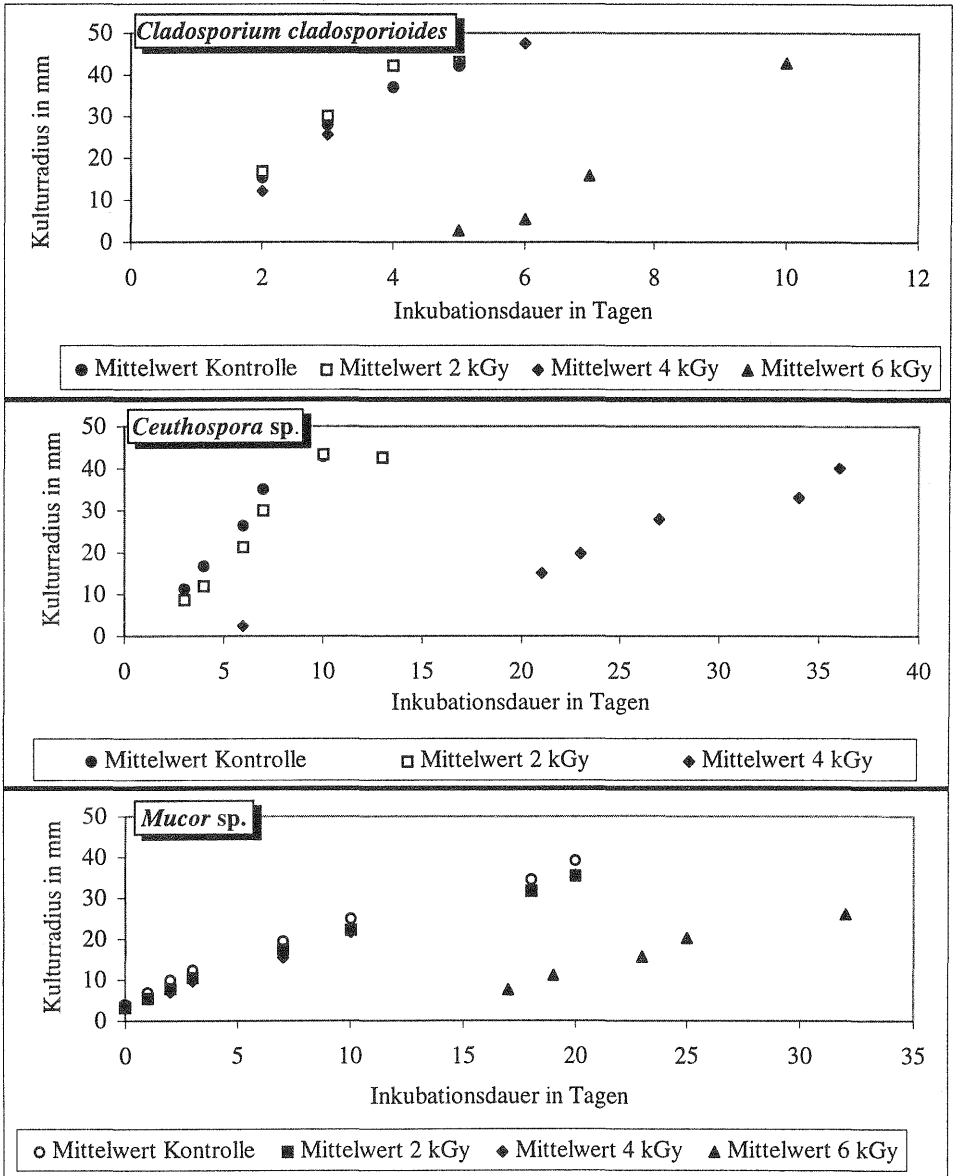


Abb. 33: Zuwachs der Pilze *Cladosporium cladosporioides*, *Ceuthospora* sp. und *Mucor* sp. in Subkulturen nach einer Elektronenbehandlung der Originalkulturen mit Dosiswerten bis zu 6 kGy (n = 4 Subkulturen á 4 Messungen).

Die Bilder 3-1 bis 3-3 der Bildtafel 3 auf Seite 218 verdeutlichen die Hemmung des Myzelwachstums nach einer Elektronenbehandlung schon bei einer Dosis von 2 kGy anhand der Pilze *Ascocoryne sarcoides*, *Discula* sp. und *Phoma* sp. (4 Wochen Inkubation bei 20 °C auf 2 % Malzagar). Das Wachstum war zwar gehemmt, jedoch noch vorhanden. Für die Zielsetzung der Untersuchungen würde dieser Effekt nicht ausreichen. In den abgebildeten Beispielen war ab einer Behandlungsdosis von 4 kGy kein Myzelwachstum mehr zu beobachten.

### Sporenceimtest

Für die Pilzarten *Cladosporium cladosporioides*, *Cylindrocarpon didymum*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp. und *Ulocladium chartarum* wurden zusätzlich Sporenceimtests durchgeführt. Die Sporen von *Penicillium* sp. und *Trichoderma* sp. zeigten bereits bei einer Dosis von 2 kGy nach 72 Stunden keine Keimaktivität. Auch nach weiteren 14 Tagen wuchs aus der Sporensuspension auf Agar (siehe Tab. 29) kein Myzel aus. Dieser Letaldosiswert stimmt mit dem Wert aus dem Myzelwachstumstest (Tab. 28) überein. Auch die Sporen von *Cladosporium cladosporioides* zeigten wie in dem Myzelwachstumstest ab einer Dosis von 8 kGy keine Keimung mehr.

Die Sporen von *Mucor* sp., *Cylindrocarpon didymum* und *Ulocladium chartarum* zeigten zwar teilweise bis zu einer Dosis von 22 kGy noch Keimaktivität (Abb. 34, Abb. 35, Abb. 36). Dies konnte jedoch nur in der mikroskopischen Untersuchung festgestellt werden, da die Entwicklung der Keimhype zu lebensfähigem Myzel nicht erfolgte. Eine Bestätigung dieser Beobachtung erfolgte durch auf Malzagarplatten übertragene Sporensuspension. Tab. 29 zeigt die Fähigkeit einiger Pilze, lebensfähiges Myzel aus einer Sporensuspension zu bilden, die aus durchstrahlten Kulturen hergestellt wurde. Da bereits ab einer Dosis von 10 kGy alle Pilze eine letale Schädigung aufwiesen und auch bei folgenden Dosiswerten keine Keimfähigkeit festgestellt werden konnte, wurden die Werte 13 kGy bis 25 kGy nicht mit aufgeführt.

Tab. 29: Fähigkeit einiger Pilze, aus einer Sporensuspension, deren Sporen mit Elektronenstrahlen behandelt wurden, lebensfähiges Myzel zu bilden. (X = Myzelwachstum, letale Dosis für Sporenceimung = □, K = Kontrolle; n = 3)

Pilzart / -gattung	Behandlungsdosis					
	K	2 kGy	4 kGy	6 kGy	8 kGy	10 kGy
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen) de Vries	X	X				
<i>Cylindrocarpon didymum</i> (Hartig) Wollenw.	X	X				
<i>Mucor</i> sp.	X	X	X	X	X	
<i>Penicillium</i> sp.	X					
<i>Trichoderma</i> sp.	X	X	X			
<i>Ulocladium chartarum</i> (Preuss) Simmons	X	X				

Die Abb. 34 bis Abb. 36 geben einen Überblick über den Keimungsverlauf der Sporen von *Cylindrocarpon didymum*, *Mucor* sp. und *Ulocladium chartarum* bis zu 72 Stunden nach der Inkubation.

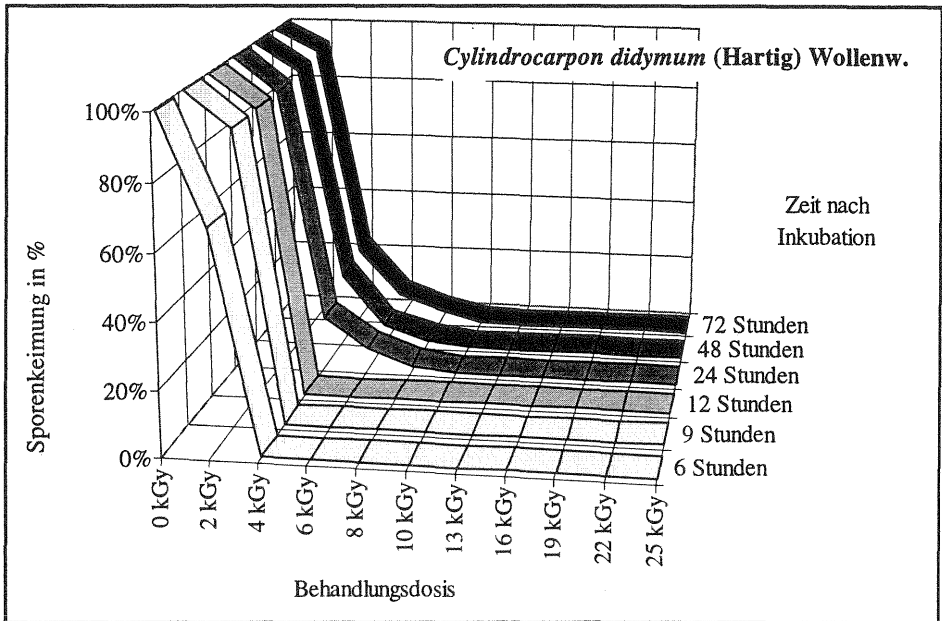


Abb. 34: Keimung elektronenbehandelter Sporen (0 kGy bis 25 kGy) des Pilzes *Cyindrocarpon didymum* (Hartig) Wollenw. 6 h bis 72 h nach der Inkubation (n = 400).

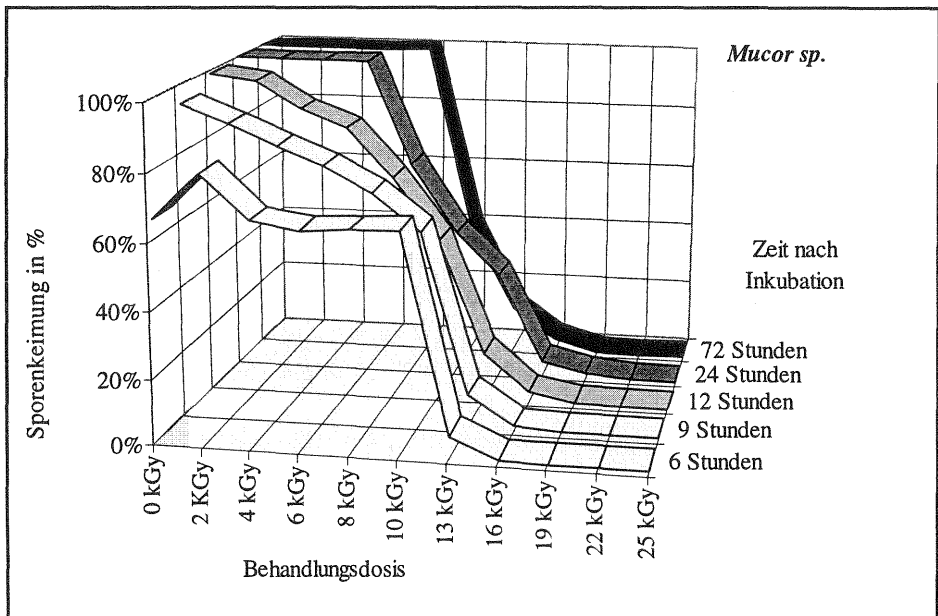


Abb. 35: Keimung elektronenbehandelter Sporen (0 kGy bis 25 kGy) des Pilzes *Mucor sp.* 6 h bis 72 h nach der Inkubation (n = 400).

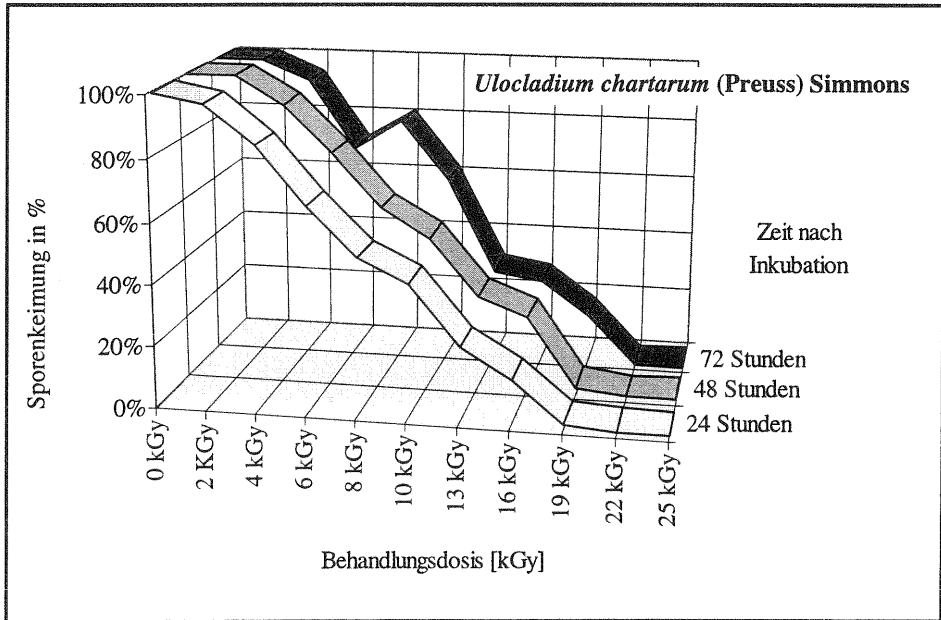


Abb. 36: Keimung elektronenbehandelter Sporen (0 kGy bis 25 kGy) des Pilzes *Ulocladium chartarum* (Preuss) Simmons 24 h bis 72 h nach der Inkubation (n = 400).

Auch die zur Sicherheit noch einmal nach acht Wochen Inkubationsdauer durchgeführte Bonitur ergab, daß über die als Letaldosis herausgearbeiteten Werte (s. Tab. 29) kein lebensfähiges Myzel aus den Keimhyphen gebildet werden konnte.

Der Keimungsfortschritt der Sporen von *Ulocladium chartarum* nach einer Inkubationsdauer von 24 Stunden ist in den Bildern 4-1 bis 4-6 der Bildtafel 4 auf Seite 219 in 300facher Vergrößerung dargestellt. Die Bilder repräsentieren neben der unbehandelten Variante, die Sporenkeimung nach Elektronenbestrahlung mit Dosiswerten von 2 kGy, 4 kGy, 6 kGy, 13 kGy und 22 kGy. Bereits nach einer Behandlung mit einer Dosis von 2 kGy war die Sporenkeimung stark reduziert. Nach einer Behandlung mit 4 kGy wurde der Keimungserfolg nochmals stark eingeschränkt. Ab diesem Dosiswert handelte es sich lediglich um die von der Spore gebildete Keimhyph, aus der kein lebensfähiges Myzel mehr gebildet werden konnte. Nach einer Dosis von 22 kGy waren die Sporen so stark geschädigt, daß sie nicht einmal mehr eine Keimhyph ausbilden konnten.

### Zweite Letaldosisbestimmung

Zur Erweiterung des Pilzartenspektrums bezüglich der Letaldosis von Elektronenstrahlen wurden neun weitere Pilzarten mit dem 1,5 MeV Elektronenbeschleuniger behandelt. Zur Bonitur wurde dabei das Weiterwachsen der durchstrahlten Originalkulturen herangezogen. Die Ergebnisse gibt Tab. 30 wieder. Die Dosiswerte über 8 kGy sind in der Tabelle nicht enthalten, da ab 8 kGy kein Myzelwachstum mehr festgestellt werden konnte.

Tab. 30: Überlebensrate (%) durchstrahlter Pilzkulturen. Bonitur wurde anhand des Myzelwachstums durchstrahlter Originalkulturen erstellt ( $\overline{0\%}$  = Letaldosiswert; n = 4).

Pilzart/-gattung	Behandlungsdosis			
	Kontrolle	2 kGy	6 kGy	8 kGy
<i>Apiognomoniasp.</i>	100 %	0 %		
<i>Aposphaeria sp.</i>	100 %	100 %	0 %	
<i>Ascocoryne sarcoides</i> (Jacq. ex S.F. Gray) Groves & Wilson	100 %	25 %	0 %	
<i>Botrytis cinerea</i> Pers. ex Fr.	100 %	100 %	0 %	
<i>Camarosporium sp.</i>	100 %	100 %	0 %	
<i>Chaetomium sp.</i>	100 %	50 %	0 %	
<i>Discula sp.</i>	100 %	100 %	0 %	
<i>Nodulisporium sp.</i>	100 %	0 %		
<i>Phoma sp.</i>	100 %	50 %	0 %	

Durch einen anlagenbedingten Fehler mußte der Versuch der 4 kGy Variante verworfen werden, eine Wiederholung war nicht möglich. Somit konnte keine Aussage darüber getroffen werden, welcher Pilz bereits bei einer Dosis von 4 kGy abgetötet wurde. Spätestens bei einer Dosis von 6 kGy war jedoch bei keinem der Pilze ein Myzelwachstum mehr festzustellen. Die Werte liegen damit im Rahmen der in der ersten Letaldosisbestimmung ermittelten Daten.

Pilze in Reinkultur, unter optimalen Wachstumsbedingungen bezüglich Nährstoffen, Substrat- und Luftfeuchtigkeit, sind häufig anfälliger gegen Umwelteinflüsse als in ihrem Ursubstrat. Zur Überprüfung dieses Umstandes wurden Perikarpstücke von Stiel- und Traubeneicheln sowie von Bucheckern durchstrahlt. Der Dosiswert, bei dem aus keinem Inokulum mehr Myzel auswuchs, lag bei Bucheckern bei 8 kGy und bei den Eichenarten bei 10 kGy. Eine zusammenfassende Darstellung ist in Abb. 37 enthalten. Für die Traubeneicheln lagen keine Ergebnisse mit einer Behandlungsdosis von 4 kGy vor, da in dieser Variante zu 50 % Bakterien auswuchsen, die wahrscheinlich das Pilzwachstum behinderten.



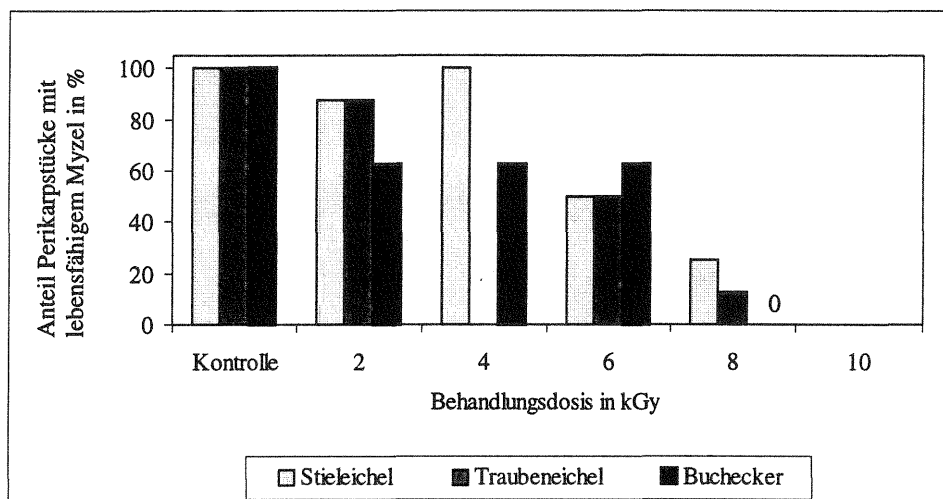


Abb. 37: Pilzüberlebensrate in durchstrahlten Perikarpstücken von Saatgut von *Quercus robur*, *Q. petraea* und *Fagus sylvatica* (n = 8).

Zusammenfassend über alle Untersuchungen zur Letaldosisbestimmung von elektronenbehandelten Pilzen erwies sich in der vorliegenden Arbeit eine Elektronenstrahldosis von 8 kGy bei Bucheckern und 10 kGy bei Stiel- und Traubeneicheln als 100 %ig letal in Bezug auf die untersuchten Mikropilze.

#### 4.1.5 Saatgutverteileinstellung in der WESENTITZ 1

Die dem Behandlungsrezipienten vorgeschaltete Verteileinrichtung muß auf jede Saatgutart angepaßt werden, damit das Saatgut so durch die Behandlungszone fällt, daß eine homogene Verteilung der Oberflächendosis gewährleistet werden kann. Die entsprechenden Optimalwerte für Eicheln und Bucheckern sind in Tab. 31 enthalten.

Tab. 31: Einstellungen der Verteileinrichtung für die Behandlung von Eicheln und Bucheckern (<sup>1</sup>: Daten aus WEBER 1995).

Baumart	Arbeitsbreite in mm	Ablenkleche Anzahl x Länge x Breite (Stck. * mm * mm)	Verschiebung	Neigung (Einheit auf Verteileinrichtung)
Roteiche <sup>1</sup>	360	2 * 210 * 14	30 mm	6
Buche	360	2 * 210 * 14	38 mm	7

Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Werte für Bucheckern ergaben bei 800 g eingesetzten Saatgutes eine mittlere Schütthöhe von  $\bar{x} = 14,05$  cm (min: 12,0 cm, max. 16,0 cm). Die Standardabweichung  $s$  lag bei 1,04 cm, der Variationskoeffizient  $V\%$  betrug 9,32 %.

## 4.2 Wirkung der Elektronenbehandlung mit der WESENITZ 1 auf die Mykoflora und das Auflaufverhalten von Forstsaatgut

### 4.2.1 Eichensaatgut

Die während der Elektronenbehandlung mit der WESENITZ 1 ermittelten Werte bezüglich Wasserverlust und Feuchtegehalt sind in Tab. 32 aufgeführt. Sie dienen der Überprüfung bzw. Bestätigung der in den Vorversuchen an einer Fremdanlage ermittelten Werte.

Tab. 32: Relativer Wasserverlust (%) aller elektronenbehandelter Eichelpartien (Dosis 8 kGy bis 16 kGy) sowie gemessener Feuchtegehalt (%) nach Behandlung (SEi: Stieleichel; TEi: Traubeneichel; o.T.: ohne Thermotherapie; m.T.: mit Thermotherapie; K: Kontrolle)

Variante	relativer Gewichtsverlust während der e-Behandlung in %		gemessener Feuchtegehalt (%) des Saatgutes nach der e-Behandlung	
	Stieleicheln	Traubeneicheln	Stieleicheln	Traubeneicheln
m.T. K	0	0	43,9	46,6
m.T. 8 kGy	0,2	0,8	44,7	46,4
m.T. 12 kGy	0,3	0,6	44,0	47,3
m.T. 16 kGy	0,3	0,5	43,1	46,0
o.T. K	0	0	42,4	43,6
o.T. 8 kGy	0,1	0,7	42,5	43,1
o.T. 12 kGy	0,2	0,4	42,1	45,0
o.T. 16 kGy	0,3	0,2	42,7	43,2

Der Feuchteverlust der Traubeneicheln lag über den Werten der Stieleicheln. Jedoch wurde in keinem Fall ein kritischer Wasserverlust beobachtet. Dies wurde auch durch die Feuchtegehalte nach der Behandlung bestätigt, die weit über dem kritischen Wert von 40 % lagen. Mit diesen Messungen konnten die Ergebnisse der Vorversuche bezüglich des Wasserverlustes bestätigt werden.

### Wirkung der Elektronenbehandlung auf die Mykoflora

Ziel der Elektronenbehandlung von Eichensaatgut war es, möglichst alle Pilze in der Samenschale abzutöten. Als Kriterium der Wirkung für die Elektronenbehandlung sollte in erster Linie die Sterilrate inkubierter Inokula bzw. der Wirkungsgrad gegen Pilze ( $RW_{II}$ ) aus dem Perikarp der Eicheln dienen. Aus den Voruntersuchungen zu Bestimmung der Samenschalenstärke (Kap. 3.2.2.2), sowie der theoretischen Herleitung der maximalen Eindringtiefe des Elektronenstrahles in das Saatgut bei der Behandlung mit der WESENITZ 1 (Kap. 2.5.6) mußte davon ausgegangen werden, daß die Wirkung dieser Anlage in Bezug auf oben genanntes Ziel bei weitem nicht ausreichend ist. Trotzdem wurden umfangreiche Versuche durchgeführt, da der Siedlungsort der Pilze im Perikarp nicht lokalisiert werden konnte und bei extrem oberflächennaher Siedlung der Pilze eine Wirkung durch die Elektronenbehandlung hätte beobachtet werden können.

Die Auswertung von 3600 inkubierten Impfstücken aus verschiedenen Bereichen des Eichelperikarps nach einer Elektronenbehandlung mit unterschiedlich hohen Dosiswerten zeigte wie erwartet eine unzureichende Wirkung in Bezug auf den Wirkungsgrad gegen Pilze, deren Häufigkeit in Abhängigkeit der Baumart und Behandlung in Tab. 33 aufgeführt ist.

Tab. 33: Prozentuale Befallsrate mit Mikropilzen in Perikarp-Inokula von elektronenbehandelten Eicheln von *Quercus robur* und *Q. petraea*.  $RW_{II}$  % charakterisiert den Wirkungsgrad auf Pilze gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Ein „\*“ kennzeichnet signifikante ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ) Unterschiede der Behandlung zur Kontrolle (n = 50 je Behandlungs- und Variantenkombination)

Behandlung/ Dosis	Position Inokulum	Varianten der e-Behandlung					
		ohne Thermo-Vorbehandlung		mit Thermo-Vorbehandlung		mit Thermo-Nachbehandlung	
		Pilz-%	$RW_{II}$ %	Pilz-%	$RW_{II}$ %	Pilz-%	$RW_{II}$ %
<b><i>Quercus robur</i></b>							
Kontrolle	Eichelspitze	100	--	100	--	100	--
	Eichelmitte	100	--	100	--	100	--
	Eichelbasis	100	--	100	--	96	--
8 kGy	Eichelspitze	98	2	100	0	72 *	28
	Eichelmitte	98	2	100	0	92	8
	Eichelbasis	96	4	100	0	84	16
12 kGy	Eichelspitze	98	2	100	0	90	10
	Eichelmitte	100	0	100	0	94	6
	Eichelbasis	98	2	100	0	96	4
16 kGy	Eichelspitze	96	4	96	4	90	10
	Eichelmitte	98	2	100	0	92	8
	Eichelbasis	100	0	100	0	86	14
<b><i>Quercus petraea</i></b>							
Kontrolle	Eichelspitze	100	0	100	0	100	0
	Eichelmitte	100	0	100	0	100	0
	Eichelbasis	100	0	100	0	100	0
8 kGy	Eichelspitze	100	0	100	0	100	0
	Eichelmitte	98	2	100	0	100	0
	Eichelbasis	96	4	100	0	100	0
12 kGy	Eichelspitze	100	0	100	0	100	0
	Eichelmitte	100	0	100	0	98	2
	Eichelbasis	100	0	100	0	100	0
16 kGy	Eichelspitze	100	0	100	0	100	0
	Eichelmitte	100	0	100	0	98	2
	Eichelbasis	100	0	100	0	100	0

Die Kontrollvarianten sowohl bei den Stiel- als auch bei den Traubeneicheln waren zu 100 % mit Mikropilzen kontaminiert. Die Elektronenbehandlung der Stieleicheln hat in den Varianten mit und ohne Thermo-therapievorbereitung nur in wenigen Fällen zu sterilen Inokulumstücken geführt, so daß hier kein Erfolg der Behandlung in Bezug auf die Sterilisierung des Perikarps nachgewiesen werden konnte. Das gilt auch für den Wirkungsgrad gegen Pilze. Eine anschließende Thermo-therapie erhöhte den Wirkungsgrad bei den Stieleicheln merklich,

jedoch ist die Verteilung derart inhomogen, daß kaum Aussagen getroffen werden können. Lediglich bei einer Dosis von 8 kGy konnte eine signifikante Reduktion des Pilzbefalls an der Eichelspitze festgestellt werden. Es wäre zu erwarten gewesen, daß dieser Effekt mit Zunahme der Dosis noch verstärkt wird, was nicht der Fall war. Somit ist dieses Ergebnis lediglich als Tendenz verwertbar. Es scheint jedoch so, daß eine Sterilisierung der Eichelspitze eher zu erreichen ist als die der Perikarpmitte und -basis.

Bei den elektronenbehandelten Traubeneicheln war der Wirkungsgrad gegen Pilze noch geringer, so daß unter diesen Versuchsbedingungen weder für die Elektronenbehandlung noch für die nachfolgende Thermotherapie von einer Wirkung im Hinblick auf das Ziel einer Perikarpsterilisation gesprochen werden kann.

### **Wirkung der Elektronenbehandlung auf das Auflaufverhalten**

Primäres Ziel der Anlage von Keimtests war die Überprüfung möglicher phytotoxischer Einflüsse einer Elektronenbehandlung auf Eicheln. Insbesondere bei der Traubeneiche stellte sich die Frage, ob das häufig schon aufgerissene Perikarp und die ausgetretene Radikula möglicherweise durch die Elektronenbehandlung geschädigt werden könnten.

### **Keimtests in Sand**

Die Ergebnisse der Keimtests in Sand (Abb. 38 und Abb. 39) lassen keinen einheitlichen Einfluß der Elektronenbehandlung erkennen. Die Elektronenbehandlung und Anlage der Keimtests erfolgten drei Monate nach der Thermotherapie. Über diesen Zeitraum war eine signifikante Reduktion der Keimfähigkeit der unbehandelten Stiel- und Traubeneicheln zu verzeichnen. Die Traubeneicheln ohne Thermotherapie liefen im Durchschnitt um 25 % schlechter auf, als jene Eicheln mit Thermotherapie. Die Keimrate von Stieleicheln ohne Thermotherapie lag mit durchschnittlich 11 % signifikant unter der von Stieleicheln mit Thermotherapie. Daher läßt sich ein möglicher Effekt der Elektronenbehandlung nur innerhalb der einzelnen Variantengruppen betrachten, nicht zwischen thermotherapiertem und nicht thermotherapiertem Material.

Während bei fast allen Varianten ohne Thermotherapievorbehandlung eine leichte Erhöhung des Auflaufergebnisses durch die Elektronenbehandlung zu verzeichnen ist, lagen die Varianten mit Thermotherapievorbehandlung und anschließender Elektronenbehandlung teilweise unter dem Keimprozent der Kontrolle. Auffällig war sowohl bei Trauben- als auch bei Stieleicheln die 12 kGy-Variante. Bei den Traubeneicheln ohne Thermotherapievorbehandlung war eine Erhöhung des Keimergebnisses um 8 % zu beobachten, bei jenen mit Thermotherapievorbehandlung jedoch eine Reduktion um 12,5 % (s. Abb. 38). Beide Werte waren jedoch nicht signifikant verschieden von der Kontrolle. Die Werte der 8 kGy- und 16 kGy- Varianten wiesen fast die gleichen Keimprozent wie die jeweilige Kontrolle auf.

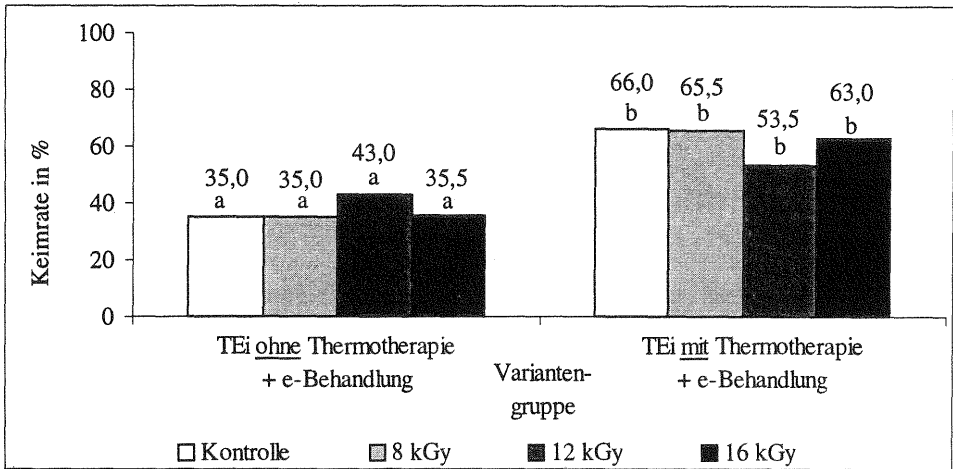


Abb. 38: Keimfähigkeit elektronenbehandelter Traubeneicheln (TEi) in Sand ohne und mit Thermotherapie. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 200$ ).

Der Auflaufferfolg der Stieleicheln (Abb. 39) stellte sich ähnlich dar. Während das Keimprozent der Eicheln ohne Vorbehandlung einen homogenen Verlauf aufwies, war bei den Stieleicheln mit Thermotherapievorbehandlung bei der 12 kGy-Variante eine Verminderung der Keimrate um 5,5 % festzustellen. Dieser Wert ist statistisch jedoch nicht gesichert.

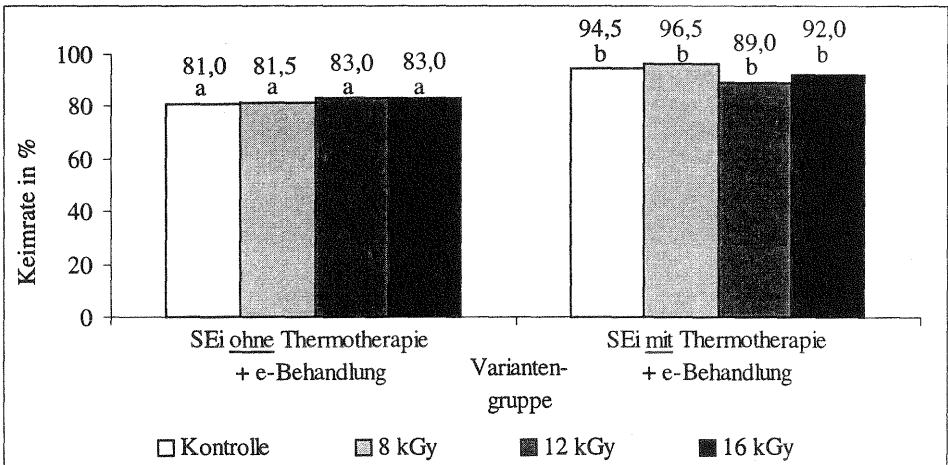


Abb. 39: Keimfähigkeit elektronenbehandelter Stieleicheln (SEi) in Sand nach Vorbehandlung ohne und mit Thermotherapie. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen,  $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$  ( $n = 200$ ).

Für die Keimttests in Sand kann zusammenfassend festgestellt werden, daß signifikante Unterschiede zwischen thermotherapierten und nicht thermotherapierten Trauben- und Stieleicheln bestehen. Innerhalb der Gruppen ist bezogen auf die Wirkung der Elektronenbehandlung keine statistisch gesicherte Tendenz festzustellen.

### Keimtests in Erde

Ziel der Elektronenbehandlung ist die Reduktion des Pilzbesatzes im Perikarp und damit pathogen wirkender Pilze, die das Keimprozent beim Auflaufen im Saatbeet verringern können. Der Keimtest in Einzelpflanzcontainern mit Erde sollte diese langfristige Wirkung überprüfen.

Die Keimraten der Traubeneicheln zeigten in diesem Test (Abb. 40) kein einheitliches Bild. Teilweise lagen die Keimraten über, teilweise unter dem Wert der unbehandelten Kontrolle. Jedoch war die höchste Dosis nicht mit der niedrigsten Keimrate korreliert. Bei jeder Variantengruppe gab es mindestens einen Dosiswert, dessen zugehörige Keimerggebnisse über der Kontrolle lagen. Für die Variantengruppe „TEi ohne Thermotherapie“ lagen alle Elektronenbehandlungs-Keimerggebnisse über der Kontrolle. Die 8 kGy-Variante zeigte dabei ein um 8,8 % erhöhtes Keimprozent. In der Variantengruppe „TEi mit Elektronenbehandlung und anschließender Thermotherapie“ lag die 12 kGy-Variante als einzige geringfügig über dem Keimergebnis der Kontrolle. In der Variantengruppe „TEi mit Thermotherapie als Vorbehandlung“ war es die 16 kGy-Variante, die ein höheres Keimprozent als die Kontrolle aufwies. Diese Variantengruppe (mit Thermotherapie als Vorbehandlung) lag signifikant über dem Keimergebnis der Elektronenbehandlungsvarianten ohne Thermotherapievorbehandlung und der Variante Thermotherapie nach erfolgter Elektronenbehandlung. Die Ergebnisse innerhalb der Gruppe wiesen jedoch keine signifikante Abweichung von der Kontrolle auf, so daß bezogen auf die Keimrate angenommen werden kann, daß kein Einfluß der Elektronenbehandlung innerhalb einer Variantengruppe stattgefunden hat.

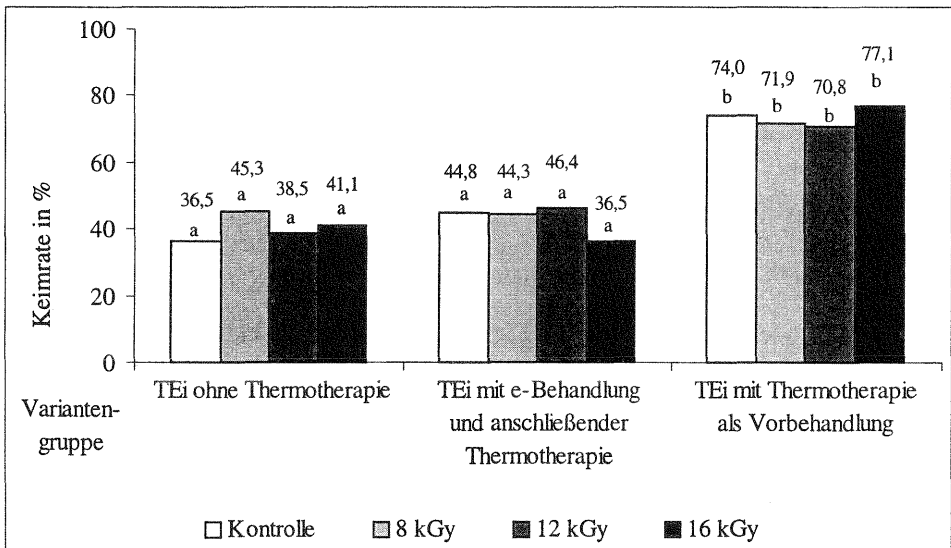


Abb. 40: Keimfähigkeit elektronenbehandelter Traubeneicheln (TEi) in Erde nach unterschiedlichen Vor- und Nachbehandlungen. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 196$ ).

Die Variantengruppen der Stieleichen-Keimtests in Erde (Abb. 41) wiesen in allen elektronenbehandelten Einzelvarianten eine geringere Keimrate auf als die jeweilige Kontrolle; aber

auch in diesem Fall korrelierte die höchste Dosis nicht mit dem geringsten Keimprozent, so daß ein Zusammenhang möglicher phytotoxischer Einflüsse nicht mit der Elektronenbehandlung in Verbindung gebracht werden konnte. In der Variantengruppe „SEi mit Elektronenbehandlung und anschließender Thermotherapie“ ist die höchste Reduktion der Auflafrate zur Kontrolle zu verzeichnen. Dabei weichen die Werte der 12 kGy und der 16 kGy Varianten signifikant von der Kontrolle ab. Da in den beiden anderen Variantengruppen jedoch bei den entsprechenden Dosiswerten keine Reduktion der Keimrate zu verzeichnen war, ist diese Reduktion nicht zwingend auf die Elektronenbehandlung, sondern eher auf die Thermotherapie zurückzuführen.

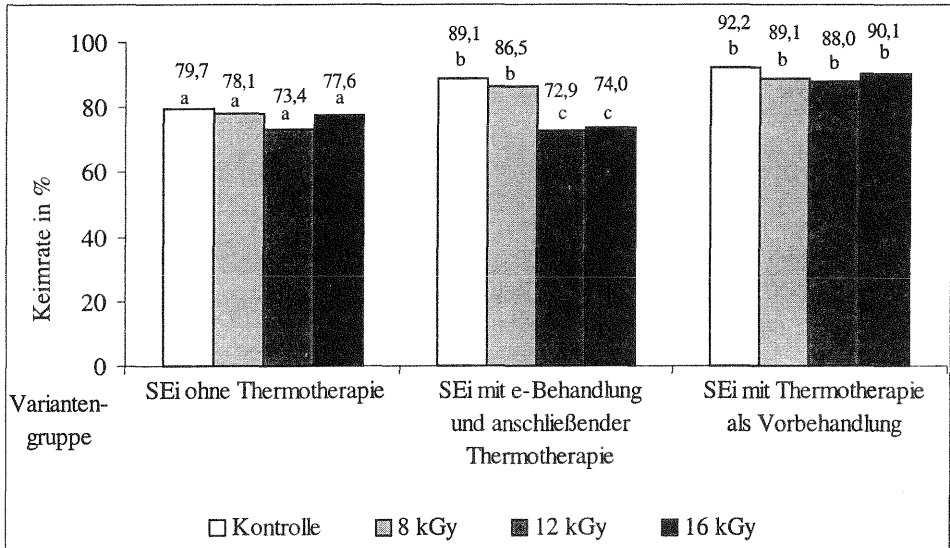


Abb. 41: Keimfähigkeit elektronenbehandelter Stieleicheln (SEi) in Erde nach unterschiedlichen Vorbehandlungen. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 196$ ).

Im Vergleich der Variantengruppen ohne und mit Thermotherapievorbehandlung wird auch bei diesem Keimtestverfahren der positive Einfluß der Thermotherapie sowohl bei Stiel- als auch bei Traubeneicheln vor einer Einlagerung deutlich. Die Varianten der thermobehandelten Stieleicheln lagen im Keimergebnis zwischen 11 % und 14,6 % signifikant über den Varianten ohne Thermotherapie.

Thermobehandelte Traubeneicheln wiesen sogar eine um 26,8 % bis 32,3 % erhöhte Keimrate auf.

Für beide Keimtestserien, sowohl bei Stiel- als auch bei Traubeneicheln in Sand und in Erde wiesen die Eicheln mit Thermotherapie unmittelbar nach der Ernte ein signifikant höheres Keimprozent auf. Innerhalb der Gruppe konnte in 40 Keimtests nur in zwei Fällen eine Reduktion nach erfolgter Elektronenbehandlung festgestellt werden, allerdings auch nur in Kombination mit einer anschließenden Thermotherapie. Die Elektronenbehandlung an sich

hat in den vorliegenden Untersuchungen statistisch gesichert weder positive noch negative Einflüsse bezogen auf die Keimrate verursacht.

Für die praktische Anwendung sind Keimtestverfahren, die ein zu gutes Keimprozent erbringen, weniger geeignet. Es sollte daher überprüft werden, ob die unter optimalen Bedingungen ablaufende Keimung des Testes in Sand wesentlich bessere Keimergebnisse hervorbringt als ein Keimtest in Pflanzcontainern mit Erde, der zudem ein Praxisverfahren der Pflanzenanzucht darstellt. Das Ergebnis des Vergleichs ist in Tab. 34 dargestellt. Fast alle Traubeneichenvarianten wiesen im Erdkeimtest ein höheres Keimprozent auf als im Sandkeimtest. Lediglich die Variante „TEi ohne Thermoerapie mit Elektronenbehandlung (12 kGy)“ keimte im Sandkeimtest besser.

Tab. 34: Gegenüberstellung der Keimraten der Keimtests in Sand und in Erde mit Hilfe der Differenz „Keimrate Sand“ - „Keimrate Erde“ für Stiel- (SEi) und Traubeneicheln (TEi) mit und ohne Thermoerapie (m., o. Thermo.) nach erfolgter Elektronenbehandlung („-“: Keimrate Sand ist niedriger als Keimrate Erde; „+“: Keimrate Sand ist höher als Keimrate Erde;  $n_{\text{Sand}}=200$ ;  $n_{\text{Erde}}=196$ ).

Behandlung	Differenz der „Keimrate Sand“ - „Keimrate Erde“			
	TEi o. Thermo.	TEi m. Thermo.	SEi o. Thermo.	SEi m. Thermo.
<b>Kontrolle</b>	-1,5 %	-8,0 %	+1,3 %	+2,3 %
<b>8 kGy</b>	-10,3 %	-6,4 %	+3,4 %	+7,4 %
<b>12 kGy</b>	+4,5 %	-17,3 %	+9,6 %	+1,0 %
<b>16 kGy</b>	-5,6 %	-14,1 %	+5,4 %	+1,9 %

Bei den Stieleichenvarianten lagen alle Keimergebnisse des Sandkeimtestes über denen des Erdkeimtestes. Der Vergleich von Paardifferenzen der Sand- und Erdvarianten mit Hilfe des Wilcoxon Testes ergab jedoch keinen signifikanten Unterschied der beiden Keimtestverfahren (WILCOXEN Statistik:  $z = 22,0$ ;  $p = 0,597$ ).

### Auflaufverhalten elektronenbehandelter Eicheln nach Lagerung

Die Keimtests in Erde und Sand im unmittelbaren Anschluß an die Elektronenbehandlung (vorheriger Abschnitt) ergaben keine positive oder negative Wirkung der Elektronenbehandlung auf die Keimrate. Die Keimergebnisse nach 5 Monaten Lagerung der behandelten Eicheln bei  $-3\text{ °C}$  in Tonnen wiesen dagegen eine Förderung durch die Elektronenbehandlung auf und sind in Abb. 42 zusammengestellt.



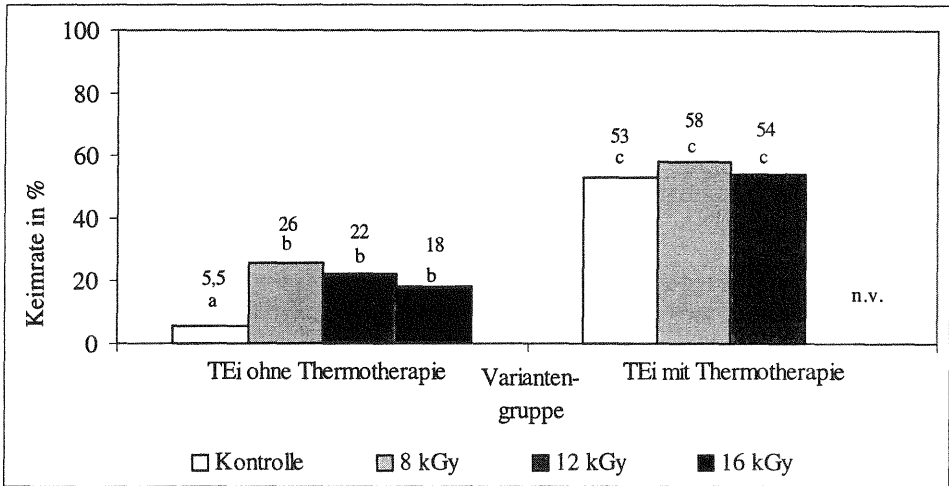


Abb. 42: Keimrate elektronenbehandelter Traubeneicheln (TEi) mit und ohne Thermotherapievorbehandlung nach 5monatiger Lagerung bei  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 200$ , n.v. = nicht vorhanden).

In der Variantengruppe ohne Thermotherapie war eine signifikante Erhöhung der Keimrate durch die Elektronenbehandlung zu verzeichnen. Jene Traubeneicheln mit Elektronenbehandlung wiesen nach einer 5monatigen Lagerung zwischen 12,5 % und 21,5 % höhere Keimraten auf, als die unbehandelte Kontrolle mit einer Auflauftrate von 5,5 %. Die Keimergebnisse der Traubeneicheln mit Thermotherapie lagen zwischen 53 % und 58 % und wiesen damit innerhalb der Behandlungsvariante keine signifikanten Unterschiede auf.

Insgesamt lagen jedoch die Keimraten der Traubeneicheln mit Thermotherapievorbehandlung zwischen 32 % und 47,5 % signifikant über den Ergebnissen der Variantengruppe ohne Thermotherapie.

#### 4.2.2 Buchensaatgut

Ziel dieser Untersuchung war es, wie bei den Eichelversuchen, möglichst viele Pilze im Perikarp der Bucheckern abzutöten, ohne phytotoxische Wirkungen an den Keimanlagen hinnehmen zu müssen. Das Perikarp der Bucheckern ist im Mittel zwar wesentlich dünner ( $\bar{x} = 210\text{ }\mu\text{m}$  bei m.c. = 32 %) als das der Eicheln, jedoch kann der Elektronenstrahl der WESENITZ 1 trotz maximaler Beschleunigungsspannung von 70 kV nicht das gesamte Perikarp durchdringen. Die Wirksamkeit der Elektronenbehandlung wurde durch die Bestimmung des Wirkungsgrades gegen Pilze ( $RW_{II}$ ) beurteilt, ein möglicher Einfluß auf das Aufnahmeverhalten durch Labor-Keimtests an der ISTA Station Freising.

Die Werte der Feuchteabgabe gelagerter Bucheckern während des Saatgutaufenthaltes im Vakuum lagen im Rahmen der Ergebnisse der Vorversuche. Die erhöhte Feuchteabgabe der Variante mit einer Thermotherapievorbehandlung war auf Wasseraufnahme während der am Tag vor der e-Behandlung durchgeführten Thermotherapie zurückzuführen (Tab. 35).

Tab. 35: Feuchteverlust gelagerter Bucheckern während der e-Behandlung bei einer Kombinationsbehandlung von Thermotherapie und e-Behandlung mit 12 kGy, sowie Feuchteverlust frischer Bucheckern bei unterschiedlichen Dosiswerten. (Ernte 1990 und 1992 je ein kg; Ernte 95 je zwei kg).

Gelagerte Bucheckern (e-Behandlung jeweils mit 12 kGy)			
Erntejahr	e-Behandl.	e-Behandl. + Thermo.	Vorb. Thermo. + e-Behandl.
1990	1,0 %	1,0 %	1,5 %
1992	0,9 %	0,9 %	1,5 %
Frische Bucheckern (ohne Thermotherapie)			
	8 kGy	12 kGy	16 kGy
1995	2,2 %	2,6 %	2,8 %

Ähnliches gilt auch für die Bucheckern der Ernte 1995, die im Gegensatz zu den gelagerten Eckern einen Feuchtegehalt von über 32 % aufwiesen, da sie durch die ständige Befeuchtung während der vorangegangenen Stratifikation in der Samenschale freies Wasser aufwiesen, welches während des Aufenthaltes im Vakuum abgegeben wurde. Die Zunahme der Wasserabgabe mit Erhöhung der Dosis ist auf die Versuchsdurchführung zurückzuführen, da die Dosiswerte durch wiederholte Behandlungen mit 4 kGy erreicht wurden.

## Wirkung der Elektronenbehandlung auf die Mykoflora

### Gelagerte Bucheckern

Die zum Behandlungszeitpunkt bereits 4 Jahre (Ernte 1992) und 6 Jahre (Ernte 1990) mit einem Feuchtegehalt von 8 % bei -10 °C eingelagerten Bucheckern wurden im getrocknetem Zustand behandelt und nachfolgend stratifiziert. Diese Bucheckern wiesen bereits in der unbehandelten Kontrolle eine Sterilrate von 50 % (Ernte 1990) und 54 % (Ernte 1992) auf (siehe Tab. 36).

Tab. 36: Prozentuale Pilzbefallsrate inkubierter Inokula aus gelagerten Bucheckern nach Elektronenbehandlung (Dosis 12 kGy), Thermotherapie sowie Kombinationsbehandlung von Thermotherapie und Elektronenbehandlung in unterschiedlicher Reihenfolge, sowie der Wirkungsgrad ( $RW_{II}$  %). Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 50$  je Behandlungskombination).

Behandlung	gelagerte Bucheckern (Ernte 1990)			gelagerte Bucheckern (Ernte 1992)		
	Pilz-%	sign.	$RW_{II}$ %	Pilz-%	sign.	$RW_{II}$ %
Kontrolle	42	a	--	36	a	--
12 kGy	46	a	-9,5	48	a	-33,3
Thermotherapie	38	a	9,5	68	b	-88,9
Thermo. + 12 kGy	26	a	38,1	66	b	-83,3
12 kGy + Thermo.	62	b	-47,1	56	a	-55,6

Die hohe Ausgangsterilrate der gelagerten Bucheckern dürfte auf die Trocknung und Lagerung bei  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  zurückzuführen sein, die bereits eine Vielzahl von Pilzen abgetötet haben dürfte. Lediglich in einem Fall (Ernte 1990, Thermo. + 12 kGy) konnte eine deutliche Erhöhung der Sterilrate erreicht werden, die jedoch nicht signifikant war. Da es sich um eine Kombinationsbehandlung handelte und die jeweilige Einzelbehandlung ein etwa gleiches Ergebnis bezüglich der Sterilrate lieferte, ist eine Aussage welche Behandlung nun den größten Anteil an diesem Ergebnis hat, nicht möglich. Die Variante mit nachfolgender Thermo-therapie erhöhte den Pilzbefall signifikant um 20 %. Alle Varianten der Ernte 1992 wiesen einen teilweise signifikant erhöhten Pilzbefall gegenüber der Kontrolle auf.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß eine Elektronenbehandlung und eine Thermo-therapie allein oder in Kombination auf die Häufigkeit eines Pilzbefalls bei zuvor gelagerten Bucheckern keine positive Wirkung zu haben scheint. Eine Auswertung eines möglichen Einflusses der Behandlung auf die Artzusammensetzung des Pilzbefalls nach diesen Behandlungen erfolgte nicht. Bei den Varianten, bei denen eine Thermo-therapie durchgeführt wurde, (also 4 bzw. 6 Jahre nach Einlagerung) sind überwiegend sehr hohe Pilzkontaminationen aufgetreten.

### Frische Bucheckern

Die frischen Bucheckern wurden im November des vorhergehenden Jahres geerntet und waren zum Zeitpunkt der Elektronenbehandlung fertig stratifiziert. Zum Behandlungstermin wiesen sie einen Feuchtegehalt von  $>32\text{ }%$  auf. Es wurde die Wirkung einer Elektronenbe-handlung mit unterschiedlichen Dosiswerten untersucht. Die Ergebnisse zur Befallsrate mit Pilzen sind in Tab. 37 enthalten.

Tab. 37: Prozentuale Pilzbefallsrate inkubierter Inokula aus frischen Bucheckern nach Elek-tronenbehandlung (Dosis 8 kGy, 12 kGy, 16 kGy) sowie Wirkungsgrad ( $RW_{II}\%$ ). Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 50$  je Behandlung).

Behandlung	frische Bucheckern (Ernte 1995)		
	Pilzrate in %	sign.	$RW_{II}\%$
Kontrolle	100	a	--
8 kGy	100	a	0
12 kGy	92	a	8
16 kGy	58	b	42

Im Gegensatz zu den gelagerten Bucheckern war die Kontrolle zu 100 % mit Mikropilzen infiziert. Die Elektronenbehandlung mit einer Dosis von 16 kGy führte zu einer Reduktion des Pilzbefalls um 42 %, wohingegen die niedrigeren Dosiswerte keine pilzreduzierende Wirkung zeigten. Eine qualitative Auswertung des Pilzbefalls erfolgte nicht. Eine Elektronen-behandlung von Bucheckern der gleichen Partie (gelagert mit einem Feuchtigkeitsgehalt von ca. 32 % bei  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) nach weiteren 2 Monaten brachte auch bei höheren Dosiswerten (bis zu 32 kGy) keine Reduktion des Pilzbefalls. Alle Varianten waren und blieben zu 100 % mit Pilzen infiziert.

## Wirkung der Elektronenbehandlung auf das Auflaufverhalten

### Gelagerte Bucheckern

Die Überprüfung des Keimverhaltens der Bucheckern hatte primär die Klärung möglicher phytotoxischer Wirkungen der Behandlungen als Ziel. Die Ergebnisse der Keimtests, die von der ISTA Station Freising durchgeführt wurden, sind für die zuvor gelagerten Partien in der Tab. 38 und für die frischen Bucheckern in der Tab. 39 aufgeführt.

Tab. 38: Keimraten gelagerter Bucheckern nach Elektronenbehandlung (Dosis 12 kGy), Thermotherapie sowie Kombinationsbehandlung von Thermotherapie und Elektronenbehandlung in unterschiedlicher Reihenfolge. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 150$  je Behandlungskombination).

Behandlung	gelagerte Bucheckern (Ernte 1990)		gelagerte Bucheckern (Ernte 1992)	
	Keimrate in %	sign.	Keimrate in %	sign.
Kontrolle	47	a	35	a
12 kGy	52	a	40	a
Thermotherapie	12	b	11	b
Thermo. + 12 kGy	25	b	20	b
12 kGy + Thermo.	23	b	23	a

Die Elektronenbehandlung allein schien auf das Auflaufergebnis eine leichte fördernde Wirkung aufzuweisen. Dies wurde durch die Angaben im ISTA Prüfbericht unterstützt, die eine Reduktion der faulen Bucheckern im gleichen prozentualen Umfang wiedergaben. Die Thermotherapie zuvor gelagerter Bucheckern wies hingegen eine signifikant keimhemmende Wirkung auf und zwar in fast allen Fällen auch bei der Kombinationsbehandlung. Das Keimprozent im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle wurde um 35 % (Ernte 1990) bzw. 24 % (Ernte 1992) reduziert. In den Kombinationsbehandlungen war die Keimrate ebenfalls reduziert. Die Varianten liefen um 22 % bis 24 % (Ernte 1990) bzw. 12 % bis 15 % geringer auf. Unter Berücksichtigung der Keimergebnisse der reinen Elektronen- und reinen Thermotherapiebehandlung kann dieser negative Einfluß der Thermotherapie zugeschrieben werden.

Eine Elektronenbehandlung hat scheinbar keinen phytotoxischen Einfluß auf gelagerte Bucheckern, wohingegen eine Thermotherapie zuvor gelagerter Eckern das Keimvermögen signifikant reduziert.

### FrISCHE Bucheckern

Die Elektronenbehandlung von frischen Bucheckern mit Dosiswerten von 8 kGy, 12 kGy und 16 kGy wies keinen Einfluß auf die Keimrate auf (Tab. 39). Die Keimergebnisse lagen im gleichen Rahmen wie die unbehandelte Kontrolle, in zwei Fällen sogar leicht (1 % und 5 %) darüber. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht signifikant und kann somit nicht ohne weiteres der Elektronenbehandlung zugeschrieben werden.

Tab. 39: Keimraten nach Elektronenbehandlung (Dosis 8 kGy, 12 kGy, 16 kGy) frischer Bucheckern. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen den Behandlungen ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 150$  je Behandlungskombination).

Behandlung	Keimrate (frische Bucheckern Ernte 1995)	sign.
Kontrolle	81 %	a
8 kGy	82 %	a
12 kGy	86 %	a
16 kGy	81 %	a

#### 4.2.3 Sitkafichtensaatgut

Neben den Laubholzsamen mit sehr dickem Perikarp wurde der Einfluß der e-Behandlung mit der WESENITZ 1 bei Nadelholzsamtgut, dessen Testdicke der Perikarpstärke von Getreidesamtgut ähnlich ist, untersucht. Bei einer mittleren Testastärke von  $x = 58,52 \mu\text{m}$  konnte davon ausgegangen werden, daß der Elektronenstrahl bei einer Beschleunigungsspannung ab 60 kV die gesamte Testa durchdringen kann, ohne den Embryo zu erreichen. Ziel dieses Untersuchungsabschnittes war es, die Parameterkombination von Beschleunigungsspannung (Eindringtiefe) und Strahlstrom (Dosis) zu ermitteln, die die beste Desinfektionsleistung in der Testa erbringt, ohne eine phytotoxische Wirkung bezüglich des Auflaufverhaltens zu haben.

#### Wirkung der Elektronenbehandlung auf die Mykoflora

Wie bei den vorangegangenen Untersuchungen an Eicheln und Bucheckern wurde als Kriterium für die Wirksamkeit der Elektronenbehandlung die Reduktion des Pilzbefalls nach zweiwöchiger Inkubation des behandelten Saatgutes (hier auf 15 % Wasseragar) herangezogen. In Tab. 40 sind die Ergebnisse der Befallsrate mit Mikropilzen für nicht oberflächensterilisiertes Sitkafichtensamtgut dargestellt, da Vorversuche ergaben, daß eine derartige Sterilisation nicht nötig ist.

Tab. 40: Pilzbefallsrate und Wirkungsgrad gegen Pilze an Sitkafichtensamtgut nach Elektronenbehandlung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen Behandlung und Kontrolle. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 170$ ).

Behandlung	Pilzrate in %	sign.	RW <sub>n</sub> %
Kontrolle	90,6	a	--
60 kV / 8 kGy	18,8	b	79,2
60 kV / 16 kGy	16,5	b	81,8
70 kV / 8 kGy	12,9	b	85,7
70 kV / 16 kGy	14,1	b	84,4
70 kV / 24 kGy	9,5	b	89,6

Die Reduktion der Pilzbefallrate durch die e-Behandlung war gegenüber der Kontrolle bei allen Varianten signifikant. Mit zunehmender Dosis erhöhte sich der Wirkungsgrad gegen Pilze sowohl bei einer Beschleunigungsspannung von 60 kV als auch von 70 kV. Die Wirkung der 70 kV Varianten lag über denen der 60 kV Versuche. Der höchste Wirkungsgrad gegen Mikropilze wurde mit der Kombination 70 kV Beschleunigungsspannung und einer Dosis von 24 kGy erreicht.

### Wirkung der Elektronenbehandlung auf das Auflaufverhalten

Zür Überprüfung möglicher phytotoxischer Einflüsse einer Elektronenbehandlung wurden Keimtests auf 15 % Wasseragar durchgeführt. Die Keimraten, die in Tab. 41 dargestellt sind, ließen keinen signifikanten Einfluß der Elektronenbehandlung auf das Auflaufergebnis der untersuchten Sitkafichtensamen erkennen.

Tab. 41: Keimraten (in %) elektronenbehandelten Sitkafichtensaatgutes. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen. ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 20$  Keimtests á 17 Samen).

	Kontrolle	60 kV		70 kV		
		8 kGy	16 kGy	8 kGy	16 kGy	24 kGy
Mittelwert [ $\bar{x}$ ]	(a) 86	(a) 85	(a) 84	(a) 89	(a) 89	(a) 84
Minimum	65	65	65	76	76	71
Maximum	100	100	94	100	100	100
Standardabw. [s]	11	10	9	8	7	8
Variationsk. [V%]	12,8	11,8	10,7	9,0	7,9	9,5

### 4.3 Wirkung einer Elektronenbehandlung mit der Elektronenstrahl-schweißanlage ESA 50/150 CNC auf Eichensaatgut

Die Behandlung von Eicheln mit der Saatgutbehandlungsanlage WESENITZ 1 hatte ergeben, daß die Eindringtiefe des Elektronenstrahls in das Eichelperikarp nicht ausreichte, um eine Wirkung gegen Pilze zu erreichen. Die Ergebnisse der aus diesem Grund mit einer Elektronenstrahl-schweißanlage mit einer Beschleunigungsspannung von 150 kV durchgeführten Versuche sind nachfolgend dargestellt. Die Gesamtbehandlungsdauer betrug durchschnittlich 25 Minuten, wobei 17 Minuten auf die Evakuierung des Rezipienten entfielen und 8 Minuten für die Elektronenbehandlung benötigt wurden.

#### 4.3.1 Saatgutverteilung in der Behandlungstrommel

Die Elektronenbehandlung der Eicheln erfolgte in einer Trommel, die zur Durchmischung nach jedem Behandlungsdurchgang gedreht wurde. Anhand von 50 farbig markierten Eicheln wurde die Gleichmäßigkeit der Durchmischung bei einer gegebenen Saatgutmenge und Umdrehungszahl der Trommel überprüft. Die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit  $p$  (Mittelwert nach 20 einzeln ausgewerteten Trommelumdrehungen), mit der die markierte Eichelseite nach einer Trommelumdrehung in Richtung Elektronenstrahl lag, betrug 0,29. Der theoretische

Wert pro markierter Seite und Durchgang liegt bei  $p = 0,25$ . Die tatsächliche Häufigkeit lag daher mit 15 % signifikant über dem theoretischen Wert ( $p < 0,001$ ).

### 4.3.2 Wirkung auf die Mykoflora und das Auflaufverhalten von Eichensaatgut

#### Wirkung auf die Mykoflora

Das Saatgut der unbehandelten Kontrollen beider Eichenarten war hochgradig mit Pilzen kontaminiert. Mit Hilfe der Elektronenbehandlung konnte eine Reduktion des Pilzbesatzes erreicht werden, die bei der Stieleichel zu signifikanten Wirkungsgraden bis zu 24 %, bei der Traubeneichel bis zu 37,5 % führte (Tab. 42).

Tab. 42: Befall Perikarpinokula mit lebensfähigen Mikropilzen sowie Wirkungsgrad gegen Pilze ( $RW_{II}$  %) e-behandelter Eicheln. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Behandlungen ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 50$  je Variante).

		<i>Quercus robur</i>			<i>Quercus petraea</i>		
		Pilz-%	sign.	$RW_{II}$ %	Pilz-%	sign.	$RW_{II}$ %
Kontrolle	Spitze	100	a	--	96	a	--
	Mitte	100	a	--	96	a	--
28 kGy	Spitze	76	b	24	64	b	33,3
	Mitte	90	a	10	82	a	14,6
42 kGy	Spitze	88	b	12	60	b	37,5
	Mitte	88	b	12	72	b	25,0

Die Sterilrate erhöhte sich jedoch nicht in den gleichen Größenordnungen, da nach erfolgter Elektronenbehandlung ein erhöhtes Auftreten von Bakterien beobachtet wurde. Das Fehlen der Pilze ermöglichte jedoch erst die Bonitur der Bakterien. Die Tab. 43 und Tab. 44 geben das Artenspektrum der Mikropilze vor und nach der Elektronenbehandlung wieder.

Die Bilder 5-1 bis 5-6 der Bildtafel 5 auf Seite 220 zeigen einige der bonitierten Pilze in Reinkultur nach vierwöchiger Inkubation bei 20 °C auf 2 % Malzagar.

Tab. 43: Pilzartenspektrum (%), Perikarp (Spitze, Mitte) von Stieleicheln nach e-Behandlung.

<i>Quercus robur</i>	Kontrolle		e-Beh. 28 kGy		e-Beh. 42 kGy	
	Spitze	Mitte	Spitze	Mitte	Spitze	Mitte
1. <i>Acremonium</i> sp.				2		
2. <i>Alternaria</i> sp.	2	2	4	6	2	2
3. <i>Amphiportha leiphaemia</i>			2		2	
4. <i>Aposphaeria</i> sp.		2	4			2
5. <i>Aureobasidium</i> sp.			2			
6. <i>Botrytis cinerea</i>	4	8	2	2	6	10
7. <i>Ciboria batschiana</i>	4	8		8		
8. <i>Cladosporium</i> sp.		2	4	2		2
9. <i>Codinaea simplex</i>	12	8	4	4		6
10. <i>Coleophoma</i> sp.	2				2	2
11. <i>Coleophoma cf. cylindrospora</i>	2					
12. <i>Coryne</i> sp.					2	
13. <i>Coryneum</i> sp.					2	
14. <i>Cylindrocarpon cf. coprosmae</i>		2				
15. <i>Cylindrocarpon cf. tenue</i>			2			
16. <i>Cystodendron</i> sp.			2			2
17. <i>Cytospora</i> sp.						2
18. <i>Cytospora intermedia</i>					2	
19. <i>Cytosporella</i> sp.						2
20. <i>Dendrophoma</i> sp.		4		4		4
21. <i>Diaporthe eres</i>	6				2	2
22. <i>Diplodina</i> sp.	2		2		2	
23. <i>Discula quercina</i>	2	6	2	2	2	
24. <i>Epicoccum nigrum</i>	14	12	8	4	2	
25. <i>Fusarium</i> spp.	8	6	2	2	10	8
26. <i>Hormonema</i> sp.				2	2	
27. <i>Mollisia</i> sp.						2
28. <i>Mollisia cinerea</i>	2	2				
29. <i>Monochaetia monochaeta</i>					2	
30. <i>Mucor</i> sp.	10	14	4	14	6	14
31. <i>Ophiostoma quercus</i>		2		2		
32. <i>Penicillium</i> spp.	8	4	6	2	2	4
33. <i>Phialocephala</i> sp.					4	
34. <i>Phialophora</i> sp.			4		6	6
35. <i>Phialophora bubakii</i>			2			
36. <i>Phoma</i> sp.	2	4	6	4	4	4
37. <i>Phomopsis quercella</i>				2		
38. <i>Phomopsis spec. 1</i>	8	2	2	2		
39. <i>Pleospora herbarum</i>					2	
40. <i>Sphaeropsis</i> sp.					2	
41. <i>Torula</i> sp.	2	4				
42. <i>Trichoderma</i> sp.	4	2	2			2
43. <i>Trimmatostroma</i> sp.	4			2		
44. <i>Tubakia dryina</i>	4	2	4	2	2	6
45. <i>Ulocladium chartarum</i>					2	
46. unidentifizierter Basidiomycet	2				2	2
47. unidentifiziertes Myzel	16	16	4	30	16	10
48. steriles Myzel	4	4	6		6	2
<b>Summe % Pilzarten *</b>	<b>124</b>	<b>116</b>	<b>80</b>	<b>98</b>	<b>94</b>	<b>96</b>
49. Bakterien (ausschließlich)			14	10	4	4
50. Nematoden (mit Pilzbefall)	6	20	4	18	0	6
51. sterile Kultur			10	2	8	8
<b>Gesamtauswertung:</b>	<b>Kontrolle</b>		<b>28 kGy</b>		<b>42 kGy</b>	
Anzahl der Inokula	50	50	50	50	50	50
• prozentualer Pilzbefall	100	100	76	90	88	88
• Wirkungsgrad gegen Pilze RW <sub>II</sub> %	--	--	24	10	12	12



Tab. 44: Pilzartenspektrum im Perikarp (Spitze, Mitte) von Traubeneicheln nach Elektro-  
 nbenbehandlung. „\*“: Summe über 100 % möglich, da teilweise mehrere Pilze aus  
 einem Impfstück wuchsen. (n = 50 je Variante).

<i>Quercus petraea</i>	Kontrolle		e-Behandlung mit 28 kGy		e-Behandlung mit 42 kGy	
	Spitze	Mitte	Spitze	Mitte	Spitze	Mitte
1. <i>Alternaria</i> sp.	2	2		4		
2. <i>Aposphaeria</i> sp.				4		2
3. <i>Botrytis cinerea</i>	10	10	6	4	4	10
4. <i>Ceratocystis</i> sp.		2				
5. <i>Ceuthospora</i> sp.	6	12	6	8	6	8
6. <i>Ciboria batschiana</i>	14	32	4	8	2	10
7. <i>Cladosporium</i> sp.			2			4
8. <i>Coleophoma</i> cf. <i>cylindrospora</i>	2					
9. <i>Coniothyrium fuckelii</i>		2				
10. <i>Coryne</i> sp.		2		2		2
11. <i>Cylindrocarpon didymum</i>		4				
12. <i>Cytospora</i> sp.						2
13. <i>Dendrophoma</i> sp.		6	2		2	2
14. <i>Dictyorchella</i> sp.				2		
15. <i>Discula quercina</i>	16	12	26	38	14	22
16. <i>Epicoccum nigrum</i>	2	2	4	2	2	2
17. <i>Fusarium</i> sp.					2	
19. <i>Harpographium</i> sp.					2	
20. <i>Hormonema</i> sp.			2			
21. <i>Mucor</i> sp.	8	8		2	4	2
22. <i>Ophiostoma quercus</i>	4					
23. <i>Penicillium</i> spp.	8	8	2	2	6	2
24. <i>Phialocephala</i> sp.	4	2	4		2	
25. <i>Phialophora</i> sp.	2			2		
26. <i>Phoma</i> sp.			2			
27. <i>Phomopsis quercella</i>	2		2			4
28. <i>Phomopsis</i> spec. 2						2
29. <i>Phomopsis</i> spec. 1	2	2		2		
30. <i>Pyrenochaeta</i> sp.					2	
31. <i>Strasseria geniculata</i>						2
32. <i>Trichoderma</i> sp.	4	2				
33. <i>Tubakia dryina</i>					2	
34. unidentifizierter Basidiomycet		2				2
35. unidentifiziertes Myzel	14	10	6	2	8	8
36. steriles Myzel	2				2	2
<b>Summe % Pilzarten *</b>	<b>102</b>	<b>120</b>	<b>68</b>	<b>82</b>	<b>60</b>	<b>88</b>
37. Bakterien (ausschließlich)	4	4	8	4	14	8
38. Nematoden (mit Pilzbefall)	8	8	2			
39. sterile Kultur	0	0	28	14	26	20
<b>Gesamtauswertung:</b>	<b>Kontrolle</b>		<b>28 kGy</b>		<b>42 kGy</b>	
Anzahl der Inokula	50	50	50	50	50	50
• prozentualer Pilzbefall	96	96	64	82	60	72
• Wirkungsgrad gegen Pilze RW <sub>II</sub> %	--	--	28	14	26	20

### Wirkung der Elektronenbehandlung auf das Auflaufverhalten

Die Keimergebnisse der elektronenbehandelten Eicheln der Stiel- und Traubeneiche stellten sich uneinheitlich dar (Tab. 45). Während weder die Dosis von 28 kGy noch die Dosis von 42 kGy einen Einfluß auf die Auflaufrate der Stieleicheln hatte, wurde das Keimprozent der Traubeneicheln bei beiden Dosiswerten signifikant um 20 % reduziert. Die Wasserdampfabgabe war allerdings bei den Traubeneicheln um 3,2 % erhöht. Da dies bereits während der Elektronenbehandlung gemessen wurde, wurde eine Variante nur mit einer Vakuumeinwirkung, aber ohne Elektronenbehandlung durchgeführt. Die Gesamtdauer dieser Behandlung dauerte 34 Minuten (28 Minuten bis zum Erreichen des für eine Behandlung nötigen Vakuums und 6 Minuten Verweilzeit bei diesem Druck), also wesentlich länger als die ca. 25 Minuten dauernde Elektronenbehandlung. Der Feuchteverlust lag mit 5,1 % ebenso hoch, wie das Mittel bei den Elektronenbehandlungen (5,2 %). Die Keimrate der Traubeneicheln wurde durch diesen langen Aufenthalt im Vakuum signifikant von 51 % auf 20 % reduziert.

Tab. 45: Feuchteverlust während der e-Behandlung von Stiel- (SEi) und Traubeneicheln (TEi) mit 150 kV sowie Keimrate nach Behandlungsdosen mit 28 kGy, 42 kGy und reiner Vakuumbehandlung. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante (sign.) Unterschiede zwischen Behandlungen ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 200$  je Variante).

	Feuchteverlust während der e-Behandlung	Kontrolle sign.	Keimrate e-Behandlung	
			28 kGy sign.	42 kGy sign.
TEi o.T.	5,2 %	51 % a	31 % b	31 % b
SEi o.T.	2,0 %	74 % a	70 % a	77 % a
			nur Vakuumbehandlung sign.	
TEi o.T.	5,1 %	51 % a	20 % b	

## 4.4 Einfluß einer Mikrowellenbehandlung auf die Mykoflora und das Auflaufverhalten von Eichensaatgut

### 4.4.1 Einfluß der Oberflächentemperatur

Die untersuchten Eicheln von *Quercus robur* wiesen zu Versuchsbeginn einen mittleren Feuchtegehalt von 41,6 % auf. Die Gewichtsbestimmung nach der Mikrowellenbehandlung zur Bonitur des Feuchteverlustes während der Behandlung war nur bei den Varianten ohne Dampf möglich, da die Eicheln nach letzterer Behandlung infolge der Kondensation oberflächlich feucht waren, was eine Gewichtszunahme bedeutet hätte. Der Feuchteverlust aller anderen Varianten war mit 0,2 % (40 °C, 300 Watt) bis 1,1 % (60 °C, 1200 Watt mit 15 % Abluft) gering. Die Wasserdampfabgabe nahm von niedrigen zu hohen Temperaturen zu. Mit zunehmender Oberflächentemperatur konnte eine Reduktion des Pilzbefalls und damit eine Erhöhung der Sterilrate beobachtet werden, jedoch auch eine Verringerung der Keimrate (Tab. 46).

Tab. 46: Prozentualer Pilzbefall in Perikarp- und Kotyledoneninokula sowie Keimrate von Stieleicheln nach Mikrowellenbehandlung mit verschiedener Behandlungsdauer und Mikrowellenleistung sowie Zusatzbehandlungen. \*: signifikante (sign.) Unterschiede zwischen Kontrolle und Behandlungen ( $\chi^2$ -Test für die Keimrate,  $n = 55$  bis  $85$ ; Exakter Test von FISCHER für mykologische Untersuchung,  $n = 20$ ,  $p \leq 0,05$ ).

Behandlung über 5 min mit:		Mykologische Untersuchung				Keimung	
Oberflächen- Temperatur in °C	Anfangsleistung / Zusatzbehandlung	Perikarp		Kotyledonen		Keimrate	
		Pilz- rate %	RW <sub>II</sub>	Pilz- rate %	RW <sub>II</sub>	%	sign.
Kontrolle		100	--	100	--	83	
40 °C	300 Watt	100	0	100	0	78	
45 °C	600 Watt	85	15	100	0	62	*
35 °C	1200 Watt	100	0	100	0	85	
40 °C	1200 Watt	100	0	95	5	54	*
45 °C	1200 Watt / Abluft	80	20	85	15	54	*
50 °C	1200 Watt / Abluft	80	20	80	20	33	*
55 °C	1200 Watt / Abluft	80	20	55	45	35	*
60 °C	1200 Watt / Abluft	85	15	70	30	5	*
35 °C	300 Watt / Dampf	100	0	100	0	83	
40 °C	300 Watt / Dampf	100	0	100	0	75	*
45 °C	450 Watt / Dampf	95	5	95	5	55	*
50 °C	450 Watt / Dampf	90	10	95	5	13	*
55 °C	450 Watt / Dampf	60 *	40	75	25	16	*
60 °C	450 Watt / Dampf	70	30	65	35	9	*

Bei allen Versuchsvarianten, deren Keimrate durch die Behandlung zwar reduziert wurde, aber immer noch über 70 % lag, war wie bei der Kontrolle eine 100 %ige Kontamination mit lebensfähigen Pilzen gegeben. Bei diesen Varianten betrug die Oberflächentemperatur 35 °C bzw. 40 °C. Mit Zunahme der Oberflächentemperatur bis auf 60 °C erhöhte sich der Wirkungsgrad im Perikarp bis auf 40 % und in den Kotyledonen bis auf 45 %, wobei die Dampfvarianten durch höheren absoluten Sterilanteil im Perikarp etwas günstiger abschnitten. Die Keimfähigkeit des Saatgutes nahm allerdings spätestens ab einer Oberflächentemperatur von 45 °C extrem ab. Lediglich die Temperaturwerte 35 °C + Dampf, 35 °C 1200 Watt und 40 °C 300 Watt wiesen keine signifikante Reduktion der Keimrate auf. Am Beispiel der Temperaturreihe der Dampfvarianten soll die Beziehung zwischen Wirkungsgrad, Oberflächentemperatur und Keimrate grafisch aufbereitet werden (Abb. 43).

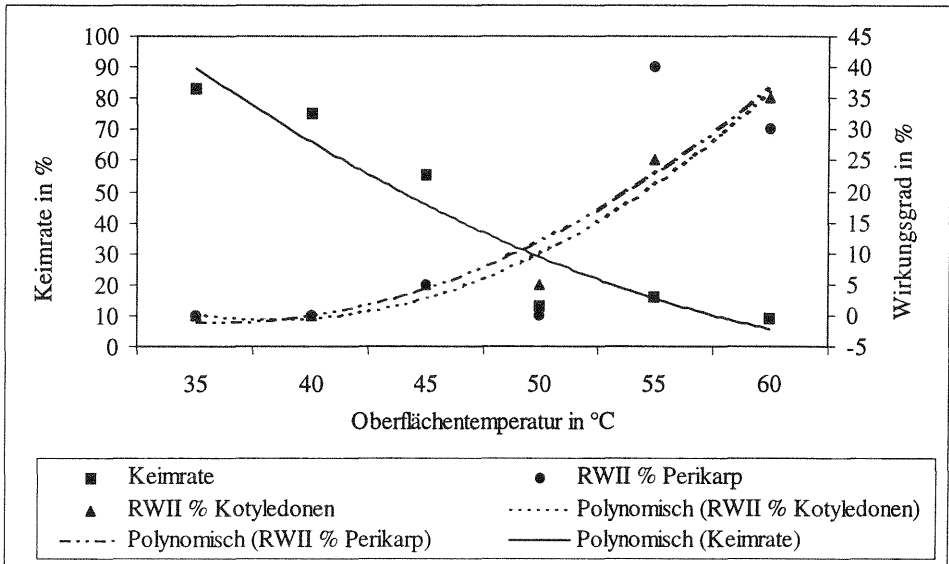


Abb. 43: Wirkungsgrad gegen Pilze auf Perikarpinokula und Kotyledoneninokula von Stiel-eicheln sowie Keimrate nach Mikrowellenbehandlung mit Dampfapplikation bei unterschiedlichen Eicheloberflächentemperaturen, sowie Polynom-Regression. Wirkungsgrad Perikarp:  $y=1,6071x^2-3,6786x + 1$ ,  $R^2=0,6927$ ; Wirkungsgrad Kotyledonen:  $y=1,6943x^2-6,6071x+5$ ,  $R^2=0,9571$ ; Keimrate:  $y=1,7321x^2-28,954x+116,9$ ,  $R^2=0,914$ .

Zur weiteren Versuchsplanung wurde der Wirkungsgrad ( $RW_{II}$  %) außer acht gelassen, da zunächst der Erhalt der Keimfähigkeit der Eicheln im Vordergrund stehen sollte. Dafür sollten entsprechende Parameter der Mikrowellenbehandlung erarbeitet werden. Die Varianten, die die Keimrate nicht signifikant reduziert hatten, waren folgende Kombinationen:

- 1) 5 min, 35 °C, 1200 Watt Anfangsleistung, Keimrate 85 %
- 2) 5 min, 35 °C, 300 Watt Anfangsleistung mit Dampfapplikation, Keimrate 83 %
- 3) 5 min, 40 °C, 300 Watt Anfangsleistung, Keimrate 78 %

Die Eicheln aller drei Varianten waren nach der Behandlung noch zu 100 % mit Pilzen kontaminiert und zeigten ähnliche Keimergebnisse. Die Varianten 1) und 2) wurden aufgrund der geringeren Temperatur (Leittemperatur waren die Kenntnisse aus der Thermotherapie) nicht weiter verfolgt. Somit wurde für die zweite Versuchsserie eine maximale Oberflächentemperatur von 40 °C bei 300 Watt Ausgangsleistung als Grundlage gewählt.

#### 4.4.2 Einfluß verschiedener Behandlungszeiten

Die nach obiger Darstellung ermittelten Parameter sollten über eine Zeitreihe sowie Änderung der Garraumatmosfera (15 % Luftabsaugung) verifiziert werden.

Der Feuchtegehalt der Traubeneicheln (frisches Saatgut) lag bei 53 %. Der Feuchteverlust erhöhte sich von 0,7 % bei der Variante 5 min ohne Abluft auf 3,8 % bei der dazugehörigen

60-Minuten Variante. Die Abluftvarianten wiesen einen höheren Wasserverlust auf: 1,0 % bei 5 Minuten und 3,3 % bei 30 Minuten. Die Ergebnisse der untersuchten Varianten bezüglich Keimrate und des Wirkungsgrades gegen Pilze in den Eichelkotyledonen und dem Perikarp sind in Tab. 47 aufgeführt.

Tab. 47: Zweite Versuchsreihe: Wirkungsgrad gegen Pilze auf Perikarp- und Kotyledoneninokula sowie Keimrate von Traubeneicheln nach Mikrowellenbehandlung mit unterschiedlicher Behandlungsdauer sowie Zusatzbehandlungen bei gleichbleibender maximaler Oberflächentemperatur von 40 °C und konstanter Ausgangsleistung von 300 Watt. „\*“: signifikante Unterschiede zwischen Kontrolle und Behandlungen ( $\chi^2$ -Test für die Keimrate,  $n = 99$  bis 123, Exakter Test von FISCHER für die mykologische Untersuchung  $n = 20$ ,  $p \leq 0,05$ ).

Behandlung bei 40 °C Oberfl.-Temp:		mykologische Untersuchung				Keimung
Dauer	Anfangsleistung / Zusatzbehandlung	Perikarp-pilzrate in %		Kotyledonen-pilzrate in %		Keimrate
		Pilz	sign.	RW <sub>II</sub>		%
						sign.
Kontrolle		95	--	75	--	47,0
5 min	300 Watt	70	26,3	35	53,3	47,0
10 min	300 Watt	55	42,1	20	* 73,3	46,0
30 min	300 Watt	55	42,1	45	40,0	50,5
60 min	300 Watt	55	42,1	20	* 73,3	41,5
5 min	300 Watt / 15 % Abluft	45	* 52,6	45	40,0	46,0
10 min	300 Watt / 15 % Abluft	65	32,6	25	* 66,7	44,0
30 min	300 Watt / 15 % Abluft	65	31,6	40	46,7	39,0

Bis auf die je Behandlungskollektiv höchste Zeitvariante (60 min, 300 Watt und 30 min, 300 Watt / 15 % Abluft) lagen die Keimergebnisse in ähnlicher Größenordnung wie die der Kontrolle, jedoch war auch diese Keimreduktion nicht signifikant. Gegenüber der unbehandelten Kontrolle wiesen alle behandelten Varianten eine Erhöhung der Sterilrate auf. Die Wirkungsgrade gegen Pilze waren jedoch nicht in allen Fällen signifikant. Darüber hinaus nahm der Wirkungsgrad nicht mit der Verlängerung der Behandlungszeit zu. Ziel war jedoch primär die Abtötung von *Ciboria batschiana* sowie möglichst vieler weiterer Pilze. Um den Behandlungserfolg unter diesem Aspekt zu dokumentieren, wurde das Artenspektrum der nach der Mikrowellenbehandlung lebensfähigen Pilze am Eichensaatgut bestimmt. Eine Übersicht über die in den untersuchten Eicheln siedelnden und nach der Behandlung lebensfähigen Pilze geben Tab. 48 und Tab. 49.

Einige dieser Pilze sind in den Bildern 6-1 bis 6-6 der Bildtafel 6 auf Seite 221 in Reinkultur, nach einer Inkubationsdauer von 4 Wochen bei einer Temperatur von 20 °C auf Malzagar, abgebildet.

Tab. 48: Pilzartenspektrum (%) von Eicheln (P: Perikarp, K: Kotyledonen) nach einer Mikrowellenbehandlung \*: Summe liegt über 100 %, da z.T. mehrere Pilze aus einem Impfstück wuchsen (n = 20 je Inokulaposition und Zeitvariante).

<i>Quercus petraea</i>	Kontrolle		Mikrowellenbehandlung ( $t_{\max(\text{Oberfl.})}=40^{\circ}\text{C}$ ; $P_{\text{a}}=300\text{ W}$ ) mit 15% Abluft					
	P	K	5 Minuten		10 Minuten		30 Minuten	
			P	K	P	K	P	K
<i>Acremonium</i> sp.					5			
<i>Alternaria</i> sp.						5		5
<i>Aureobasidium</i> sp.		5						
<i>Botrytis cinerea</i>	10		5					
<i>Ceuthospora</i> sp.	5	5	10	5	5		15	
<i>Ciboria batschiana</i>	20	45	10	5		5	5	10
<i>Coleophoma cylindrospora</i>	5							
<i>Coleophoma</i> sp.	5		5					
<i>Coryne</i> sp.			5					
<i>Cystodendron</i> sp.							5	
<i>Dendrophoma</i> sp.	5	10	5		10		5	5
<i>Discula quercina</i>	20	10	10	10	10	5	10	5
<i>Monocillium</i> sp.			5					
<i>Mucor</i> sp.	10						5	
<i>Penicillium</i> spp.		5	5	25	10	5	5	5
<i>Phialocephala</i> sp.			10		20			
<i>Trichoderma</i> sp.							5	
<i>Tubakia dryina</i>					5			
unidentifizierter Basidiomycet	5						10	5
unidentifiziertes Myzel	30	5	5	5	5	5	10	10
<b>Summe % Pilzarten*</b>	<b>115</b>	<b>85</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>45</b>
Bakterien (ausschließlich)	5	25	20	20	15	55	15	15
Nematoden (mit Pilzbefall)	5				5	5	5	
sterile Kultur			35	35	20	20	20	45
<b>Gesamtauswertung:</b>								
Anzahl der Inokula	20	20	20	20	20	20	20	20
• prozentualer Pilzbefall	95,0	75,0	45,0	45,0	65,0	25,0	65,0	40,0
• Wirkungsgrad gegen Pilze $RW_n\%$	--	--	52,6	40,0	31,6	66,7	31,6	46,7

Nur wenige Arten zeigten eine deutliche Beeinflussung durch die Mikrowellenbehandlung. *Ciboria batschiana* wurde nicht vollständig abgetötet, jedoch wurde der Anteil lebensfähigen Myzels stark reduziert.

Tab. 49: Pilzartenspektrum (%) von Eicheln (P: Perikarp, K: Kotyledonen) nach einer Mikrowellenbehandlung \*: Summe liegt über 100 %, da z.T. mehrere Pilze aus einem Impfstück wuchsen (n = 20 je Inokulposition und Zeitvariante).

Quercus petraea	Mikrowellenbehandlung ( $t_{\max(\text{Oberfl.})}=40^{\circ}\text{C}$ ; $P_a=300\text{ W}$ )									
	Kontrolle		5 Minuten		10 Minuten		30 Minuten		60 Minuten	
	P	K	P	K	P	K	P	K	P	K
<i>Aposphaeria</i> sp.							5			
<i>Ascocoryne sarcoides</i>									5	
<i>Aureobasidium</i> sp.		5		5			5			
<i>Botrytis cinerea</i>	10				5				5	
<i>Ceuthospora</i> sp.	5	5			5	5	5		5	
<i>Ciboria batschiana</i>	20	45	5	5		5		10		
<i>Cladosporium</i> sp.			5			5				
<i>Coleophoma cylindrospora</i>	5									
<i>Coleophoma</i> sp.	5									
<i>Coryne</i> sp.							10			
<i>Dendrophoma</i> sp.	5	10	5		15		5	10	5	5
<i>Discula quercina</i>	20	10	10	5	5	5	5	5		5
<i>Epicoccum nigrum</i>					5					
<i>Fusarium</i> sp.			5	5	5					
<i>Libertella</i> sp.					5					
<i>Mucor</i> sp.	10		5	5					10	
<i>Ophiostoma quercus</i>			5							
<i>Penicillium</i> ssp.		5	15	10	5	5	5		20	10
<i>Phialocephala</i> sp.					5					
<i>Phialophora</i> sp.			5							
<i>Phoma</i> sp.							5	10		
<i>Talaromyces</i> sp.									5	
<i>Trichoderma</i> sp.			5				5			
unidentifizierter Basidiomycet	5		5							
unidentifiziertes Myzel	30	5	5	10	20	5	10	5	10	
<b>Gesamt % Pilzarten*</b>	<b>115</b>	<b>85</b>	<b>75</b>	<b>45</b>	<b>75</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>65</b>	<b>20</b>
Bakterien (ausschließlich)	5	25	30	60	35	45	20	35	10	20
Nematoden (mit Pilzbefall)	5		5		5			5		
sterile Kultur				5	10	35	25	20	35	60
<b>Gesamtauswertung:</b>										
Anzahl der Inokula	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
• prozentualer Pilzbefall	95,0	75,0	70,0	35,0	55,0	20,0	55,0	45,0	55,0	20,0
• Wirkungsgrad gegen Pilze $RW_n\%$	--	--	26,3	53,3	42,1	73,3	42,1	40,0	42,1	73,3

Der Gesamtpilzbefall (Gesamt % Pilzarten) lag bei allen Mikrowellenvarianten unter dem Wert der unbehandelten Kontrolle. Eicheln aus der Kontrolle wiesen keine sterilen Inokula auf. Die durch die Mikrowellenbehandlung hervorgerufene Sterilrate, schwankte von 5 % (5 min, 40 °C, 300 W, 15 % Abluft) bis zu 60 % (60 min, 40 °C, 300 W). Je mehr Pilze reduziert wurden, desto höher fiel ein alleiniges Auftreten von Bakterien auf.

Von besonderem Interesse war der Einfluß der Mikrowellenbehandlung auf den primär pathogenen Pilz *Ciboria batschiana*. Die Anfangsinfektion lag mit 45 % befallener Kotyledonen sehr hoch. Durch die Mikrowellenbehandlung konnte dieser Pilz wirksam reduziert und nach einer Behandlungsdauer über 60 Minuten sowohl in den Kotyledonen als auch im Perikarp vollständig abgetötet werden. Das Keimprozent war nach dieser Behandlungsdauer im Vergleich zur Kontrolle zwar um 5,5 % reduziert, doch war dies nicht signifikant.

Die Behandlungen mit 15 %iger Abluft führten zu höheren Schäden bezüglich des Keimprozentes. Es kann davon ausgegangen werden, daß durch die Abführung von Luft die Oberfläche der Eicheln gekühlt wurde und somit im Inneren höhere Temperaturen herrschten, als oberflächlich gemessen wurde. Diese Vermutung konnte durch eine Temperaturmessung am Ende der 10-Minuten- und 30-Minuten-Varianten mit 15 % Abluft in den Eicheln mit einem Einstechfühler bestätigt werden. Die gemessenen Werte lagen zwischen 47 °C und 67 °C.

Zum Zeitpunkt der in diesem Abschnitt dokumentierten Versuche war die Anlage noch nicht mit einem Temperaturfühler ausgerüstet, der während der Behandlung die Temperatur in einem Saatkorn dokumentieren konnte. Diese Modifizierung kam erst für die nachfolgend zu beschreibende Versuchsreihe zum Einsatz.

#### 4.4.3 Einfluß der Eichelinnentemperatur

Ziel dieser Untersuchungen war zum einen, eine gleichmäßigere Wärmeverteilung im Saatgut zu erzeugen, wozu das Mikrowellengehäuse erwärmt wurde, um Wärmeverluste an die Garraumwand zu minimieren, zum anderen sollte eine gleichmäßigere Applikation von Mikrowellenenergie durch Homogenisierung der Feldverteilung verwirklicht werden. Die Ergebnisse dieser Behandlung bezüglich der Wirkung auf den Pilzbefall der Kotyledonen und des Perikarps sowie die Keimrate sind in Tab. 50 zusammengefaßt. Der Feuchteverlust während der 10-minütigen Mikrowellenbehandlung lag im Durchschnitt bei 0,87 % (0,84 % bis 0,89 %) und hat damit keinen Einfluß auf die Keimrate.



Tab. 50: Dritte Versuchsreihe: Wirkungsgrad gegen Pilze auf Perikarp- und Kotyledoneninokula sowie Keimrate von Traubeneicheln nach Mikrowellenbehandlung mit unterschiedlicher Anfangsleistung sowie Zusatzbehandlung bei gleicher max. Oberflächentemperatur von 40 °C und 10 min. Behandlungsdauer. „,\*“: signifikante (sign.) Unterschiede zwischen Kontrolle und Behandlungen ( $\chi^2$ -Test für Keimrate, n = 113 bis 123; Exakter Test v. FISCHER für mykologische Untersuchung, n = 20, p ≤ 0,05).

Behandlung bei 40 °C Oberfl.-Temp:		mykologische Untersuchung				Keimrate	
Dauer	Anfangsleistung / Zusatzbehandlung	Perikarp-Pilzrate in %		Kotyledonen-Pilzrate in %		% sign.	
		Pilz	sign. RW <sub>II</sub>	Pilz	sign. RW <sub>II</sub>		
Kontrolle		100	--	75	--	62	
10 min	150 Watt	75	25,0	70	6,7	39	*
10 min	300 Watt	80	20,0	70	6,7	52	
10 min	150 Watt, beh. Wände	90	10,0	35	* 53,3	55	
10 min	300 Watt, beh. Wände	60	* 40,0	45	40,0	59	

Der Wirkungsgrad gegen Pilze stellte sich wiederum uneinheitlich dar. Im Perikarp war der höhere Wirkungsgrad bei den Varianten ohne beheizte Wände zu finden (Ausnahme 150 Watt, beh. Wände) wohingegen die Varianten mit beheizten Wänden einen höheren Wirkungsgrad gegen Pilze in den Kotyledonen aufwiesen. Der Wirkungsgrad war in den Kotyledonen bei den Varianten mit beheizten Wänden um das sechs- bis achtfache höher als ohne beheizte Wände. Dieser Effekt war bei den Perikarp-Proben nicht so deutlich ausgeprägt. Die Keimrate wies bis auf die 150 Watt Variante ohne Wandheizung keine signifikante Reduktion auf.

Die Innentemperatur in einer Traubeneichel (Abb. 44), gemessen mit einer glasfaseroptischen Temperatursonde, während der Behandlung bei einer Oberflächentemperatur von 40 °C, lag bis auf die Variante mit einer Anfangsleistung von 150 Watt ohne Wandheizung über weite Teile der Behandlung über dem angestrebten 40 °C-Wert. Die Variantenpaare mit und ohne Wandheizung unterschieden sich im Verlauf deutlich. Mit Wandheizung bewegten sich die Temperaturkurven auf einem Temperaturniveau um 42 °C, wobei das Temperaturmaximum bei einer Anfangsleistung von 150 Watt im Vergleich zu der 300 Watt Variante erst später erreicht wurde. Bei dem Paar ohne Wandheizung erreichte die 150 Watt Variante ihr Maximum ebenfalls später als die 300 Watt Variante, jedoch ohne die Temperatur von 40 °C zu erreichen. Im Gegensatz dazu erlangte die 300 Watt Variante ihr Maximum von 57 °C vergleichsweise schnell, die Temperatur sank aber bis auf 48 °C zum Behandlungsende ab. Dieser deutliche Temperaturabfall war bei keiner anderen Variante zu beobachten.

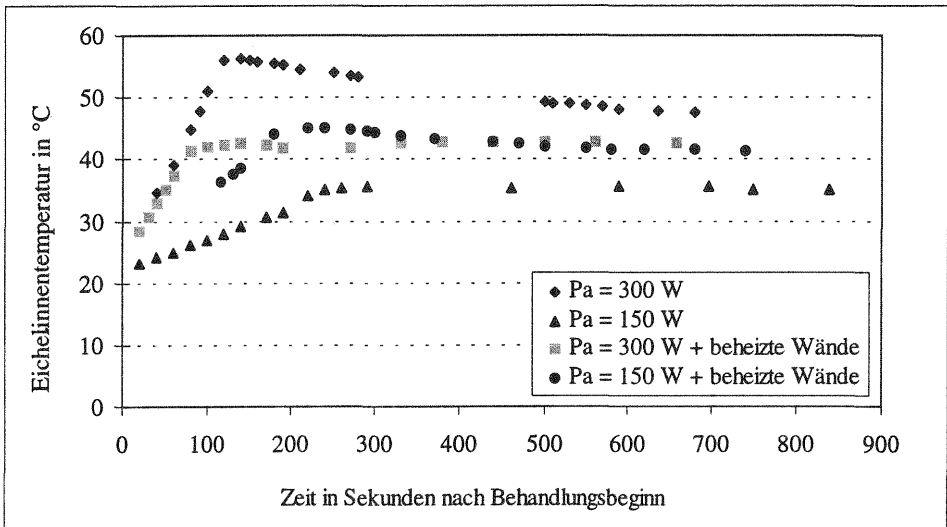


Abb. 44: Temperaturverlauf ( $^{\circ}\text{C}$ ) im Inneren einer Traubeneichen- Eichel je Variante bei konstanter Oberflächentemperatur von  $40^{\circ}\text{C}$  über die gesamte Behandlungsdauer, d.h. mit Aufheizphase ( $P_a=300 \text{ W}$ : Mikrowellenanfangsleistung 300 Watt;  $P_a=150 \text{ W}$ : Mikrowellenanfangsleistung 150 Watt; + beheizte Wände: die Garraumaußenwände wurden mit heißer Luft umströmt).

Die Temperaturmessungen in der einzelnen Eichel unmittelbar nach Ende der Behandlung ergaben die in Tab. 51 dargestellten Werte. Die mittleren Temperaturwerte überschritten bei keiner Behandlung den kritischen Wert von  $41^{\circ}\text{C}$ . Allerdings wurden Maximalwerte gemessen, die mit  $49^{\circ}\text{C}$  extrem über diesem Wert lagen.

Tab. 51: Ergebnisse der Temperaturmessung unmittelbar nach der Mikrowellenbehandlung mit Anfangsleistungen ( $P_a$ ) von 150 Watt und 300 Watt sowie mit und ohne beheizten Garraumwänden (+beh. Wände).

$^{\circ}\text{C}$	$P_a = 150 \text{ W}$ n = 21	$P_a = 300 \text{ W}$ n = 24	$P_a = 150 \text{ W}$ + beh. Wände n = 23	$P_a = 300 \text{ W}$ + beh. Wände n = 23
Arith. Mittel $[\bar{x}]$	38,05	38,38	40,57	36,96
Minimum	32,00	33,00	32,00	35,00
Maximum	48,00	44,00	49,00	49,00
Standardabw. [s]	3,32	3,79	3,16	3,64
VarKoeff [V%]	8,74	9,87	7,79	9,84

### Anatomische und physikalische Merkmale

Um die Frage zu klären, ob die Eichelinnentemperatur von den Faktoren Gewicht vor und nach der Behandlung, Trockengewicht, absoluter Wasserverlust während der Behandlung, absoluter Wassergehalt, Breite und Länge der Eichel sowie Formzahl FZ (Länge/Breite) abhängig ist, wurden diese Werte in der dritten Versuchsreihe aufgenommen. Die arithmetischen Mittelwerte sind in der Tab. 52 aufgeführt.

Tab. 52: Arithmetische Mittelwerte der Parameter Gewicht, Feuchte, Abmessungen sowie Eichelinnentemperatur bei Mikrowellenbehandlung (MW) von Traubeneicheln (n = 21 bis 24).

<i>Quercus petraea</i>	Kontrolle	300 Watt	150 Watt	300 Watt + beh. Wände	150 Watt + beh. Wände
Gewicht vor MW in g	1,61	1,88	1,89	1,78	2,01
Gewicht nach MW in g	1,58	1,83	1,85	1,74	1,97
Gewicht atro in g	0,78	0,87	0,86	0,84	0,96
Feuchteverl. MW in g	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
m.c. absolut in g	0,81	0,96	0,99	0,91	1,01
Breite in mm	12,35	13,03	13,11	12,63	13,14
Länge in mm	18,22	19,33	19,53	18,77	19,66
FZ Länge/Breite	1,48	1,50	1,49	1,49	1,51
Eichelinnentemp. in °C	--	38,38	38,05	36,96	40,57

Die Mittelwerte unterschieden sich zwischen den Behandlungen nur wenig voneinander. Auf der Grundlage dieser Daten wurde die Abhängigkeit der Eichelinnentemperatur in Bezug auf das Gewicht vor der Behandlung, das Trockengewicht, den absoluten Wasserverlust während der Behandlung, den absoluten Feuchtegehalt, die Eichelbreite sowie den Formquotienten (Länge/Breite) mit Hilfe des SPEARMAN'SCHEN Rangkorrelationskoeffizienten überprüft (die Daten der Eichelinnentemperatur waren nicht normalverteilt). Die Korrelationskoeffizienten und Übergangswahrscheinlichkeiten sind in Tab. 53 aufgezeigt.

Tab. 53: SPEARMAN'scher Rangkorrelationskoeffizient ( $r_s$ ) mit Übergangswahrscheinlichkeiten ( $p$ ) zwischen Eichelinnentemperatur und den Variablen Gewicht vor der Behandlung, absolutes Trockengewicht (atro), Feuchteverlust während der Behandlung, Feuchtegehalt (m.c.) absolut, Eichelbreite und Formzahl (FZ). (■) :  $p > 0,05$ , d.h. keine signifikante Beziehung zwischen den Variablen,  $n = 21$  bis 24).

Korrelationskoeffizient ( $r_s$ ), Wahrscheinlichkeit ( $p$ ) zwischen Eichelinnentemperatur und:		300 Watt	150 Watt	300 Watt + beh. Wände	150 Watt + beh. Wände
Gewicht vor MW in g	$r_s$	0,593	0,490	0,579	0,561
	$p$	0,00238	0,0242	0,00390	0,00547
Gewicht atro in g	$r_s$	0,475	0,311	0,585	0,548
	$p$	0,0192	0,168	0,00347	0,00702
Feuchteverlust bei MW in g	$r_s$	0,625	0,0426	0,103	0,398
	$p$	0,00111	0,850	0,0636	0,0591
m.c. absolut in g	$r_s$	0,655	0,520	0,524	0,559
	$p$	0,000	0,0159	0,0103	0,00578
Breite in mm	$r_s$	0,497	0,297	0,452	0,461
	$p$	0,0138	0,187	0,0301	0,0266
FZ Länge/Breite	$r_s$	-0,123	0,318	0,137	0,000998
	$p$	0,564	0,157	0,530	0,995

Zwischen der Eichelinnentemperatur und der Formzahl bestand kein signifikanter Zusammenhang. Dieses gilt bis auf das Ergebnis der 300 Watt Variante auch für den absoluten Wasserverlust während der Behandlung. Die stärkste Korrelation war bei dem absoluten Feuchtegehalt und dem Ausgangsgewicht festzustellen. Eine deutliche Korrelation einer einzigen Variablen mit der Eichelinnentemperatur läßt sich aus den Werten der Tab. 53 jedoch nicht entnehmen.

## 4.5 Wirksamkeit der künstlichen Frosthärteinduktion bei Eichensaatgut

### 4.5.1 Frosthärtung mit Wechseltemperaturen im Winter 1994/95

Um die Auswirkung von Wechseltemperaturen auf die Ausbildung einer Frosthärte bei Eichensaatgut zu untersuchen, wurde dieses Wechseltemperaturen mit 5 °C ausgesetzt. Zur Verminderung eines Pilzbefalles während der Härtung wurden die Temperaturamplituden nach jeweils drei Wochen um 2 °C bis 3 °C abgesenkt. Die Ergebnisse des Abhärtungserfolges nach Frosthärtetests bei -6 °C und anschließenden Keimtests sind in Tab. 54 aufgeführt.

Tab. 54: Keimrate nach Frosthärtung (Abh.) von Stiel- (SEi) und Traubeneicheln (TEi) aus unterschiedlichen Ernteforstämmern (Ernte-FoA) mit Wechseltemperaturen im Winter 1994/95, Frosthärtetest (FHT) bei -6 °C über 21 Tage. n = 200 je Variante).

Baumart Ernte-FoA	Kontrolle ohne Abh. u. FHT	Tonnenlager -3 °C, ohne Abh., mit FHT	1. Abh. Phase + FHT +5°C / 0°C	2. Abh. Phase + FHT +3°C / -2°C	3. Abh. Phase + FHT +2°C / -3°C	4. Abh. Phase + FHT 0°C / -4°C
TEi Klötze <sup>1)</sup>	71,0 %	38,5 %	37,5 %	11,0 %	11,0 %	5,5 %
TEi Müllrose <sup>1)</sup>	73,0 %	64,0 %	52,0 %	26,0 %	30,5 %	12,0 %
SEi Tangerhütte <sup>2)</sup>	76,5 %	62,0 %	52,0 %	61,0 %	34,0 %	32,0 %
TEi Wippra <sup>1)</sup>	69,0 %	41,0 %	63,0 %	38,5 %	35,5 %	22,0 %
TEi Wippra klein <sup>3)</sup>	72,0 % <sup>3)</sup>		59,0 %	68,0 %	48,0 %	46,0 %
TEi Wippra groß <sup>3)</sup>	72,0 % <sup>3)</sup>		28,0 %	28,0 %	23,5 %	9,5 %

<sup>1)</sup>: mit Thermoerapie, <sup>2)</sup>: ohne Thermoerapie, <sup>3)</sup>: Keimrate nur in Mischprobe, ohne Größensortierung, bestimmt.

Die Ergebnisse der Keimtests zu Beginn der Abhärtungsversuche konnten nach keiner der Abhärtungsphasen wieder erreicht werden. Die unsortierten Traubeneicheln aus Wippra wiesen als einzige Partie nach der ersten Abhärtungsphase ein der Kontrolle vergleichbares Keimergebnis auf. Alle anderen Proben zeigten eine starke Reduktion der Keimfähigkeit, die sich im weiteren Versuchsablauf noch erhöhte. Die höchsten Keimraten über alle vier Abhärtungsphasen hinweg wurden bei den kleinen Traubeneicheln aus Wippra und den Stieleicheln aus Tangerhütte bonitiert. Im Vergleich zur Frosttoleranz der bei -3 °C gelagerten Eicheln, die nach drei Monaten Lagerung einem Frosthärtetest von -6 °C unterzogen wurden, konnte lediglich nach der ersten Abhärtungsphase der unsortierten Traubeneicheln aus Wippra ein positiver Effekt der Härtung auf das Auflaufergebnis beobachtet werden. Dieser Vorteil wurde jedoch schon nach der zweiten Härtungsphase wieder so weit zerstört, daß die bei -6 °C getesteten Eicheln aus der Standardlagerung (-3 °C) ein höheres Keimprozent ergaben.

Alle Partien, mit Ausnahme der Stieleicheln aus Tangerhütte und kleinen Traubeneicheln aus Wippra, wiesen nach der zweiten Abhärtungsphase mit anschließendem Frosthärtetest bei -6 °C ein wirtschaftlich nicht mehr zu vertretendes Keimergebnis auf. Nach der dritten Abhärtungsphase mußte diese Aussage für alle Herkünfte getroffen werden. Wenn man das Ausgangskeimprozent mit 100 % gleichsetzen würde, könnte der im Falle der Traubeneicheln aus Wippra erzielte Härtungserfolg bezogen auf die Ausgangsqualität zwar dokumentiert

werden. Diese Darstellung würde jedoch ebenfalls nicht dazu führen, von einem Gesamterfolg dieser Behandlung zu sprechen.

Für die Frosthärtung mit Wechseltemperaturen kann zusammenfassend festgestellt werden, daß das Ziel, eine Frosttoleranz von  $-6\text{ °C}$  zu induzieren, nicht erreicht wurde. Eicheln, die über drei Monate nach herkömmlicher Methode bei  $-3\text{ °C}$  in Tonnen gelagert wurden, wiesen (bis auf eine Ausnahme, und das auch nur für die erste Härtingsphase) eine höhere Frosttoleranz bezüglich einer Temperatur von  $-6\text{ °C}$  auf.

#### 4.5.2 Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1995/96

Aufgrund der Ergebnisse des Vorjahres wurde auf Tages-Temperaturschwankungen verzichtet und der Schwerpunkt darauf gelegt, die Lagerungstemperatur möglichst schnell unter  $0\text{ °C}$  abzusenken und dann kontinuierlich zu verringern. Es wurden sowohl unsortierte Trauben- und Stieleicheln mit und ohne Thermoerapie als auch Eicheln beider Eichenarten sortiert nach Vorbehandlung, physiologischem Zustand und Größe, einer kontinuierlichen Temperatursenkung unterzogen.

##### Saatgutvorbehandlung

Das Saatgut wurde vor der Abhärtung in Tonnen bei  $-3\text{ °C}$  gelagert. Nach 3 Wochen (28.11.1995) betrug die Temperatur in den Traubeneicheln ohne Thermoerapie im Durchschnitt noch  $+1,75\text{ °C}$ . In Abb. 45 ist der Temperaturverlauf in diesen Eicheln aufgezeigt, nachdem sie den Tonnen entnommen wurden und in einem Klimaraum (Raumtemperatur  $-3\text{ °C}$ ) 10 cm hoch aufgeschüttet und täglich gewendet wurden. Die Temperaturmessung wurde so lange fortgeführt, bis das arithmetische Temperaturmittel unter  $0\text{ °C}$  lag.

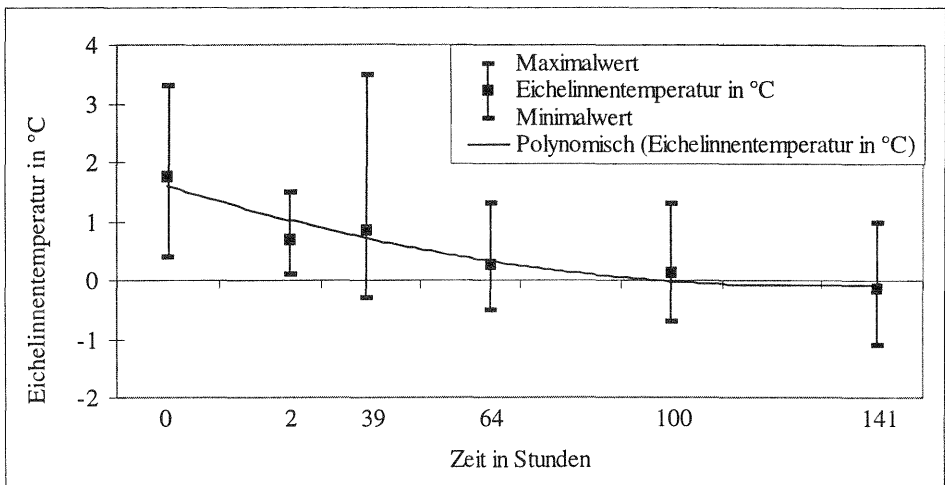


Abb. 45: Innentemperatur von Traubeneicheln x Stunden nach Entnahme aus Tonnen und 10 cm hoher Ausbreitung bei  $-3\text{ °C}$  Umgebungstemperatur; Polynom-Regression:  $y=0,0001x^2-0,0267x+1,5986$ ,  $R^2=0,9217$  (Klimaraumtemperatur:  $-3\text{ °C}$ ; Stunde „0“ ist der Temperatureausgangswert 3 Wochen nach Beginn der Lagerung in Tonnen bei  $-3\text{ °C}$ ;  $n = 20$  je Meßpunkt).

Die Werte der Abb. 45 verdeutlichen das Problem des „Schwitzens“ der Eicheln in Tonnen, sofern sie unmittelbar nach der Ernte, also ohne oberflächliche Trocknung, in derartige Behälter eingelagert werden. Innerhalb von 6 Tagen nach Entnahme aus den Tonnen sank die Temperatur in den Eicheln im Durchschnitt unter den Gefrierpunkt. Alle Partien aus diesem Erntejahr wurden gleichartig weiterbehandelt. Sie wurden so lange offen liegen gelassen und gewendet, bis sich kein Kondenswasser mehr auf der Eicheloberfläche bildete. Anschließend erfolgte die erneute Einlagerung in Tonnen.

### Unsortierte Eicheln der Stiel- und Traubeneiche

Für diese Untersuchung wurde Eichensaatgut aus der laufenden Aufarbeitung der Eicheln in der Landesforstbaumschule des Landes Sachsen-Anhalt entnommen. Das bedeutet, daß die Ergebnisse der Abb. 46 und Abb. 47 von Saatgut stammen, wie es in der Praxis vorzufinden ist. Die Traubeneicheln wurden durch die tieferen Temperaturen stärker geschädigt als die Stieleicheln.

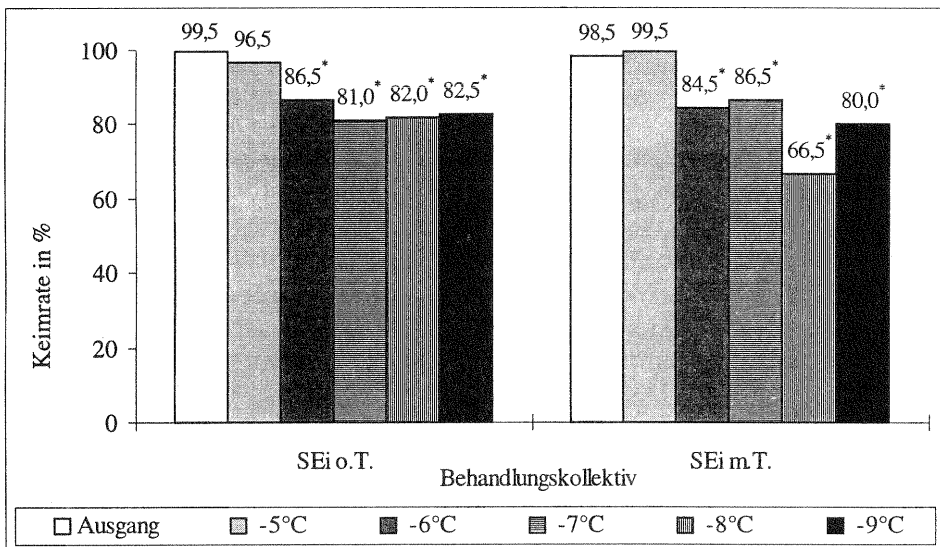


Abb. 46: Keimraten von Stieleicheln (SEi) ohne (o.T.) und mit Thermotherapie (m.T.) nach Frosthärtung bis  $-9^{\circ}\text{C}$ . „\*“: signifikante Unterschiede zwischen Ausgangskeimprozent und den abgehärteten Varianten.  $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$  ( $n = 200$  je Variante).

Die Eicheln der Stieleiche wiesen mit 98,5 % (m.T.) und 99,5 % (o.T.) ein sehr hohes Ausgangskeimprozent auf, während das Saatgut der Traubeneiche eine ca. 20 % geringere Ausgangskeimrate hatte, wobei die Eicheln ohne Thermotherapie zu einem geringeren Prozentsatz keimten. Im Verlauf der Temperatursenkung hielten die Stieleicheln bei einer Temperatur von  $-5^{\circ}\text{C}$  das Niveau aus dem November. Nach der Temperaturstufe von  $-6^{\circ}\text{C}$  reduzierte sich die Keimrate auf 84,5 % bzw. auf 86,5 % und blieb bis zum Ende der  $-9^{\circ}\text{C}$  Temperaturstufe bei diesen Werten.

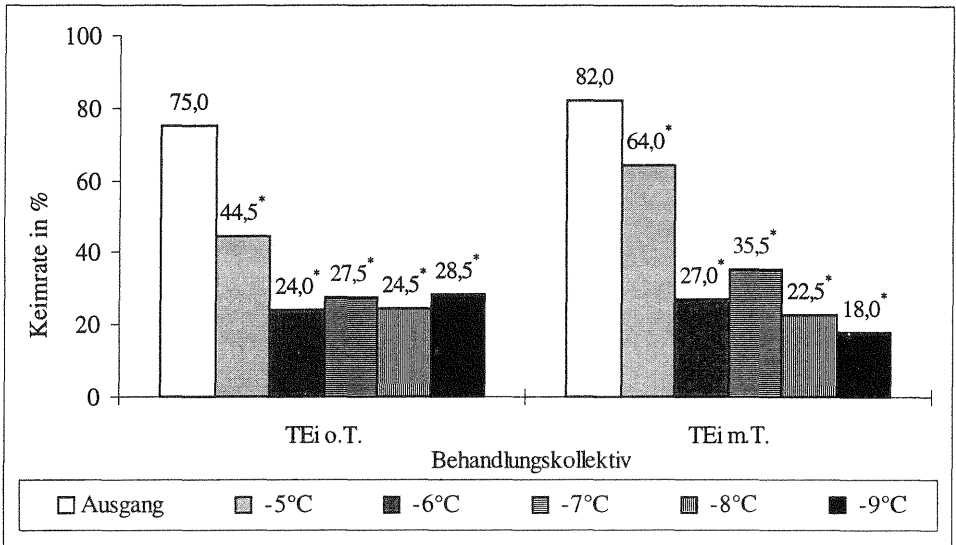


Abb. 47: Keimraten von Traubeneicheln (TEi) ohne (o.T.) und mit Thermotherapie (m.T.) nach Frosthärtung bis  $-9^{\circ}\text{C}$ . „\*“: signifikante Unterschiede zwischen Ausgangs-keimprozent und abgehärteten Varianten.  $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$  ( $n = 200$  je Variante).

Die Traubeneicheln zeigten keine derartige Frosttoleranz. Bereits bei einer Temperatur von  $-5^{\circ}\text{C}$  sank die Keimrate auf 44,5 % (TEi o.T.) und 64 % (TEi m.T.). Nach den Temperaturen von  $-6^{\circ}\text{C}$  bis  $-9^{\circ}\text{C}$  lagen die Keimergebnisse bei den TEi o.T. zwischen 24 % und 28,5 %, die Keimraten der TEi m.T. erreichten Werte von 18 % bis 35,5 %.

Bis zu der Temperaturstufe von  $-7^{\circ}\text{C}$  wiesen sowohl die Varianten der Stiel- als auch der Traubeneicheln mit Thermotherapie gegenüber den Varianten ohne Thermotherapie die höhere Frosttoleranz auf. In den Stufen  $-8^{\circ}\text{C}$  und  $-9^{\circ}\text{C}$  waren die Varianten ohne Thermotherapie bezüglich des Auflaufergebnisses überlegen.

### Eicheln der Stiel- und Traubeneiche sortiert nach Vorbehandlung, physiologischem Zustand und Größe

Mit dieser Versuchsreihe sollte ein möglicher Einfluß der Faktoren Thermotherapie, physiologischer Zustand sowie Saatgutgröße auf das Abhärtungsvermögen überprüft werden. Die Ausgangskeimraten der Stieleicheln lagen um 30 % (o.T.) und um 12 % (m.T.) über den Werten der Traubeneicheln. Die Keimraten sind in Tab. 55 und Tab. 56 dargestellt.



	mit	angekeimt	groß	} 94	87	95	85	86	45		
			klein		91	86	79	90	81		
		geschlossen	groß		97	96	93	91	90		
			klein		97	94	90	93	71		

Tab. 56: Keimraten von Eicheln der Traubeneiche (TEi) sortiert nach Vorbehandlung (mit/ohne Thermotherapie), physiologische (angekeimt/geschlossen) sowie Größe (groß/klein) nach Durchlaufen von Temperaturstufen bis zu  $-10\text{ °C}$ . (Ausgangskeim%

Baumart	Thermotherapie	angekeimt/ geschlossen	Größe	Ausgangs- keim%	Keim% bei $-3\text{ °C}$	Keim% bei $-5\text{ °C}$	Keim % bei $-6\text{ °C}$	Keim% bei $-7\text{ °C}$	Keim% bei $-8\text{ °C}$
TEi	ohne	angekeimt	groß	} 63	50	50	32	27	28
			klein		54	48	47	33	28
		geschlossen	groß		57	57	46	46	41
			klein		55	56	49	53	20
	mit	angekeimt	groß	} 82	87	77	64	52	24
			klein		74	73	44	59	20
		geschlossen	groß		79	66	65	59	49
			klein		69	62	54	69	25

fort und erreichte bei einer Temperatur von  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  im Mittel noch 45 %, wobei es  
gigkeit der Größe und dem physiologischen Zustand der Eicheln große Schwank  
Keimrate gab. Einen Einfluß der Größe auf das Keimverhalten konnte bei den an  
Eicheln deutlicher beobachtet werden als bei den geschlossenen Eicheln. Erst b  
kamen starke Differenzen zutage, wobei die kleinen Eicheln (bis auf eine Ausnahm  
lich frosthärter waren. Bis zu der Temperaturstufe von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  lag die Keimrate der t  
rapierten Stieleicheln etwas (jedoch nicht signifikant) über den Ergebnissen der Eich  
Thermotherapie. Dieser Effekt kehrte sich bei der  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  Variante um. Insgesamt z  
Ergebnisse der Frosthärtung von sortierten Stieleicheln im Winter 1995/96, daß die  
bis zu einer Temperatur von  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  (bis auf die Variante „ohne Thermo, angekeim  
nicht signifikant verschieden von den Keimprozenten der Standardlagerung ( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
wurde. Nach der Temperaturstufe von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  weisen alle Varianten noch Keimrate  
z.T. deutlich mehr als 2/3 der Ausgangswerte betragen.

Das Ausgangsmaterial der Traubeneicheln war deutlich schlechter als das der Stiel  
Bei den Traubeneicheln machte sich der positive Einfluß der Thermotherapie berei  
suchsbeginn bemerkbar. Thermotherapierte Traubeneicheln wiesen eine 19 % höhe  
fähigkeit auf. Dieser Effekt konnte bis zu einer Temperatur von  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  beobachtet we  
 $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  waren die Werte gleich hoch und bei  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ergab sich ein leichter (nicht sign  
Vorteil der Varianten ohne Thermotherapie. Bis zu der  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  Stufe blieb die Keimk  
gehend erhalten. Die Keimfähigkeit sank bei  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  sehr stark, blieb bei  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  
Niveau und sank spätestens bei  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf wirtschaftlich nicht mehr tragbare Keimpr

Geschlossene Traubeneicheln wiesen über alle Temperaturstufen bis auf zwei I  
Thermo,  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) eine höhere Keimrate auf als die entsprechenden ange  
Eicheln. Die Größensortierung zeigte jedoch keinen einheitlichen Einfluß auf die  
Teilweise erreichten große und teilweise erreichten kleine Traubeneicheln ein bess  
mergebnis. Dabei konnte keine Tendenz festgestellt werden.

Ab einer Temperatur von  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  wurde die Keimrate aller Varianten im Vergleich z  
gangskeimprozent signifikant reduziert. In der vorliegenden Untersuchung ist somit  
benbeicheln bei dieser Temperatur die Grenze der Härtungsfähigkeit bei Anwen  
kontinuierlichen Temperatursenkung zu sehen.

### **Feuchteverlust im Verlauf der Abhärtung**

Zwischen den Eicheln der Stiel- und Traubeneiche waren deutliche Unterschiede  
des Feuchteverlustes im Verlauf der Abhärtung zu beobachten (Tab. 57 und Tab  
Beginn der Härtung lag die mittlere Feuchteabgabe der Eicheln nach der  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$   
2,8 % bei den Stieleicheln und 3,1 % bei den Traubeneicheln noch in einer vergl  
Größenordnung. Nach der  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  Stufe betrug der mittlere Feuchteverlust der St  
7,0 %, der der Traubeneicheln 16,6 %. Bezogen auf beide Abhärtungsstufen war b  
Eichenarten die Feuchteabgabe der kleinen Eicheln höher als die der großen Eich  
angekeimten Eicheln gaben mehr Feuchtigkeit ab als die geschlossenen.

SEi	ohne	angekeimt	groß	} 42,3 %	37,5 %	33,7
			klein		39,4 %	32,7
		geschlossen	groß		38,5 %	35,0
			klein		41,5 %	33,5
	mit	angekeimt	groß	} 42,4 %	40,5 %	40,3
			klein		39,4 %	39,3
		geschlossen	groß		42,1 %	33,1
			klein		37,7 %	34,9

Tab. 58: Entwicklung des Feuchtegehaltes (%) von sortierten Eicheln der Traube (TEi) im Verlauf der Frosthärtung 1995/96.

Baumart	Therapie	angekeimt/ geschlossen	Größe	Wassergehalt Anfang	Feuchtegehalt nach -6°C	Feuchtegehalt nach -10°C
TEi	ohne	angekeimt	groß	} 45,1 %	44,5 %	27,0
			klein		42,6 %	26,4
		geschlossen	groß		40,6 %	30,6
			klein		38,3 %	27,4
	mit	angekeimt	groß	} 45,4 %	43,2 %	27,1
			klein		44,3 %	30,5
		geschlossen	groß		42,0 %	30,9
			klein		42,0 %	29,3

#### 4.5.3 Frosthärtung im Sommer 1996

Es wurde überprüft, ob eine Frosthärteinduktion auch im Anschluß an eine mehrmonatige Lagerung bei -3 °C noch möglich ist. Hierbei wurde nur Saatgut mit Thermotherapie untersucht. Die Keimergebnisse, dargestellt in Tab. 59, zeigen, daß die positiven Ergebnisse der Frosthärtung kurz nach der Ernte (Kap. 4.5.2) nicht erreicht werden konnten.

Tab. 59: Keimraten einer nachträglich (8 Monate nach Ernte) durchgeführten Frosthärteinduktion bei thermotherapierten Stiel- (SEi) und Traubeneicheln (TEi) (n = 200).

Variante	Ausgangs- Keimrate in %	Keimrate in % bei Frosthärtestufe		
		-5 °C	-9 °C	-11 °C
SEi m.T.	94,0	43,5	56,0	26,0
TEi m.T.	82,0	6,5	4,5	0,5

#### 4.5.4 Frosthärtung mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1996/97

Die ersten Versuche zur Frosthärteinduktion mit kontinuierlicher Temperatursenkung im Winter 1995/96 wurden im Winter 1996/97 wiederholt. Der Beginn der Temperatursenkung lag im Gegensatz zu den Vorjahresversuchen im Dezember, so daß die Keimraten das Ausgangskeimprozent darstellen, im Dezember 1996 ermittelt wurden.

##### Abhärtung ohne Größensortierung

Die Stieleicheln mit Thermotherapie wiesen ein um 15,5 % signifikant höheres Ausgangskeimprozent auf als jene ohne Thermotherapie (Abb. 48). Innerhalb des Behandlungskollektivs ohne Thermotherapie war bei den Temperaturen von  $-3^{\circ}\text{C}$  bis  $-6^{\circ}\text{C}$  eine nicht signifikante Erhöhung der Keimrate, bei den Temperaturstufen darunter eine Erniedrigung der Keimrate zu beobachten. Im Behandlungskollektiv mit Thermotherapie wies die Keimrate der Stieleicheln bis zur Temperatur von  $-7^{\circ}\text{C}$  keinen signifikanten Einfluß der Frostbehandlung auf. Das Keimprozent der  $-8^{\circ}\text{C}$  und  $-9^{\circ}\text{C}$  Varianten war dagegen signifikant reduziert. Die thermotherapierte Eicheln zeigten bis zu einer Temperatur von  $-8^{\circ}\text{C}$  eine höhere Keimrate, ab  $-9^{\circ}\text{C}$  sank der Wert unter die Rate der unbehandelten Eicheln.

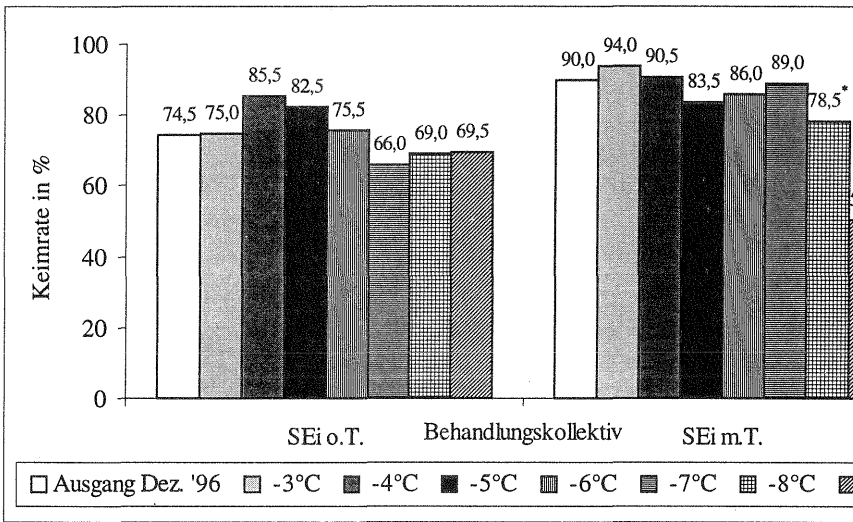


Abb. 48 : Keimraten von Stieleicheln (SEi) ohne (o.T.) und mit Thermotherapie (m.T.) bis  $-9^{\circ}\text{C}$ . „\*“: signifikante Unterschiede zwischen Ausgangs- und abgehärteten Varianten ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 200$  je Variante)

Die Traubeneicheln wiesen hinsichtlich der Keimrate keinen signifikanten Unterschied zwischen thermotherapierten und nicht thermotherapierten Samen auf. Der Erfolg der Frostbehandlung stellte sich jedoch sehr inhomogen dar (Abb. 49). Bereits nach der  $-3^{\circ}\text{C}$  Stufe (o.T.)

Verlauf der Keimrate der Stieleicheln lagen die Traubeneicheln mit Thermoerapie bis zur Temperaturstufe von  $-7^{\circ}\text{C}$  über den Keimwerten der nichttherapierten Eicheln. Für die Stufen  $-8^{\circ}\text{C}$  und  $-9^{\circ}\text{C}$  wurde der gegenteilige Effekt beobachtet.

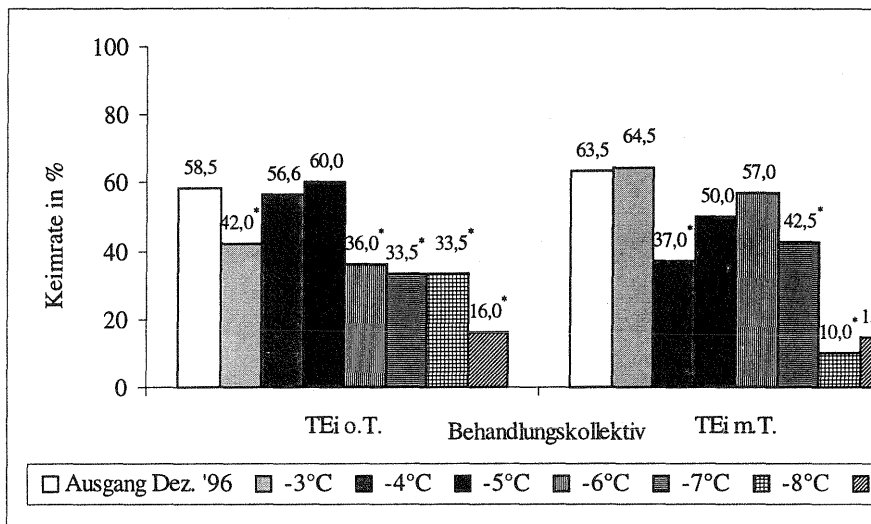


Abb. 49 : Keimraten von Traubeneicheln (TEi) ohne (o.T.) und mit Thermoerapie (m.T.) nach Frosthärtung bis  $-9^{\circ}\text{C}$ . „\*“: signifikante Unterschiede zwischen Ausgangsgerminationsprozent und abgehärteten Varianten ( $\chi^2$ -Test,  $p \leq 0,05$ ,  $n = 200$  je Variante).

### Abhärtung mit Größensortierung

Die Keimergebnisse der Untersuchungen zum Einfluß einer Sortierung nach physiologischem Zustand, der Größe und Thermoerapie auf die Fähigkeit der Eicheln eine Frosthärte zu bauen sind in den Tab. 60 und Tab. 61 aufgeführt. Das Ausgangsgerminationsprozent war das gleiche wie bei den Versuchen ohne Sortierung; thermoerapierte Stieleicheln wiesen also eine um 15,5 % signifikant höhere Keimrate auf.

Bei den Stieleicheln blieben die Keimwerte bis zur Temperaturstufe von  $-6^{\circ}\text{C}$  innerhalb des Niveaus der Sortierung der thermoerapierten Eicheln etwa auf dem gleichen Niveau. Es war jedoch eine geringe aber ständig fortschreitende Reduktion der Keimrate festzustellen. Bei  $-7^{\circ}\text{C}$  fiel dieses relativ hohe Niveau der Stieleicheln bis auf die kleinen geschlossenen Eicheln ab. Nach Durchlaufen der  $-8^{\circ}\text{C}$  Stufe wurde ein starker Rückgang der Keimfähigkeit beobachtet, wobei die großen geschlossenen Stieleicheln ihre Ausgangsgerminationsfähigkeit erhielten.

mit	angekeimt	klein	} 90,0 %	73	75	73	72	71
		groß		94	97	87	85	93
	geschlossen	klein		93	82	91	84	82
		groß		90	86	88	87	85
		klein		76	87	88	84	70

Tab. 61: Keimraten von Eicheln der Traubeneiche (TEi) sortiert nach Vorbehandlung (mit/ohne Thermotherapie), physiologischer Zustand (angekeimt/geschlossen) sowie Größe (groß/klein) nach Durchlaufen von Temperaturstufen bis zu  $-8^{\circ}\text{C}$  (Ausgangskeim%)

Baumart	Thermotherapie	angekeimt/ geschlossen	Größe	Ausgangs- keim %	Keim % bei $-3^{\circ}\text{C}$	Keim % bei $-4^{\circ}\text{C}$	Keim % bei $-5^{\circ}\text{C}$	Keim % bei $-6^{\circ}\text{C}$	Keim % bei $-7^{\circ}\text{C}$
TEi	ohne	angekeimt	groß	} 58,5 %	47	50	47	16	12
			klein		39	55	65	35	14
		geschlossen	groß		56	57	61	51	51
			klein		48	42	54	26	39
	mit	angekeimt	groß	} 63,5 %	70	61	78	68	55
			klein		63	69	73	48	52
		geschlossen	groß		46	53	60	46	57
			klein		41	31	52	27	26

Stufe behielten.

Thermosterapierte Traubeneicheln wiesen bei kleinen geschlossenen Eicheln schon fr starke Keimreduktion auf und bildeten mit lediglich 26 % Keimfähigkeit nach Durc der  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  Stufe die Ausnahme, da alle anderen thermosterapierten Traubeneichenva nach dieser Stufe noch zu über 50 % keimten. Nach der  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  Stufe war ein deutlich bruch der Frostresistenz zu verzeichnen, der von einem vergleichweisen Totalausfall großen angekeimten Eicheln bis zu einer 50 %igen Reduktion der Keimrate im Vergle Kontrolle bei den großen geschlossenen Eicheln reichte. Letztere stellten wie bei de thermosterapierten Traubeneicheln das beste Ergebnis nach  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dar.

Wie bereits bei den sortierten Stieleicheln beobachtet wiesen Traubeneicheln mit Ther rapie bis zur Temperaturstufe von  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  das höhere Keimprozent auf. Nach Durchlau  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  Phase kehrte sich dieser Vorteil um.

### Feuchtegehalt während der Abhärtung 1996/97

Die Feuchte der Eicheln bzw. deren Feuchteverlust stellt einen Ansatzpunkt zur K möglicher Ursachen für Keimverluste. Daher wurde der Feuchtegehalt über alle Temp stufen getrennt nach Stiel- und Traubeneichel sowie mit und ohne Thermotheapie b und in Abb. 50 grafisch dargestellt.

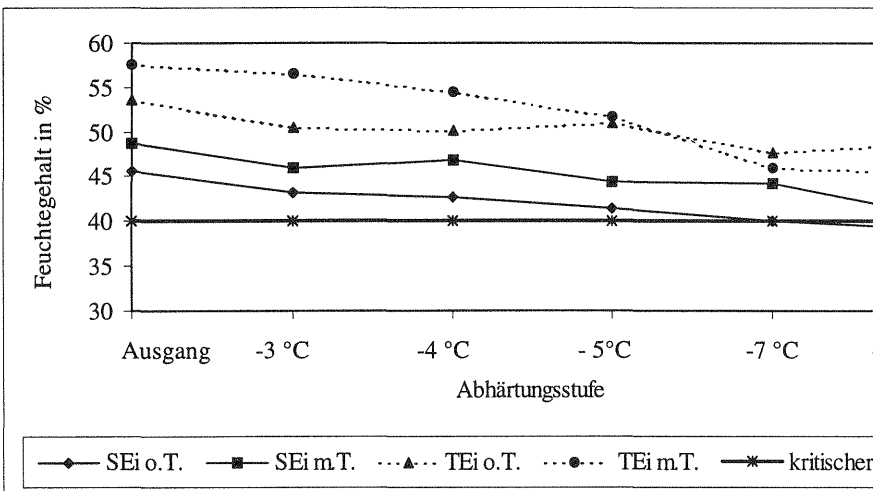


Abb. 50: Feuchteverlauf von Stiel- (SEi) und Traubeneicheln (TEi) mit (m.T.) und ohne (o.T.) Thermotheapie während der Abhärtung 1996/97. Als Bezugsgöße kritische Feuchtegehalt von 40 % aufgezeigt (n = 10 mit 2 Wdh.).

## Frosthärte von Eicheln aus $-3^{\circ}\text{C}$ Standardlagerung

Zur Überprüfung, ob die kontinuierliche Temperatursenkung einen positiven Effekt auf die Frosttoleranz von Eicheln hat, wurden herkömmlich ( $-3^{\circ}\text{C}$ , Tonnen) gelagerte Eicheln für drei Wochen einer Temperatur von  $-8^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt. In Tab. 62 sind die Keimraten der Eicheln nach  $-8^{\circ}\text{C}$  Lagerung und der in dem entsprechenden Zeitraum vorliegende Keimwert der Eicheln nach Standardlagerung dargestellt. Die Keimraten der  $-8^{\circ}\text{C}$  Versuche weisen darauf hin, dass das Saatgut nicht die gleiche Frosthärte aufweist wie die Eicheln, die langsam an diese Temperatur gewöhnt wurden (siehe oben). Besonders auffallend war auch bei diesem Versuch, dass Eicheln ohne Thermo-therapie eine signifikant höhere Frosttoleranz nach der  $-8^{\circ}\text{C}$  Standardlagerung wiesen.

Tab. 62: Keimraten nach Standardlagerung bei  $-3^{\circ}\text{C}$  bis zum 18.02.1997, gefolgt von einer Standardlagerung für drei Wochen ( $n = 200$  je Variante).

	SEi o.T.	SEi m.T.	TEi o.T.	TEi m.T.
Standard $-3^{\circ}\text{C}$ (Dez. 1996 bis Jan 1997)	75 %	94 %	42 %	60 %
$-8^{\circ}\text{C}$ (18.02.97 bis 09.03.97)	53 %	10 %	14 %	4 %

## 9 Anhang

- Anhang 1: Ergebnisse einer Anfrage bei den Landesforstverwaltungen zur Verjüngung von Eiche und Buche
- Anhang 2: Literaturlauswertung zu Mikropilzen an Eicheln  
Übersicht isolierter Mikropilze an Eicheln aus vorliegender Untersuchung
- Anhang 3: Fragebogen
- Anhang 4: Methodik: Nährböden und Einbettungsmethode



In der vorliegenden Untersuchung wurde die Anwendbarkeit der Elektronenbehandlung phyto-sanitäre Maßnahme bei den Saatgutarten Eiche, Buche und Sitkafichte überprüft. der Elektronenbehandlung sind auch Untersuchungen zum Befallszeitpunkt und Befall von Eichensaatgut (der hauptsächlich untersuchten Baumart) mit Mikropilzen durchgeführt worden. Darüber hinaus erfolgte die Bestimmung der letalen Strahlendosis von 24 häufigen Eichel- oder Bucheckern siedelnden Mikropilzen. Im Bezug auf die Anlagen- und Verfahrenstechnik war die Bestimmung der Perikarpstärke sowie die Klärung der Auswirkung von Vakuums auf Eichel- und Bucheckern nötig. Die Elektronenbehandlung wurde als Einzelbehandlung sowie in Kombination mit der Thermotherapie durchgeführt.

### **Pilzbefall während des Eichelwachstums am Baum und nach Bodenkontakt**

Der Pilzbefall der Stieleicheln betrug zu Beginn der Untersuchung (September) an der Spitze fast 100 %. Die Inokula der Eichelmitte, der Eichelbasis und der Kotyledonen wiesen wesentlich geringere Kontaminationen auf. Im Verlauf des Wachstums der Eichel nahm der Befall bis Ende Oktober an allen Isolationsstellen auf über 90 % zu. Nach Bodenkontakt (Anfang November) waren alle Perikarpteile zu 100 % mit Mikropilzen infiziert, die Kotyledonen zu über 90 %.

Die Artenzusammensetzung änderte sich mit fortschreitender Eichelentwicklung am Baum und zusätzlich noch einmal nach Bodenkontakt. Entsprechende Feststellungen machte VIENNOT (1984) während der Keimung von *Quercus nigra* und *Quercus alba*.

Für die vorliegende Untersuchung war insbesondere zu klären, wann primärpathogene Pilze das Saatgut besiedeln, da dies von Bedeutung auf die Erntemethode sein kann, wie das Beispiel der Netzernete von Bucheckern zeigt (DUBBEL 1992). Der einzige primärpathogene Pilz an Eichel, *Ciboria batschiana*, konnte erst nach Bodenkontakt nachgewiesen werden, was entspricht dem Infektionsweg, wie er u.a. von MEN (1976), DELATOUR & MORELET (1976) und BONNET-MASIMBERT & MULLER (1993) beschrieben wurde. Die Apothecien auf mumifizierten Eichel- aus dem Vorjahr entlassen zum Eichelfall ihre Ascosporen, die das Saatgut infizieren. Auf den Kotyledonen der Eichel sind zu Beginn der Infektion orangefarbene, bräunliche, dunkel umrandete Flecke zu beobachten (BUTIN 1996). Im fortschreitenden Stadium platzt das Perikarp auf und die Kotyledonen stellen sich sklerotisiert dar. Im Keimtest oder auf Kulturmedium bildet sich ein dichtes braunes Myzel mit der Anamorphe *Rhacodiella castanea* Peyr. (VIENNOT-BOURGIN 1949), deren Konidien zu diesem Befallszeitpunkt das einzige Merkmal darstellen, mit dessen Hilfe eine genaue Identifikation von *Ciboria batschiana* möglich ist. Die Mikrokonidien sind jedoch nicht infektiös (BUTIN 1996). Infizierte Eichel, die nicht aufgesammelt werden, bilden im Folgejahr wieder Ascosporen und der Infektionszyklus beginnt erneut. Die Infektion erfolgt ausschließlich vom Boden aus, und der von STOCKA (1994, zitiert bei J. SUSZKA) gemeldete Fund von *Ciboria* infizierten Eichel in einer Eichenkrone ist so eher als Ausnahmefall zu betrachten. Sicherlich ist es möglich, daß die Sporenwolken, die aus den Ascen am Waldboden liegenden mumifizierten Eichel herausgeschleudert werden, tief in die Kronenregionen erreichen. Eine Infektion von Eichel, die im Bestand in 15 m bis 20 m Höhe über dem Waldboden hängen, dürfte jedoch auszuschließen sein.

Ergebnis erwarteten bei Pathogenität des Pilzes, sondern vermuteten, daß er sich von West nach Ost ausbreiten würde (J. SUSZKA 1997). In diesem Zusammenhang vermutete SUSZKA (zitiert bei SCHRÖDER 1997) daß möglicherweise ein aggressiver Stamm von *Ciboria batschiana* aus dem Westen nach Osten vordringt. Verschiedene Autoren berichteten jedoch bereits in den 1950er Jahren von starken Schäden durch *Ciboria batschiana* in Rußland (u.a. POTLAICHI 1955, SOKOLOV 1955, SEMENKOWA 1959) und der Tschechischen und Slowakischen Republik (UROSEVIC 1959, PROCHAZKOVA 1995), so daß eine Verbreitung allein aus westlichen Ländern nicht vorliegen dürfte. Es gibt jedoch einige Länder wie England oder auch die USA, in denen das Vorkommen von *Ciboria batschiana* zwar beschrieben wurde, jedoch ohne daß wirtschaftliche Schäden hervorgerufen wurden (CANNON et al. 1989, GOSLING 1989, WASILIANSKA 1996 mündl. Mitteilung). Möglicherweise sind verschiedene Umweltbedingungen für die unterschiedliche Intensität der Pathogenität dieses Pilzes verantwortlich. Aufschluß über mögliche „Rassenunterschiede“ könnten u.U. neuere molekulare genetische Analyseverfahren bieten.

Die Erkenntnis, daß der primär schädigende Pilz an Bucheckern erst nach Bodenkontakt infiziert (DUBBEL 1989), führte dazu, daß heute die Beerntung von Buchensaatgut durch Netze erfolgt, wodurch jeglicher Bodenkontakt unterbunden wird (DUBBEL & REICHWALDT & BÖHL 1996). Dieses Verfahren könnte auch bei der Baumart Eiche eine wirksame Reduktion der Pilzkontamination bewirken. Unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung einer Pilzbesiedlung am Eichensaatgut, ist eine neue Erntemethode mit Hilfe einer Saugmaschine (GÖDDE 1996) eher kritisch zu beurteilen, da die Streu hierbei bis auf den Minimum abgesaugt wird und so eine intensive Durchmischung des Saatgutes mit zersetzter organischer Substanz erfolgt, bevor es von den Verunreinigungen getrennt wird.

Die höchste Besiedelung der untersuchten Perikarpinokula an Stieleicheln erfolgte durch unspezifische „Schimmelpilze“ wie *Alternaria* spp., *Aureobasidium* spp., *Cladosporium* spp., *Fusarium* spp., *Mucor* sp., *Penicillium* spp. und *Trichoderma* spp. Diese Pilze besiedeln bei hoher Luftfeuchtigkeit nur die äußere Samenschale und vermögen erst nach Beschädigung des Perikarps in das Saatgut vorzudringen (BUTIN 1996). Solche ubiquitistischen Pilze haben ihr natürliches Vorkommen auch im Waldboden und haben auf Grund ihrer Universalität die Fähigkeit, fast jede pflanzlich gebildete Substanz abzubauen. Pilze der Gattungen *Aureobasidium* und *Trichoderma* sind beispielsweise in der Lage, Zellulose in Pflanzenmaterial abzubauen. Einige Arten von *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium* und *Trichoderma* bauen bei Feuchtegehalten von mindestens 20 % bis 30 % vorwiegend Fette und Kohlenhydrate von pflanzlicher Art ab (SCHWANTES 1996). Schimmelpilze gehören oftmals zu den xerophilen Organismen, so daß sich einige Arten noch bei -8 °C weiterentwickeln und erst bei höheren Temperaturen ihrem aktiven Wachstum unterbrochen werden (SCHWANTES 1996).

Eicheln bieten auf Grund ihres hohen Feuchtegehaltes sowie ihrer stofflichen Zusammensetzung ein optimales Medium für ubiquitistische Saprophyten. Diese Arten sind an Eicheln oft nachzuweisen und bilden die häufigsten Vertreter, die nach einer phytosanitären Behandlung eine Reinfektion durchführen. Sie sind in der Lage, sich im Saatgutlager bei

---

<sup>18</sup> Xerophile Organismen: an Trockenheit angepaßt (RAVEN et al. 1988)

gerpilz bei Eichensaatgut. *Botrytis cinerea*, der in der vorliegenden Arbeit ebenfalls er Bodenkontakt nachzuweisen war, ist ein Phytoparasit (DÖRFELT 1989) und kann das als Sekundärpathogen negativ beeinträchtigen. Pilzarten der Gattungen *Acrem Aposphaeria*, *Mollisia*, *Phomopsis*, *Ulocladium* und *Xylaria* sowie der Arten *Amph leiphaemia*, *Discula quercina* und *Ophiostoma quercus*, die in der vorliegenden Unters vorkamen, wurden von verschiedenen Autoren als endophytisch an Eichenblättern und siedelnde Pilze beschrieben (KOWALSKI & KEHR 1992 und 1996, HALMSCHLAGER 1993). Diese Pilze leben symptomlos in dem entsprechenden Wirt, können aber, durch oder endogene Einflüsse ausgelöst, in eine pathogene Phase übergehen (LUGINBU MÜLLER 1982). Derartige auslösende oder fördernde Ereignisse dürften in der Pha Eichelernte bis zur Aufbereitung bzw. Lagerung zu suchen sein (MESSER 1960). Die n sende Vitalität der Eicheln durch Veratmung von Reservestoffen während der Lagerun einen weiteren potentiell auslösenden Faktor für pathogenes Verhalten ursprünglich phytischer Pilze dar.

### **Perikarp- und Testastärke von Eicheln, Bucheckern und Sitkafichtensamen**

Die im Mittel dünnste Perikarpdicke der Stieleicheln lag mit 362  $\mu\text{m}$  an der Eichelspitze. Traubeneichelperikarp war mit 567  $\mu\text{m}$  ebenfalls an der Eichelspitze am dünnsten. jeweils dünnste Perikarpstelle befindet sich über dem Embryo. Der Perikarpmittelp insbesondere die Basis beider Eichelarten sind wesentlich dicker. Das Mittel des Buche perikarps betrug 211  $\mu\text{m}$ . Die Perikarpstärken dieser Saatgutarten liegen damit um ein ches über der maximalen Eindringtiefe der Elektronen bei einer Behandlung m WESENITZ 1. Lediglich die Testa von Sitkafichtensaatgut mit 59  $\mu\text{m}$  konnte völlig strahlt werden. Unter der Annahme, daß die Dichte der Testa  $\rho=1\text{g}/\text{cm}^3$  beträgt, lie Testastärke des Sitkafichtensaatgutes über der von Winterweizen (LINDNER 1992) und gen (45 $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$ ) und etwa im Bereich der Perikarpstärke von Mais (45  $\mu\text{m}$  bis 6 (KNAPPE 1997 unveröffentlicht).

Bei der Betrachtung der mittleren Perikarp- oder Testastärke ist es jedoch wichtig, die zu messen, unter der der Embryo liegt, denn diesen dürfen die Elektronen nicht erreiche Eichensaatgut ist das die Spitze. Daraus ergeben sich bei Eicheln erhebliche Abweich zu den Mittelwerten z.B. der Perikarpstärke an der Basis, die um ein Mehrfaches dicker an der Spitze. Für die Saatgutarten, die aufgrund ihrer Samenschalenanatomie den t schen Gegebenheiten der Anlage WESENITZ 1 angepaßt sind (Getreidesaatgut, Gemü gut, Nadelholzsaatgut), ist die Einbeziehung der Sorte wichtig. Phytotoxische Schäd gegebenensfalls an Saatgut aufgrund starker Schwankungen der Perikarpstärke und d bewirkter Strahlenbelastung des Embryos möglich wären, wirken sich u.U. je nach unterschiedlich aus. Zum Beispiel fand WALTHER (1969 zitiert bei BORS et al. 1979 Saatgutbestrahlung (Durchstrahlung mit  $\gamma$ -Strahlung) von 45 Winterweizensorten e strahlensensible und -resistente Sorten. Nach der Ernte des Weizens, der aus Saatgut, d einer Dosis von  $10^{-2}$  kGy bestrahlt wurde hervorging, erbrachten die Pflanzen einer 95 %, eine andere Sorte nur 40 % der Trockenmasse gegenüber der Kontrolle.

Größenklassen des Saatgutes zur Verwendung kommen (LINDNER 1992).

Entsprechendes gilt auch für die Dichte des Perikarps und der Testa. Derzeit gibt es keine exakte Dichtebestimmung noch große Schwierigkeiten, so daß der Dichte  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  angenommen wird. Gravimetrische Verfahren zur Volumenbestimmung sind aus Grund der Probengröße zu ungenau, ebenso die visuelle Abmessung der Proben. FIORAVANTI & RICCI (1991) und KAPPENBERG (1994) beschrieben für Holzproben Probentlängen von 20 mm x 20 mm und variierenden Gesamtlängen die Computertomographie als Methode zur Dichtedifferenzierung der Holzjahrringe. Gegebenenfalls ist dieses auch für die Dichtebestimmung des Saatgutperikarps anwendbar. Für die vorliegenden Untersuchungen konnten die technischen Voraussetzungen der in Italien beschriebenen Methode nicht verfügbar gemacht werden.

Mit der auf 70 kV nach oben begrenzten Beschleunigungsspannung der WESENITZ 1 ist die Elektronenbehandlung von Eicheln und Bucheckern nur bedingt möglich. Die Eindringtiefe übersteigt die mit der Beschleunigungsspannung von 70 kV erzielbare Eindringtiefe der Elektronen um ein Vielfaches. Damit ist von vornherein nur dann eine erfolgreiche Behandlung zu erwarten, wenn die Mikropilze ausschließlich bzw. vorwiegend in sehr oberflächennahen Bereichen des Perikarps lokalisiert sind. Selbst unter der Annahme, mit einer hinreichend hohen Beschleunigungsspannung den Bereich des Perikarps der Eicheln und Bucheckern vollständig behandeln zu können, ergeben sich auf Grund der Heterogenität der Perikarpstärke erhebliche Schwierigkeiten bezüglich der fungiziden Wirkung. Würde die Eindringtiefe der Elektronen an den dünnsten Perikarpstellen gewählt, würden weite Bereiche des Perikarps beispielsweise der Eichelmitte oder der Eichelbasis überhaupt nicht von den Elektronen erreicht.

### **Vakuumeinfluß auf Eicheln und Bucheckern**

Ein Aufenthalt in einem Vakuum von einem Torr bis zu einer Dauer von 30 Sekunden hat keinen Einfluß auf das Aufnahmeverhalten von Stiel- und Traubeneicheln sowie Bucheckern. Die maximale Wasserdampf-abgabe bezogen auf das Frischgewicht während dieser Behandlung lag bei den untersuchten Baumarten deutlich unter einem Prozent. Der Feuchteverlust der Eicheln bei der Behandlung mit der WESENITZ 1 lag bei vier aufeinanderfolgenden Durchläufen durch die Anlage in der Summe unter einem Prozent.

WEBER (1995) ermittelte für die Saatgutarten Roggen, Möhre, Chinakohl, Bohne, Sellerie, Kürbisse und Tomate bei einer Verweilzeit von zwei Sekunden in einem Vakuum von einem Torr ebenfalls Feuchteverluste, die deutlich unter einem Prozent lagen. Für Winterweizen ermittelte LINDNER (1992) den gleichen Wert ermitteln. Obwohl der Feuchtegehalt bei den Eichelarten 40 % betrug und damit wesentlich höher war als die aufgeführten Getreide- und Gemüsearten, betrug der Feuchteverlust weniger als ein Prozent. LINDNER (1992) und WEBER (1995) schlossen aus ihren Ergebnissen ebenfalls, daß eine Beeinträchtigung des Saatgutes durch den Feuchteverlust und den Aufenthalt im Vakuum allgemein ausgeschlossen werden kann.

Aus der Elektronenbehandlung von Saatgut mit Elektronenbeschleunigern liegen letale Strahlendosiswerte für Pilze an Winterweizen vor (LINDNER 1992); *Septoria nivalis*: 6 kGy; *Fusarium culmorum*: 6 kGy; *Gerlachia nivalis*: 7 kGy; *Tilletia caries*: 2 kGy. Reduktion, nicht aber völlige Abtötung, von Bakterien an Saatgut von Bohne, Kohl, Tomate und Gurke gaben PULS & JAHN (1997) eine Dosis von 10 kGy an.

Zur Reduktion von Pilzkontaminationen an Lebensmitteln mit Radionuklidquellen sind bereits umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Neben der Insektenbekämpfung die Hemmung des Auskeimens sowie Reifungsverzögerungen sind die Ziele einer Lebensmittelbestrahlung die begrenzte Haltbarmachung durch nicht vollständige Abtötung der Mikroorganismen. Zudem soll die mikrobielle Sicherheit durch weitgehende Abtötung von pathogenen Mikroorganismen erhöht werden (LEISTER & BÖGL 1988). Die Entkeimung von Getreide und Kräutern stellt gegenwärtig die häufigste Anwendung der Lebensmittelbestrahlung dar (BFE 1995). In der Hauptsache wurden bei den Lebensmittelbehandlungen Schimmelpilze auf ihre letale Strahlendosis hin untersucht. Elektronenbeschleuniger werden in der Entkeimung und Futtergetreidebehandlung eingesetzt, so daß auch hier Untersuchungen vorliegen. Zur besseren Übersicht sind in Tab. 63 einige Literaturhinweise nach Pilzarten geordnet aufgeführt. Im Gegensatz zur Saatgutbehandlung mit Elektronen, bei der nur wenige (vergleichbar der Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung) oder bestimmte Pilze vollständig (*Tilletia caries*, LINDNER 1992) abgetötet werden sollen, ist das Ziel der Lebensmittelbestrahlung lediglich eine Reduzierung der Gesamtkeimzahl (WEBER 1983).

Tab. 63: Letale Strahlendosis für Pilze. Beispiele aus einer Literaturlauswertung (G: Gammastrahlung; B: Elektronenbeschleuniger).

Pilzart/Gattung	Letaldosis in kGy	Autor
<i>Alternaria</i> sp.	6,00 (G)	SARAVACOS et al. (1968)
<i>Aspergillus flavus</i>	1,80 (B)	MÜNZER & DIEHL (1972)
<i>Aspergillus niger</i>	0,32 (G)	STOLZ (1972)
<i>Botrytis cinerea</i>	5,00 (G)	SARAVACOS et al. (1968)
<i>Cladosporium</i> sp.	6,00 (G)	SARAVACOS et al. (1968)
<i>Gliocladium roseum</i>	2,50 (G)	SARAVACOS et al. (1968)
<i>Helminthosporium</i> sp.	6,00 (G)	SARAVACOS et al. (1968)
<i>Penicillium notatum</i>	0,22 (G)	STOLZ (1972)
<i>Rhizopus nigricans</i>	2,50 (G)	SARAVACOS et al. (1968)

Das Spektrum der nötigen Dosishöhe zur Abtötung der in Tab. 63 genannten Schimmelpilze liegt im Rahmen der in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Werte. Die Dosiswerte sind nicht exakt identisch, da oft unterschiedliche Arten einer Gattung untersucht wurden, die eine unterschiedlich hohe Strahlenresistenz aufwiesen. Dies wird am Beispiel der *Aspergillus niger* und *A. flavus* (Tab. 63) deutlich. Eine weitere Ursache unterschiedlicher Dosiswerte, sogar innerhalb der Art, könnte auch das Alter der untersuchten Kultur sein.

men von Mikroorganismen (STOLZ 1972). In der vorliegenden Untersuchung wurden die zum Versuchszeitpunkt sporulierenden Arten *Cladosporium cladosporioides*, *carpon didymum*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp. und *Ulocladium* c anhand von Myzelwachstumstests und Sporenkeimtests überprüft. Lediglich die Sp Pilzes *Trichoderma* sp. wiesen eine um 4 kGy erhöhte Strahlenresistenz im Vergl Myzelwachstumstest auf. Jedoch bildete die damit ermittelte Letaldosis von 6 kC Wert, der außerhalb des Letaldosispektrums der anderen Pilze liegt. Für Konidien tungen *Penicillium* und *Aspergillus* wies MÜNZER (1968) ebenfalls eine erhöhte Stra findlichkeit mit zunehmendem Alter nach. Darüber hinaus machte MÜNZER die Ver verschiedener Nährmedien bei der Bestimmung der minimalen Strahlendosis von M nismen für unterschiedliche Ergebnisse innerhalb der Arten verantwortlich. Weitere se, die die Strahlenempfindlichkeit beeinflussen sind der Wassergehalt der Mikroorg der Sauerstoffeffekt, Schutzeffekte der Mikroorganismen und die Behandlungste (STOLZ 1972). Neben Umweltbedingungen etc. ist auch die Zusammensetzung des für die Strahlenempfindlichkeit verantwortlich. DERTINGER & JUNG (1969) beschrieb bei Bakterien ein Zusammenhang zwischen Basenzusammensetzung der DNS un lenempfindlichkeit bestehe.

Aus der Bonitur des Radialzuwachses der Pilzreinkulturen nach einer Elektronenbe in der vorliegenden Arbeit konnten subletale Effekte beobachtet werden. Dies äuß sowohl in später einsetzendem als auch in verlangsamten Wachstum. Dies konnte b ten, die eine höhere Strahlendosis zur Abtötung benötigten, besonders deutlich be werden. MÜNZER (1969) stellte fest, daß Reinkulturen von *Aspergillus flavus* und *Pe viridicatum* nach einer Behandlung mit einem Elektronenbeschleuniger bei einer D 3,4 kGy nach 20 Tagen Ruhephase wieder mit dem Wachstum einsetzten.

Unter diesem Gesichtspunkt ist eine Endbonitur zur Bestimmung der letalen Strab von Mikropilzen nach einer Inkubationszeit von 10 Tagen (SARAVACOS et al. 1962 cherweise zu früh angesetzt. In der vorliegenden Untersuchung wurde ein deutlicher z.B. des Pilzes *Ceuthospora* sp. nach einer Elektronenbehandlung erst nach 21 Tag tiert. Die Varianten mit niedrigeren Dosiswerten hatten diese Zuwachsleistung bere drei Tagen gezeigt. Die Endbonitur der Sporenkeimtests erfolgte in der eigenen Unte nach 8 Wochen Inkubationsdauer. Aus dieser Erkenntnis muß abgeleitet werden, Bonitur einer Letaldosisbestimmung und möglicherweise auch der Wirksamkeitsübe über eine mehrwöchige Inkubation erfolgen muß.

Je höher ein Organismus organisiert ist, desto empfindlicher reagiert er auf eine Stral stung. Wie oben bereits ausgeführt, werden zur Abtötung von Mikropilzen Dosiswer 10 kGy benötigt. Die Letaldosis von Bakterien liegt teilweise weit darüber. Demge können Insekten bereits mit Dosiswerten von unter einem kGy bekämpft werden. handlung von Getreide gegen Insektenbefall zur Weiterverarbeitung in Lebensmitteln beispielsweise in Odessa bei Durchsätzen von 200 t pro Stunde mit 0,24 kGy bis 0, einem Elektronenbeschleuniger (GETOFF 1989). Die CAC (1984) empfahl für die Ge handlung zur Bekämpfung von Insektenbefall Dosiswerte bis zu 1 kGy. DOHINO et a beschrieben für alle Entwicklungsstadien von *Thrips palmi* und *Thrips tabaci* eine L

an Lebensmittel, bei denen entsprechend niedrige Werte für effektive Behandlungen führt sind.

### Phytotoxizität einer Bestrahlung von Saatgut

Für die Saatgutbestrahlung (Durchstrahlung) mit  $\gamma$ -Strahlen wurden Versuche angestellt häufig jedoch darauf abzielten, das Pflanzenwachstum positiv zu beeinflussen oder züchterisch gezielt Mutationen auszunutzen (ESPINO et al. 1986). Nach Angabe des wurden bei Dosiswerten von maximal 0,06 kGy bis 0,3 kGy jedoch reduzierte Keimverschiedener Fruchtsamen beobachtet. WORTHINGTON (1988) beobachtete signifikante Keimreduktionen bei einer Gammabehandlung ( $^{60}\text{Co}$ ) von getrockneten Weidelgras (*Lolium* sp.) ab einer Dosis von 0,25 kGy und bei feuchten Samen ab 0,02 kGy. Bei Zmais traten die Reduktionen ab einer Dosis von 0,5 kGy (getrocknet) und 0,15 kGy (auf. DECKER & DEGENER (1983) berichteten in einer Literaturstudie von Keimförderern verschiedener Saatgutarten durch Dosiswerte von wenigen Gy bei einer  $\gamma$ -Strahlenbestrahlung. Eine Behandlung von Maiskaryopsen mit 8 Gy bis 42 Gy zeigte in den Untersuchungen von SMITH et al. (1962 zitiert bei DECKER & DEGENER 1983) eine Wuchsförderung. 889 Gy traten phytotoxische Schäden auf. Nach HEGER (1990) werden Dosiswerte von 10 Gy bei Saatgut als Größenwachstums-Stimulation eingesetzt. Eine Keimhemmung nach Angabe des Autors bei Dosiswerten zwischen 65 Gy und 350 Gy induziert und Mutationen der Embryonalanlagen erfolgen ab 450 Gy bis zu 10 kGy. Alle Ergebnisse zur Gammastrahlung von Saatgut, insbesondere die der keimschädigenden Beobachtungen, sind im Zusammenhang der Durchstrahlung des Saatgutes zu sehen. Das hier untersuchte Verfahren der Elektronenbehandlung von forstlichem Saatgut ist auf die Perikarpschichten beschränkt, daß die oben beschriebenen Effekte einer Stimulation oder Schädigung der Embryonalanlagen bereits von der Behandlungsart her ausgeschlossen werden können. Da es sich jedoch um eine Behandlung von biologischem Material handelt, sollten diese Effekte nicht grundsätzlich außer acht gelassen werden.

BAGEGNI et al. (1990) behandelten Rohrschwingelsaatgut (*Festuca arundinacea*) mit Gammastrahlen gegen den samenbürtigen pilzlichen Erreger *Acremonium coenophialae* bei einer Dosis von 250 Gy und einem Wirkungsgrad von 90 %. Da das Saatgut bei der Gammastrahlung durchstrahlt wird, sind höhere Dosiswerte ohne phytotoxische Wirkung möglich. In der vorliegenden Untersuchung konnten auf Grund der begrenzten Reichweite der Elektronen wesentlich höhere Dosiswerte genutzt werden.

BURTH et al. (1991) nutzten als wichtigstes Kriterium zum Nachweis der phytotoxischen Unbedenklichkeit einer Elektronenbehandlung den Ertrag der nächsten Weizengenerations. Dies ist für Pflanzenarten wie Waldbäume, deren erste Fruktifikation erst mehrere Jahre nach der Saat beginnt, nicht möglich. Für die Beurteilung der Eichen, Buchen und Sitkeleichen, die aus e-behandelten Samen hervorgegangen sind, konnten lediglich die ersten Keimkeimlinge im Vergleich zur Kontrolle herangezogen werden. Die Keimrate war in diesen Untersuchungen in Kombination mit o.a. Bonitur das entsprechende Kriterium zur Beurteilung phytotoxischer Schäden. In Zukunft könnten möglicherweise molekulargenetische Ver-

## Wirkung einer Elektronenbehandlung auf die Mykoflora und das Auflaufverhalten von Eicheln, Bucheckern und Sitkafichtensamen.

### Eicheln

Die reine Elektronenbehandlung von Eicheln mit der Saatgutbehandlung WESENITZ 1 zeigte keine Wirkung in Bezug auf die Befallsrate mit lebensfähigen Pilzen im Perikarp. Lediglich die Thermotherapie nach der e-Behandlung zeigte eine abschwächende Wirkung. Möglicherweise hat die Elektronenbehandlung zu einer Artveränderung im Spektrum der an Eicheln siedelnden Mikropilze geführt. Die visuelle Beurteilung der Kulturen gab jedoch zu dieser Annahme keinen ausreichenden Anlaß, so daß auf eine detaillierte Diagnose aufgrund des dazu unverhältnismäßig hohen Aufwandes verzichtet wurde.

Zur Erhöhung der Eindringtiefe wurde eine zur Saatgutbehandlung modifizierte Elektronenstrahlenschweißanlage (150 kV) mit einer Eindringtiefe von 282  $\mu\text{m}$  bei  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  eingesetzt. Mit dieser Anlage konnte ein Wirkungsgrad gegen Pilze von bis zu 37,5 % bei einer Dosis von 42 kGy im Perikarp von Traubeneicheln erreicht werden. Trotz der im Bezug auf die Perikarpdicke immer noch unzureichenden Eindringtiefe der Elektronen konnten einige Pilzarten nach einer Elektronenbehandlung im Vergleich zur Kontrolle nicht mehr nachgewiesen werden. An beiden Eichenarten waren dies *Coleophoma cf. cylindrospora*, *Cladocarpus carpon* spp. und *Phomopsis* sp. Bei Stieleicheln konnte ein geringer Befall von *C. tschiana* im Perikarp abgetötet werden, was bei dem starken Befall der Traubeneicheln nicht möglich war. Die vollständig abgetöteten Arten müssen zum Zeitpunkt der Untersuchung noch oberflächennah gesiedelt haben, da die Eindringtiefe des Elektronenstrahls nicht ausreichte, um das gesamte Perikarp zu durchstrahlen.

Einige Pilze zeigten keinerlei oder nur eine geringe Reaktion auf die Elektronenbehandlung. Zu dieser Gruppe gehören auch die bereits oben besprochenen Ubiquisten *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Mucor* sp. und *Penicillium* sp. Auffällig war jedoch die Reduktion von Pilzen, die eine antagonistische Wirkung aufweisen, wie z.B. *Trichoderma* sp. und *Epicoccum nigrum*. Da in anderen Untersuchungen zur Wirkung ionisierender Strahlung auf die Mykoflora von Saatgut (CUERO et al. 1986, BAGEGNI et al. 1990, LINDNER 1991 & JAHN 1997) lediglich einzelne Arten gesondert betrachtet wurden und kein generelles Antagonistenspektrum aufgestellt wurde, kann nicht gesagt werden, ob diese Reaktion der Antagonisten typisch ist. Diese Frage sollte bei zukünftigen Arbeiten jedoch berücksichtigt werden. gegebenenfalls nach der Elektronenbehandlung eine künstliche Inokulation mit antagonistischen oder anderweitig positiv wirkenden Pilzen vorgenommen werden müßte.

Im Gegensatz zur Lebensmittelbestrahlung, bei der nach DIEHL (1990) eine Artveränderung bzw. selektive Eliminierung bestimmter Pilze (auch Nichtzielobjekte) keine Probleme verursacht, ist das Fehlen z.B. der Antagonisten bei Saatgut nicht unkritisch zu sehen. Allerdings ist der Kenntnisstand der Forschung noch nicht hoch genug, um einzelne Pilze mit bestimmten positiven Wirkungen für das Saatgut in Verbindung zu bringen. Der Effekt der Abtötung von Nichtzielorganismen ist jedoch bei jeder phytosanitären Maßnahme zu finden. DELONGE et al. (1982) beschrieben, daß bei der Thermotherapie auch andere Pilze abgetötet werden können.

<sup>19</sup> PCR: Polymerasechainreaction (Polymerasekettenreaktion)



Nach der Elektronenbehandlung konnte bei beiden Eichenarten neben dem Pilzvorkommen ein höherer Bakterienbefall nachgewiesen werden. Es ist allerdings nicht davon auszugehen, daß die Elektronenbehandlung diesen Bakterienbefall induziert hätte. Vielmehr ist zu vermuten, daß die Eicheln mit Pilzen und Bakterien kontaminiert waren, der Bakterienbefall durch die Pilze jedoch maskiert wurde. Nach dem Ausbleiben des Pilzwachstums konnten die Bakterien bonitiert werden. Ein weiterer Faktor, der einen Bakterienbefall bei gleichzeitigen Auftreten von Pilzen nicht offensichtlich werden ließ, könnte der in der vorliegenden Studie genutzte Nährboden gewesen sein, der allein für die Inkubation von Pilzen abgestimmt

war. Eine Wirkung der Elektronenbehandlung auf das Auflaufen der Eicheln nach einer Vorbehandlung mit der WESENITZ 1 konnte nicht beobachtet werden. Dies traf auch bei der Behandlung von Stieleicheln mit einer Beschleunigungsspannung von 150 kV und einer Dosis von 42 kGy zu. Die Traubeneicheln hingegen wiesen bei dieser Behandlung ein signifikantes Keimergebnis auf. Eine phytotoxische Wirkung der Elektronenbehandlung ist allerdings unwahrscheinlich. Dieser negative Effekt hätte dann auch bei Stieleicheln beobachtet werden müssen, da das Perikarp der Stieleicheln im Mittel dünner ist als das der Traubeneicheln. Als Erklärungsansatz dient eher der Feuchteverlust der Traubeneicheln, der wesentlich höher als derjenige der Stieleicheln war. Dies wurde durch eine alleinige Vakuumbehandlung der Traubeneicheln bestätigt, die nach der Behandlung ebenfalls eine signifikant erniedrigte Keimrate aufwies. Demnach reagieren Traubeneicheln offenbar empfindlicher als Stieleicheln auf ein (allerdings für die Praxis nicht relevantes) mehrere Minuten einwirkendes Vakuum. Da die oben bereits diskutierten Vakuumversuche und die Behandlung mit der WESENITZ 1 keine negativen Auswirkungen zeigten, muß die Zeit des Vakuumeinwirkens eine entscheidende Rolle spielen. Für die praktische Saatgutbehandlung hat diese Erkenntnis jedoch keine Auswirkung, da auch eine Saatgutbehandlungsanlage mit einer Eindringtiefe von Elektronen von mehreren hundert Mikrometern keine über die in der WESENITZ 1 benötigte Aufenthaltsdauer im Vakuum benötigen würde. Es kann also davon ausgegangen werden, daß bei den vorliegenden Behandlungsparametern auch bei Dosiswerten bis zu 42 kGy keine phytotoxische Reaktion auftreten würde.

Bei einer Kombinationsbehandlung von Elektronenbehandlung und Thermotherapie wurde die positive Wirkung der Thermotherapie direkt nach der Ernte im Bezug auf die Keimfähigkeit deutlich zutage. Die nicht signifikanten Schwankungen der Keimrate bei unterschiedlichen Dosiswerten und gleicher Vorbehandlung lassen sich sowohl im positiven als auch im negativen auf die artspezifische Streuung des Auflaufverhaltens zurückführen. Ein Kombinationsverfahren von Elektronenbehandlung und Thermotherapie direkt vor der Aussaat scheint im gegenwärtigen Stand der Elektronenbehandlung für Eicheln nicht sinnvoll zu sein. Die positiven Effekte der Thermotherapie im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle sind deutlich. Eine weitere Verbesserung des Auflaufergebnisses durch die Elektronenbehandlung konnte nicht beobachtet werden.

---

<sup>20</sup> Dormanz: Übergeordneter Begriff für alle Abweichungen von der normalen Entwicklungsgeschwindigkeit (Def. nach Aust et al. 1993). Bei Saatgut ist damit i.d.R. eine Keimhemmung gemeint.

Limbus hatte. Dieser Effekt wurde von GILLE & NOWAG (1995b) für eine nach  
Thermotherapie von Bucheckern beschrieben und konnte in den vorliegenden Ver  
die Baumart Buche ebenfalls bestätigt werden.

Mit Elektronen behandelte Traubeneicheln ohne Thermotherapie im Anschluß an  
wiesen nach fünfmonatiger Standardlagerung signifikant höhere Keimraten auf als  
unbehandelte Kontrolle. Eine mögliche Ursache ist in der oben beschriebenen  
einzelner Pilzarten zu suchen. Diese müssen zum Zeitpunkt der Behandlung oberfl  
gesiedelt haben. Die oben beschriebene Schwierigkeit der Zuordnung positiver E  
endophytischen Pilzen trifft auch auf mögliche pathogene Reaktionen zu. Welche U  
dingungen den Auslöser zu einer pathogenen Wirkung bilden, ist unklar. Es ist jed  
auszugehen, daß der Vitalitätsverlust der Eicheln durch Veratmung von Reservesto  
rend der Lagerung eine entscheidende Rolle spielt. Es muß im Zusammenhang  
diskutierten Lagerungsversuches jedoch darauf hingewiesen werden, daß die Traub  
die unmittelbar nach der Ernte thermotherapiert wurden, die doppelte Keimrate d  
reinen Elektronenbehandlungsvariante aufwiesen. Ein signifikant positiver Effekt  
Keimrate konnte bei den thermotherapierten Eicheln, die zusätzlich einer Elektron  
lung unterzogen wurden, nicht festgestellt werden.

Die Keimtests der Eicheln in Sand und in Blumenerde wiesen keine signifikanten U  
de bezüglich der Keimrate auf. Durch die Anzucht der Pflanzen unter optimalen B  
dingungen im Gewächshaus konnten mit beiden Verfahren Keimraten erzielt we  
teilweise weit über der durchschnittlichen Auflauftrate in einer Baumschule lager  
wählten Keimverfahren sollten lediglich eine Basis bilden, um den Erfolg untersch  
Behandlungen miteinander vergleichen zu können. Die Ergebnisse können für einen  
produzierenden Betrieb (herkömmlicher Art) daher lediglich als Orientierungsgrö  
jedoch als Kalkulationsgröße dienen. Für Betriebe, die Eichensämlinge unter Fog o  
ger Bewässerung in Kleincontainern unter Folie produzieren, sind die Ergebnisse eh  
eigenen Anzuchterfolgen vergleichbar.

### **Bucheckern**

Die Elektronenbehandlung frischer Bucheckern zeigte bei einer Dosis von 16 kGy e  
fikante Wirkung gegen Pilze. Bei gelagerten Bucheckern konnte hingegen keine si  
Reduktion eines Mikropilzbefalls festgestellt werden. Dies läßt darauf schließen  
siedelnden Pilze zuerst oberflächlich am Saatgut anhafteten und deshalb trotz unzur  
Eindringtiefe der Elektronen abgetötet werden konnten. Mit zunehmender Lageru  
und entsprechender Möglichkeit, in tiefere Perikarpschichten einzuwachsen, reduz  
der Wirkungsgrad der Elektronenbehandlung, da die Pilze offenbar außerhalb der R  
siedelten.

Nach einer Elektronenbehandlung lag die Keimrate bei frischen und gelagerten B  
auf gleichem Niveau oder leicht über dem der Kontrolle, jedoch nicht signifikant.  
Varianten der gelagerten Bucheckern, bei denen im Anschluß an die Lagerung eine  
therapie mit oder ohne Kombination der Elektronenbehandlung durchgeführt wurde  
Keimprozent signifikant unter dem Keimerfolg der unbehandelten Kontrolle. Dieses

## Sitkafichtensamen

Die Elektronenbehandlung der Sitkafichtensamen erreichte einen Wirkungsgrad gegenüber bis zu 89,6 % bezogen auf alle Pilze, die aus den Samen auswuchsen. Eine Beschleunigungsspannung von 70 kV erwies sich dabei günstiger als eine von 60 kV. Eine Erhöhung der Dosis von 8 kGy auf 24 kGy führte lediglich zu einer Steigerung des Wirkungsgrades um 10 %. Wie bereits bei der Elektronenbehandlung von Eicheln diskutiert wurde, muß bei diesen hohen Keimfreiheiten der Einfluß fehlender Antagonisten oder ähnlicher Pilze unter Praxisbedingungen untersucht werden. Der Nachweis, daß die Elektronenbehandlung ein wirkungsvolles Verfahren gegen Mikropilze an Sitkafichtensamen darstellt, konnte erbracht werden. Wenn diese Behandlung auf den pathogenen Pilz *Caloscypha fulgens* wirkt, der aus Quarantänegründen nicht genutzt werden konnte, müßte noch eruiert werden (SUTHERLAND et al. 1966).

Keine der mit Elektronen behandelten Varianten des Sitkafichtensaatgutes wies eine signifikant veränderte Keimrate im Vergleich zur Kontrolle auf. Mit höherer Beschleunigungsspannung und damit größerer Eindringtiefe der Elektronen nahm die Keimrate leicht, jedoch nicht signifikant, zu.

Die untersuchten Sitkafichtensamen wiesen eine mittlere Testastärke von 59  $\mu\text{m}$  (Volumen  $V = 0,26$ ) auf. Unter der Annahme, daß die Testadichte  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$  beträgt, weist der Elektronenstrahl bei einer Beschleunigungsspannung von 70 kV eine Eindringtiefe von 79  $\mu\text{m}$  auf. Da die Testastärke von 59  $\mu\text{m}$  davon auszugehen, daß der Elektronenstrahl die Testa vollständig durchdrungen hat, muß darüber hinaus gewirkt haben. Nadelholzsamen weisen nach SPARROW et al. (1966) eine extrem hohe Strahlenempfindlichkeit auf. Es gibt mehrere Gründe, die dazu geführt haben können, daß es bezogen auf die ersten Keimstadien der Sitkafichtensamen trotzdem nicht zu phytotoxischen Schäden gekommen ist. Möglicherweise ist die Dichte der Samenschale größer als 1  $\text{g/cm}^3$ . Die Elektronen würden dadurch an Eindringtiefe verlieren. Die Morphologie des Saatgutes birgt eine weitere Erklärungsmöglichkeit. Die Embryonalanlagen sind im Inneren gut von den Primärblättern umgeben und somit geschützt. Die Dosis ist am Ende der Elektronenreichweite gering, so daß möglicherweise fördernde Effekte (Überkompensation) bereits oben aus Literaturangaben aufgeführt, durch geringe Dosen ionisierender Energie auf die Keimanlagen gewirkt haben, eingetreten sind. Diese Erklärungsmöglichkeit ist jedoch sehr unwahrscheinlich, so daß am ehesten Dichteunterschiede als Erklärung herangezogen werden müssen.

## Risiken der Elektronenbehandlung

Die ionisierende Bestrahlung zur Behandlung von biologischen Systemen ist in drei Dosisbereiche eingeteilt (BFE 1995). In den Bereich niedriger Dosiswerte (bis 1 kGy) fallen die Anwendungen zur Hemmung der Keimung (z.B. Zwiebeln), zur Bekämpfung von Insekten und zur Verzögerung physiologischer Prozesse (z.B. Reifung frischer Früchte). Der mittlere Dosisbereich (1 kGy bis 10 kGy) hat die Haltbarkeitsverbesserung durch Ausschaltung von Verderbnis- und krankheitserregenden Mikroorganismen zum Ziel. Der hohe Dosisbereich (10 kGy bis 75 kGy) wird für die industrielle Sterilisation und die Dekontamination von Lebensmittelszutaten, insbesondere jedoch zur Sterilisierung von medizinischen Geräten verwendet.

reiche und die dort siedelnde Mykoflora, die den Zielort der Behandlung darstellenden Dosisbereich kam 1980 ein gemeinsames Expertenkomitee der World Health Organization (WHO), der Food and Agriculture Organization (FAO) und der International Energy Agency (IAEO) zu dem Ergebnis, daß Lebensmittelbestrahlungen bis zu einer Dosis von 10 kGy gesundheitlich unbedenklich sind. Höhere Dosiswerte sind damit nicht unbedenklich, sondern lediglich nicht genügend geprüft, um sie als unbedenklich bezeichnen zu können (CAC 1984, DIEHL 1990, BFE 1995). Die U.S. Food and Drug Administration ließ für bestimmte Bereiche Dosiswerte bis zu 30 kGy zu (CAST 1986). Für die Fortführung der Bewertung „unbedenklich“ wurden umfangreiche Untersuchungsauswertungen durchgeführt, die folgende Bereiche abdeckten: die mögliche Induktion erhöhter Strahlenempfindlichkeit der Mikroorganismen durch die Behandlung, eine erhöhte Virulenz<sup>21</sup> der Pathogenen, eine ungewöhnliche Erregerflora durch strahlenbedingte Änderung der Zusammensetzung der natürlichen Flora und Änderungen in physiologischen Eigenschaften der Organismen, die die Identifizierung erschwert. Keine dieser negativen Auswirkungen konnten bei der Lebensmittelbestrahlung mit Dosiswerten bis zu 10 kGy nachgewiesen werden (CAST 1986, ICGFI 1986).

Einige der vorliegenden Untersuchungen wurden mit Dosiswerten durchgeführt, die von 28 kGy und 42 kGy weit über dem Wert der Letaldosisbestimmung (10 kGy) und über der oben erwähnten „Unbedenklichkeitsgrenze“ bei der Lebensmittelbestrahlung lagen. Grund ist in dem Versuch zu sehen, in einem etwas größeren Bereich der Elektronenenergie die letale Dosis von 10 kGy zu erreichen. Eine hohe Oberflächendosis verschleppte die geforderten Wert von 10 kGy demnach in tiefere Perikarpschichten. Bei einer entsprechenden großen Eindringtiefe durch eine hohe Beschleunigungsspannung könnte wie gefordert eine 10 kGy Oberflächendosis operiert werden. Für die vorliegenden Arbeiten stand eine entsprechende technische Anlage jedoch nicht zur Verfügung.

Bei der Saatgutbehandlung mit ionisierender Strahlung muß unter dem Gesichtspunkt der Induktion von Mutationen zwischen solchen an den Reproduktionsorganen des Saatgutes und solchen, die zu eliminierenden Mikroorganismen unterschieden werden. Die Elektronenbehandlung der vorliegenden Untersuchung ist in ihrer Reichweite auf das Perikarp und/oder die Keimblätter beschränkt und unterscheidet sich damit grundlegend von einer Gammastrahlenbehandlung, die bei der Applikation geringer Dosen bewußt Mutationen in Kauf nimmt (ESPERANZA 1986), um sie unter dem Gesichtspunkt der Pflanzenzüchtung zu nutzen. Trotzdem erfordern die bisher durchgeführten Untersuchungen mit dem Verfahren der Elektronenbehandlung von Saatgut als phytosanitäre Maßnahme eine Überprüfung möglicher phytotoxischer Effekte. Dies ist nötig, um die theoretisch erarbeiteten Behandlungsparameter zu überprüfen. (1992) führte Genmutationstests an Nacktgerste und Mutationsüberprüfungen unter Verwendung der Anaphasemethode durch. Die Autorin konnte auf Grund ihrer Untersuchungen (bestimmen des entsprechenden Parameterbereich) Genmutationen sowie durch die Elektronenbehandlung hervorgerufene Chromosomenmutationen ausschließen. Diese genetischen Untersuchungen wurden durchgeführt, um den Nachweis zu erbringen, daß die bei der Behandlung p

---

<sup>21</sup> Virulenz: Fähigkeit von Erregertypen, Sorten mit definierten Resistenzgenen zu befallen und sich zu vermehren, d.h. die virulente Mikroorganismen können genetisch definierte Resistenz überwinden (AUST et al. 1993).

neuen Methoden durchgeführt werden, um auch für den Nachweis der Unbedenklichkeit der Elektronenbehandlung auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft zu sein.

In den vorliegenden Untersuchungen konnten an den Eichenpflanzen bis zum endgültigen Abbruch der Keimtests (nach 6 bis 8 Wochen) keine phänotypischen Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Eicheln nachgewiesen werden. Auch bei den Sitkafichten, deren Keimung bis zur Ausbildung der Primärblätter beobachtet wurde, konnten Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle ermittelt werden. Die Keimtests der Buchen erfolgten durch die ISTA-Station Freising. Daher konnten Pflanzenbonituren an diesen Keimlingsarten nicht durchgeführt werden.

Ionisierende Strahlung kann zu Mutationen bei Mikroorganismen führen (DIEHL 1990). Dieser Effekt kommt jedoch auch bei anderen phytosanitären Verfahren vor, wie z.B. der chemischen Behandlung. Insbesondere beim Einsatz chemischer Mittel wird von Mutationen berichtet, die sich in erhöhter Resistenz gegen den entsprechenden Wirkstoff äußern können (u.a. HOFFMANN 1975; HOFFMANN et al. 1985, EPPO 1987, ANONYMUS 1988, FRAHM 1988, LEROUX 1996, DESCOTES 1996). Auch die natürliche Saatgutalterung während einer Langzeitlagerung führt mit zunehmender Dauer zur Erhöhung der Mutationsrate (D'AMATO 1986). DIEHL (1990) kommt in einer Literaturübersicht zu dem Schluß, daß es bis zu diesem Zeitpunkt durch ionisierende Strahlung niemals zu Mutationen kam, die zu erhöhter Pathogenität oder Virulenz der behandelten Mikroorganismen geführt haben. Nach Aussage des Autors wurde dies häufig der umgekehrte Fall beschrieben, daß die überlebenden Mikroorganismen eine verringerte Lebensfähigkeit aufwiesen.

Eine Gewöhnung oder Resistenzbildung gegen eine Strahlenbehandlung konnte auch bei mehrmaliger Bestrahlung der selben Pilzkulturen mit subletaler Dosis nicht nachgewiesen werden (MÜNZER & DIEHL 1969). Die Autoren konnten bei dieser Untersuchung keine signifikante Erhöhung der Letaldosis feststellen. Veränderte Umweltbedingungen oder Variationen des Kulturalters lösten Wachstumsunterschiede bei den untersuchten Pilzstämmen aus, die weit über den Abweichungen durch die mehrmalige Bestrahlung lagen. STOLZ (1972) untersuchte die Wirkung von Bakterien (*Escherichia coli* und *Streptococcus faecalis*), die nach mehrmaliger Bestrahlung eine bis zu 2,1-fach höhere Letaldosis aufwiesen. Allerdings war es nicht möglich, die Strahlenresistenz bakterieller Sporen zu erhöhen, so daß durch die erhöhte Strahlenresistenz der o.a. Mutanten für alle Reproduktionsmöglichkeiten dieser Organismen keine Gefährdung der Verbraucher besteht (DIEHL 1990, ICGFI 1995).

Ein Teil der bioziden Wirkung der Elektronenbehandlung beruht auf der Entstehung freier Radikale. Die Entstehung freier Radikale wird insbesondere bei der Bestrahlung von Lebensmitteln häufig diskutiert. Zur Überprüfung mutagener Effekte wurden zahlreiche Tierversuche durchgeführt, die zu dem Schluß kamen, daß durch freie Radikale eine Gefährdung der Verbraucher besteht (DIEHL 1990, ICGFI 1995).

Der Nachweis, daß biologische Produkte einer Strahlenbehandlung unterzogen wurden, kann innerhalb der ersten drei bis vier Wochen nach der Behandlung mit der Elektronen-

### 3.2 Mikrowellenbehandlung von Eichen

Im Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen wurde eine Mikrowellenbehandlungsanlage zur versuchsweisen Behandlung von Saatgut konzipiert, bei der bis auf das eigentliche Behandlungsgehäuse alle technischen Komponenten ausgetauscht und auf den spezifischen Bereich der Saatgutbehandlung abgestimmt wurden (LÜCKE 1992; v. HÖRSTEN 1994).

Mit diesen technischen Neuerungen (Magnetron, Meßtechnik) konnten die Nachteile der heterogenen Feldverteilung von Haushaltsmikrowellengeräten ausgeglichen werden. BÖGL & ROSENBERG (1989) schneiden die Mikrowellenbehandlung in Bezug auf die Abtötung vorhandener Mikroorganismen jedoch häufig nicht nur wegen der ungleichmäßigen Verteilung schlechter ab als entsprechend konventionelle Methoden wie die Heißwasserbehandlung. Als Gründe nennen die Autoren zusätzlich die inhomogene chemische und physikalische Struktur des Behandlungsgutes (hier Lebensmittel; fettreiche Zonen werden leichter erwärmt als wasserreiche Zonen): die wärmeleitenden Eigenschaften sowie die Form und die Abmessung des Gutes durch Eckenbildung.

#### Eichel als Behandlungsgut

Die Eichel ist auf Grund ihres hohen Wassergehaltes und des Dipolcharakters des Wasser die Erwärmung mittels Mikrowellen besonders gut geeignet, da die Erwärmungsgeschwindigkeit mit der Zunahme des Wassergehaltes im Behandlungsgut zunimmt (MUDGE 1982). Die günstigere Wärmeübertragung bei der Mikrowellenerwärmung im Gegensatz zur Thermotherapie spricht darüber hinaus für eine mögliche Behandlungszeitverkürzung. Eine Verkürzung der Behandlungszeit von derzeit 2 Stunden bei der Thermotherapie wäre wünschenswert, da eine solche Behandlung für das Saatgut immer einen Streßfaktor darstellt. Unter bestimmten Umständen besonders bei Traubeneichensaatgut negative Folgen eintreten kann (GILLE & NOWAG 1995a).

GHALY & TOUW (1982, zitiert bei MORE et al. 1992) sahen im Feuchtegehalt des Saatgutes einen wichtigen Einflußfaktor auf den Umfang der Schäden bei einer Mikrowellenbehandlung. Auf der anderen Seite beobachteten MORE et al. (1992), daß mit zunehmendem Feuchtegehalt von Hirsesamen der Wirkungsgrad gegen *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten abnahm wurde. Dieser Beobachtung dürfte der Umstand zu Grunde liegen, daß Mikroorganismen in ihrer physiologisch optimalen Umgebung anfälliger gegen phytosanitäre Maßnahmen sind. Für Eichensaatgut spielt die Wirkung der Mikrowellenbehandlung in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt jedoch keine Rolle, da Eicheln nicht getrocknet werden können und deshalb immer einen Feuchtegehalt von über 40 % aufweisen.

CAVALCANTE & MUCHOVEJ (1993) beobachteten an Saatgut von Sojabohne, Erdnußbohne, Weizen und Mais, daß Saatgut, welches bereits Schädigungen durch Mikroorganismen wies durch eine Mikrowellenbehandlung eher geschädigt wurde als gesundes Saatgut. Der Wassergehalt zwischen mikrowellengeschädigten und nicht geschädigten Samen war gleich, so daß unterschiedliche dielektrische Eigenschaften nicht als Grund in Frage kommen konnten. Im Gegensatz dazu konnte v. HÖRSTEN (1994) auch bei stark verpilztem Hirsensaatgut, das ein schlechtes Ausgangskeimprozent aufwies, eine Erhöhung der Keimfähigkeit nach einer Mikrowellenbehandlung nachweisen. Trotzdem sollte die Mikroorganismen-

Abtötung von Pilzen bei Erhalt der Keimfähigkeit herausgestellt. Mit Zunahme der Behandlungsdauer reduzierte sich der Befall mit lebensfähigen Mikropilzen, ohne signifikante Verringerung des Keimprozentages. Als Zusatzbehandlung erwies sich die Aufheizung der Raumwände zur Homogenisierung der Temperatur innerhalb der behandelten Eicheln wirksam. Die Applikation von Dampf oder die Abführung von Luft während der Behandlung wirkte insbesondere bei Anfangsleistungen über 300 Watt eher negativ auf die Keimkraft. Die primärpathogene Pilz *Ciboria batschiana* konnte mit den Behandlungsparametern 60 Minuten Behandlungsdauer, 300 Watt Ausgangsleistung und einer Oberflächentemperatur von 60°C in allen Saatgutbereichen vollständig abgetötet werden.

Die meisten Untersuchungen von Mikrowellenbehandlungen zur Abtötung von Mikroorganismen befassen sich mit Lebensmitteln. Hierbei ist auf die Erhaltung der „Lebensfähigkeit“ wie es für Saatgut unabdingbar ist, keine Rücksicht zu nehmen. Ein möglicherweise gleichbarer Aspekt zum Erhalt der Keimkraft ist die Erhaltung wertbestimmender Inhaltsstoffe wie Nährwert, Geschmack und Vitamine etc. bei Lebensmitteln (u.a. DEHNE & 1989). Die Sicherung der Keimkraft bei Saatgut während einer Mikrowellenbehandlung gestaltet sich häufig aus technischen Gründen schwierig. Haushaltsmikrowellengeräte sind in diesem Einsatzgebiet wegen der heterogenen Feldstärkenverteilung im Garraum und dem ungleichmäßigem Erwärmungsprofil im Produkt ungeeignet (v. HÖRSTEN 1994). Die Durchdringbarkeit der Behandlungen ist bei einer Haushaltsmikrowellenanlage nicht gegeben. Darüber hinaus bietet eine Mikrowellenbehandlung von Saatgut derzeit noch keine ökologische Alternative zum Einsatz chemischer Beizmittel. Aus diesem Grund sind Untersuchungen zur Abtötung von Mikroorganismen an und im Saatgut weit weniger beschrieben als bei Lebensmitteln. Die grundsätzliche Idee ist allerdings nicht neu. Bereits 1950 beschrieben GRAINGER & SIMPSON die Mikrowellenbehandlung gegen den Pilz *Helminthosporium* an Hafer. Weitere Untersuchungen in den Folgejahren befaßten sich vorwiegend mit der Eliminierung von Insektenlarven in Saatgut (u.a. CROCKER et al. 1987; BARKER & CROCKER 1991; HALVERSON et al. 1996). Es wird jedoch bei entsprechender Wirksamkeit einer Mikrowellenbehandlung gegen Insekten häufig von Keimverlusten berichtet, die aber beispielsweise in der Quarantänebehandlung zur Substitution von chemischen Stoffen (z.B. Methylbromid) nach Ansicht einiger Autoren toleriert werden sollten (HALVERSON et al. 1996). Für den Einsatz einer Mikrowellenbehandlung bei forstlichem Saatgut stehen nur wenige publizistische Erkenntnisse zur Verfügung.

Untersuchungen zur Behandlung von Eicheln wurden von CROCKER et al. (1987) durchgeführt, um die Larven verschiedener *Curculio*-Larven abzutöten. Dabei wiesen allerdings die Larven und die Eicheln den selben thermischen Letalitätspunkt auf, so daß die Autoren eine Mikrowellenbehandlung an Eichensaatgut als nicht durchführbar erachteten. Ein Grund für das Scheitern dieser Versuche waren sicherlich die ähnlichen dielektrischen Eigenschaften von Insekten und der Eicheln mit ihrem hohen Feuchtegehalt. In trockenerem Saatgut, wie es bei Getreide, konnten Insekten wegen ihrer besseren dielektrischen Eigenschaften abgetötet werden, da sie sich stärker erwärmten als das Getreide (v. HÖRSTEN 1994). Landwirtschaftliches Saatgut wurde im Gegensatz zu forstlichem Saatgut, nicht zuletzt wegen der wirtschaftlichen Bedeutung, wesentlich genauer untersucht. So wurden u.a. für Weizen, Mais, Soja

Aus den Versuchen mit verschiedenen Oberflächentemperaturen und entsprechend den Anfangsleistungen während einer fünfminütigen Mikrowellenbehandlungen er die 300 Watt Variante bei 40 °C Oberflächentemperatur ohne Zusatzbehandlung als fahren, welches zwar keine pilzreduzierende, jedoch eine keimerhaltende Wirkung gutes aufwies.

Eine Anfangsleistung von 300 Watt zeigte sich bei v. HÖRSTEN (1994), der mit der Eicheln eingesetzten Mikrowellenversuchsanlage Weizensaatgut gegen *Fusarium* behandelte, ebenfalls als die optimale Leistungseinstellung. Mit einer kombinierten wellen-Dampf Behandlung, einer Behandlungsdauer von 3 Minuten bei Temperatur 70 °C bis 75 °C und einer Kornfeuchte von 15 % konnten v. HÖRSTEN et al. (1994) *culmorum* in Weizensaatgut ohne Schädigung des Saatgutembryos vollständig abtöten. Höheren Energien ohne Zusatzbehandlung konnte der Autor keine Abtötung des Pilzes bei Reduktion der Keimrate erreichen. GROTHAUS et al. (1996) erreichten mit der selben wellenversuchsanlage nur unter Hinzunahme einer gleichzeitig zur Mikrowellenbehandlung durchgeführten Heißdampfbehandlung eine vollständige Abtötung von *Fusarium* in künstlich infiziertem Weizensaatgut. Dies galt auch für die Eliminierung von *Phoma* in Zuckerrübensaatgut. Bei beiden Saatgutarten konnte die Keimfähigkeit durch die Kombinationsbehandlung erhalten werden.

In der vorliegenden Untersuchung erwies sich die zusätzliche Dampfbehandlung bereits bei 40 °C Oberflächentemperatur als signifikant schädigend auf die Keimrate der Eicheln. Möglicherweise war das bessere Abschneiden der reinen Mikrowellenbehandlung in unbelüfteten Garraum durch den hohen Wassergehalt (41,6 %) der Eicheln bedingt. In Weizensaatgut wies in den Untersuchungen von v. HÖRSTEN et al. (1994) nur 15 % Feuchtigkeit. Darüber hinaus kam es bei v. HÖRSTENS et al. (1994) Weizenbehandlungen im unbelüfteten Garraum zu Austrocknungserscheinungen des Saatgutes, was für Eicheln nicht beobachtet werden konnte. Der Einfluß des Feuchtegehaltes im Behandlungsgut wird später diskutiert sein.

### **Zeitvarianten**

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurden Zeitreihen auf der Basis 300 Watt Anfangsleistung und 40 °C Oberflächentemperatur durchgeführt. Unterschiedliche Behandlungszeiten bei gleicher Ausgangsleistung (300 Watt) und 40 °C Oberflächentemperatur zeigten den Wirkungsgrad gegen Pilze bei Verlängerung der Behandlungszeit nicht. Bei den Varianten ohne Zusatzbehandlung wies das Ergebnis lediglich eine Tendenz in diese Richtung auf. Bei den Varianten mit 15 % Abluft nahm der Wirkungsgrad im Perikarp ab. In den Keimproben nahm er erst zu, dann wieder ab. Das Ergebnis steht damit im Widerspruch zu den Angaben, die berichten, daß längere Behandlungszeiten bei konstanter Temperatur zu zunehmenden Abtötung der Schaderreger führen. Ein exponentieller Zusammenhang zwischen Behandlungszeit und Mikroorganismenreduktion, wie ihn v. HÖRSTEN (1994) beschrieben, konnte ebenfalls nicht beobachtet werden.



handlung der Eichel könnte ein signifikanter Rückgang von *Ciboria batschiana* festzuwerden. Eine Optimierung der Mikrowellentechnik könnte gegebenenfalls die Behandlungszeit von einer Stunde zur 100 %igen Abtötung von *Ciboria batschiana* noch verbessern. Möglicherweise ist die andersgelagerte Erwärmungsart des Behandlungsgutes, die unten noch zu diskutieren ist, als Grund für die diskutierte kürzere Behandlungszeit zu betrachten. Für die Weizenbehandlung gegen *Fusarium culmorum* stellte v. HÖRSTEN (1994) fest, daß die Behandlungszeit bei der Mikrowellenbehandlung an Bedeutung verliert. Es handelt sich immer noch um eine Temperatur-Zeit-Funktion, jedoch ist nach Angabe des Autors die Erreichung der für den Erreger letalen Temperatur wichtiger.

### **Beheizte Garraumwände**

Durch die zusätzliche Aufheizung der Garraumwände konnte der Wirkungsgrad gegenüber der Behandlung im Perikarp und den Kotyledonen (Ausnahme: 150 Watt Variante im Perikarp) gesteigert werden. Das Auflaufergebnis der Eicheln wurde bei den Varianten mit beheizten Wänden nicht beeinflusst. Ohne Wandheizung wies die 150 Watt-Variante jedoch eine signifikante Reduktion des Keimprozentages des Saatgutes auf. Dieses Ergebnis entspricht den Untersuchungen von v. HÖRSTEN (1994), der bei 300 Watt Anfangsleistung mit Wandheizung eine Verbesserung der letalen Wirkung auf *Fusarium culmorum* bei gleichzeitiger höherer Keimfähigkeit des Weizens erreichte.

Die Varianten mit beheizten Wänden zeigten bei gleicher Vorgabe der Oberflächentemperatur einen gleichmäßigen, sich entsprechenden Temperaturverlauf im Inneren der Eichel, der geringfügig über 40 °C lag. Dabei war lediglich eine Verschiebung der Dauer bis zum Erreichen der Maximaltemperatur bei der 150 Watt Variante mit beheizten Wänden zu beobachten. Die Vergleichsvarianten ohne Heizung differierten stark. Die 300 Watt Variante wies bis zu 55 °C auf, die 150 Watt Variante erreichte 40 °C nicht.

Das Ergebnis der Varianten mit beheizten Wänden bestätigt die Aussage von v. HÖRSTEN (1994), daß mit einer derartigen Behandlung eine Homogenisierung des Temperaturverlaufes im Behandlungsgut erreicht werden kann. Die starke Abweichung der Innentemperatur im Vergleich zur Oberflächentemperatur der Varianten ohne Heizung dürfte auf die schlechte Wärmeabgabe von der Saatgutoberfläche an die Garraumwand zurückzuführen sein. Auch der Effekt der Geometrie des Behandlungsgutes und des Wassergehaltes sowie der Temperatur wird weiter unten im Einzelnen eingegangen.

### **Einfluß der Temperatur auf den Behandlungserfolg**

Die Oberflächentemperatur von 40 °C erwies sich als ausreichende Steuergröße um hohe Keimreduktionen bei Behandlungszeiten bis zu 60 Minuten ausschließen zu können. Der Wert entspricht zwar der Temperatur, die bei der Thermotherapie (u.a. DELATOUR 1979) genutzt wird und während zwei Stunden Behandlungsdauer nicht zu phytotoxischen Schäden an Saatgut der Stiel- und Traubeneiche führt, jedoch ist das Erwärmungsverhalten ein anderes. Die Wärmeübertragung bei der Thermotherapie erfolgt durch Konvektion von außen nach innen. Die Erwärmung des Behandlungsgutes bei einer Mikrowellenbehandlung erfolgt durch die dielektrische Erwärmung im Inneren (REUTER 1979, MUDGETT 1986). Das bedeutet, daß die Eichel-Oberflächentemperatur durch Verdunstung und damit Energieabgabe an die

ernannte Verdunstung von Wasserdampf gekühlt. Es muß also mehr Energie von außen abgegeben werden, um die 40 °C Oberflächentemperatur zu halten.

Durch die höhere Energiezufuhr in Form von Mikrowellenleistung erhitzt sich das Korn zu stark und es kommt zu Hitzeschäden. Dieses Phänomen war bei Mikrowellen von 1200 Watt bereits bei einer Oberflächentemperatur von 40 °C signifikant. Eine signifikante Reduktion der Auflaufrate war bei den Zeitvarianten mit 40 °C Oberflächentemperatur mit 300 Watt Ausgangsleistung und 15 % Abluft nicht festzustellen. Jedoch zeigte sich eine Tendenz eines negativen Einflusses auf die Keimfähigkeit durch ein um 8 % vermindertes Auflaufen der 30 Minuten-Variante im Vergleich zur Kontrolle. Diese Ergebnisse verdeutlichen deutlich, daß die Oberflächentemperatur als Steuergröße für die Mikrowellenapplikation vorsichtig zu verwenden ist und eine Steuerung über die Innentemperatur wesentlich wäre.

Hierbei ergab sich das Problem der geringen Anzahl der Meßpunkte mit der genutzten Versuchsanlage. Es stand während der Behandlung aus baulichen Gründen nur ein faserförmiger Temperaturfühler zur Verfügung. Die Steuerung der Anlage auf Grund der Innentemperatur mit einer einzigen Eichel durchzuführen, dürfte jedoch zu Problemen führen, da davon auszugehen ist, daß sich der Temperaturgradient innerhalb mehrerer Eicheln unterschiedlich verhalten wird. Dies ist auf die morphologischen und physiologischen Eigenschaften der Eichel wie den Wassergehalt und Zellsaftkonzentration zurückzuführen. Diese ungleiche Erwärmung der Eicheln wurde durch die Messungen der Innentemperatur unmittelbar nach erfolgter Behandlung (dritte Versuchsreihe) bestätigt. Es wurden Temperaturen von 32 °C bis zu 49 °C gemessen. Der Variationskoeffizient betrug bis zu 9,78 %. Bei den Werten muß allerdings beachtet werden, daß die Eicheln aus der Mikrowelle genommen, angestochen und ein Thermofühler eingeführt werden mußte. Während dieser Zeit erfolgte sicherlich eine Keimkeimung, die jedoch sowohl bei den niedrigen als auch bei den hohen Temperaturen zu berücksichtigen ist. Daß die Temperaturen, die höher als die geforderten 40 °C waren, nicht zu Keimverlusten geführt haben, liegt möglicherweise an dem Zusammenhang zwischen Temperatur und Zeit. BONNER & VOZZO (1987) berichteten, daß Eicheln zur Abtötung von Insektenlarven in 49 °C warmem Wasser für 40 Minuten behandelt werden, ohne daß dies sich auf das Keimprozent beobachtet werden könnten.

In vielen Untersuchungen wurde darüber berichtet, daß der thermische Letalpunkt für Mikroorganismen und Saatgut oft ähnlich ist (u.a. CROCKER et al. 1987, CAVALCANTE & MARRAS 1993, HALVERSON et al. 1996). Diese Beobachtung konnte in den vorliegenden Untersuchungen insbesondere bei hohen Anfangsleistungen über 300 Watt während der ersten Versuchsreihe beobachtet werden. Im Bezug auf den primär abzutötenden Pilz *Ciboria boissieri* konnte dieser negative Effekt mit der Behandlung mit 300 Watt Ausgangsleistung abgeschaltet werden.

### **Geometrie des Behandlungsgutes**

Bei einer Mikrowellenbehandlung von Tabaksaatgut gegen Bakterien auf der Saatgutoberfläche mit Behandlungszeiten von 20 Minuten beschrieben HANKIN & SANDS (1977) eine Keimschädigung. Die Autoren vermuteten jedoch, daß größere Samen eine längere

behandelten Produktes ist nach SCHUBERT & GRÜNEWALD (1985) und DEHNE et al. auch von der Größe des Behandlungsgutes abhängig. Die Autoren erläuterten ihre Aussagen mit Berechnungen an Kugeln mit unterschiedlichen Radien, die in einer Mikrowelle mit einer Frequenz  $f = 2,45$  GHz behandelt wurden. Danach erfolgte die größte Erwärmung von Kugeln mit einem Radius von 2 cm im Inneren, wohingegen entsprechend große Diele ( $R > 10$  cm) an der Oberfläche stärker erwärmt wurden. SCHUBERT & GRÜNEWALD teilten Größengrenzen für die verschiedenen Erwärmungsorte nach dem Mie-Faktor<sup>22</sup>  $\alpha$  ein; mit  $\alpha < 1$  erwärmen sich im Mikrowellenfeld kaum, Körper mit  $1 < \alpha < 10$  erwärmen sich im Inneren mehr als in Randzonen und Körper mit  $\alpha > 10$  erwärmen sich an der Oberfläche stärker. Ähnliche Angaben wurden von OHLSSON & RISMAN (1978) für Kugeln und zylindrische Körper gemacht. Bei Zylindern liegt nach Angabe der Autoren die maximale Erwärmung (ebenfalls bei einer Frequenz von 2,45 GHz) bei einem Durchmesser von 20 mm. Bei einem Durchmesser von 50 mm erwärmt sich das Innere und die Oberfläche gleichmäßig. Die Form einer Eichel läßt sich annähernd durch die Kombination der Körper Kugel und Zylinder beschreiben, so daß bei entsprechender Größe der Erwärmungsprozeß primär im Inneren der Eichel stattfindet. Da Eichensaatgut in der Praxis jedoch keiner Sortierung unterliegt, ist davon auszugehen, daß starke Variationen bezogen auf die Größen von Keimlingen innerhalb einer Saatgutpartie zu finden sind. Daraus dürfte sich ein intraspezifisches Erwärmungsverhalten ergeben, welches u.U. Schwierigkeiten bei der Reproduzierbarkeit ermittelte Parameter mit sich bringt (DEHNE et al. 1991). Möglicherweise führt dies dazu, daß bestimmte Größenklassen eher einer thermischen Schädigung unterliegen als andere. Von der Anwendung der Mikrowellenbehandlung müßte dann zur Reduzierung dieses Risikos vorherlicherweise eine Größensortierung erfolgen.

## Mykoflora

In der Lebensmitteltechnologie, dem Haupteinsatzgebiet der Mikrowellenbehandlung, ist die Keimzahlreduktion das primäre Ziel der Behandlung (ROSENBERG & BÖGL 1982). Entsprechend erfolgt auch die Beurteilung der Wirksamkeit anhand der Realisierung bestimmter Grenzwerte einer Gesamtbelastung mit Mikroorganismen des Lebensmittels. Die Begrenzung der Reinfektion z.B. von Gewürzen, Fleisch, Milchprodukten oder Teigwaren nach einer Mikrowellenbehandlung kommt der Temperatur der anschließenden Aufarbeitung bzw. Lagerung eine besondere Bedeutung zu, da niedrigere Temperaturen das Wachstum der Mikroorganismen verlangsamen. Prinzipiell ist das Ziel bei der Saatgutbehandlung das Gleiche. Jedoch muß zum einen die Lebensfähigkeit des Saatgutes während der Behandlung und zum anderen auch bei einer Lagerung aufrecht erhalten werden. Bei der Eichel bedeutet dies derzeit in der Praxis, daß eine Lagerungstemperatur von  $-3$  °C nicht unterschritten werden darf. Diese Temperatur schränkt das Infektionspotential u.a. des primär pathogenen Pilzes *Ciboria batschiana* jedoch nicht ausreichend ein. Daher war für den Behandlungserfolg alleinige Reduktion der Überlebensrate der Pilze und besonders von *Ciboria batschiana* (entsprechend der oben genannten Reduktion der Keimzahlbelastung an Lebensmitteln) nicht ausreichend. Der Befall mit *Ciboria batschiana* reduzierte sich zwar bereits nach

---

<sup>22</sup> Mie-Faktor  $\alpha = 2 \pi R / \lambda_0$ ; R = Kugelradius;  $\lambda_0$  = Wellenlänge der Mikrowellen im Vakuum

lich reduziert. *Botrytis cinerea* trat nur im Perikarp auf und wurde bei den Abläufen bereits nach einer 10minütigen Behandlung vollständig abgetötet. *Discula que* sowohl im Perikarp als auch in den Kotyledonen mit 20 % bzw. 10 % häufig vor und nach einstündiger Behandlung im Perikarp gar nicht, in den Kotyledonen nur noch nachgewiesen. Im Gegensatz dazu wurde ein Anstieg des *Penicillium*-Befalls nach Mikrowellenbehandlung beobachtet. Das Auftreten zeigte sich jedoch unabhängig von der Behandlungsdauer, so daß keine Abhängigkeit erkennbar war. Möglicherweise ist das Auftreten von *Penicillium* spp. durch das Wegfallen anderer Pilzarten zu erklären. Das Wachstum von *Penicillium* spp. u.U. verhindert oder maskiert haben. Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei dem alleinigen Auftreten von Bakterien gemacht, die mit zunehmendem Wirkungsgrad gegen Pilze vermehrt auftraten. Da eine Bakterienkontamination während der Behandlung ausgeschlossen werden kann, ist davon auszugehen, daß der Befall bereits vor der Behandlung vorhanden war, jedoch durch die Pilze verdeckt wurde. Dieses Phänomen wurde für die Thermotherapie bei Eicheln von KEHR & PEHL (1993) beschrieben.

Die prozentuale Gesamtpilzrate wies sowohl bei den Kontrollen als auch bei den mit Mikrowellen behandelten Varianten eine höhere Pilzkontamination im Perikarp auf als in den Kotyledonen. Für die Kontrollen läßt sich der unterschiedliche Befallsgrad durch den direkten Kontakt erklären. Die Bodenpilze infizieren das Saatgut über das Perikarp und sind in späteren Stadien in den Kotyledonen nachzuweisen. Nach einer Mikrowellenbehandlung wurde der Pilzbefall jedoch nicht auf ein gleichmäßiges Niveau im Perikarp und den Kotyledonen reduziert. Einige Pilze, die in den Kotyledonen abgetötet wurden, überlebten bei der entsprechenden Temperatur im Perikarp. Diese Beobachtung beschrieben KEHR & PEHL bereits für die Thermotherapie bei Eicheln und Bucheckern. Der Grund für diese Variationen in der Hitzetoleranz ist möglicherweise im unterschiedlichen Wassergehalt des Saatgutes zu sehen. Die Perikarpfeuchte betrug Werte von 14 % bis 20 %, die Kotyledonenfeuchte lag über 45 %. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit könnte der nähere Kontakt von den Perikarp zu wechselnden Umwelteinflüssen (Temperatur, Feuchte etc.) sein, der die thermische Resistenz einiger Mikropilze hervorruft. Ein dritter Erklärungsansatz wäre die Eigenart der Mikrowellenerwärmung zu suchen. Die Erwärmung des Gutes erfolgt von innen heraus, so daß die Mikropilze in den Kotyledonen länger einer letalen Temperatur ausgesetzt sind. ROSENBERG & BÖGL (1982) beschrieben diesen Effekt im Vergleich der Wirkung herkömmlichen Gar- und Aufwärmverfahren und Mikrowellenerwärmung. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Temperatur von einem „Kern“ im Inneren der Kotyledonen nach außen hin abnimmt. Das Perikarp ist nur bis zu einem halben Millimeter dick, so daß die direkt darunter liegenden Kotyledonen in den Randschichten u.U. nicht wesentlich von dem Perikarp sind.

Häufige Zielorganismen der Wirksamkeitsuntersuchung von Lebensmitteln mit Mikrowellen sind meist ubiquistisch auf zahlreichen Materialien und Pflanzenarten vorkommende Pilze, die sog. Schimmelpilze (SPICHER 1990, MORE et al. 1992). Die zu dieser Gruppe gehörenden und in den vorliegenden Untersuchungen bonitierten Gattungen *Penicillium* spp. und *Aspergillus* spp. waren noch bei Behandlungszeiten von 60 Minuten nachzuweisen (Anfangsleistung 1000 Watt). *Penicillium* spp. wiesen nach der einstündigen Behandlung ein höheres Vor-

zen und Bakterien mag diese Feststellung zustimmen. Inmitten der Mikroplizze sind viele Arten deutlich wärmeempfindlicher als Schimmelpilze, wie im vorliegenden Fall den Ascomyceten *Ciboria batschiana* dokumentiert, der bereits bei 41 °C bei entsprechender Zeit abgetötet wird, wohingegen für die Gruppe der Schimmelpilze und Hefen von SPICHER (1990) 60 °C als Letaltemperatur genannt wurden. SPICHER wies jedoch darauf hin, dass die spezifische Hitzeresistenz eines Organismus durch den D-Wert charakterisiert wird. Der D-Wert beschreibt die Zeit, die bei gegebener Temperatur erforderlich ist, um die anfängliche Lebendkeimzahl um 90 % zu reduzieren.

FERRIS (1984) wies nach, daß mit Mikrowellen bodenbürtige *Pythium*- und *Fusarium*-*Rhizoctonia*- Arten abgetötet werden können. Die Temperatur gab der Autor jedoch nicht an. Die Reduktion der Pilze allgemein erfolgte bei verschiedenen Wassergehalten des Substrats, wobei der höchste Wirkungsgrad bei gleicher Behandlungsdauer in trockeneren Substraten erreicht wurde. Zwischen Bodenfeuchte und Behandlungszeit war keine signifikante Korrelation festzustellen. Die Reihenfolge des Abtötungserfolges zog sich von *Pythium*, *Fusarium*, Nematoden, *Rhizoctonia*, VA Mykorrhiza-Pilze über Bakterien und Ascomyceten bis hin zu thermotoleranten Pilzen. Dieses Ergebnis ist insofern ungewöhnlich, da sich feuchte Medien mit Mikrowellen leichter erwärmen lassen als trockene. Darüber hinaus sind Mikroorganismen in feuchtem Substrat anfälliger, da sie sich in einem aktiven Zustand befinden. In der vorliegenden Untersuchung war nach 10 Minuten Behandlungsdauer bei 40 °C Oberflächentemperatur und 300 Watt noch ein geringer Fusarien-Befall festzustellen, der in der üblichen und darüber liegenden Behandlungszeit nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Die Möglichkeit die Wirkung einer Mikrowellenbehandlung durch unterschiedliche Wassergehalte des Behandlungsmediums (d.h. der Eicheln) zu verbessern, ist, wie bereits erwähnt, wegen der rekalkitranen Eigenschaften der Eichel nicht möglich.

In bezug auf die Grenzen einer Einsetzbarkeit von Mikrowellen als keimreduzierendes Behandlungsverfahren nannten DEHNE & BÖGL (1991) bei Gewürzen den Grad der Keimbelastung. Hoch verkeimte Gewürze könnten bei Beibehaltung des Geschmacks (bei Saattiefe und Keimfähigkeit) etc. nur unzureichend entkeimt werden, was durch eine mögliche Zusetzung mit Wasserdampf ausgeglichen werden könnte. Diese Feststellung dürfte auf Eichensaatgut übertragbar sein. Die Tragweite dieser Feststellung ist bei dem lebendigen Material Eichensaatgut jedoch weitaus gravierender. Stark verpilztes Eichensaatgut (z.B. im Keimtest) ist immer ein Hinweis auf eine fehlerhafte Behandlung in der Zeit zwischen Ernte und anstehender phytosanitärer Maßnahme. Das bedeutet, daß ein offenbar starker Pilzbefall mit z.B. entsprechenden Nekrosen an den Kotyledonen ein in physiologisch geschädigtes Eichensaatgut darstellt. In solchen Fällen ist es zweifelhaft, ob eine phytosanitäre Maßnahme noch sinnvoll ist, da zwar die Pilzbelastung reduziert werden kann, jedoch eine in diesem Fall bereits vorliegende Keimschädigung nicht rückgängig gemacht werden kann. Dieser Umstand betrifft sowohl die Mikrowellenbehandlung als auch die übliche gängige Thermo-therapie.

### **Athermische Wirkung einer Mikrowellenbehandlung**

In den eigenen Untersuchungen wurden keine Hinweise auf sog. athermische Effekte festgestellt. Der Vollständigkeit halber soll jedoch abschließend auch dieser Komplex durch

richteten vor in der Literatur beschriebenen Untersuchungen, die entsprechende Rück-  
vermuten lassen. CHIPLEY (1980) berichtete ebenfalls in einer Literaturstudie über  
athermischer Effekte bei Mikrowellenbehandlungen, jedoch sei der endgültige Beweis  
nicht erbracht. BÖGL & ROSENBERG (1989) negierten das Auftreten athermischer Effekte  
bis zu diesem Zeitpunkt der Beweis fehle und begründeten dies mit zu niedrigen  
Energien, die chemische Bindungen nicht spalten und somit keine chemische Reaktionen  
auslösen können. KREMER (1984) wies Änderungen an Chromosomen der Zuckermilch  
die nach seiner Aussage nicht thermischer Natur sein konnten. Die diesen Veränderungen  
Grunde liegenden Wirkungsmechanismen konnte der Autor jedoch nicht aufklären.  
Er kam zu dem Schluß, daß von mikrowellenbehandelten Lebensmitteln keine direkte  
Gefahr für Mensch oder Umwelt ausgeht. Es gibt in der Literatur jedoch immer wieder  
Hinweise auf athermische Effekte, die mit den derzeit zur Verfügung stehenden Unters-  
suchungs- und Meßmethoden wissenschaftlich nicht gesichert werden können und für deren Er-  
klärung derzeit lediglich Vermutungen existieren (u.a. DECAREAU 1985, GRÖNING & JANSSEN  
1985, BÖGL 1990, DEHNE et al. 1992).

Die Versuche zur Mikrowellenbehandlung von Saatgut der Eichenarten *Quercus robur* und  
*Quercus petraea* konnten den Nachweis erbringen, daß eine Abtötung des pilzliche-  
n Schadereggers *Ciboria batschiana* ohne Schädigung der Keimfähigkeit möglich ist.  
Die Behandlungsdauer betrug im Gegensatz zur Thermotherapie nur eine Stunde und ste-  
llt einen hohen zeitlichen Vorteil dar. Ein weiterer Vorteil einer Mikrowellenbehand-  
lung ist die Verhinderung einer möglichen Kontamination mit Mikroorganismen über das Ther-  
apiewasser.

Während der Mikrowellenbehandlungen der Eicheln war ein geringer Feuchteverlust zu  
feststellen. Da die Ausgangsfeuchtwerte jedoch weit über dem kritischen Wert von 40 %  
lag, erfolgte durch den Feuchteverlust von maximal 3,8 % bei 53 % Ausgangsfeuchte kei-  
ne nennenswerte Beeinträchtigung der Keimrate. Ein Feuchteverlust vor der Einlagerung auf Werte um  
30 % ist sogar erwünscht und wird teilweise aktiv durch schonende Trocknung herbeigeführt.  
Im Gegensatz dazu nehmen die Eicheln während der zweistündigen Thermotherapie bis zu  
50 % Wasser auf (SANFTLEBEN 1996). Da die Eicheln nach der Thermobehandlung naß sind,  
müssen die Trocknungsvorgänge erfolgen, der gleichzeitig das Abkühlen der Eicheln bewirkt.  
Eine entsprechende Abkühlung wäre auch bei den mikrowellenbehandelten Eicheln möglich,  
jedoch würde die Trocknung entfallen. Die technische Umsetzung der Abkühlung dürfte  
jedoch bei einer kontinuierlichen Mikrowellenbehandlung leichter realisieren lassen  
als bei der derzeitigen Thermotherapie nötige zweite Schritt; das Umsetzen der Eicheln in  
den Trockenschrank.

Ziel der Untersuchungen war lediglich der prinzipielle Nachweis der Nutzbarkeit der  
Mikrowellenbehandlung für den Massendurchsatz, wobei nur ein kontinuierliches  
Verfahren, wie z.B. in Tunnelmikrowellengeräten wirtschaftlich sinnvoll wäre, konnte mit der  
aktuellen Versuchsanlage nicht eruiert werden und bedarf einer entsprechenden Weiter-  
entwicklung und Überprüfung.

Versuchszeiträumen 1995/96 und 1996/97 sowohl bei Stiel- als auch bei Traubeneicheln höhere Frosthärte induziert werden, als dies unmittelbar nach der Ernte und nach mehrwöchiger Lagerung bei  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  der Fall war. Der kritische Temperaturwert bei dieser Art der Härteinduktion lag bei Stieleicheln bei  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  und bei Traubeneicheln bei  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bis zu diesen Werten konnte keine starke Reduktion der Keimrate im Vergleich zum Keimprozent am Beginn der Härtung beobachtet werden. Eine Frosthärtung unmittelbar nach der Ernte führte zu besseren Ergebnissen als ein Härtungsbeginn nach einer Lagerdauer von zwei Monaten bei  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bei Temperaturen von  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  bzw.  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  wiesen Eicheln ohne Thermotherapie höhere Keimrate auf als Eicheln, die unmittelbar nach der Ernte thermotherapiert wurden. Geschlossene Eicheln bauten eine höhere Frosthärte auf als angekeimte Eicheln, deren Perikarp bereits das Perikarp durchbrochen hatte. Die Eichelgröße zeigte unter Einbezug beider Versuchszeiträume augenscheinlich keinen Einfluß auf den Härtungserfolg.

Die kontinuierliche Temperatursenkung im Eichellager zur Gewöhnung des Saatgutes auf tiefere Temperaturen ist wie die Frosthärteinduktion mittels Wechseltemperaturen nach GUTHKE (1992), ein Verfahren, welches dem natürlichen Temperaturgang im Winter entspricht. Positive Ergebnisse der Lagerung von Eicheln in Bächen, die im Winter gefroren (v. SCHÖNBORN 1964), sind möglicherweise auf den Effekt einer kontinuierlichen Temperatursenkung zurückzuführen. Ähnliche Vermutungen stellte bereits OPPEL (1913) an, der beobachtete, daß Stieleicheln, die in einem Netzbeutel im Freien aufbewahrt wurden und damit dem „immer zunehmenden Frost ausgesetzt“ waren, nach einer Temperatur von  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  noch zu 69 % keimten. Auch NEMKY (1964) beschrieb, daß reifere Eicheln (im Verlauf des Winters) eine gewisse Frostbeständigkeit entwickelt hätten, wodurch sich Winterfröste nicht so schädlich auswirken würden wie Herbst- oder Winterfrühfröste.

### **Temperaturverlauf innerhalb von Eicheln zu Beginn der Frostlagerung**

Zu Beginn der Lagerungsversuche 1995/96 wiesen die Traubeneicheln, die nach zweiwöchiger Abtrocknung in einem Trockenschrank im Anschluß an die Thermotherapie in Tonneneingelagert wurden, noch nach über drei Wochen in den Kotyledonen eine mittlere Temperatur von  $+1,75\text{ }^{\circ}\text{C}$  auf. Zudem war das Perikarp äußerlich naß. Dieser Effekt fand bei einer Außentemperatur von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  statt und deutet auf das sog. „Schwitzen“ hin. Dies wurde von v. SCHÖNBORN (1964) beschrieben, wenn Eicheln ohne vorherige oberflächliche Abtrocknung dicht gelagert werden. WALKENHORST (1984) beschrieb, daß sich frische „Kornhaufen“ bei Außentemperaturen von über  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  im Inneren bis auf  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  aufheizen konnten. Nach HARRINGTON (1959 zitiert bei v. SCHÖNBORN 1964) setzt bei einer Samenfeuchte von 14 %, was bei der Eichel der Fall ist, bei entsprechenden Temperaturen in und an den Wänden ein Pilzwachstum ein. In Kombination mit der hohen Luftfeuchtigkeit im Lagerraum und in den Tonnen konnte bereits nach den o.a. drei Wochen ein starker oberflächlicher Pilzbefall festgestellt werden. Durch diese auch immer wieder von der Praxis dem Autor mitgeteilte Beobachtung angeregt, wurden die Traubeneicheln aus den Tonnen entnommen und flach ausgebreitet. Gleichzeitig erfolgte zur Kontrolle die Temperaturmessung im Eichelinneren. Nach 141 Stunden sank die Eichelinnentemperatur im Durchschnitt auf Werte unterhalb des Gefrierpunkts. Im Gegensatz zu den Traubeneicheln blieben die Stieleicheln, die vor der Thermotherapie über mindestens zwei Wochen in einer Lagerhalle auf Betonboden zwei

Wasser, das sich dennoch zu Beginn der Abhärtung auf der Oberfläche bildete, gefrieren. Die Eicheln flach im Klimaschrank ausgebreitet lagen. Ein äußerlicher Pilzbefall oder Fäulnis konnte damit ausgeschlossen werden und die Außentemperatur setzte sich schneller im Inneren der Eicheln durch. Der Effekt der Wärmeentwicklung bereitete bei der Massenlagerung von Eicheln in großen Containern, wie sie beispielsweise im Centre La Joux in Frankreich durchgeführt wird, große Schwierigkeiten (SUSZKA et al. 1973). Im genannten Beispiel versucht man eine Umgebungstemperatur der Eicheln von  $-7\text{ °C}$  zu erreichen, indem man  $-7\text{ °C}$  kalte Luft in den Lagerraum verbläst (PRENEY 1999, Mitteilung).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zur Innentemperatur von Eicheln in der Lagerung lassen den Schluß zu, daß in den ersten Wochen dieser Lagerungsart, in der Praxis genutzte Lagerungstemperatur von  $-3\text{ °C}$  lediglich die Raumtemperatur wiederhandelt sich dabei nicht um die Temperatur, die in den Eicheln vorherrscht. Der Temperaturwert liegt für eine gewisse Zeit sogar über dem Gefrierpunkt. Das bedeutet, daß die relative Frostresistenz der Eicheln von  $-3\text{ °C}$  gar nicht voll genutzt wird. Eine Temperatur von  $-3\text{ °C}$  in den Eicheln wird erst erreicht, wenn sich der Stoffwechsel der Eicheln reduziert hat. Das impliziert, daß bis dahin Reservestoffe, die für eine längerfristige Lagerung erforderlich wären, bereits in Wärmeenergie umgewandelt und somit unnötig verbraucht wurden. Möglicherweise könnte eine Temperatursteuerung, die nicht statisch abläuft, sondern sich an die Temperatur in den Eicheln orientiert, die Lagerungsbedingungen wesentlich verbessern.

### **Letale Frostgrenzen ohne und mit künstlicher Frosthärtung**

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten, frostgehärteten Eicheln überlebten Temperaturen, die deutlich unterhalb der mit  $-3\text{ °C}$  angegebenen Grenze lagen, die für ein frisches Saatgut in der Literatur angegeben wird. Mit Hilfe von Widerstandsmessungen ermittelte v. SCHÖNBORN (1964) die Temperaturwerte, bei denen in den Eicheln ein Temperaturprung durch Eiskristallbildung stattfindet. Beide Eichenarten wiesen bei Feuchtigkeit von 44 % bei einer Temperatur von  $-2,5\text{ °C}$  den ersten Temperaturprung auf. v. SCHÖNBORN mit dem Gefrieren des nicht gebundenen interzellularen Wassers erklärte die zweite Wärmesprung wurde bei  $-8,5\text{ °C}$  gemessen, den der Autor mit dem Gefrieren des gebundenen flüssigen Zellinhaltsstoffes erklärte. Zusammenfassend kam v. SCHÖNBORN zu der Aussage, daß Eicheln mit einem Feuchtegehalt von über 40 % bei  $-2\text{ °C}$  keine Frostschäden aufweisen würden. Eine Temperatur von  $-10\text{ °C}$  würde dagegen zum Totalausfrieren führen. Mit Abnahme der Feuchte auf 30 % würde die kritische Grenze von  $-2\text{ °C}$  auf  $-8\text{ °C}$  sinken, und bei 25 % Feuchtigkeit würden Gefriererscheinungen erst bei  $-10\text{ °C}$  auftreten. CHMIELARZ (1997b) ermittelte bei Stieleichelnen einen Temperaturwert von  $-9\text{ °C}$  bis zu dem bei einem Feuchtegehalt der Eicheln von 42 % keine Eiskristallbildung in den Kotyledonen beobachtet werden konnte. Ab einer Temperatur von  $-9\text{ °C}$  konnte er Temperaturprünge nachweisen, die auf Eiskristallbildung schließen ließen.

Zur Trocknung von Eichelnen gab es jedoch zwischenzeitlich mehrere Untersuchungen (SUSZKA 1973, SUSZKA 1979, GOSLING 1989), die eine Trocknung von Eichelnen unter einem Feuchtegehalt von 40 % ausschlossen. Lagerungsversuche mit unterschiedlichen Temperaturen



Südeicheln und 37,5 % der therapierten Eicheln eine Temperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$ . FILIMONOVA (1952, zitiert bei CHMIELARZ 1997b) stellten hingegen bei der Einlagerung Stieleicheln bei  $-10^{\circ}\text{C}$  nach vier Monaten einen Totalausfall fest. Bei höheren Temperaturen ( $-5^{\circ}\text{C}$  und  $-7^{\circ}\text{C}$ ) stellten die Autoren immerhin eine höhere Frosthärte der nicht angekeimten Eicheln fest. Dieser Effekt konnte in der vorliegenden Arbeit sowohl für thermotherapierte als auch für nicht thermotherapierte Stiel- und Traubeneicheln in beiden Versuchsjahren beachtet werden. Auch v. SCHÖNBORN (1964) beschrieb, daß Eicheln mit geschlossener Schale eine höhere Frosthärte aufwiesen als aufgeplatzte Eicheln. NEMKY (1964) stellte fest, daß Eicheln im Zustand der Keimung, besonders wenn die Radikula erst 2 mm bis 4 mm lang ist, sehr frostempfindlich seien. Für die Einlagerung unter Praxisbedingungen birgt das Ergebnis einige Probleme, da insbesondere die Traubeneicheln häufig schon angekeimt vom Baum fallen. Vergehen zwischen Fruchtfall und Ernte noch mehrere Wochen, so erhöht sich der Anteil der angekeimten Eicheln deutlich. In diesem Zusammenhang könnte die Änderung des Ernteverfahrens möglicherweise Abhilfe schaffen. SUSZKA (zitiert bei WITKOWSKI & SCHRÖDER 1997) berichtete über Überfliegung der Erntebestände mit Hubschraubern, wodurch deren Windeinwirkung alle Eicheln auf einmal zu Boden fielen. Die Eichelernte könnte durch nicht nur terminlich gesteuert, sondern auch zeitverkürzt durchgeführt werden. Möglicherweise könnte die im Obstbau angewandte Applikation von Hormonen, die einen Fruchtfall zu einem bestimmten Termin induziert, auf die Eichelernte übertragen werden.

Der in der vorliegenden Arbeit erzielte Erfolg bezüglich der erreichten Tiefsttemperatur beruht wohl vorwiegend auf eine effektive Frosthärtung zurückzuführen. Im Gegensatz zur Notwendigkeit von Wechseltemperaturen (GUTHKE 1992) beweisen die hier präsentierten Ergebnisse, daß die Frosthärtung auch mit kontinuierlicher Temperaturabsenkung durchgeführt werden kann. Dadurch kann die durch Wechseltemperaturen geförderte starke Keimungssteigerung des Saatgutes weitgehend reduziert werden, was für die Praxis von entscheidender Bedeutung ist.

### **Einfluß der Thermotherapie auf die Frosthärtung**

Ein weiteres Problem, das angekeimtes Saatgut mit sich bringt, wurde von DELFS-SCHNEIDER (1993) und GILLE (1997) beschrieben, demzufolge die Thermotherapie auf angekeimte Traubeneicheln teilweise eine eher keimschädigende Wirkung hervorruft. In den eigenen Untersuchungen besaßen die angekeimten Traubeneicheln zu Beginn der Frosthärteversuche ebenfalls nach der Thermotherapie jedoch ein höheres Keimprozent als die nicht therapierten Eicheln. Möglicherweise macht sich der „negative“ Einfluß erst im Verlauf der Lagerung bemerkbar, da die nicht thermotherapierten Eicheln erst bei sehr tiefen Temperaturen ein Keimvorteil gegenüber den thermotherapierten Eicheln zeigten.

In diesem Zusammenhang muß auf den Einfluß der Thermotherapie auf die Zusammensetzung der Zellinhaltsstoffe Stärke und Gesamtzuckeranteil eingegangen werden. Für Eichen-Saatgut liegen keine direkt vergleichenden Untersuchungen vor. WELLS & PAYNE (1987) ermittelten bei Eßkastanien (*Castanea mollissima*) eine Zunahme des Stärkeanteils und eine Abnahme des Gesamtzuckeranteils während einer einstündigen Warmwasserbehandlung. Da Kastanien und Eichen zu der Familie der Fagaceae gehören und das Saatgut ähnlich aufgebaut ist (Kotyledonen, stärkehaltig, rekalzitran) könnte der Effekt bei Eichensaatgut

Gegensatz die leicht erhaltene Frosttarte der nicht thermotherapierten versuchsvarianten Eichenarten ab einer Temperatur von -8 °C in der vorliegenden Untersuchung erk. Beginn der Härtung wiesen die thermotherapierten Eicheln jedoch noch ein wesentliches Keimprozent als die nicht thermotherapierten auf.

Die Stieleicheln des Erntejahres 1995 wiesen unmittelbar nach der Ernte eine Keimfähigkeit von 100 % auf und keimten nach dreimonatiger Lagerung mit und ohne Thermotherapie zu 93 % bzw. 94 % (Frosthärtung mit Sortierung) und zu 99,5 % bzw. 98,5 % (Frosthärtung ohne Sortierung). Dies läßt darauf schließen, daß zum Erntezeitpunkt kein Befall mit *Ciboria* vorlag. Unter Berücksichtigung der weiter oben diskutierten Unklarheiten über den Einfluss der Thermotherapie auf die Zellinhaltsstoffe wäre es möglicherweise sinnvoller, eine künstliche Frosthärtung mit dem Ziel einer langfristigen Lagerung nur Saatgut zu verwenden, das möglichst wenig oder gar keinen *Ciboria*- Befall aufweist und dementsprechend auch keine Thermotherapie benötigt. Diese Forderung wird prinzipiell auch durch die Aussage von GILLE (1997) unterstützt, daß die Thermotherapie physiologisch eine Stresssituation darstellt und dadurch, wie auch von GUTHKE (1992) gemutmaßt, zu einer raschen Absterbung des Eichensaatgutes beitragen könnte.

Während der Thermotherapie der Eichel für den Lagerungsversuch 1996/97 konnte in dem inkubiertem Thermotherapiewasser auf Malzagarplatten die Pilzgattungen *Mucor* und *Penicillium* isoliert werden. Es ist bekannt, daß die Thermotherapie nicht alle Pilze abtöten kann (KEHR & PEHL 1993), und dementsprechend können Sporen dieser Pilze im Thermotherapiewasser gelangen, nicht eliminiert werden. In der gegenwärtigen Praxis sollte allenfalls das Thermotherapiewasser gewechselt. Eine Reinigung der Anlage oder Erneuerung des Wassers erfolgt nicht (WULF & SCHRÖDER 1997). POULSEN (1992) beschrieb eine Erhöhung des *Mucor*-Befalls an thermotherapierten Eicheln im Eichellager von 1 % bei unbehandelten Eicheln auf 16 % bei behandelten Eicheln. Der *Penicillium*- Befall erhöhte sich nach Angabe der Autorin von 50 % in den Kontrollen auf 81 % in den therapierten Varianten. Der Grund der Vermehrung dieser beiden Schimmelpilze könnte zum einen seine Ursache im Wegfallen konkurrierender Arten durch die Thermotherapie haben, zum anderen in der zusätzlichen Keimbelastung durch Kontamination durch verseuchtes Thermotherapiewasser. Insbesondere im letzten Fall ist darauf zu achten, daß Eichensaatgut, welches von hoher Qualität ist und keinen *Ciboria*- Befall aufweist, nicht thermotherapiert wird, wenn es einer langfristigen Lagerung und Frosthärtung zugeführt werden soll. Ein starker Schimmelpilzbefall, insbesondere auch durch die Gattung *Mucor*, kann nach RATHBUN-GRAVATT (1931) und GRABOWSKI (1936, bei v. SCHÖNBORN 1964) Samen während der anschließenden Lagerung in ihrer Lebensfähigkeit stark beeinträchtigen und schließlich sogar abtöten.

### **Feuchtegehalt der Eicheln während der Abhärtung**

Der Feuchtegehalt der Eicheln unterschied sich während der Abhärtungsversuche deutlich von den Werten der Phase 1996/97. Die Ausgangsfeuchtegehalte lagen bei den Stieleicheln zwischen 4 % und 7 % unter den Werten von 1996/97; die Traubeicheln wiesen eine zwischen 10 % und 15 % geringere Feuchte auf. 1995/96 waren je nach Sorte Unterschiede im Ausgangsfeuchtegehalt zu beobachten; 1996/97 wiesen die thermotherapierten Eicheln beider Arten einen 3 % bis 5 % höheren Ausgangsfeuchtegehalt auf.

Trocknungsphase nach der Thermotherapie der Frosthärteinduktion zugeräumt wurde. Gegensatz dazu erfolgte während der Versuche 1995/96 erst eine Standardlagerung bei  $-6\text{ °C}$  in Tonnen. Mit der Härtung wurde im Januar begonnen. Die Eicheln konnten während dieser Zeit das aufgenommene Wasser abgeben, da zumindest bei Beginn der Tonnenlagerung die Temperatur innerhalb der Tonnen nicht unterhalb des Gefrierpunktes lag. Der Feuchteverlust nach der  $-6\text{ °C}$  Härtungsstufe im Versuchszeitraum 1995/96 war bei beiden Arten im Vergleich gleich hoch. Nach Beendigung der  $-10\text{ °C}$  Stufe betrug der Feuchteverlust der Traubeneicheln bis zu 19 %. Unklar war zu diesem Zeitpunkt der Untersuchung, ob der Feuchteverlust durch Verdunstung bzw. Austrocknung erfolgte und somit zu schlechten Keimergebnissen bei Traubeneicheln führte. Möglicherweise hat Eiskristallbildung die Zellen zerstört und das Wasser konnte dadurch aus den abgestorbenen Eicheln entweichen. In der Abhärtung im Jahr 1996/97 konnte ein derart starker Feuchteverlust bis zur Temperatur von  $-8\text{ °C}$  nicht beobachtet werden, obwohl die Versuchsbedingungen (Verpackung des Saatgutes, Klimascenario) analog der Versuche aus dem Vorjahr durchgeführt wurden. Aus diesem Grund liegt die Vermutung nahe, daß Austrocknung für die hohen Feuchteverluste bis zur  $-10\text{ °C}$  Stufe in der Phase 1995/96 nicht die Ursache gewesen sein kann. Ein Frostereignis mit Eiskristallbildung bei Temperaturen ab  $-9\text{ °C}$ , wie bereits oben diskutiert wurde, ist eher als Ursache anzunehmen.

Insgesamt war in beiden Versuchszeiträumen bei künstlicher Lagerung eine Abnahme des Feuchtegehaltes zu verzeichnen. GUTHKE (1992 und 1993) beobachtete hingegen während der Frosthärtung im Freiland und auch nach der künstlichen Frosthärteinduktion eine Zunahme des Feuchtegehaltes im Verlauf des Winters und mit Zunahme der Frosthärte. Für die erfolgreiche Lagerung müßte demnach eine Möglichkeit gefunden werden, den Feuchtegehalt während der Lagerung zu erhalten, ohne den Gasaustausch der Eicheln zu verhindern.

### **Keimraten der gehärteten Eicheln**

Zur Diskussion der Keimraten werden die gemischten Abhärtungsvarianten betrachtet. Ein Vergleich mit den Ergebnissen von GUTHKE (1992) und WINTJES (1993) hergestellt werden können. Diese beiden Arbeiten waren bis jetzt die einzigen Untersuchungen zur Frosthärteinduktion im Freiland und unter Laborbedingungen. Daher soll im Folgenden ein direkter Vergleich der eigenen Ergebnisse mit den Feststellungen von GUTHKE und WINTJES durchgeführt werden. Im Gegensatz zu den eigenen Untersuchungen führten die Autoren die Frosthärteinduktion mit Wechseltemperaturen durch. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die in der vorliegenden Arbeit angegebenen Keimraten auf alle Eicheln beziehen, die die Härtestufen durchlaufen haben. Das bedeutet, daß auch solche Eicheln mitgezählt wurden, die durch Pilzbefall abgestorben waren. Die Werte von GUTHKE und WINTJES stellen hingegen bereinigte Keimwerte dar. Alle Eicheln, die nach der Härtung verpilzt waren, wurden von den Autoren entnommen und das Keimprozent wurde auf die verbleibenden Eicheln bezogen. In der eigenen Untersuchung wurden insbesondere bei den Traubeneicheln bis zu 47 % verpilzte Eicheln bonitiert. Auffällig war die Zunahme (wenn auch nicht gleichmäßig) der Anzahl der verpilzten Eicheln mit Erniedrigung der Temperatur und damit fortschreitender Härtungsdauer. Es konnte nicht eindeutig geklärt werden, wo die Ursachen dieser Ausfälle liegen. Ein Grund könnte hoher anfänglicher Pilzbefall bei der Einlagerung gewesen sein, der durch die Härtung gefördert hat, daß die Eicheln keine Frosthärte aufbauen konnten. Ein weiterer Grund

geschichten, an die Gesamtmenge der eingelagerten Eicheln und nicht nur auf die un-  
zu beziehen.

Die Stieleicheln der Abhärtung 1995/96 keimten zu Beginn des Versuches mit u  
Thermotherapie zu fast 100 % und nach Ende der  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  Stufe noch zu 80 % (sig  
Reduktion der Keimrate ab  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). In den Untersuchungen von GUTHKE (1993) und  
(1993) zur Frosthärteinduktion mit Wechseltemperaturen lag der Temperaturwert,  
20 % der Eicheln erfroren waren, bei  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Während der Abhärtungsperiode 1996/9  
die Stieleicheln ohne Thermotherapie keine signifikante Keimreduktion über den  
Versuchszeitraum bis einschließlich der  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  Stufe (Ausgangskeimprozent 74,5  
Eicheln mit Thermotherapie lag der Wert mit 10 %iger Reduktion bei  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die Ter  
bei der weniger als 10 % der Stieleicheln erfroren, gab GUTHKE (1993) mit  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  
der vorliegenden Arbeit erzielten Keimraten bei Stieleicheln zeigen, daß mit dieser  
eine Frosthärte bis zu einer Temperatur von  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  induziert werden kann,  
es zu einer Beeinträchtigung der Keimfähigkeit kommt. Unter der Verwendung von  
hochwertigem Saatgut sollte auf eine Thermotherapie möglichst verzichtet werden.

Die Traubeneicheln der vorliegenden Arbeit ließen sich deutlich schlechter abhärten  
Stieleicheln. Darüber hinaus wiesen sie ein wesentlich geringeres Ausgangskeimpro  
das zwischen 58,5 (o.T. 1996/97) und 82 % (m.T. 1995/96) lag. Im Versuchs  
1995/96 war eine signifikante Reduktion der Keimrate sowohl bei thermotherapie  
auch bei nicht thermotherapierten Eicheln ab  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  festzustellen. Im Folgejahr lag  
bei Traubeneicheln ohne Thermotherapie bei  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  und bei Eicheln mit Thermosthe  
 $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . In seiner Untersuchung zur Frosthärteentwicklung von Traubeneicheln unter  
dingungen ermittelte GUTHKE (1992) bei  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  eine Keimreduktion von 20 % und h  
eine Reduktion von 30 % jeweils im Frosthärtemaximum. Im beschriebenen Vers  
raum 1996/97 betrug die absolute Keimrate bei  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (o.T.) nur 60 %; im Verg  
Ausgangskeimrate lag dieser Wert jedoch 1,5 % höher. Bei der  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  Stufe (m.T.)  
Keimreduktion im Vergleich zum Ausgang von 6,5 % festzustellen. Ein direkter V  
mit GUTHKES (1992) Darstellung seiner Freilanduntersuchungen ist schwierig, da es  
seiner Untersuchung zum einen um ein bereinigtes Keimergebnis handelt und zum  
die Ausgangskeimrate als Vergleichswert fehlt. Diese Problematik soll in den vorl  
Ergebnissen am Beispiel des  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$  Wertes der Traubeneicheln mit Thermotherapie a  
werden: die Keimrate betrug 42,5 %, der um die Rate verpilzter Eicheln korrigie  
würde in Anlehnung an die Methode von GUTHKE 64 % betragen. Bezogen auf d  
gangskeimprozent (63,5 %), bei dem kein offensichtlicher Pilzbefall bonitiert wur  
damit kein Einfluß der Temperatur festzustellen gewesen.

Mit Abnahme der Temperatur und damit Verlängerung der Lagerdauer benötigten die  
im Keimtest im Vergleich zu Versuchsbeginn eine längere Zeit, bis sie die gleiche K  
größe erreicht hatten. Ähnliche Beobachtungen machte auch TYLKOWSKI (1982) na  
jähriger Eichellagerung. Gelegentlich wurde von Praktikern berichtet, daß Eicheln a  
rung mit Mehrtriebigekeit reagierten. In der Baumschulpraxis macht dieser Wert bis  
aus. In den eigenen Keimtests konnte nur vereinzelt Mehrtriebigekeit festgestellt wer  
zwar unabhängig von der Behandlung. Alle Keimtests erfolgten jedoch nach Entna

Die besten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen wurden mit Saatgut erreicht, welches ein hohes Ausgangskeimprozent aufwies und dementsprechend gesund und von hoher Qualität war. Daher scheint eine Langzeitlagerung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll zu sein, wenn derart hochwertiges Ausgangsmaterial eingelagert wird. Diese Erfahrung ist nicht neu, sie wird bereits von vielen Autoren erhoben (STEINHOFF 1993, GUTHKE 1993, PRENEY 1994, SUSZKA et al. 1996, GUTHKE & SPETHMANN 1997). Die Erfahrungen aus dem dargestellten Projekt lassen es jedoch nötig erscheinen, nochmals auf diesen Umstand hinzuweisen. Der für eine kontinuierliche Frosthärtung nötige technische Aufwand ist in der Praxis auch nur dann ökonomisch sinnvoll, wenn entsprechend hohe Keimzahlen nach der Lagerung die Produktion hoher Pflanzenzahlen zulassen.

### **Ausblick auf weitere Verfahren der Frostlagerung**

Für die Einlagerung von Eichensaatgut in Genbanken sind wesentlich längere Lagerdauern nötig, als die mit oben diskutierten Frosthärteinduktionsverfahren angestrebte Dauer. EICHEN (1971) sah in der Lagerung von Eicheln in flüssigem Stickstoff (-196 °C) für die Forstzucht einen potentiellen Weg. BAJAJ (1986) favorisierte ebenfalls die Lagerung in flüssigem Stickstoff für rekazitranzante Samen und führte u.a. an *Prunus*, *Populus*, *Citrus* und *Acer* Untersuchungen durch. KING & ROBERTS (1980) schlugen die Entwicklung eines besonderen Trocknungsverfahrens für rekazitranzantes Saatgut vor. Darüber hinaus diskutierten die Autoren die Umsetzung der Erfahrungen der Kryogenetik mit dem Ziel einer Langzeitlagerung in flüssigem Stickstoff. CHMIELARZ (1995 und 1997a) untersuchte die Lagerung von Embryonen der Baumart *Quercus robur* in flüssigem Stickstoff. Der Autor konnte nach dem Auftauen zwar lebensfähige Reaktionen wie Wurzelwachstum oder die Produktion von Kallusgewebe bonitieren, jedoch bildeten sich nur in maximal 3 % der Proben Wurzelsprossen aus. Für die Massenlagerung von Eichensaatgut sind diese Verfahren auf Grund des hohen technischen und zeitlichen Aufwandes der Präparation nicht geeignet.

Für die Frosthärteinduktion bei Eicheln mittels kontinuierlicher Temperatursenkung nachgewiesen werden, daß ein reduzierter Wassergehalt als Voraussetzung für geringere Kälteempfindlichkeit, wie von v. SCHÖNBORN (1964) konstatiert, nicht zwingend notwendig ist, bei der Eichel auch unerwünscht ist. Für Stieleicheln scheint eine Verbringung in Temperaturen von -8 °C bis -9 °C möglich zu sein, bei Traubeneicheln liegt die Grenze bei -5 bis -6 °C. Wie sich derart tiefe Temperaturen auf die Lebensfähigkeit der Eicheln während länger andauernden Lagerungsphase auswirken, konnte in dem durchgeführten Projekt Grund der zeitlichen Beschränkung nicht überprüft werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht bei Verfahren zur Erhaltung des Feuchtegehaltes der Eicheln von über 40 % nach dem Erreichen der angestrebten Lagerungstemperaturen.

Die untersuchten phytosanitären Maßnahmen Elektronenbehandlung und Mikrowellenbehandlung von Saatgut unterscheiden sich in ihrer Wirkungsart grundsätzlich voneinander. Während die Mikrowellenbehandlung, vergleichbar der Thermo-therapie, Pilze in den Keimzellen und dem Perikarp bekämpfen kann, ist die Wirkung der Elektronenbehandlung auf den Perikarpbereich beschränkt. Die Elektronenbehandlung erreicht ihre Wirkung durch direkte Übertragung und bringt bei entsprechender Parameterwahl eine vollständige Abtötung von Pilzen im Wirkungsbereich der Elektronen. Sie stellt damit für dünn-  
schaliges Saatgut eine wirkungsvolle Alternative zur chemischen Saatgutbeizung dar. Die Mikrowellenbehandlung wirkt über Hitze und tötet alle Pilze ab, die eine geringere Wärmetoleranz als die Eiche aufweisen. Die vorliegende Untersuchung konnte die potentielle Anwendbarkeit der Elektronenbehandlung bei Eichen-, Buchen- und insbesondere Sitkafichtensaatgut nachweisen. Eine geeignete Eindringtiefe, die an das jeweilige Saatgutperikarp angepaßt ist (dies ist für Eiche und Buche z.Zt. nicht zur Verfügung steht), können die dort siedelnden Pilze vollständig abgetötet werden. Die Behandlung ist dosisabhängig und differenziert biozid. Die Elektronenbehandlung kann eine tiefgehende Infektion, wie z.B. die durch *Ciboria batschiana* jedoch nicht bekämpfen. Die Mikrowellenbehandlung hingegen konnte den pathogenen Pilz *Ciboria batschiana* vollständig abtöten, ohne die Keimkraft der Eiche zu schädigen. Andere, hitzetolerantere Pilze, überlebten diese Behandlung. Das Verfahren erfüllt damit die Anforderungen, die bis jetzt an die Thermo-therapie gestellt wurden und bietet darüber hinaus einen Zeitvorteil.

Beide physikalisch wirkende Verfahren hinterlassen ein Saatgut, an dem die Keimkraft reduziert wurde. Damit ergibt sich potentiell das Problem der Reinfektion. Die Verfahren weisen keine protektive Wirkung auf, wie dies von chemischen Beizmitteln zu erwarten ist. Das ist nicht grundsätzlich als Nachteil anzusehen, da Saatgut, dessen Mikroorganismenbelastung physikalisch reduziert wurde, die Möglichkeit einer anschließenden Beizung mit mikrobiellen Systemen bietet. Zudem ist solches Saatgut für eine künstliche Mykorrhizabehandlung, wie sie derzeit zunehmend in den Baumschulen für Eiche und Buche eingesetzt wird, günstiger. Die Verfahren Elektronenbehandlung und Mikrowellenbehandlung bieten die Grundlagen für weitere Maßnahmen im Gesamtkonzept des integrierten Pflanzenschutzes. Denkbar wäre die Applikation von Antagonisten, keimfördernden Pilzen oder Mykorrhizapilzen. SARAVACOS et al. (1962) forderte bei Früchten sogar ausdrücklich eine Folgebehandlung nach Bestrahlung nicht selektiv wirkt und keimfreien Siedlungsraum hinterläßt. Dieser Grundsatz bei der Saatgutbeizung mit chemischen Mitteln immer wieder angeführt und dabei die Wirkung des Saatgutes noch im Keimbeet besonders herausgestellt. Möglicherweise wurde in diesem Zusammenhang die Wirkung des sog. „Beizhofes“ zumindest bei landwirtschaftlichem Saatgut lange überschätzt, da LINDNER (1992) in Feldversuchen keinen erhöhten Erfolg bei elektronenbehandelten Saatgutes mit bodenbürtigen Pathogenen feststellen konnte. Der Antagonistenansatz im Anschluß an eine Elektronenbehandlung bei Weizen und Mais wurde von BURTH et al. (1992) als mögliche Folgebehandlung bereits hervorgehoben. BOCHNER berichtete von einer Applikation von *Bacillus subtilis* an Saatgut als mögliches Mittel zum biologischen Pflanzenschutz. WELLER (1988) gab einen Überblick über Bakterienstämmen, die einen Schutz der Pflanzen vor bodenbürtigen Pathogenen bieten könnten und da

Einsatz chemischer Beizmittel möglich ist, wurde von BONNER (1984) beschrieben. Autor schlug die künstliche Dormanzinduktion durch Applikation entsprechender Stoffe (Abscisinsäure) bei Samen vor, die wie die rekalzitrannte Eichel keine Keimhemmung zeigen. FINCH-SAVAGE et al. (1996) konnten mit einer exogen Zuführung von z.B. Abscisinsäure (ABA) bei *Quercus robur*- Samen eine künstliche Keimhemmung induzieren.

Auf dem Gebiet der Nutzung antagonistisch wirkender Mikroorganismen oder pflanzlicher biologischer Substanzen ist noch erheblicher Forschungsbedarf. Derzeit existiert jedoch gerade dieser Forschungszweig, so daß davon auszugehen ist, daß in naher Zukunft wirksame Präparate oder Behandlungsvarianten zur Verfügung stehen werden.

Physikalisch wirkende phytosanitäre Saatgutbehandlungsmethoden ermöglichen nicht direkt vor der Aussaat die Anwendung neuer Schutzkonzepte vor bodenbürtigen Pathogenen. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die phytosanitäre Maßnahme vor einer Saatgutlagerung. Die derzeit angewandte Fungizidapplikation vor einer Lagerung bei Eichensaatgut stellt sich als unproblematisch dar. Es wurde von Ausfällen bis zu 60 % der Eicheln berichtet, obwohl das Saatgut während der Überwinterung mehrmals mit Fungiziden behandelt wurde (ANONIM 1997). Möglicherweise ist ein Teil des Verlustes auch in der phytotoxischen Wirkung von chemischen Mittel zu suchen. Die Elektronenbeizung bietet im Gegensatz zur chemischen Beizung weitere Vorteile: der Schutz der Anwender vor Mittelkontamination beim Umgang mit dem Saatgutumschlag und bei der Aussaat. Toxische Einflüsse auf den Boden, das Wasser und die Umwelt können bei einer Elektronenbehandlung ebenfalls ausgeschlossen werden. Darüber hinaus gibt es keine Rückstandsprobleme, und elektronenbeiztes Saatgut, wenn es nicht ausgesät wurde, kann bedenkenlos verfüttert werden.

Diese kurze vergleichende Diskussion der untersuchten physikalischen phytosanitären Maßnahmen im Bezug auf mögliche Folgebehandlungen lassen erkennen, daß die Verfahren insbesondere im Hinblick auf die Behandlung von Eichensaatgut, nicht als Einzelmaßnahmen betrachtet werden können, sondern in ein Gesamtkonzept eingebunden werden müssen (MÖLLER & SCHRÖDER 1997, SCHRÖDER 1997). Darüber hinaus sind solche Verfahren nicht als „Heilmittel“ anzusehen. Vielmehr muß in der Vorbehandlung darauf geachtet werden, daß die Kontamination mit Mikroorganismen so gering wie möglich gehalten wird. Diese Feststellung ist unabhängig vom zu behandelnden Gut zu sehen. Für Lebensmittel stellte die ICGFI fest, daß nur Lebensmittel mit guter Ausgangsqualität bestrahlt werden sollten. Ein durch Mikroorganismen gebildete Toxine können nach Angaben der ICGFI (1996) auch mit einer Bestrahlung nachträglich nicht mehr eliminiert werden. MODER & WEBER (1993) konstatierten, daß die Ernteverfahren von Gewürzen häufig zu einer erheblichen Keimbelastung führen. Die Autoren forderten eine verbesserte Ernte- und Aufbereitungstechnik.

Die Forderung nach optimierten Ernte- und Aufbereitungsverfahren läßt sich auch auf die Gewinnung von Eichensaatgut übertragen. Die Handsammlung der Eicheln wird häufig durchgeführt, nachdem die Eicheln mehrere Wochen bei feuchter Witterung am Waldboden gelegen haben und eine entsprechend hohe Pilzkontamination aufweisen. MESSER (1966) dem Zeitraum zwischen Ernte und endgültiger Einlagerung von Eichensaatgut so v

erntet werden sollten, was eine sorgfältige Planung und Beobachtung der Erntebereitheit erfordert. Die Autoren gehen in ihrer Forderung noch weiter, indem sie feststellten, daß in schwachen Mastjahren von geringer Qualität seien und der Anwender den Mut aufgeben sollte, eine geplante Ernte oder Einlagerungsmaßnahme auf das nächste Erntejahr schieben. Die Erntemethode bei Eichensaatgut könnte möglicherweise, wie auch bei Buchensaatgut empfohlen (DUBBEL 1992), durch den Einsatz von Netzen verbessert werden. Der Einsatz einer Erntemaschine ist wegen der Durchmischung des Saatgutes mit der Humusfraktion sowie dem starken Eingriff in das ökologische Gleichgewicht des Erntebestandes mit dem hohen Abtrag der gesamten Bodenaufgabe bis auf den Mineralboden nicht zu empfehlen (GÖDDE 1996). Das Sammelpersonal muß so weit geschult sein, daß schädigende Bodenlebewesen, wie die Aufbewahrung der Eicheln über einen oder mehrere Tage in Plastiktüten nicht bleibt. Dazu ist die Möglichkeit der ganztägigen Abgabe des gesammelten Gutes an den Bestand zu gewährleisten. Zum Schutz vor Verhitzung ist eine flache Ausbreitung der Eicheln vorzusehen. Wenn das Saatgut nicht auf Netzen auf z.B. Waldwegen ausgebreitet werden kann, eignen sich z.B. Säcke mit weiten Maschen wie für die Zwiebel- und Kartoffelverpackung für die Lagerung. Diese Säcke können zu 2/3 gefüllt flach ausgebreitet werden. So verpackt können die Eicheln in den Säcken gewendet werden und erlauben ein rasches Verladen.

Der Transport des Eichensaatgutes birgt häufig sehr ungünstige Bedingungen. Raritäten, dichte Jutesäcke, eng auf einem LKW gestapelt, können, insbesondere bei langen Transportwegen, durch Erhitzung in den Säcken sehr leicht beschädigt werden. Während des Transportes sollten die Säcke kreuzweise flach übereinandergestapelt werden, um die Luftzirkulation zu gewährleisten und die Erwärmung zu reduzieren (SUSZKA et al. 1992). Ein wichtiger Behandlungsschritt „Transport“ wird in Deutschland verhältnismäßig wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Bereits 1950 forderte ZAICEVA (zitiert bei v. SCHÖNBORN 1964) beim Transport der Eicheln eine Kühlung in den Transportwagen auf 0 °C bis -5 °C. In Frankreich wird aus Grund der zentralen Saatgutaufbereitung lange Transportwege zurückgelegt werden. Dort erfolgt beim Transport eine Kühlung auf -1 °C.

Während des Aufenthaltes im Zwischenlager, vor einer Weiterverarbeitung, müssen die Eicheln zur Verhinderung des Schwitzens täglich, teilweise mehrmals, gewendet werden und sollten nie höher als eine Handbreite aufgeschüttet werden. Im Forest Seed Centre in Frankreich findet zu diesem Zeitpunkt teilweise eine aktive Vortrocknung der Eicheln statt.

Die erste phytosanitäre Maßnahme, die Abtrennung tauber, hohler, parasitierter und unkeimfähiger Eicheln sowie von Laub, Ästen und Fruchtbechern durch das Abschwemmen, sollte möglichst im unmittelbaren Anschluß an die Ernte erfolgen. Die angeführten Verunreinigungen fördern sonst möglicherweise bereits im Zwischenlager den Pilzbefall. Darüber hinaus kann ein Abschwemmen nach einer mehrtägigen Zwischenlagerung dazu führen, daß die „Samen“, die bereits eine kleine Luftschicht zwischen Perikarp und Kotyledonen haben, oben aufschwimmen und somit verworfen werden. Der Arbeitsschritt der Entschwemmung sollte auf keinen Fall ausgelassen werden. Es sollte in diesem Zusammenhang auch geprüft werden, ob diese Trennung nicht bereits im Wald während der Ernte durchgeführt werden kann. Das würde auch dazu beitragen, den Transportraum optimal auszunutzen. A



na dar. Eine Elektronenbehandlung könnte nach entsprechender Anlagenentwicklung leicht als Kombinationsbehandlung eingesetzt werden. In jedem Falle könnte eine Mikrowellenbehandlung nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung bei entsprechender Durchsatzleistung in Zukunft an Stelle der Thermotherapie zur Eliminierung von *Ciboria-batschiana* eingesetzt werden. Für eine langfristige Lagerung sollten *Ciboria*-belastete Eichelpartien nicht vorgesehen werden. Dieses Saatgut sollte nur so weit behandelt werden, daß eine Überwinterung und Aussaat im folgenden Frühjahr erfolgen kann. Bei Nutzung der Thermotherapie sollte darauf geachtet werden, daß das Wasser regelmäßig gewechselt wird. Die Anlage gereinigt wird, um eine Ausbreitung von Pilzen in dem warmen Wasser zu vermeiden.

Unabhängig von einer phytosanitären Behandlung ist die oberflächliche Abtrocknung der Eicheln vor einer Einlagerung wichtig. Dieser Umstand wurde bereits von HARTIG (1960) beschrieben und wird bis heute von vielen Autoren gefordert (u.a. ANCAK 1973, HARTIG 1960, SANFLEBEN 1996). Die Trocknung ist jedoch nicht in starre Zeitabläufe einzufassen. Sie hat so weit zu erfolgen, bis sich kein oberflächliches Schweißwasser mehr bilden kann. Die maschinelle Trocknung erfordert daher eine genaue Beobachtung, damit der Feuchtegehalt der Eicheln nicht unter den kritischen Wert von 40 % sinkt. Die Saatgutfeuchte sollte während der Lagerung möglichst zwischen 40 % und 45 % liegen. Ein mögliches Verfahren der mechanischen Abtrocknung ist dabei das Durchblasen der Eicheln mit entfeuchteter Luft mit einer Temperatur von maximal 20 °C. Dies kann mehrere Stunden dauern. Nicht getrocknete Eicheln weisen eine hohe Stoffwechselaktivität auf, was dazu führt, daß in den Eichelkammern Wärmeentwicklung stattfindet, die der Kühlung im Lager entgegenwirkt. Erfolgt die Lagerung in Tonnen, sind solche Eicheln binnen weniger Stunden oberflächlich feucht, und nach wenigen Tagen hat sich ein dichtes Oberflächenmyzel zwischen dem Saatgut ausgebildet. Nach Lagerungstemperatur kommt es durch erhöhten Reservestoffverbrauch der Eichelkammern gekoppelt mit möglichem Befall durch Sekundärpathogene, zu Keimschädigungen.

Unter Anwendung der oben skizzierten physikalischen phytosanitären Verfahren, die Keimbelastung der Eicheln in hohem Maße reduzieren, könnte zu diesem Zeitpunkt der Lagerungsgutauarbeitung der oben bereits diskutierte Ansatz mikrobieller Systeme erfolgen.

Eine anschließende Frosthärteinduktion schließt diesen vorgeschlagenen Behandlungszyklus ab und sichert die bis zu diesem Zeitpunkt auf hohem Niveau gehaltene Qualität der Eichelkammern. Wenn es die technischen Gegebenheiten erlauben, sind Mantelkühlzellen zu bevorzugen. Lagerungsbehälter können nach der Methode SUSZKA genutzt werden. Bei der Möglichkeit einer aktiven Luftbefeuchtung in den Klimakammern trotz Frost ist auch eine Lagerung in offenen Gitterboxen möglich. Während der gesamten Lagerungsdauer sollte der Feuchtegehalt der Eicheln nicht unter 40 % sinken.

wird von der Praxis eine mehrjährige Lagerung gefordert, um gute Mastjahre auskommen zu lassen und um eine gleichmäßige Versorgung mit Saatgut zu ermöglichen. Derzeit wird Eichensaatgut im Erntejahr in offenen Tonnen bei  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  eingelagert. Die Aussaat erfolgt im nächsten Frühjahr, so daß mit dieser Überwinterung lediglich die Nachteile einer Lagerung ausgeschaltet werden. Eine längere Lagerung und damit aktive Steuerung des Eichensaatgutmarktes kann derzeit nicht erfolgen, weil Eicheln als rekalcitrante Samen nicht unter einem Feuchtegehalt von 40 % und einer Temperatur von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagert werden können. Nach der Lagerung über einen Winter hinaus kommt es daher zu Schäden durch Mikroorganismen zum stoffwechselbedingten Verlust der Keimfähigkeit.

Eichensaatgut ist durch den Bodenkontakt nach der Samenreife mit einer Vielzahl von Mikropilzen besiedelt. Der primärpathogene Pilz *Ciboria batschiana*, der Erreger der Eichelhäufelfäule, kann unter den gegebenen Lagerungsbedingungen zum vollständigen Verderb ganzer Eichelpartien führen. In der Praxis wird eine zweistündige Warmwasserbehandlung bei  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Thermotherapie) vor der Einlagerung als wirksame phytosanitäre Maßnahme gegen *Ciboria batschiana* durchgeführt. Im Eichellager können sich bei den derzeitigen Lagerungsparametern dennoch andere Mikropilze mit sekundär pathogener Wirkung ansiedeln. Dabei handelt es sich sowohl um bodenbürtige pathogene Pilze als auch um Unkräuter, die unter entsprechenden Umweltbedingungen ein pathogenes Potential entwickeln. In der Praxis wird versucht, diesen sekundären Pilzbefall durch die Applikation chemischer Beizmittel vor und teilweise mehrmals während der Eichellagerung zu bekämpfen. In der Saatgutproduktion gibt es jedoch keine speziell zugelassenen chemischen Beizmittel. Unter Berücksichtigung der Umweltverträglichkeit, der anstehenden Indikationszulassung von Pflanzenschutzmitteln sowie der gesetzlich vorgeschriebenen Anwendung des integrierten Pflanzenschutzes werden alternative Verfahren zur phytosanitären Behandlung und zur Verbesserung der Lagerungsbedingungen für Eichensaatgut dringend benötigt.

In der vorliegenden Arbeit wurden an forstlichem Saatgut mehrere alternative phytosanitäre Behandlungsmethoden untersucht sowie experimentelle Arbeiten zur mehrjährigen Lagerung von Eichensaatgut unternommen. Als erste phytosanitäre Methode wurde die Saatgutbehandlung mit niederenergetischen Elektronen an Eichen-, Buchen- und Sitkafichtensaatgut untersucht. Dieses nur auf die äußeren Saatgutschichten begrenzte Verfahren macht sich die Wirkung ionisierender Strahlung zunutze und soll Mikropilze in Perikarp und Tanninansammlungen abtöten. Es stellt damit eine potentielle Alternative zu chemischen Beizmitteln dar. Die untersuchte phytosanitäre Maßnahme war die Mikrowellenbehandlung von Eichel- und Buchensaatgut. Dieses Verfahren beruht auf thermischer Wirkung und ist eine Alternative zur derzeit üblichen zeit- und energieaufwendigen Thermotherapie mit Wasser. Weiterhin wurde das seit Jahrzehnten bekannte Phänomen der künstlichen Frosthärtung von Eicheln untersucht. Die Lagerung von Saatgut bei Temperaturen unterhalb des derzeit genutzten Wertes von  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  lagern zu untersuchen.

Im Einzelnen wurden mit Eichensaatgut der Erntejahre 1994 bis 1996, Bucheckern der Erntejahre 1990, 1992 und 1995 sowie mit Sitkafichtensaatgut des Erntejahres 1996 die folgenden Versuche durchgeführt:

- Überprüfung der Anwendbarkeit der Elektronenbehandlung als phytosanitäre Maßnahme und deren Auswirkung auf die Mykoflora von Eicheln, Bucheckern und Sitkafichten sowie auf das Keimprozent der jeweiligen Saatgutarten. Dazu wurden eine Strahlungsbehandlungsanlage (70 kV) im Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatronik, Dresden sowie eine Elektronenstrahlschweißanlage (150 kV) bei der Firma Strömungstechnik, Pirna, genutzt.
- Feststellung der Auswirkung einer Thermotherapie auf die Mykoflora und das Keimprozent von Eicheln und Bucheckern als Einzelbehandlung oder in Kombination mit einer Elektronenbehandlung.
- Untersuchung einer Mikrowellenbehandlung mit verschiedenen Energievarianten und unterschiedlichen Behandlungszeiten im Hinblick auf die Zusammensetzung der Mykoflora und das Keimverhalten von Eicheln (Mikrowellenversuchsanlage im Institut für Agrartechnik und Lebensmittelwissenschaft, Universität Göttingen).
- Überprüfung der Eichelinnentemperatur zur Überwachung der letalen Temperatur während der Mikrowellenbehandlung.
- Entwicklung einer Methode zur Induktion einer künstlichen Frosthärte bei Eichen mit kontinuierlicher Temperatursenkung. Überprüfung des Einflusses des physiologischen Zustandes und der Größe der Eicheln sowie der Thermotherapie auf das Abhärtungsvermögen des Eichensaatgutes.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die Überprüfung des Befallszeitpunktes und Siedlungsortes von Mikropilzen an Stieleichen als Grundlage für eine erfolgreiche phytosanitäre Behandlung ergab, daß das Perikarp der Eichelspitze bereits am Baum im September eine Mikropilzkontamination von fast 100 % aufwies. Die Perikarpmitte und Perikarpbasis wurden bis zum Fruchtfall ebenfalls zu fast 100 % infiziert. Es handelte sich dabei hauptsächlich um unspezifische ubiquitäre Pilze. Nach Bodenkontakt war das gesamte Perikarp zu 100 % mit Mikropilzen besiedelt, die Keimkotyledonen zu über 90 %. Die Infektion mit *Ciboria batschiana* erfolgte erst nach Bodenkontakt.

Die Messung der Perikarpstärke erfolgte, weil die Elektronenbehandlung ihre Wirkung hauptsächlich im Perikarp und der Testa der Samen entfalten soll. Das Perikarp der Stieleiche sowohl an der Eichelspitze und der Eichelmitte als auch an der Eichelbasis so dick, daß das Durchdringen mit dem Elektronenstrahl der genutzten Saatgutbehandlungsanlage nicht möglich war. Je nach Meßort variierte die Perikarpdicke bis zum Faktor drei. Auch das Bucheckernperikarp war zu dick, um vollständig vom Elektronenstrahl durchdrungen zu werden. Das Sitkafichtensaatgut hingegen konnte bei einer mittleren Testastärke von 58,5 µm durch die Elektronenbehandlung fast vollständig von einem Mikropilzbefall befreit werden.

Die letale Strahlendosis in Reinkultur für 24 Stunden häufig an Eicheln und Bucheckern siedelnde Pilze lag nach der Auswertung der Myzelwachstumstests, der Sporenkeimtests und

zweite Variante mit einer Beschleunigungsspannung von 150 kV und einer Strahlendosis von 42 kGy erreichte bei Stieleicheln einen Wirkungsgrad gegen Pilze im Perikarp von 42 %. Bei Traubeneicheln lag der Wert mit denselben Parametern bei bis zu 37,5 %. Bezüglich des Keimverhaltens der Eicheln konnten weder phytotoxische noch wachstumsfördernde Effekte beobachtet werden. Bei Kombinationsbehandlungen mit der Thermotherapie überlagerte der positive Effekt der Thermobehandlung im Anschluß an die Ernte und nicht die spätere geführte Folgebehandlung. Mit Elektronen behandelte Traubeneicheln keimten nach einer fünfmonatigen Lagerung signifikant besser als völlig unbehandeltes Saatgut. Nach einer Elektronenbehandlung von frischen Bucheckern mit den Parametern 70 kV/16 kGy wurde im Perikarp ein Wirkungsgrad gegen Pilze von 48 % festgestellt. Bei zuvor gelagerter Bucheckern konnte keine Reduktion des Pilzbefalls nach einer Elektronenbehandlung beobachtet werden. Sowohl bei frischen als auch bei gelagerten Bucheckern hatte die Elektronenbehandlung keinen Einfluß auf die Keimrate. Bei Kombinationsbehandlungen von Traubeneicheln mit Thermotherapie und Elektronen wurde eine phytotoxische Wirkung der Thermotherapie bei Anwendung auf gelagerte Bucheckern festgestellt. Mit den Parametern 70 kV und einer Dosis von 16 kGy/24 kGy konnten bei einer Elektronenbehandlung von Sitkafichtensaatgut ein Wirkungsgrad gegen Pilze am Gesamtsaatgut von 85 % bis 90 % erreicht werden. Ein Einfluß auf die Keimrate konnte nicht beobachtet werden. Das in der Saatgutbehandlungsanlage zur homogenen Dosisverteilung nötige Vakuum von ca. 100 Pa hatte keinen Einfluß auf die Keimrate. In den untersuchten forstlichen Saatgutarten. Der Feuchteverlust bei Eicheln und Bucheckern während der Elektronenbehandlung im Vakuum lag unter einem Prozent.

Eine Mikrowellenbehandlung von Traubeneicheln mit 300 Watt Ausgangsleistung und einer maximalen Eicheloberflächentemperatur von 40 °C über eine Stunde führte zur vollständigen Abtötung von *Ciboria batschiana*. Die Keimfähigkeit der Eicheln wurde dabei nicht signifikant reduziert. Eine Zusatzbehandlung mit Heißdampf brachte keine Vorteile. Behälterwandtemperaturen verbesserten die Homogenität der Wärmeverteilung im Saatgut. Mit zunehmender Energie und damit einhergehender Zunahme der Temperatur erhöhte sich der Wirkungsgrad gegen Pilze. Gleichzeitig verringerte sich jedoch auch das Keimprozent. Innerhalb der Behälter war die Temperatur höher als an der Saatgutoberfläche. Eine Anlagensteuerung, die die Eichelinnentemperatur wäre somit empfehlenswert. Zwischen der Eichelinnentemperatur und den Parametern Eichelgröße, Eichelgewicht und Feuchtegehalt gab es keinen statistisch nachweisbaren Zusammenhang.

In den Untersuchungen zur künstlichen Frosthärtung konnte die bisher geltende Lagerungstemperatur von -3 °C durch die Frosthärteinduktion sowohl für Stiel- als auch für Traubeneicheln deutlich unterschritten werden. Die in anderen Arbeiten nach Anwendung von Wechseltemperaturen aufgetretenen Pilzschäden konnten in der vorliegenden Arbeit durch die erstmalige Verwendung einer kontinuierlichen Temperatursenkung zur Frosthärtung vermieden werden. Stieleicheln wiesen nach der Frosthärtung eine größere Toleranz gegenüber Frost auf als Traubeneicheln. Der kritische Temperaturwert nach Härtung der Stieleicheln lag bei -8 °C. Bei den Traubeneicheln lag die kritische Temperaturgrenze nach einer Frosthärteinduktion bei -5 °C. Bis zu diesen Temperaturwerten wurde die Keimrate nur in geringem Maß durch das Frostereignis beeinflusst. Eine Lagerraumtemperatur von -10 °C über

Thermotherapierte Eicheln beider Arten wiesen bis zu einer Temperaturstufe von  $-8^{\circ}\text{C}$  höheres Keimprozent auf als nicht thermotherapierte Eicheln. Unterhalb dieses Temperaturwertes änderte sich das Verhältnis, und die Eicheln ohne Thermotherapie keimten am Ende besser. Ein Einfluß der Frostlagerung auf phänologische Erscheinungen der Pflanzen wie z.B. Mehrtriebigkeit konnte nicht festgestellt werden. Lediglich die Aufwuchsgeschwindigkeit und damit die Pflanzengröße in Abhängigkeit von der Zeit wurde mit Abnahme der Temperatur geringer.

Abschließend lassen sich aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit heraus einige Empfehlungen für die Forstsaatgutpraxis ableiten:

Eine Elektronenbehandlung von Forstsaatgut mit Perikarpstärken über  $70\ \mu\text{m}$  (insbesondere Eiche und Buche) ist mit der zur Verfügung stehenden Saatgutbehandlungsanlage nicht aussichtsreich. Saatgut mit Perikarp- bzw. Testastärken bis zu  $70\ \mu\text{m}$  (i.d.R. Nachsaat) kann hingegen mit der Elektronenbehandlung in der Samenschale wirksam von Pilzsporen befreit werden, wobei ein Einfluß der Elektronenbehandlung auf die Keimkraft ausgeschlossen werden kann. Die Elektronenbehandlung solcher Saatgutarten stellt damit eine wirksame Alternative zur chemischen Saatgutbeizung dar.

Die Mikrowellenbehandlung von Eichensaatgut ist in der Lage, den Verursacher der Samen Eichelhäufel, *Ciboria batschiana*, wirksam auszuschalten. Nach der Entwicklung einer kontinuierlich arbeitenden, für Großmengen geeigneten Anlage wäre diese Technologie aus Zeit- und Energiegründen eine ernstzunehmende Alternative zur derzeit praktizierten Dampferthermotherapie. Die bei letzterer auftretende Pilzkontamination des Saatgutes durch die Thermotherapiewasser kann bei der Mikrowellenbehandlung ausgeschlossen werden.

Die künstliche Frosthärteinduktion bei Eichensaatgut mittels kontinuierlicher Temperaturschwankung ist im Hinblick auf eine mehrjährige Lagerung als besonders aussichtsreich zu bewerten. Bei diesem Verfahren werden die zur Stoffwechselreduktion der Eicheln und Unterdrückung des Pilzwachstums erforderlichen tiefen Temperaturen rasch erreicht. Die langfristigen Auswirkungen der in dieser Arbeit ermittelten Tiefsttemperaturen auf die Keimfähigkeit von Stiel- und Traubeneicheln müssen durch entsprechende mehrjährige Praxisversuche überprüft werden. In diesem Zusammenhang kommt der Aufrechterhaltung des kritischen Feuchtegehaltes von 40 % eine entscheidende Bedeutung zu.

Für eine mehrjährige Lagerung von Eichensaatgut wird generell empfohlen, nur qualitativ hochwertiges Saatgut mit hoher Ausgangskeimfähigkeit zu verwenden. Dazu ist eine sorgfältig abgestimmte Abfolge von Maßnahmen ab der Ernte gefolgt von phytosanitären Maßnahmen bis zur Einlagerung nötig, wobei jede Phase so gewissenhaft wie möglich durchgeführt werden muß, da eine negative Beeinflussung der Keimkraft in den Folgebehandlungen wieder rückgängig gemacht werden kann.

taking damage. This is due to a reduction in vitality, which enables the primary fungus, *Ciboria batschiana*, and also many other fungi of secondary pathogenic nature and cause damage in the storage chambers. Up to date, a two-hour thermotherapy in at 41 °C was the only possible method for control of *Ciboria batschiana*.

In this study, several alternative phytosanitary treatments for forest tree seeds in general were evaluated and experiments on the long-term storage of acorns were conducted. Experiments with low-energy electron beams were carried out on acorns, beechnuts and Sitka spruce. This method, the effect of which is restricted to the outer seed parts, is based on the biocidal effect of ionising radiation and is intended to kill microfungi in the pericarp. The second evaluated phytosanitary measure consisted of the microwave treatment of acorns, which relies on a thermal effect. In addition, the phenomenon of artificial cold hardiness of acorns was examined in order to explore the possibility of storing acorns at temperatures lower than the present limit of -3 °C.

Due to the insufficient penetration of electrons into the pericarp, the electron treatment of acorns did not have the desired negative effect on the fungal colonization rate. The reduction effect level was 12 % for *Q. robur* and 37,5 % for *Q. petraea*. In contrast, the electron treatment of beechnuts resulted in the reduction of microfungi of up to 48 % in the pericarp. For Sitka spruce seeds, the effect level against overall microfungi contamination was 85 % and 90 %. For small coniferous seeds, therefore, this method poses a practical alternative to the use of fungicides, but for tree species with large seeds, the effect is not sufficient. In no case was an influence on the germination rate observed.

The microwave treatment of *Q. petraea* acorns at a maximum surface temperature of 41 °C for one hour led to the complete elimination of *Ciboria batschiana*, while the germination rate was not significantly affected. Thus, microwave treatment could be a time-saving alternative to the currently employed hot water thermotherapy.

The present acorn storage limit of -3 °C was successfully and significantly overcome by artificial cold hardening trials on the induction of artificial cold hardiness, both for *Q. robur* as well as for *Q. petraea*. The fungal damage observed by other authors following fluctuating hardening temperatures was avoided for the first time in the present study due to the application of a steady cold treatment at low temperatures, which prevents rapid fungal growth by doing without temperatures above 0 °C. Acorns of *Q. robur* showed a larger frost tolerance following artificial cold hardening than acorns of *Q. petraea*, the critical storage temperature level being -8 °C for *Q. robur* and -5 °C for *Q. petraea*. At temperatures above this level, the germination rate was only slightly affected by low temperatures. Artificial cold hardening and thus storage at lower temperatures has the potential for greatly prolonging storage duration for acorns by reducing acorn mortality and fungal growth during storage.

For the long-term storage of acorns over a period of several years, the author recommends using only seeds of high quality possessing a high initial germination rate. A success-oriented and harmonized measures from harvest through phytosanitary procedures up to storage should be carried out as carefully as possible, since negative effects on germination capacity are often irreversible.

- AID** (1993): Forst Holz 1993. AID-Heft 2514/1993.
- AID** (Hrsgb.) (1996): Forst Holz 1996 [12. Aufl.]. AID-Heft 1334/1996.
- ALBRECHT, J.** (1987): Maßnahmen zur Erhaltung der genetischen Vielfalt seltener Barten in Hessen. *Der Forst und Holzwirt*, **8**: 205-210.
- ALEMANN, F.A. v.** (1884): Über Forst-Culturwesen [3. Aufl.]. Emil Baensch.
- ANCAK, J.** (1973): Storage of oak seed. IUFRO Working Party S2.01.06. Vol. I – Paper 20. International Symposium on Seed Processing Bergen, Norway 1973.
- ANL BAYERISCHE AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE** (Hrsgb.) (1994): Begriffe Ökologie, Landnutzung und Umweltschutz. Information 4 [3. Aufl.].
- ANONYMUS** 1986: Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG). Gesetzestext und Begründung, Paul Parey
- ANONYMUS** (1988): Resistenzbildung gegen Schädlingsbekämpfungsmittel. *Allgemeine Zeitschrift*, **43** (23): 656ff.
- ANONYMUS** (1996): Giftige Stoffwechselprodukte von Pilzen: Mykotoxine in der Natur. Profil Magazin der Pflanzenschutz- und Düngemittelindustrie **3**, 8.
- ANONYMUS** (1997): Zweistündiges heißes Bad gegen Schwarzfäule-Erreger. *TASPO* (51/52): 6.
- ARBES-UMWELT GMBH** (1997): Innovative Lösungen für die Umwelt: Thermische Holzverwertung-Anwendungen. Berlin, Firmenschrift.
- ARX, J.A. v.** (1957): Revision der zu *Gloeosporium* gestellten Pilze.
- ARX, J.A. v.** (1981): The genera of fungi sporulating in pure culture (3.ed.), J. Cramer.
- AUST, H.-J.; BOCHOW, H.; BUCHENAUER, H.; KLINGAUF, F.; NIEMANN, P.; PETZOLD, P.; POEHLING, H.M.; SCHEINPFLUG, H.; SCHÖNBECK, F.** (1993): Glossar Phytomedizinischer Begriffe [2. Aufl.]. Ulmer, Schriftenreihe der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft Band 3.
- BACON, C.W.; HILL, N.S.** (1996): Symptomless grass endophytes. Products of coevolutionary symbioses and their role in the ecological adaptations on grasses. In Redlin, Scott, L. M., Lori M. (ed.) (1996): Endophytic fungi in grasses and woody plants. APS Press 178.
- BAGEGNI, A.M.; SLEPER, D.A.; KERR, H.D.; MORRIS, J.S.** (1990): Viability of *Acremonium coenophialium* in Tall Fescue Seed After Ionizing Radiation Treatments. *Crop Science* 1272-1275.
- BAIER, U.; KEBLER, W.; STÜRZ, M.** (1994): Untersuchungen zur Pilzflora und zu biotischen Schadfaktoren an Eicheln. Gotha Druckerei Kirchner, Mitteilungen der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Heft 5/1994.
- BAJAJ, Y.P.S.** (1986): In vitro preservation of genetic resources. In: IAEA (1986): Nuclear techniques and in vitro culture for plant improvement. Proceedings of an international symposium on nuclear techniques and in vitro culture for plant improvement jointly organized by the IAEA and the FAO and held at Vienna 19/23 August 1986: 43-57.

- BARRON, G.L.** (1968): The genera of hyphomycetes from soil. Baltimore: Williams Company.
- BAUMHAUER, H.** (1996): Verjüngung durch Saat. Ein Beitrag zur Kostensenkung. *Forst Zeitschrift*, **51** (21) 1192-1194.
- BAUR, F.** (1880): Untersuchungen über den Einfluß der Größe der Eichel auf die Erträge der Pflanzen. *Pflanzenschutz-Praxis*, **2**: 605-609.
- BAYER AG** (1997a): Beizen macht's möglich. Gaucho verhindert Gelbverzwergung. *Pflanzenschutz Kurier*, (2): 12-13.
- BAYER AG** (1997b): Perfekte Wirkstoffe - Illusion oder Wirklichkeit. *Pflanzenschutz Kurier*, (2): 16-19.
- BBA** (1984): Richtlinie für Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchsarbeiten mit Pflanzenschutzmitteln. ACO Druck.
- BBA** (1996): Grünbuch Pflanzenschutz. Bonn AgroConcept.
- BBA** (1997): Pflanzenschutzmittelverzeichnis Teil 4 1997 Forst [45. Aufl.]. Saphir Verlag.
- BEER, H.** (1997): 70. Arbeitssitzung des Deutschen Pflanzenschutzdienstes. Nachrichten für den deutschen Pflanzenschutzdienst, (49): 233-237.
- BEF** (1993): Erhebung zur Versorgungssituation forstliches Vermehrungsgut im Bundesgebiet. Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft.
- BELCHER, E.; VOZZO, J.A.** (1979): Radiographic Analysis of agricultural and forest seeds. publ. by the Association of Official Seed Analysts. Contribution No. 10. Handbook on Seed Testing.
- BELL, C.H.; PRICE, N.; CHAKRABARTI, B.** (1996): The Methyl Bromid Issue. *Agriculture, Pesticides and Plant Protection Vol. 1*. John Wiley & Sons.
- BFE** (1995): Die Strahlenkonservierung von Lebensmitteln [7.Aufl.]. Bundesforschungsanstalt für Ernährung Karlsruhe, Mitteilungen über Ernährungsfragen, BFE-M-06.
- BFE** (1996): Lebensmittelbestrahlung. Antworten auf oft gestellte Fragen. Bundesforschungsanstalt für Ernährung Karlsruhe.
- BGBL** (1979): Zweites Gesetz zur Änderung des Gesetzes über forstliches Saatgut. *Bundesgesetzblatt Teil I Z 5702 AX*.
- BGBL** (1980): 1. Verordnung über Anwendungsverbote von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzanwendungsverordnung) vom 19. Dez. 1980: 2335.
- BGBL** (1994): Teil I. Verordnung über Herkunftsgebiete für forstliches Vermehrungsgut (Forstsaat-Herkunftsgebietsverordnung) Bonn.
- BIEDERMANN** (1890): Über Durchwinterung von Eicheln. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwissenschaften*, **36**: 671-673.
- BLE** (1997): Erhebung zur Versorgungssituation forstliches Vermehrungsgut im Bundesgebiet. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.
- BLOOMBERG, W.J.** (1966): The Occurrence of Endophytic Fungi in Douglas-Fir Seeds. *Canadian Journal of Botany*, **44**: 413-420.
- BML** (1993): Forstliche Förderung 1993. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsgb.).



für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsgb.).

- BOCHOW, H.** (1994): Populationsdynamisches Verhalten von *Bacillus subtilis* beim als Mittel für den biologischen Pflanzenschutz. In: Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. 49. Pflanzenschutztagung, Heft 301. Frey: 355.
- BÖGL, K.W.** (1990): Zur Frage einer möglichen Gesundheitsgefährdung durch den Verzehr von mikrowellenerhitzter Milch. Bundesgesundheitsblatt, (8): 342-344.
- BÖGL, K.W.; ROSENBERG, U.** (1989): Was passiert bei der Mikrowellenerhitzung von Nahrungsmitteln. Bundesgesundheitsblatt, (10): 446-450.
- BONNER, F.T.** (1971): Storage of acorns and other large hardwood seeds - problems and possibilities. Rep. from Proc. Southeastern nurserymen's Conference, Atlanta, Georgia. 77-82.
- BONNER, F.T.** (1973): Storing Red Oak Acorns. Tree Planters Notes: 12-13.
- BONNER, F.T.** (1984): New forests from better seeds: The role of seed physiology. In: Proceedings of the Physiology Working Group Technical Session. Society of American Foresters National Convention, Portland, Oregon, USA, October 16-20, 1983, Document 10. Martinus Nijhoff/DR W. Junk Publishers: 37-59.
- BONNER, F.T.** (1996): Recent Developments in Seed Technology and Obstacles to be Overcome. In: Landis, T.D.; South D.B. (ed.) (1997): National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations - 1996. Evolution of the Target Seedling Program. US Forest Service General Technical Report PNW-GTR-389: 167-171.
- BONNER, F.T.; VOZZO J.A.** (1987): Seed Biology and Technology of *Quercus*. New Technical Report. US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Southern Forest Experiment Station General Technical Report SO-66.
- BONNER, F.T.; VOZZO, J.A., ELAM, W.W.; LAND JR, S.B.** (1994): Tree Seed Technology Training Course. Instructor's Manual. General Technical Report SO-106, Southern Forest Experiment Station of the USDA.
- BONNET-MASIMBERT, M.; MULLER, C.; MORELET, M.** (1977): [New hopes for acorns]. De nouveaux espoirs pour la conservation des glands. Review of Plant Pathology. 57: 336.
- BONNET-MASIMBERT, M.; MULLER, C.** (1993): Storage of acorns: limits and recent developments. In: Anonymus (1993): Internationales Symposium über Forstsaatgut. 11.06.1993 Munster/Uelzen Uelzen. Proceedings: 119-130.
- BONVICINI, M.P.** (1993): Presentation of the seed center „La Joux“ (France). Results of the storage of acorns on a large scale chemical protection during storage: interests and perspectives. In: Anonymus (1993): Internationales Symposium über Forstsaatgut. 8.-11.06.1993 Munster/Uelzen Uelzen. Proceedings: 193-209.
- BONVICINI, M.P.** (1996): Au Laboratoire, le suivi pas a pas de la Qualité. ArboreScience. 16-18.
- BOOTH, C.** (1966): The Genus *Cylindrocarpon*. Mycological Papers, No. 104. Commonwealth Mycological Institute [ed.].

- BORNER, H.** (1998): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz [6. Aufl.]. GIB 1998.
- BORS, J.; FENDRICK, I.; NIEMANN, E.G.** (1979): Strahlenbelastung von Nutzpflanzen durch ionisierende Strahlen auf landwirtschaftliche Nutzpflanzen. Landwirtschaftliche Fachschriftenreihe des BML, Reihe A: Landwirtschaft - Angewandte Wissenschaft Heft 10.
- BRAUN, H.J.** (1988): Bau und Leben der Bäume [2.Aufl.]. Rombach Wissenschaft.
- BRAUNS, A.** (1964): Taschenbuch der Waldinsekten. Gustav Fischer.
- BROCKHAUS** (1989): Brockhaus Enzyklopädie (17. Aufl.).
- BUHR, H.** (1965): Bestimmungstabellen der Gallen (Zoo- und Phytocecidien) an Bäumen und Sträuchern Mittel- und Nordeuropas. Band II. Gustav Fischer.
- BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE "ERHALTUNG FORSTLICHER GENRESSOURCEN"** (1989): Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. Der Forst und Holzwirt, **44** (15): 379-398.
- BURCKHARDT, H.** (1893): Säen und Pflanzen nach forstlicher Praxis. [6. Aufl.], V. Fr. Linß'schen Buchhandlung.
- BURGER, H.** (1921): Über morphologische und biologische Eigenschaften der Saubereiche und ihre Erziehung im Forstgarten. Mitteilungen der schweizerischen Versuchsanstalt f. d. forstl. Versuchswesen, **11**: 306-375.
- BURRIS, J.S.** (1994): Incorporation of microencapsulated beneficial organisms into physically acceptable seed coatings to enhance crop performance in soyabeans. In: T. (ed.) (1994): Seed Treatment: Progress and Prospects. BCPC Monograph Nottingham Major Design & Production Ltd. Proceedings of a symposium organised by the BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL; and the Pesticide Group of the Society of Chemical Industry and held at the University of Kent, Canterbury on 5-7 Jan. 1994. **1**: 332.
- BURSCHEL, P.** (1990): Waldumbau. Belastung für die Gegenwart - Hoffnung für die Zukunft. Allgemeine Forst Zeitschrift, **45** (3): 57-59.
- BURSCHEL, P.; KATEB, H. EL; BACHMANN, P.; HAGGENMÜLLER, O.** (1986): Waldumbau und Bucheckernqualität. Allgemeine Forst Zeitschrift, **41**, (28) 700-702.
- BURTH, U.; GABER, K.; JAHN, M.; LINDNER, K.; MOTTE, G.; PANZER, S.; PFLAUM, J.; SCHOLZE, F.** (1991): Behandlung von Saatgut mittels Elektronen - Ein neues Verfahren zur Bekämpfung samenbürtiger Schaderreger an Winterweizen. Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienst, **43** (3): 41-45.
- BURTH, U.; JAHN, M.; LINDNER, K.** (1992): Seed treatment with electrons - a new process for seed dressing. Schriftenreihe der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft, Bd. 4: 273-279.
- BUSSE, J.** (1935): Samenaufbewahrung im Vakuum. Julius Springer. Zeitschrift für Jagdwesen, **67**: 321-326.
- BUTIN, H.** (1996): Krankheiten der Wald- und Parkbäume (3. Aufl.). Thieme.
- CAC** (1984): Codex General standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of food. Joint FAO & WHO Food Standards Programme CAC&Vol. XV-Ed.1, Codex Alimentarius Commission.

- CASPI (1986): Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control. I. Wholesome food treated with ionizing energy. Report No. 109, Council for Agricultural Science Technology.
- CAVALCANTE, M.J.B.; MUCHOVEJ, J.J. (1993): Microwave irradiation of seeds and fungal spores. *Seed Science and Technology*, **21**: 247-253.
- CHEWTSCHENKO, S.W.; ZILJURIK, A.W. (1986): Mumifikazijazemjan. *Lesnaja Fitogija*: 130-131.
- CHIPLEY, J.R. (1980): Effects of Microwave on Microorganisms. *Applied Microbiology*, **129**: 129-145.
- CHMIELARZ, P. (1995): Cryopreservation of *Quercus robur* L. embryo axes. In: Prova, Z.; Vancura, K. (1995): Proceedings of the forest seed collection, treatment and workshop. Opatowitz, Czech Republic, May 4-8 1995, Forestry and Game Management Research Institute: 51-54.
- CHMIELARZ, P. (1997a): Resistance of embryo axes of *Quercus robur* L. to -196°C nitrogen. In: Wulf, A.; Schröder, T. (Bearb.) (1997): *Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten*. Paul Parey, München: 239.
- CHMIELARZ, P. (1997b): Frost resistance of *Quercus robur* L. acorns. In: Wulf, A.; Schröder, T. (Bearb.) (1997): *Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten*. Paul Parey, München: 76-81.
- CIESLAR, A. (1896): Versuche über die Aufbewahrung von Eicheln. *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*, **22**: 181-188.
- CIESLAR, A. (1923): Untersuchungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Herkunft des Saatgutes der Stieleiche. *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*: 97-149.
- CONCHE, J. (1996): Le traitement des graines d'arbres feuillus. *Arborescences*, **60**: 13-19.
- CONDair (1994): Firmenschrift Dampf-Luftbefeuchter condair LS Technische Information Montage- und Betriebsanleitung Münchenstein/Schweiz.
- CROCKER, R.L.; MORGAN, D.L.; LONGNECKER, M.T. (1987): Effects of Microwave Treatment of Live Oak Acorns on Germination and on *Curculio* sp. (Coleoptera: Curculionidae) Larvae. *Journal Econ. Entomol.*, **80** (4): 916-920.
- CUERO, R.G.; SMITH, J.E.; LACEY, J. (1986): The influence of gamma irradiation and sodium hypochlorite sterilization on maize seed microflora and germination. *Food Microbiology*, **3**: 107-113.
- D'AMATO, F. (1986): Spontaneous mutations and somatical variation. In: IAEA Nuclear techniques and in vitro culture for plant improvement. Proceedings of an international symposium on nuclear techniques and in vitro culture for plant improvement organized by the IAEA and the FAO and held at Vienna 19/23 August 1986: 3-10.
- DECAREAU, R.V. (1985): *Microwaves in the Food Processing*. Industrie Orlando Academic Press. INC.

- DEHNE, L.I.; BÖGL, K.W.** (1991): Möglichkeiten der Entkeimung von Gewürzen. *Bundesgesundheitsblatt*, (4): 166-168.
- DEHNE, L.I.; JURK, S.; ZAGON, J.; BÖGL, K.W.** (1991): Die Rolle des Kochsalzgehaltes bei der Mikrowellenerwärmung - Ein spezielles hygienisches Risiko. *Bundesgesundheitsblatt*, (8): 361-363.
- DEHNE, L.I.; FRITZ, P.; ZAGON, J.; BÖGL, K.W.** (1992): Isomerisierung von Aromastoffen durch Mikrowellenerhitzung. *Bundesgesundheitsblatt*, (9): 463-464.
- DELATOUR, C.** (1977): Recherche d'une méthode de lutte curative contre le *Ciboria na* (Zopf) Buchwald chez les glands. [Untersuchungen zu einer kurativen Method der Bekämpfung von *Ciboria batschiana* (Zopf) Buchwald an Eicheln]. *Eur.J.For.Path.*, (1): 200.
- DELATOUR, C.; MORELET, M.** (1979): La Pourriture Noire des Glands. [Black rot of chestnuts]. *Revue Forestière France (Nancy)*, **31** (2): 101-115.
- DELATOUR, C.; MULLER, C.; BONNET-MASIMBERT, M.** (1982): Progress in acorn storage in a long term storage prospect. In: Wang, B.S.P.; Pital, J.A. (ed.) (1982) Working Party on Seed Problems. Proceedings of the International Symposium on Tree Seed Storage. Sept. 23-27 1980 Petawa National Forestry Insitute Ontario Canadian Forestry Service. Minister of Supply and Services Canada, Catalogue No. 2/1980E: 126-133.
- DELAVAN, C.C.** (1915): The relation of the storage of the seeds of some of the hickories to their germination. Michigan Academy of Science, 17th Rep.: 161-163.
- DELFS-SIEMER, U.** (1993): Ergebnisse zur Thermotherapie von Eicheln und Buchen. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, **48** (18): 927-930.
- DERTINGER, H.; JUNG, H.** (1969): Molekulare Strahlenbiologie. Vorlesungen über die Wirkung ionisierender Strahlen auf elementare biologische Objekte. Springer.
- DIEHL, J.F.** (1990): Safety of Irradiated Foods New York. MARCEL DEKKER.
- DOHINO, T.; TANABE, K.; MASAKI, S.; HAYASHI, T.** (1996): Effects of Electromagnetic Irradiation on *Thrips palmi* Karny and *Thrips tabaci* Lindeman (Tysanoptera: Thripidae). *Res. Bull. Pl. Prot. Japan*, **32**: 23-29.
- DOMSCH, K.H.; GAMS, W.** (1980a): Compendium of soil fungi Vol. 1. Academic Press.
- DOMSCH, K.H.; GAMS, W.** (1980b): Compendium of soil fungi Vol. 2. Academic Press.
- DÖRFELT, H.** (1989): Lexikon der Mykologie. Gustav Fischer.
- DÖRFLINGER, H.** (1992): Struktur und Entwicklung des Marktes für forstliches Saatgut. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, **47** (5): 210-213.
- DOUGLAS, R.** (1888): Growing Deciduous Forest Trees from Seeds. Garden and Forest.
- DUBBEL, V.** (1989): Die Bedeutung des Bodenkontaktes für die Qualität des Buchenholzes. *Der Forst und Holzwirt*, (19): 512-516.
- DUBBEL, V.** (1992): Pilze an Bucheckern. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, **47** (12): 642-643.

- EDINGER, T.** (1997): Erfahrungen mit einer mobilen Kleinfahrertherapieanlage. In: A.; Schröder, T. (Bearb.) (1997): Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Situationsanalyse und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Paul Parey, Mitteilungen aus der Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 329: 74-75.
- EICKE, G.** (1983): Prognose der Waldsamenernte 1983. Allgemeine Forst Zeitschrift, **46** (10): 950-951.
- EICKE, G.** (1984): Das Blühen der Waldbaumarten 1984. Allgemeine Forst Zeitschrift, **47** (10): 888-889.
- EICKE, G.** (1985): Das Blühen der Waldbaumarten 1985. Allgemeine Forst Zeitschrift, **48** (33): 855-856.
- EICKE, G.** (1986): Das Blühen der Waldbaumarten 1986. Allgemeine Forst Zeitschrift, **49** (33): 812-814.
- EICKE, G.** (1987): Das Blühen der Waldbäume 1987. Allgemeine Forst Zeitschrift, **50** (10): 1005-1007.
- EICKE, G.** (1988): Das Blühen der Waldbäume 1988. Allgemeine Forst Zeitschrift, **51** (10): 901-903.
- EICKE, G.** (1989): Das Blühen der Waldbäume 1989. Allgemeine Forst Zeitschrift, **52** (10): 833-836.
- EICKE, G.** (1990): Das Blühen der Waldbäume 1990. Allgemeine Forst Zeitschrift, **53** (10): 811-814.
- EICKE, G.** (1991a): Das Blühen der Waldbäume 1991. Allgemeine Forst Zeitschrift, **54** (10): 858-861.
- EICKE, G.** (1991b): Keimhemmung bei Bucheckern und ihre Überwindung. Allgemeine Forst Zeitschrift, **46** (19): 976-981.
- EICKE, G.** (1992): Das Blühen der Waldbäume 1992. Allgemeine Forst Zeitschrift, **55** (10): 886-887.
- EICKE, G.** (1993): Das Blühen der Waldbäume 1993. Allgemeine Forst Zeitschrift, **56** (10): 916-917.
- EICKE, G.** (1994): Das Blühen der Waldbäume 1994. Allgemeine Forst Zeitschrift, **57** (10): 978-979.
- EICKE, G.** (1995): Das Blühen der Waldbäume 1995. Allgemeine Forst Zeitschrift, **58** (10): 958-959.
- EICKE, G.** (1996): Das Blühen der Waldbäume 1996. Allgemeine Forst Zeitschrift, **59** (10): 982-983.
- ELLIS, M.B.** (1971): Dermatiaceous hyphomycetes. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
- ELLIS, M.B.** (1976): More dermatiaceous hyphomycetes. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
- EPPO** (1987): Publications series B no 89. Workshop on fungicide-resistance testing methods, Changins (CH), 12-13 November 1986 Paris, European and Mediterranean Plant Protection Organization.

- ESFINO, R.R.C.; ZAMORA, A.D.; TIMENTEL, R.D. (1986): Mutation breeding on philippine fruit crops. In: IAEA (1986): Nuclear techniques and in vitro culture improvement. Proceedings of an international symposium on nuclear techniques and in vitro culture for plant improvement jointly organized by the IAEA and the FAO and held in Vienna 19/23 August 1986: 429-433.
- FARR, D.F.; BILLS, G.F.; CHAMURIS, G.P.; ROSSMAN, A.Y. (1995): Fungi on plant products in the United States [2.Aufl.]. APS Press.
- FAZ (D.K.) (1996): Für wurmige Eicheln kein Platz im Speicher. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 04.12.1996.
- FELIU, E. (1993): Physical and chemical seed treatment. In: FAO (Hrsgb.) (1993): Quality control for seed. FAO Paper 119: 221-228.
- FERRIS, R.S. (1984): Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil. *Journal of Phytopathology*, **74** (1): 121-126.
- FEY, B.S. (1981): Untersuchungen über Bau und Ontogenese der Cupula, Infloreszenz und Blüten sowie zur Embryologie bei Vertretern der Fagaceae und ihre Bedeutung für die Systematik. Inaugural Dissertation an der Philosophischen Fakultät II der Universität München.
- FINCH-SAVAGE, W.E. (1992): Embryo Water Status and Survival in the Recalcitrant Species *Quercus robur* L.: Evidence for Critical Moisture Content. *Journal of Experimental Botany*, **43** (250): 663-669.
- FINCH-SAVAGE, W.E.; BLAKE, P.S.; CLAY, H.A. (1996): Desiccation stress in recalcitrant *Quercus robur* L. seeds results in lipid peroxidation and increased synthesis of jasmonic and abscisic acid. *Journal of Experimental Botany*, **47** (298): 661-667.
- FINCH-SAVAGE, W.E.; CLAY, H.A.; BLAKE, P.S.; BROWNING, G. (1992): Seed dormancy in the Recalcitrant Species *Quercus robur* L.: Water Status and Endogenous Acid Levels. *Journal of Experimental Botany*, **43** (250): 671-679.
- FIORAVANTI, M.; RICCI, R. (1991): L'Impiego della tomografia computerizzata per la diagnostica densitometrica sul legno: Indagine sperimentale e risultati metodologici. *Annali dell'Istituto di Botanica e Silvicoltura della Accademia Italiana di Scienze Forestali*. Vol XL.
- FOFFOVA, E. (1992): The effect of higher temperatures and fungicides on the survival of *Ophiostoma* cultures and *Quercus robur* seeds. International Congress Recent Advances in Oak Decline Studies on Oak Decline. Salva di Fasano (Brindisi), Italy-September 13-18, 1992: 343.
- FRAHM, J. (1988): Wann entstehen Resistenzen? Neue Hinweise für Getreide. *Landwirtschaftliche Schutz-Praxis*, (1): 46-48.
- FRIEDRICH, G.; PREUßE, H. (1989): Obstbau in Wort und Bild. Eine Anleitung für den Hobbygärtner. Selbstversorger [4.Aufl.]. Neumann-Neudamm.
- FRIEDRICH, K. (1990): Untersuchungen zur Unterscheidung der Früchte von Stiel- und Nussbäume. beneiche München. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Maximilians-Universität München.
- FRIEDRICHS DORF, B. (1995): Neue Wälder für Schleswig-Holstein. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, **50** (8): 401-403.
- FÜRST, HERMANN V. (1907): Die Pflanzenzucht im Walde. [4. Aufl.]. Julius Springer.

- GAUSS, R.** (1977): Zur Massenvermehrung der Knoppengallwespe *Andricus quercus-burgsd.* im Jahre 1974 im Forstamt Stuttgart. Zeitschrift für angewandte Entomologie, **277-284**.
- GELTNER, F.I.** (1951): Methods for treatment of acorns with mycorrhizal fungus and for obtaining it [russ.]. Sovetskaya Agronomija, **9**: 54-62.
- GERLING, J.E.** (1987): Microwave Oven Power: A Technical Review. Journal of Microwave Power, **22**: 199-207.
- GETOFF, N.** (1989): Electron induced desinfestation of grain. Radiat. Phys. Chem., **995-998**.
- GILLE, K.; NOWAG, A.** (1995a): Ergebnisse der Lagerung von Eicheln nach dreijähriger Überwinterung. Allgemeine Forst Zeitschrift, **50** (18): 962.
- GILLE, K.; NOWAG, A.** (1995b): Bucheckerneinlagerung. Erfahrungen der FBS Oerrel. 1987. Allgemeine Forst Zeitschrift, **50** (18): 960-961.
- GILLE, K.** (1997): Erfahrungen mit der Thermotherapie an Stiel- und Traubeneicheln. Forstsaatgut – Beratungsstelle Oerrel. In: Wulf, A; Schröder, T. (Bearb.) (1997): Erzeugung und Lagerung von Eichensaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Paul Parey, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 329: 67-73.
- GÖDDE, M.** (1996): Erfahrungen mit der Saatguterntemaschine TONUTTI TR 211 in Bucheneichelnbeständen. Diplomarbeit im Fachbereich Forstwirtschaft der FH Hildesheim/Hildesheim.
- GOMMEL, H.J.** (1994): Umbau von Fichten-Beständen durch Buchen-Saat. Erfahrungen im Forstbezirk Albstadt. Allgemeine Forst Zeitschrift, **49** (10): 516-518.
- GORDON, A.G.; GOSLING, P.; WANG, B.S.P.** (Hrsgb.) (1991): Tree and shrub seed collection. ISTA –Handbook.
- GOSLING, P.G.** (1989): The effect of drying *Quercus robur* acorns to different moisture contents, followed by storage, either with or without imbibition. Forestry, **62**: 41-50.
- GOSLING, P.G.** (1996): Fungal pathogens during tree seed collection, processing, pretreatment, laboratory tests and nursery production. Vortrag Tree Seed Pathology Meeting Opcno 09.-11. Oct. 1996.
- GOTTFRIEDSEN, D.** (1989): Die forstliche Samenernte. Der Forst und Holzwirt, (15) **407**.
- GRADI, A.** (1986): Polnische Methode auch in Italien bewährt: Lagerung von Eicheln verschiedener Eichenarten. Allgemeine Forst Zeitung **40**: 990.
- GRAINGER, J.; SIMPSON, D.E.** (1950): Electronic Heating and Control of Seed-Borne Fungi. Nature, **165**: 532-533.
- GRONDEAU, C.; LADONNE, F.; FOURMOND, A.; POUTIER, F.; SAMSON, R.** (1992): A method to eradicate *Pseudomonas syringae* pv. *pisi* from pea seeds with heat treatments. Science and Technology, **20**: 515-525.
- GRÖNING, R.; JANSKE, U.** (1987): Keimzahlreduzierung durch Mikrowellen - mikrowellen-spezifische Effekte. Pharmazie, **42** (3): 167-168.

- GROVE, W.B.** (1937): British stem- and leaf-fungi Vol. II Sphaeropsidales and Mesomeriales. University Press.
- GRUNDNER, F.** (1901): Ein vergleichender Versuch über die Überwinterung von Samen. Allgemeine Forst und Jagdzeitung: 369-373.
- GRUNER, R.** (1994): Aufforstung in Europa. Der Wald, **44** (9): 308-311.
- GUTHKE, J.** (1992): Langzeitlagerung von Eichensaatgut. Dissertation am Fachbereich Biologie, Universität Hannover.
- GUTHKE, J.** (1993): Abhärtung von Eichensaatgut. Allgemeine Forst Zeitschrift, **932-933**.
- GUTHKE, J.; SPETHMANN, W.** (1997): Verbesserung der Lagerfähigkeit von Eichensaatgut durch kontrollierte Abhärtung. In: Wulf, A. ; Schröder, T. (Bearb.) (1997): Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Parey 1997, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 239: 97-106.
- HALMSCHLAGER, E., BUTIN, H., DONAUBAUER, E.** (1993): Endophytische Pilze in den Blättern und Zweigen von *Quercus petraea*. European Journal of Forest Pathology, (23): 5-10.
- HALVERSON, S.L.; PLARRE, R.; BURKHOLDER, W.E.; BIGELOW, T.S.; MISENER, M.E.** (1996): SHF and EHF microwave radiation as a pesticide alternative for stored grain. In: Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. 4.-6.Nov. 1996, Orlando: 55-1 - 55-4.
- HANKIN, L.; SANDS, D.C.** (1977): Microwave Treatment of Tobacco Seed to Eliminate Fungal Pathogens on the Seed Surface. Phytopathology, **67**: 794-795.
- HARRINGTON, J.F.** (1963): Practical instructions and advice on seed storage. Proc. Entomol. Test. Ass. **28** (4): 989-994.
- HARTIG, R.** (1897): Tödtung der Bucheckern im Winterlager durch *Mucor* spp. Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitschrift. **6** (9): 337-339.
- HASEL, K.** (1985): Forstgeschichte. Ein Grundriß für Studium und Praxis. Paul Parey, Berlin. Studententexte Nr. 48.
- HEGER, A.** (1990): Technologie der Strahlenchemie von Polymeren. Carl Hanser, München.
- HEINDL, A.** (1993): Mikrowellenunterstützte Vakuumkonvektionstrocknung. Entwicklung eines kombinierten Trocknungsverfahrens zur Verbesserung der Qualität getrockneter Lebensmittel. Dissertation an der Fakultät für Brauwesen, Lebensmitteltechnologie und Milchwissenschaften der Technischen Universität München.
- HEITEFUß, R.** (1975): Pflanzenschutz. Grundlagen der praktischen Phytomedizin. Thieme, Stuttgart.
- HESS. MINISTERIUM DES INNEREN UND FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTWESEN UND NATURSCHUTZ** (Hrsgb.) (1996): Wald in Hessen. Jahresbericht 1995 der Hessischen Landesforstverwaltung.
- HESS. MINISTERIUM DES INNEREN UND FÜR LANDWIRTSCHAFT, FORSTWESEN UND NATURSCHUTZ** (Hrsgb.) (1997): Richtlinien für die Bewirtschaftung des Staatswaldes in Hessen.
- HEYER, C.** (1906): Der Waldbau oder die Forstproduktenzucht. [5.Aufl.]. B.G. Teubner, Leipzig.



- HOFFMANN, D.; SCHRÖDER, H.** (1987): Ist eine mehrjährige Einlagerung von Eichen möglich? Unveröffentlichtes Manuskript der NFV Abt. C.
- HOFFMANN, G.M.; NIENHAUS, F.; SCHOENBECK, F.; WELTZIEN, H.C.; WILBE** (1985): Lehrbuch der Phytomedizin [3.Aufl.]. Paul Parey.
- HOLMES, G.D.; BUSZEWICZ, G.** (1955): Longevity of acorns with several storage m Forestry Commission: 88-94.
- HOLTEN, A.** (1920): Toaarig Opbevaring af Agern. [Zweijährige Aufbewahrung v cheln]. Skovforenings Tdsskr. **5**: 191-198.
- HÖRSTEN, D. v.** (1994): Einsatz von Mikrowellenenergie und anderen thermischen Ve zur Abtötung von *Fusarium culmorum* in Winterweizensaatgut. Dissertation am Ins Agrartechnik der Georg-August-Universität Göttingen.
- HÖRSTEN, D. v.; LÜCKE, W.; WOLF, G.** (1994): Abtötung von *Fusarium culmorum* i terweizensaatgut mit Mikrowellenenergie. In: Mitteilungen aus der Biologischen E anstalt für Land- und Forstwirtschaft. 49. Deutsche Pflanzenschutztagung., Heft 30 Parey: 68.
- HUBERT, K.** (1974): Saatgutbeizung und sonstige Methoden der Saatgutbehandlu Klinkowski, M.; Mühle, E.; Reimuth, E.; Bochow, H. (Hrsgb.) (1974): Phytopat und Pflanzenschutz. [Bd. 1; 2. Aufl.]. Akademie Verlag: 553-576.
- ICGFI** (1995): Facts about Food Irradiation. CTP Book Printers Ltd. A series of Fact from the International Consultative Group on Food Irradiation.
- INSTITUT FÜR WALDBAU, ABTEILUNG FÜR WALDBAU DER TROPEN NATURWALDFORSCHUNG, GÖTTINGEN** (Hrsgb.) (1992): Die einheimischen und v sten fremdländischen Baumarten.
- ISTA** (Hrsgb.) (1987): ISTA Handbook on seed health testing. Working sheet No. 63 spp., *Caloscypha fulgens* (Pers.) Boud.
- ISTA** (Hrsgb.) (1993): Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut. Seed S and Technology, Vol. 21, Supplement 2.
- JADUE, Y.; VARGAS, C.; ARAYA, J.E.; RUBIO, T.** (1997): Preliminary evaluation of i radiation as a quarantine treatment for the false grape mite, *Brevipalpus chilensi*. schrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, **104** (3): 222-230.
- JANDEL CORPORATION** (1995): Sigma Stat Statistical Software Version 2.0 for Wind User's Manual.
- JANSON, L.** (1979): Przechowywanie Zoledzi Dluzej Niz Jeden Rok. [Aufbewahrung Eicheln länger als ein Jahr]. Prace Instytutu Bagdawczego Lesnictwa. ISBN 83-09-6.
- JESKE, A.** (1978): Pflanzenschutztechnik. Akademie Verlag.
- JONES, E.W.** (1958): The storage of acorns in water. Forestry, **31**: 163-166.
- JÜTTERSCHENKE, P.** (1997): Hochfrequenzerwärmung: eine umweltfreundliche Meth Holz-Bautenschutz. Firmenschrift Arbes-Umwelt GmbH Berlin:
- KAPPENBERG, K.** (1994): Erstellung einer exemplarischen Vergleichsstudie für sowohl Computertomographie- als auch für Wasserverdrängungsmethode ermittelte Dicl

- KEHR, R.D.; SCHRÖDER, T.** (1997): Long-term storage of oak seeds – new methods and mycological aspects. In: ISTA (Hrsgb.) (1997): Proceedings of the ISTA Tree Pathology Meeting. Opocno, Czech Republic, October 9-11, 1996: 50-61.
- KING, M.W.; ROBERTS, E.H.** (1980): A strategy for future research into the storage of recalcitrant seeds. In: Chin, H.F. (Hrsgb.) (1980): Recalcitrant crop seeds. Kuala Lumpur: Malayan Forest Dept. Press: 90-110.
- KLEINSCHMIT, J.** (1976): Untersuchungen über Fallzeitpunkt und Eichelgewichte von Stieleiche und Traubeneiche. Fortschritte des forstlichen Saatgutwesens III. Mitteilungen der Landesforstverwaltung (14): 52-63.
- KLEINSCHMIT, J.; SVOLBA J.** (1979): Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, **150** (6): 111-120.
- KLEINSCHMIT, J., STEINHOFF, S.** (1996): Pflanzenbedarf und Kampfwirtschaft. Referat zum betriebswirtschaftlichen Seminar am 28.02.1996 in Münchehof.
- KLEINSCHMIT, J.R.G.; Bracilieri, R.; Kremer, A.; Roloff, A.** (1995a): Comparative morphological and genetic traits of pendunculate oak (*Q. robur* L.) and sessile oak (*Q. petraea* (MATT.) LIEBL.). *Silvae Genetica* 44: 255-269.
- KLEINSCHMIT, J.R.G.; Kremer, A.; Roloff, A.** (1995b): Sind Stieleiche und Traubeneiche zwei getrennte Arten? *Allgemeine Forst Zeitschrift* **50** (26): 1453-1456.
- KNAPPE, U.** (1997): Optimierung der Wirkzone einer neuen Anlage zur Behandlung von Saatgut mit niederenergetischen Elektronen. Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahlentechnik, Dissertation, unveröffentlicht.
- KNUDSEN, H.G.** (1993): Acorns and beechnuts- handling and storage at the tree improvement station in denmark. In: Anonymus (1993): Internationales Symposium über Forstwissenschaften 8.-11.06.1993 Munster/Uelzen Uelzen. Proceedings: 131-144.
- KOCH, E.; ELLNER, F.** (1994): Gemeinsamer Reisebericht über die 3. Konferenz der European Foundation for Plant Pathology (EFPP) vom 5.-9. September in Poznan. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Braunschweig, unveröffentlicht.
- KORSTIAN, C.F.** (1930): Acorn Storage in the Southern States. *Forestry*, **28** (6): 858-864.
- KOWALSKI, T.; KEHR, R.D.** (1992): Endophytic fungal colonization of branch bases in several forest tree species. *Sydowia*, **44**: 137-168.
- KOWALSKI, T.; KEHR, R.D.** (1996): Fungal endophytes of living branch bases in European tree species. In: Redlin, S.; Carris, L.M. (ed.) (1996): Endophytic fungi: ecology and woody plants. APS Press: 67-86.
- KOZŁOWSKA, C.** (1970): [Investigations on fungi occurring on oak and birch fruit and larch seeds.] *poln. Prace Instytutu Badawczego Lesnictwa* (386): 10ff.
- KRAHL-URBAN, J.** (1959): Die Eichen. Forstliche Monographie der Traubeneiche und Stieleiche. Paul Parey.
- KREISEL, H.; SCHAUER, F.** (1987): Methoden des mykologischen Laboratoriums. Fischer.

- KYRIAKOPOULOU, I.E. (1995): Elimination of infection from variable seed germplasm. In: Mather, S.B.; Manandhar, H.K. (1993): Quarantine for seed. Proceedings of the workshop on Quarantine for Seed in the Near East, held at the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syrian Arab Republic, 2 to 9 November 1991: 229-246.
- LANGE, K. (1993): Pflanzenschutz in Saatbeeten. Pflanzenschutz-Warndienst der Akademie für Pflanzenschutz im Amt für Land- und Wasserwirtschaft Itzehoe.
- LEISTER, W.; BÖGL, K.W. (1988): Veränderungen von Lebensmitteln durch Strahlungsbehandlung im Vergleich mit herkömmlichen Behandlungsverfahren. Bundesgesundheitsblatt, **31**, 8, S. 290-303.
- LERMER, G. (1997): Erfahrungen eines landwirtschaftlichen Betriebs bei der Aufforstung von Ackerflächen. Der Forst und Holzwirt, **52** (17): 490-493.
- LEROUX, P.; DESCOTES, A. (1996): Resistance of *Botrytis cinerea* to fungicides and strategies for its control in the champagne vineyards. In: BCPC (Hrsgb.) (1996): Brighton Protection Conference Pests & Diseases 1996 Volume 1: 131-136.
- LINDNER, K. (1992): Untersuchungen zur phytosanitären Wirkung einer Behandlung von Winterweizensaatgut mit niederenergetischen Elektronen. Dissertation an der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der Humboldt-Universität zu Berlin.
- LINDNER, K.; JAHN, M.; BURTH, U. (1992): Saatgutbehandlung auch mit Elektronen? Pflanzenschutz-Praxis, (2): 22-23.
- LINDNER, K.; JAHN, M.; BURTH, U.; GABER, K.; PFLAUMBAUM, J. (1991): Saatgutbehandlung mit niederenergetischen Elektronen - zur Entwicklung eines neuen physikalischen Beizverfahrens für Winterweizen. Gesunde Pflanze, **43** (8): 249-252.
- LITTKE, W. (1997): Seed Pathogens and Seed Treatments. In: Landis, T.D.; Soule, R.L. (Hrsgb.) (1997): National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Association 1996. Evolution of the Target Seedling Portland, USDA General Technical Report GTR-389: 187-191.
- LOAHARANU, P. (1995): Acceptance and application of irradiation as a quarantine treatment of fresh fruits and vegetables. In: NAPPO (1995): The application of Irradiation Technology as a Quarantine Treatment Orlando 1995 Bulletin No. 13 Proceedings of the 13th Colloquium on The Application... October 19-20, 1994: 6-20.
- LÖFFLER, J. (1988): Gefährden die Immissionen die Fortpflanzung unserer Wälder? Forstliche Zeitschrift, **43** (33): 916-918.
- LOHMANN, U. (1995): Holz Handbuch [4.Aufl.]. DRW-Verlag.
- LOZAN, J.L. (1992): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. Paul Parey, München, Studentexte Nr. 74.
- LÜCKE, W. (1992): Mikrowellenbehandlung pflanzlicher Produkte. Habilitationsschrift, Institut für Agrartechnik, Göttingen, unveröffentlicht.
- LÜDEMANN, G. (1993): Modernste Gesichtspunkte aus Schleswig-Holstein: Anlaufbedingungen und Pflege von Erstaufforstungen. Allgemeine Forst Zeitschrift, **48** (5): 210-214.

- BCPC Monograph No 57 Nottingham Major Design & Production Ltd 1994 Proceedings of a symposium organised by The BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL Pesticide Group of the Society of Chemical Industry and held at the University of Canterbury on 5-7 Jan. 1994: 293-303.
- MALLA, D.S.; DIEHL, J.F.; SALUNKHE D.K.** (1967): In vitro Susceptibility of *Penicillium viridicatum* and *Aspergillus flavus* to  $\gamma$ -Irradiation. *Experientia*, **23**: 493.
- MALONE, J.P.; MUSKETT, A.E.** (1997): Seed-borne fungi. Description of 77 fungi [3. ed.]. ISTA.
- MANTEUFFEL, H.E. v.** (1874): Die Eiche, deren Anzucht, Pflege und Abnutzung. In: meinender Rathgeber für Eichenzüchter und solche die es werden wollen. An der Buchhandlung.
- MARTIN, H.** (1967): Die wissenschaftlichen Grundlagen des Pflanzenschutzes. Verlag Chemie.
- MARTINCOVA, J.; JURASEK, A.; HRABI, L.** (1995): Influence of air pollution on seed quality. In: Prochazkova, Z.; Vancura, K. (1995): Proceedings of the forest seed collection and storage workshop. Opatowitz, Czech Republic, May 4-8, 1995 Jiloviste and Game Management Research Institute: 45-50.
- MAUDE, R.B.** (1996): Seedborne Diseases and Their Control. Cambridge University Press, CAB International (Hrsgb.).
- MEN, S.** (1976): Recherches sur la biologie, la morphologie et les moyens de lutte contre l'agent de la pourriture noire des glands: le *Ciboria batschiana* (Zopf) Buchwald. Thèse de docteur Université de Nancy.
- MESSER, H.** (1951): Überwinterung von Eicheln und Bucheln. J.D.Sauerländer's Verlag.
- MESSER, H.** (1960): Die Aufbewahrung und Pflege von Eicheln und Bucheln [3. Aufl.]. Sauerländer's Verlag.
- MEYER, J.** (1987): Plant Galls and Gall Inducers. Gebrueder Borntraeger.
- MIDDELMANN, D.** (1997a): Versuche zur Langzeitlagerung von Traubeneicheln. *Forst Zeitschrift*, (18): 957.
- MIDDELMANN, D.** (1997b): Versuche zur Optimierung der Thermotherapie zur Langzeitlagerung von Eicheln der Traubeneiche *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. Diplomarbeit im Bereich Forstwirtschaft der Fachhochschule Eberswalde.
- MODLICH, G., WEBER, H.** (1993): Vergleich verschiedener Verfahren zur Gewinnung von Fleisch. *Fleischwirtschaft*, **73** (3): 337-343.
- MORE, H.G.; MAGAN, N.; STENNING, B.C.** (1992): Effect of microwave heating on the mycoflora of sorghum grain. *J. stored Prod. Res.*, **28** (4): 251-256.
- MOSER, W.G.** (1757): Grundsätze der Forst-Oeconomie. Verlag Ben Heinrich Brönnert.
- MUDGETT, R.E.** (1982): Electrical properties of foods in microwave processing. *Food Technology*, **36**: 109-115.

- MÜNZER, R.** (1969): Über einige die Strahlenempfindlichkeit von Schimmelpilzen beeinflussende Faktoren. *Archiv für Mikrobiologie*, **64**: 349-356.
- MÜNZER, R.; DIEHL, J.F.** (1969): Untersuchungen über die Strahlenempfindlichkeit von Kulturen, die mit Elektronen bestrahlter Kulturen von *Aspergillus flavus* und *Penicillium viticola*. *Lebensm.-Wiss. u. Technol.*, **2**: 44-4.
- MUNZERT, M.** (1992): Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Paul Parey Studientexte 71.
- NAG RAJ, T.R.** (1993): Coelomycetous anamorphs with appendage-bearing conidia. *Journal of the Royal Microscopical Society*, **113**: 1-10. London: Edward Brothers.
- NATZKE, E.** (1996): Die Lagerung von Eicheln - ein weiterhin ungelöstes Problem. *Forst und Holzwirt*, **51** (6): 180-183.
- NATZKE, E.** (1997): Die Lagerung von Eicheln - Situation, Versuche, Ausblick. In: *Forstliche Holztechnologie*, **8**: 1-10. Hrsg. von A. Schröder, T. (Bearb.) (1997): Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Schriftenreihe und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Paul Parey, Mitteilungen aus der Bundesforschungsanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 329: 53-66.
- NEERGAARD, P.** (1977): Seed Pathology [Bd. 1+2]. Unwin Brothers limited.
- NELSON, S.O.; RUSSEL, R.B.** (1986): Models for estimating the dielectric constants of wheat, corn, soybeans, and soyabean. *Journal of Microwave Power*, **21**: 110-112.
- NEMKY, E.** (1964): Einfluß des Wassergehaltes der Eichel auf ihre Frostempfindlichkeit und auf den Beginn der Keimung. *Ungarische Forstwissenschaftliche Umschau*: 135-157.
- NEUMANN, M.** (1982): Versuche zur Methodik für das Röntgen von Forstsaatgut ohne Kontrastmittel. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN** (1994): Leitlinien für die ständige, ökologische Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten. *Rechtsverordnung* vom 5.5.1994 - 403/406 F 64210-56.1 - VORIS 79 100 00 00 60 043.
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG** (Hrsgb.) (1982): Merkblatt Nr. 14: Hinweise zur Bestandesbegründung von Stiel- und Traubeneiche.
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG** (Hrsgb.) (1997): Merkblatt Nr. 3: Hinweise zur Bestandesbegründung von Stiel- und Traubeneichenbeständen.
- NIETHAMMER, A.; TIETZ, N.** (1961): Samen und Früchte des Handels und der Industrie. *Forstliche Holztechnologie*, **2**: 1-10. Hrsg. von Cramer.
- NOBLE, M.** (1957): Transmission of plant pathogenes by seed. In: Horton-Smith, C. (Hrsgb.) *Biological aspects of the transmission of disease*. Oliver & Boyd Edinburgh: 81-85.
- NOBLE, M.** (1971): Seed Pathology. In: Western, J.H. (Hrsgb.) (1971): *Diseases of Forest Trees*. Macmillan Press LTD: 21-36.
- NOVAK, V.; HROZINKA, F.; STARY, B.** (1989): Atlas schädlicher Forstinsekten. [4. Aufl.]. *Forstliche Holztechnologie*, **10**: 1-10. Hrsg. von Enke.
- OELKERS, J.** (1913): Stiel- und Traubeneichel. Eine variationstatistische Untersuchung. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen*, **45**: 18-45.

- ORLICH-LUHARDT, A.** (1980): Biologie, Erkennung und Bekämpfung der Umfarrung. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung Nr 3.
- OTTO, H.-J.** (1992): Langfristige ökologische Waldentwicklung: Ökologische Grundlagen des Regierungsprogramms. Allgemeine Forst Zeitschrift, **47** (11): 566-568.
- OTTO, H.-J.** (1994): Die Auswirkung waldbaulich-ökologischer Zielsetzungen auf den Flächenbedarf. Der Wald, Berlin, **44** (9): 294-299.
- PAMMENTER, N.W.; BERJAK, P.; FARRANT, J.M.; SMITH, M.T.; ROSS, G.** (1994): Do stored hydrated recalcitrant seeds die? Seed Science Research, (4): 187-191.
- POLYMERPHYSIK** (Hrsgb.) (1991): Dosismeßgerät für sehr dünne Folien. Firmenscheinungen. Aus: „A new radiochromatic thin-film dosimeter system“ 6th Intern. Meeting on Radiation Processing 31. Mai - 5. Juni 1987, Ottawa/Ontario, Canada; Rad.Phys. (31): 491-496.
- POTLAICHUK, V.I.** (1953): Vrednaja mikroflora zeludej jejo iymenenige v zasisebnich uslovija proyrastanija i chramenija. [Harmful mycoflora of acorns and its development relation to grow and storage condition]. Botaniceskij zurnal (russ), **38**: 135-142.
- POULSEN, K.M.** (1992): Seed Storage Physiology of Recalcitrant Acorns from Pedunculata Oak (*Quercus robur* L.) and Orthodox Nuts from the European Beech (*Fagus sylvatica* L.). Diss. Department of Agricultural Sciences Section of Horticulture The Royal Veterinary and Agricultural University Frederiksberg Denmark.
- PRENEY, S.** (1994): Vertragsangebot zur Lohnlagerung von Eicheln im Forest Seed Centre, Joux, Frankreich.
- PROCHAZKOVA, Z.** (1995): Mykoflora zaludu (Literarni prehled). [Mycoflora of acorns (literature review)]. Zpavy Lesnickeho Vyzkumu (tschechisch), (1): 3-5.
- PULS, A.; JAHN, M.** (1997): Erste Ergebnisse zur Wirkung niederenergetischer Elektronen gegen samenbürtige pilzliche und bakterielle Pathogene an Gemüsesaatgut. Phytomedizinische Mitteilungen der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft e.V., **27** (3): 22.
- RAHTE, I.** (1995): Die Anzucht der Eiche in der Baumschule. In: KWF (Hrsgb.) Pflanzenbedarf-Pflanzenanzucht-Pflanztechnik. Dokumentation der KWF-Arbeit vom 31. Mai bis 1. Juni 1994 in Friedrichsroda/Thüringen: 78-82.
- RASSOW, J., REICH, H., TRIER, J.O.** (1990): Teilchenbeschleuniger für Anwendung in der Medizin. In: Reich, H. (Hrsgb.) (1990): Dosimetrie ionisierender Strahlung. B.G. Teubner, 155.
- RAVEN, H.; EVERT, F.; CURTIS, H.** (1988): Biologie der Pflanzen [2. Aufl.]. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1000 S.
- RAYCHAUDHURI, S.P.; VERMA, J.P.** (1977): Therapy by heat, radiation and meristemectomy. In: Horsfall, J.G.; Cowling, E.B. (1977): Plant Disease. An advanced treatise. Volume 1. How disease is managed. New York Academic Press: 177-189.
- REHM** (1896): Dr. L. Rabenhorts Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. III. Abtheilung Ascomyceten.
- REICH, H.** (Hrsgb.) (1990): Dosimetrie ionisierender Strahlung. B.G. Teubner.
- REICHWALDT, G.** (1997): Arbeit intensiviert – trotz Fehlernte. Neues von der fsb – Forstgutberatungsstelle. Waldinformation (1): 7-9.

- RICHARDSON, M.J.** (1979): An Annotated List of Seed-Borne Diseases [5. Ed.].
- ROBERTS, E.H.** (1973): Predicting the storage life of seeds. *Seed Science and Technology* (1): 499-514.
- RÖDER, O.; KNAPPE, U.** (1997): In: Wulf, A.; Schröder, T. (Bearb.) (1997): *Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten*. Parey 1997, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 239: 46-52.
- RHODES, D.J.; POWELL, K.A.** (1994): Biological seed treatment-the development of a new technology. In: Martin, T. (Hrsgb.) (1994): *Seed Treatment: Progress and Prospects*. BCPC Monograph No 57. Nottingham Major Design & Production Ltd, Proceedings of a symposium organized by The BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL; and the Pesticide Group of the Society of Chemical Industry and held at the University of Kent, Canterbury on 5-7 October 1994: 303-310.
- ROEST, T.** (1996): Eikels behandeln met warm water. *De Boomkwekerij*, (45): 24-25.
- ROHMEDER, E.** (1972): *Das Saatgut in der Forstwirtschaft*. Paul Parey.
- RÖHRIG, E.** (1980): *Waldbau auf ökologischer Grundlage. Bd. I: Der Wald als Ökosystemtyp und seine Bedeutung für den Menschen* [5.Aufl.]. Paul Parey.
- RÖHRIG, E.; GUSSONE, H.A.** (1990): *Waldbau auf ökologischer Grundlage. Bd.II: Bodenwahl, Bestandesbegründung und Bestandespflege* [6.Aufl.]. Paul Parey.
- RÖMPP, H.** (1950): *Chemie Lexikon* [Bd.2; 2.Aufl.]. Franck'sche Verlagsbuchhandlung.
- ROSENAUER, M.** (1994): Edellaubholz aus Voraussaat unter reiner Fichte. 15 Jahre Ergebnisse im Forstamt Münsingen. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, **49** (10): 515-518.
- ROSENBERG, U.; BÖGL, W.** (1982): Der Einfluß der Mikrowellenerhitzung auf den Keimgehalt von Lebensmitteln. *Fleischwirtschaft*, **62** (9): 1182-1187.
- ROSENBERG, U.; BÖGL, W.** (1984): Keimreduktion in Lebensmitteln durch Mikrowellenerhitzung. *Bundesgesundheitsblatt*, **27** (7): 206-214.
- ROSSMAN, A.Y.; PALM, M.E.; SPIELMAN, L.J.** (1990): *A literature guide for the identification of plant pathogenic fungi*. APS Press.
- SACHS, L.** (1992): *Angewandte Statistik* [7. Aufl.]. Springer Verlag.
- SANFTLEBEN, H.** (1996): *Thermotherapie und Trocknung von Gehölzsaaten*. Deutsche Forstliche Hochschule, Sonderdruck 1996.
- SARAVACOS, G.D.; HATZIPETROU, L.P.; GEORGIADOU, E.** (1962): Lethal doses of gamma radiation of some fruit spoilage microorganisms. *Food Irradiation*, **3** (1/2): A6-A9.
- SAURA CALIXTO, F.; CANELLAS, J.; GARCIA-RASO, J.** (1983): Determination of Hemicellulose, Cellulose and Lignin Contents of Dietary Fibre and Crude Fibre of Several Plant Hulls. Data Comparison. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, **200**-202.
- SCHÄFER-WILDENBERG, B.** (1994): Mykorrhiza-Impfung bei der Aussaat. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, **49** (18): 984.
- SCHAEFFER, R.J.** (1994): The seed industry's view on biological seed treatment. In: Martin, T. (Hrsgb.) (1994): *Seed Treatment: Progress and Prospects*. BCPC Monograph No 57.

- SCHENK, W.** (1994): Eichelmastdaten aus 350 Jahren für Mainfranken - Probleme und Ansätze für umweltgeschichtliche Interpretationen. Allgemeine Forstzeitung, **165**: 122-132.
- SCHILLER, S.; HEISIG, U.; PANZER S.** (1995): Elektronenstrahltechnologie. [Nachdruck 1. Auflage 1977]. Verlag Technik GmbH.
- SCHLEGEL, R.** (1997): Krise bei den Forstbaumschulen. Der Holzmarkt erfordert Flächennutzung Marketing bei Forst und Holz. Allgemeine Forst Zeitschrift, (18): 985-987.
- SCHÖNBORN, A.V.** (1964): Die Aufbewahrung des Saatgutes der Waldbäume. BLV Verlagsgesellschaft.
- SCHRÖDER, T.** (1994): Der Einsatz chemischer Beizmittel in Forstbaumschulen. unveröffentlichter Forschungsbericht.
- SCHRÖDER, T.** (1997): Integriertes Verfahren zur Behandlung und Lagerung von Saatgut. In: Wulf, A ; Schröder, T. (Bearb.) (1997): Behandlung und Lagerung von Saatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Paul Parey, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 329: 33-41.
- SCHUBERT, H.; GRÜNEWALD, T.** (1983): Wärmequellenverteilung in Modellkörpern bei Mikrowellenerhitzung. Chemie-Ingenieur-Technik, **55** (7): 553-555.
- SCHUBERT, J.** (1992): Samenphysiologie – Keimung. In: Lyr, H.; Fiedler, H.J.; Trautwein, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer: 319-340.
- SCHULTE, U.** (1995): Bestrahlung von Lebensmitteln. Der Fachberater, (4): 215-227.
- SCHURAWLEW, I.I.; SOKOLOV, D.W.** (1969): Mumifikacija Icheludee duba. Lesnaja Biologija: 150-152.
- SCHÜTT, P.; SCHUCK, H.J.; STIMM, B.** (1992): Lexikon der Forstbotanik. ecomed.
- SCHWANTES, H.O.** (1996): Biologie der Pilze: eine Einführung in die angewandte Mykologie. Eugen Ulmer.
- SCHWAPPACH, A.** (1886): Handbuch der Forst- und Jagdgeschichte Deutschlands. 2 Bände.
- SCHWENKE, W.** (1974): Die Forstschädlinge Europas. Bd. 2, Paul Parey.
- SCHWENKE, W.** (1982): Die Forstschädlinge Europas. Bd. 4, Paul Parey.
- SCHWERDTFEGER, F.** (1943): Die Waldkrankheiten. Ein Lehrbuch der Forstpathologie des Forstschutzes. [1. Aufl.]. Paul Parey.
- SCHWERDTFEGER, F.** (1961): Das Eichenwickler-Problem. Auftreten, Schaden, Lebensweise, Wechsel und Möglichkeiten von *Tortrix viridana* L. in Nordwestdeutschland. Landwirtschaftsverlag GmbH, Forschung und Beratung Reihe C, Wissenschaftliche Beiträge, Diskussionsbeiträge, Heft 1, Landesausschuß für landwirtschaftliche Forschung, Beratung, und Wirtschaftsberatung beim Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.).
- SCHWERDTFEGER, F.** (1981): Die Waldkrankheiten. Ein Lehrbuch der Forstpathologie des Forstschutzes. [4. Aufl.] Paul Parey.
- SEMENKOWA, I.G.** (1959): [Some data on the mycoflora of acorns of different origin]. Proc. Timirjazyevs Agr. Acad. Sci. (USSR), (48): 105-108.



- konst. 4. O.KOV. 1996, Orlando: 541-542.
- SOKOLOV, D.W.** (1955): Mumifikacija dubowix scheludee (russ.). Lesnaja Fitopatologia: 168-170.
- SOKOLOVA, E.S.; SEMENKOWA, I.G.** (1981): Mumifikacija scheludee duba (russ.) Lesnaja Fitopatologija: 164-165.
- SOMMER, F.** (1994): KWF-Arbeitstagung Pflanzenbedarf – Pflanzenanzucht – Pflanztagung 31. Mai und 1. Juni 1994 in Friedrichsroda/Thüringen. Der Wald, Berlin, **44** (9): 292-300.
- SPARROW, A.H.; ROGERS, A.F. SCHWEMMER, S.S.** (1968): Radiosensitivity studies on woody plants - I Acute gamma irradiation survival data for 28 species and prediction for 190 species. Rad. Bot., (8): 149-186.
- SPETHMANN, W.** (1995): Optimierung der Eichen-Saatgutbehandlung bei Ernte und Lagerung. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland Pfalz (34): 244-255.
- SPICHER, G.** (1990): Die Haltbarmachung von Backwaren durch thermische Verfahren. Lebensmitteltechnologie und Backwaren, (6): 188-193.
- SPRENG, H.** (1973): Mikrowellen in der Lebensmittelbereitung. Lebensm.- Wiss. u. Technol., **6** (3): 77-85.
- STAATSDARRE WOLFGANG** (Bearb.) (1988): Ernte und Überwinterung von Eichel- und Bucheckern [2.Aufl.]. Hessische Landesforstverwaltung (Hrsgb.), Merkblatt 14.
- STATISTISCHES BUNDESAMT** (1997): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Fachserie 3, 3.1.7 Landwirtschaftliche Bodennutzung – Baumschulen, Baumschulflächen und Buchenbestände – 1997.
- STEINHOFF, S.** (1993): Untersuchungen zur Einlagerung von Eicheln in Escherode. Der Forst- und Holzwirt, **48**, (7): 192-197.
- STOLZ, W.** (1972): Strahlensterilisation. Johann Ambrosius Barth.
- SUSZKA, B.** (1979): Die Aufbewahrung der Eicheln und Bucheln. Proceedings Fedération Internationale de Semences. "Rolimpex" Warszawa, 04.-05. April 1979.
- SUSZKA, B.** (1982): Storage conditions for woody plant seed with a high water content. Wang, B.S.P.; Pital, J.A. (Bearb.) (1982): IUFRO Working Party on Seed Production. Proceedings of the International Symposium on Forest Tree Seed Storage. Sept. 1980 Petawa National Forestry Institute Ontario, Canada Canadian Forestry Service, Minister of Supply and Services Canada 1982, Catalogue No. F018-2/1980E: 161-177.
- SUSZKA, B.; MULLER, C.; BONNET-MASIMBERT, M.** (1996): Seeds of forest broadleaved trees: storage techniques and practices. Paris INRA.
- SUSZKA, B.; TYLKOWSKI, T.** (1982): Storage of acorns of the northern red oak (*Quercus borealis* Michx. = *Q. rubra* L.) over 1 - 5 winters. In Arboretum Kornickie: 253-303.
- SUSZKA, J.** (1997): Das Vorkommen von *Ciboria batschiana* (*Sklerotinia pseudotuberosa*) auf Eicheln der Stiel- und Traubeneiche in Polen. In: Wulf, A ; Schröder, T. (B.) (1997): Behandlung und Lagerung von Eichensaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Paul Parey, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 329: 11-17.

- SUTHERLAND, J.R.; MILLER T.; QUINARD, R.S.** (1987): Cone and Seed Diseases of American Conifers. North American Forestry Commission (NAFC) Publication N 1 (Hrsg.).
- SUTTON, B.C.** (1980): The Coelomycetes. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- THIESE** (1906): Exkursionseindrücke von der VI. Hauptversammlung des D. Forstvereins zu Darmstadt. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, **38**: 542-553.
- THÜRINGER LANDESFORSTVERWALTUNG** (1992): Ernte und Überwinterung von Eichen-Bucheckern. Druckerei Fortschritt., Ministerialforstabteilung Thüringen (Hrsgb.) Nr. 1.
- TRAUTMANN, L.** (1996): Saatkultur für Unterbau und Freifläche. Allgemeine Forstwirtschaft, **51**, (17): 942-943.
- TURCHETTI, T.** (1982): Antagonism of some *Bacillus* species to a *Rhizoctonia solani* isolate and its effect on the germination of *Pinus nigra* Arn. seed. European Journal of Forest Pathology, **12**: 36-41.
- TYLKOWSKI, T.** (1977): Cold storage of *Quercus robur* L. acorns in an atmosphere of low content of CO<sub>2</sub> and a reduced O<sub>2</sub> level. Arboretum Kornicki: 275-283.
- TYLKOWSKI, T.** (1982): Height increment of 1-year shoot of the English oak (*Quercus robur* L.) and the northern red oak (*Quercus borealis* Michx.=*Quercus rubra* L.) on 4-year roots of seedlings raised from acorns stored over 1-5 winters. In Arboretum Kornicki: 365.
- UPADHYAY, H.P.** (1981): A monograph of *Ceratocystis* and *Ceratocystiopsis*. Athyria University of Georgia Press.
- UROSEVIC, B.** (1957): Mykoflora skadovanych zaludu [Mykoflora an gelagerten Eichen (tschechisch). Pflanzenschutz-Praxis: 149-200.
- UROSEVIC, B.** (1959): Die Einwirkung der Schädlinge und Pilzkrankheiten auf die Ernte der Eicheleernte. Communicationes Instituti Forestalis, **1**: 39-54.
- UROSEVIC, B.** (1961): Mykoflora zaludu v obdobi doravani sberu a skladovani (tschechisch). Lesnicka prace, **21**: 82-203.
- UROSEVIC, B.** (1962): Diseases of Acorns Found in Czechoslovakia. Proceedings of the 5th World Forestry Congress 5. Feb. 1962.
- UROSEVIC, B.** (1964): More Important Seed-Borne Diseases of Czechoslovak Forests. FAO/IUFRO Symposium on Internationally Dangerous Forest Diseases and Insect Pests, London, 20-30 July 1964.
- USDA** (Hrsgb.) (1997): Biologically Controlling Soilborne Pests: A Research Report on Methyl bromide alternatives. **3** (1): 1.
- VAARTAJA, O.** (1956): Screening fungicides for controlling damping-off of tree seedlings. Phytopathology **46**: 387-390
- VENNEN, H.** (1994): Wärme durch Rotation. Hoechst High Chem Magazin, **16**: 21-23
- VIENNOUT-Bourgin, G.** (1949): Les champignons parasites des plantes cultivées. M. P. C<sup>ie</sup> Éditeurs.

- VOLGER, C.** (1959): Erfahrungen mit fungiziden Beizmitteln, Präparaten zur Keimhandlung und Bodendesinfektionsmitteln im Koniferen-Saatbeet. Forstarchiv, **30** 30.
- VOLGER, C.** (1959): Versuche über Abwehr und Bekämpfung von Keimlingsmyk Koniferen. Forstarchiv, **30** (2): 30-34.
- VOZZO, J.A.** (1984): Insects and fungi associated with acorns of *Quercus* sp. In: Proc of the cone and seed insects working party conference, 1983 31.07.-06.08., Ather Ashville N.C., USDA Forest Service, South Eastern Forest Experiment Station: 40-
- WAGENFÜHR, R.; SCHEIBER, CHR.** (1989): Holzatlas. VEB Fachbuchverlag.
- WALKENHORST, R.** (1984): Die Saatgut-Vorbehandlung. Allgemeine Forst Zeitsch 890-893.
- WALKENHORST, R.** (1989): Stand und Aussichten für die Langzeitlagerung von Forst Allgemeine Forst Zeitschrift, **44** (9): 222-225.
- WALKER, R.; POWELL, A.A.; SEDDON, B.** (1994): Tests for biological control of seedlings damping-off diseases of peas and beans using *Bacillus* species. In: Ma (Hrsgb.) (1994): Seed Treatment: Progress and Prospects. BCPC Monograph No 5 tingham Major Design & Production Ltd. Proceedings of a symposium organised BRITISH CROP PROTECTION COUNCIL and the Pesticide Group of the Soc Chemical Industry and held at the University of Kent, Canterbury on 5-7 Jan. 199 338.
- WATANABE, T.** (1994): Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi. Lewis Press.
- WEBER, H.** (1983): Gewürzentkeimung. Einflüsse von Elektronen und Gammastrahl die Qualität verschiedener Gewürze. Fleischwirtschaft, **63** (6): 1065-1071.
- WEBER, M.** (1995): Entwicklung einer Einrichtung zum Vereinzeln von Saatgut i Elektronenbehandlungsanlage. Diplomarbeit im Studiengang Verarbeitungs- und renstechnik der TU Dresden.
- WEISE, W.** (1903): Leitfaden für den Waldbau. [3. Aufl.]. Julius Springer.
- WELLER, D.M.** (1988): Biological control of soilborne plant pathogenes in the rhiz with bacteria. Annual Review of Phytopathology, (26): 379-407.
- WELLS, J.M.; PAYNE; J.A.** (1980): Mycoflora and Market Quality of Chestnut Treat Hot Water to Control the Chestnut Weevil. Plant Disease, **64**: 999-1001.
- WENSE, W.-H. v.D.** (1995): Forstliche Nebennutzung zur Absicherung des Betriebses. Der Forst und Holzwirt, (19): 285-289.
- WERRES, S.; NIRENBERG, H.; KEHR, R.** (1992): *Cylindrocarpon didymum* (Hartig lenw., ein bei der Lagerung von Eichensaatgut bisher unbekannter Erreger. Nachb latt für den deutschen Pflanzenschutzdienst, **44** (11): 238-242.
- WIEBER** (1870): Eichelaufbewahrung und Eichelsaaten. Monatszeitschrift für das For Jagdwesen: 471-477.
- WILSON, D.** (1993): Fungal endophytes: out of sight but should not be out of mind. C **68** (2): 379-384.

- WULF, A.; WICHMANN, C.** (1989): Über Art und Umfang der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel im Forst. Paul Parey. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 255.
- WULF, A.; SCHRÖDER, T.** (Bearb.) (1997): Behandlung und Lagerung von Eichenforstsaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Paul Parey, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 329.
- WvH** (1994): Mehr Wald in Deutschland? Seminar des DFV. Allgemeine Forst- und Jagdwissenschaften, **49** (20): 1090.
- YOUNG, J.A.; YOUNG, C.G.** (1992): Seeds of Woody Plants in North America [ed. by J.A. Young]. Dioscorides Press.
- ZASPEL, I.; KESSLER, K.** (1997): Lagerung, Keimung und Wachstum von Nachkommen wertvoller Einzelbäume von *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. und *Quercus robur* L. Wulf, A.; Schröder, T. (Bearb.) (1997): Behandlung und Lagerung von Eichenforstsaatgut. Situation und Darstellung aktueller Forschungsarbeiten. Paul Parey. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 329: 107-114.
- ZEDERBAUER, E.** (1910): Versuche über Aufbewahrung von Waldsämereien. Centralblatt für das gesammte Forstwesen, **36**: 116-121.
- ZELAWSKI, W.; NALBORCZYK, E.** (1971): Productivity of photosynthesis in Scots pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings grown from seed irradiated by X-rays. Acta societatis scientiarum poloniae, **XL** (3): 413-421.
- ZENTSCH, W.; JAHNEL, H.** (1963): Über den Einfluß des Beizens auf das Pflanzenproduktionsvermögen von Forstsaatgut. Phytopathologische Zeitschrift, Paul Parey, **46** 2: 164-173.

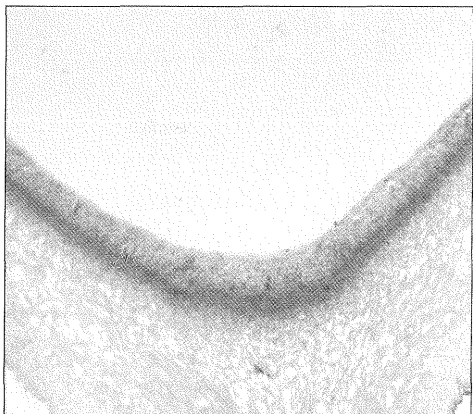
- Bildtafel 2: Mikropilze an Eicheln nach Ernte vom Baum und nach Bodenkontakt in Reinkulturen auf 2 % MEA
- Bildtafel 3: Wachstum von Mikropilzen in Reinkultur vor und nach Elektronendurchstrahlung auf 2 % MEA
- Bildtafel 4: *Ulocladium chartarum*, Sporenkeimung nach Elektronendurchstrahlung
- Bildtafel 5: Mikropilze an Eicheln in Reinkulturen auf 2 % MEA aus Untersuchungen Elektronenbehandlung von Eicheln
- Bildtafel 6: Mikropilze an Eicheln in Reinkulturen auf 2 % MEA aus Untersuchungen Mikrowellenbehandlung von Eicheln



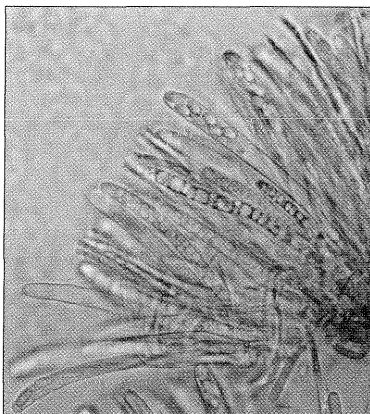
1-1: *Ciboria batschiana*, Apothecien auf mumifizierter Eichel im Waldboden



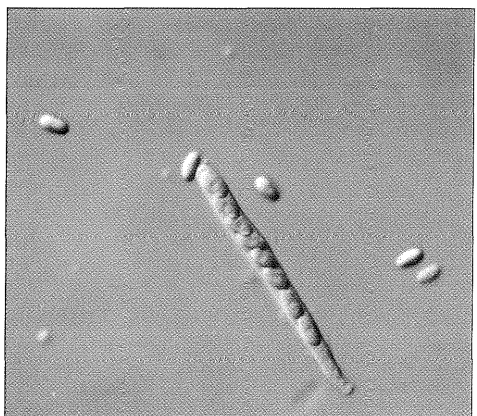
1-2: *Ciboria batschiana*, Apothecien freiliegender Eichel



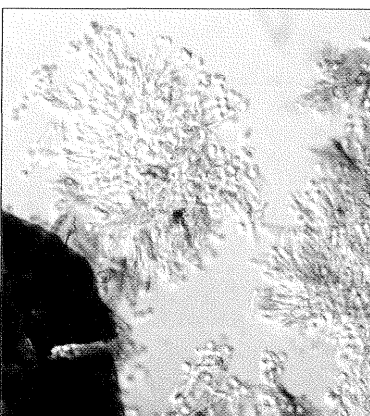
1-3: *Ciboria batschiana*, Querschnitt durch Apothecium mit Hymenium (48fach)



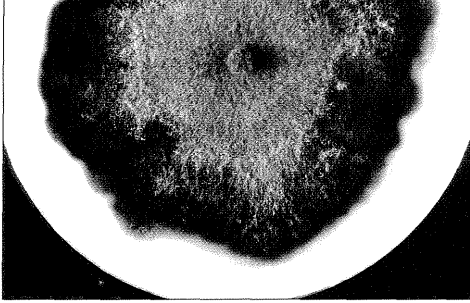
1-4: *Ciboria batschiana*, Ascus (300fach)



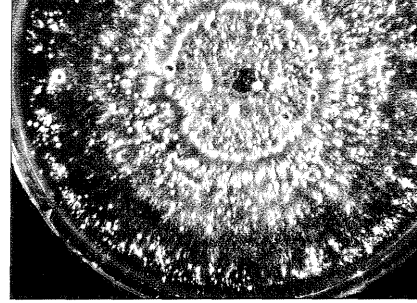
1-5: *Ciboria batschiana*, Ascosporen (300fach)



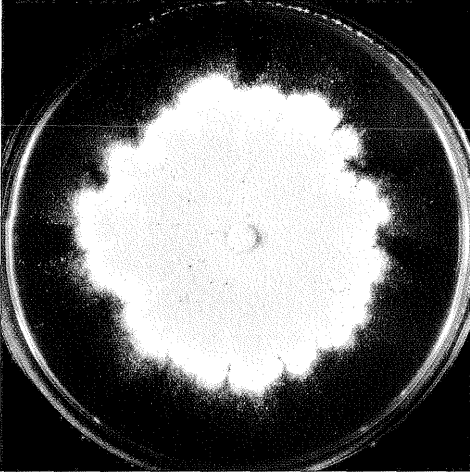
1-6: *Ciboria batschiana*, Rhacodioid Anamorphe (300fach)



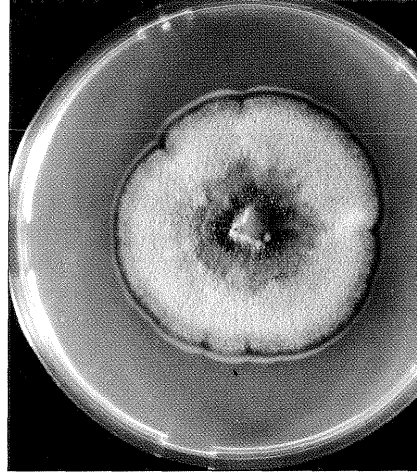
2-1: *Ciboria batschiana*



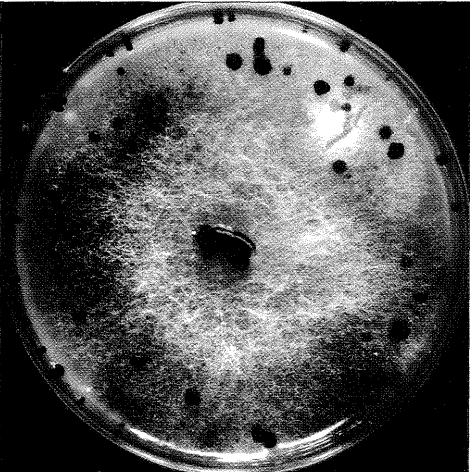
2-2: *Cytospora* sp.



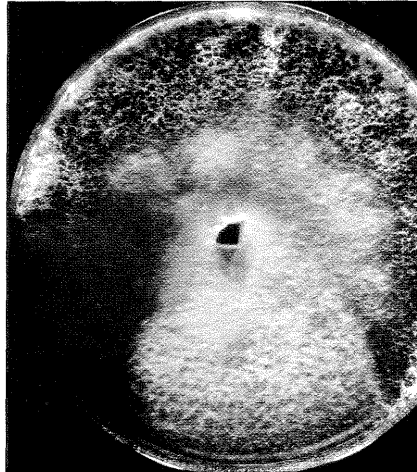
2-3: *Epicoccum nigrum*



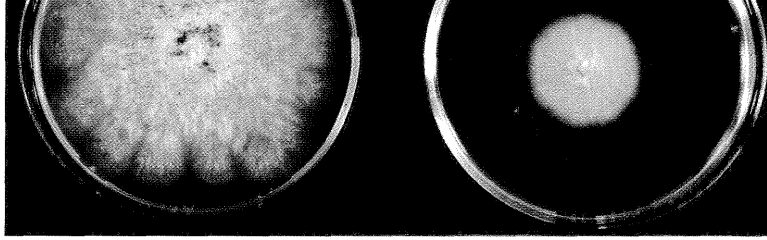
2-4: *Codinea simplex*



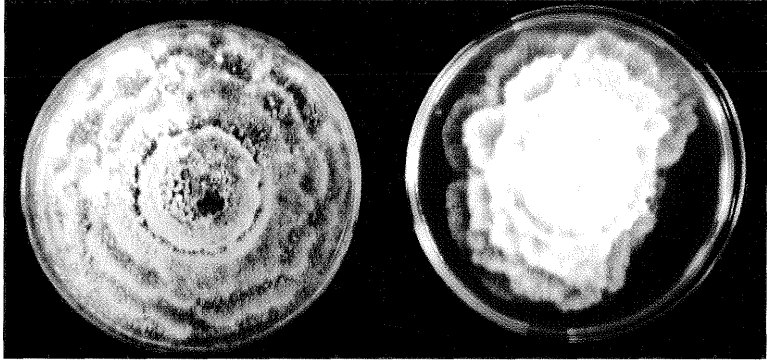
2-5: *Botrytis cinerea*



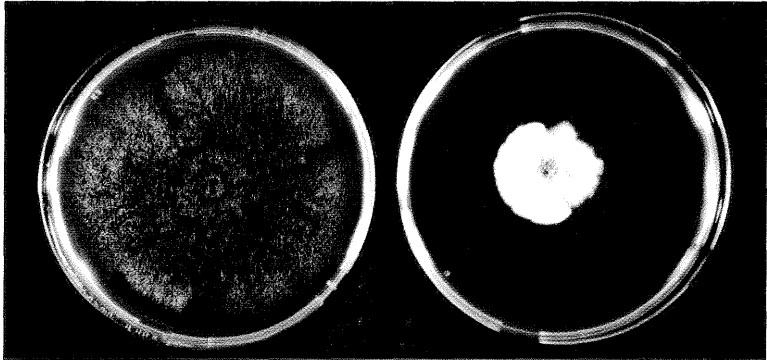
2-2: *Alternaria* sp.



3-1: *Ascocoryne sarcoides*, Kulturwachstum 4 Wochen nach Elektronendurchstrahlung  
links: Kontrolle                      rechts: 2 kGy

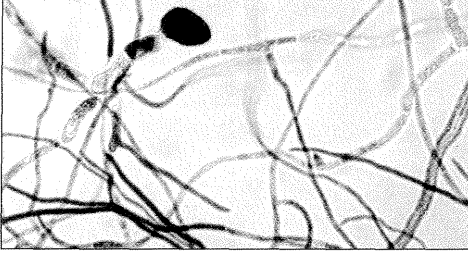


3-2: *Discula sp.*, Kulturwachstum 4 Wochen nach Elektronendurchstrahlung  
links: Kontrolle                      rechts: 2 kGy

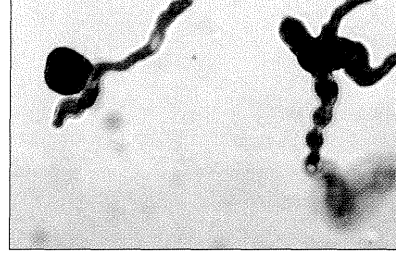


3-3: *Phoma sp.*, Kulturwachstum 4 Wochen nach Elektronendurchstrahlung  
links: Kontrolle                      rechts: 2 kGy

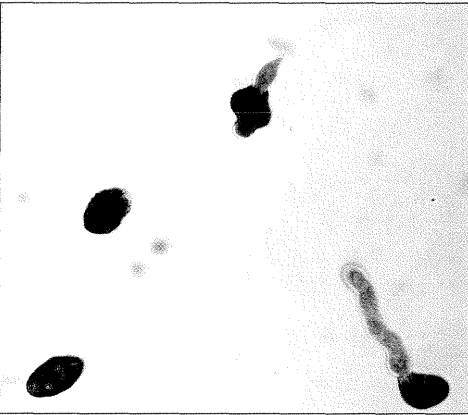




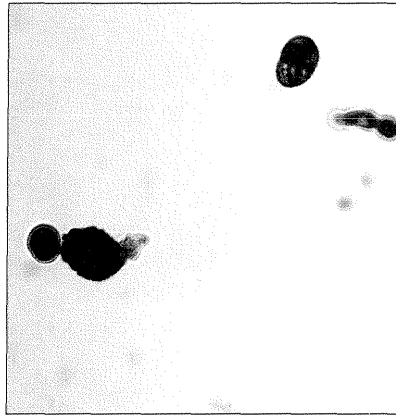
4-1: *Ulocladium chartarum*, Kontrolle  
Sporenkeimtest: 24 h Inkubation



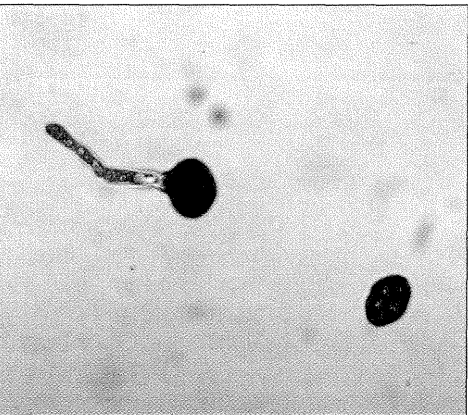
4-2: *Ulocladium chartarum*, 2 kGy  
Sporenkeimtest: 24 h Inkubation



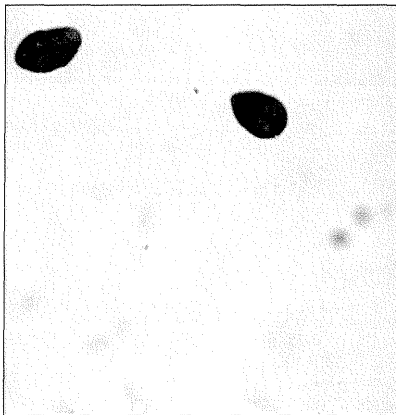
4-3: *Ulocladium chartarum*, 4 kGy  
Sporenkeimtest: 24 h Inkubation



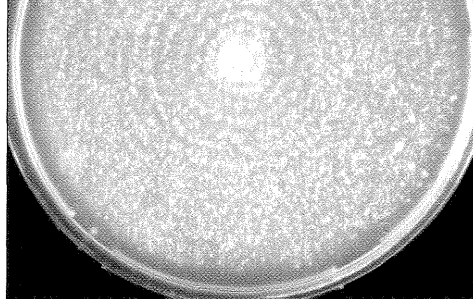
4-4: *Ulocladium chartarum*, 6 kGy  
Sporenkeimtest: 24 h Inkubation



4-5: *Ulocladium chartarum*, 13 kGy  
Sporenkeimtest: 24 h Inkubation



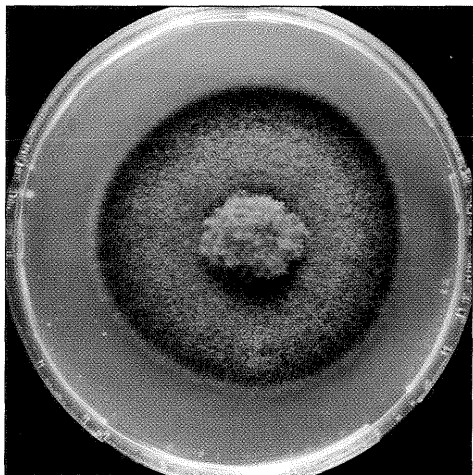
4-6: *Ulocladium chartarum*, 22 kGy  
Sporenkeimtest: 24 h Inkubation



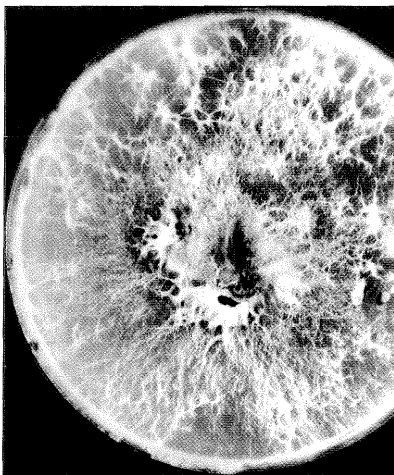
5-1: *Cylindrocarpon didymum*



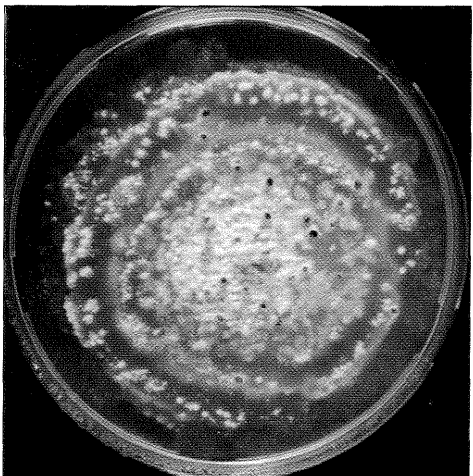
5-2: *Ulocladium chartarum*



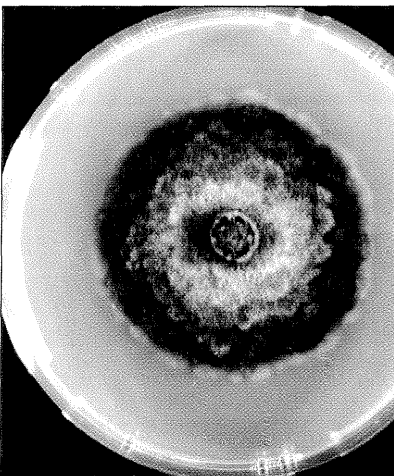
5-3: *Phialocephala* sp.



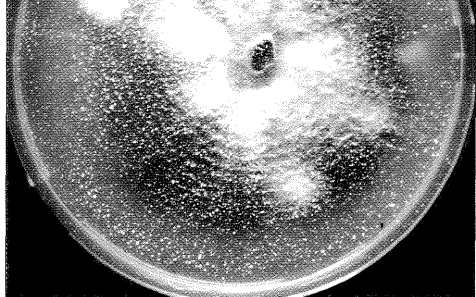
5-4: *Phomopsis quercella*



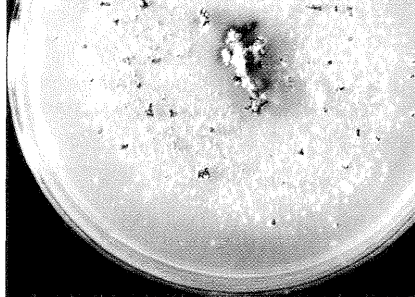
5-5: *Amphiporthe leiphaemia*



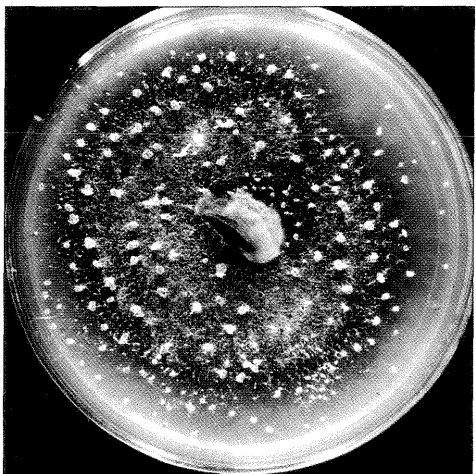
5-6: *Tubakia dryina*



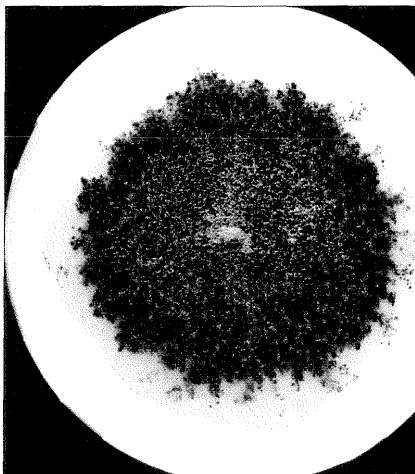
6-1: *Ophiostoma quercus*



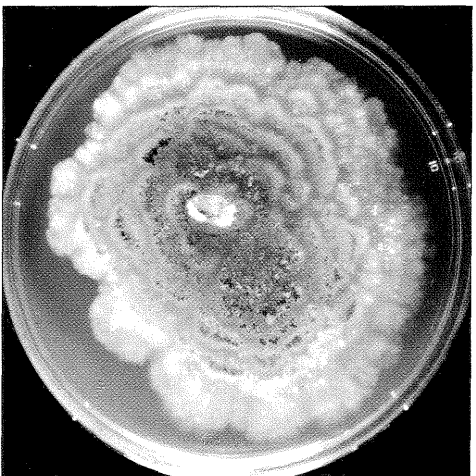
6-2: *Coryne* sp.



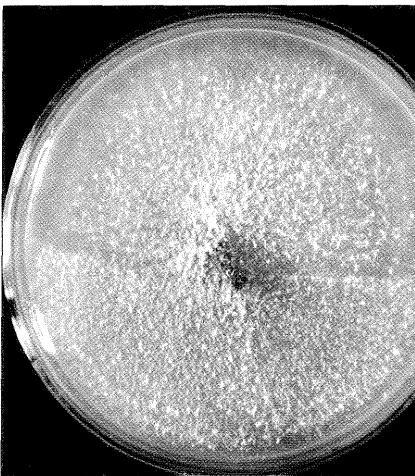
6-3: *Ceuthospora* sp.



6-4: *Phoma* sp.



6-5: *Discula quercina*



6-6: *Talaromyces* sp.

- Anhang 1: Ergebnisse einer Umfrage bei den Landesforstverwaltungen zur Verjüngung von Eiche und Buche
- Anhang 2: Literaturlauswertung zu Mikropilzen an Eicheln  
Übersicht isolierter Mikropilze an Eicheln aus vorliegender Untersuchung
- Anhang 3: Fragebogen
- Anhang 4: Methodik: Nährböden und Einbettungsmethode

<b>1994</b>	3.358
<b>1995</b>	4.023
<b>1996</b>	3.460

<b>1994</b>	577/2.885.997	177/ 886.588
<b>1995</b>	520/2.600.886	150/ 749.008
<b>1996</b>	450/2.252.213	113/ 564.239

genutzt. Sie spielt  
eine untergeordnete  
Rolle.

\* Über alle Baumarten wird Naturverjüngung und künstliche Verjüngung zu je 50 % genutzt.

\* Für die Jahre 1986 bis 1995 wurde die Buche mit ca. 60 %, die Eiche mit 10 % natürlich verjüngt.

## Bayern

\* Über alle Besitzarten stehen jährlich ca. 20.000 ha zur Verjüngung an.

Verjüngung: alle Baumarten (nur Staatswald)		
Jahr	Saat LH [ha]	Pflanzung * LH [Stck.]
<b>1986</b>	671	23.455
<b>1987</b>	83	24.105
<b>1988</b>	409	24.176
<b>1989</b>	147	25.114
<b>1990</b>	373	26.028
<b>1991</b>	147	60.794
<b>1992</b>	1.458	45.402
<b>1993</b>	419	32.981
<b>1994</b>	384	23.500
<b>1995</b>	205	16.864
* ca. 50 % Bu; 10-20 % Eiche		

Eiche soll von 5 % auf 10 %  
Flächenanteil erhöht werden,  
Buche von 15 % auf 20 %.

Die Saat ist das Regenerations-  
fahren für die Begründung  
von Eichenbeständen.

Die Saat von Buche erfolgt  
unter Fichtenschirm  
seit 5 Jahren gute Ergebnisse.

- wald)
- \* 1991 wurden 5922 ha verjüngt, 1996 nur 2792 ha.

<b>1991</b>	365,09	71,34	0	0
<b>1992</b>	465,44	72,38	0,68	0
<b>1993</b>	469,98	210,24	0,02	0,15
<b>1994</b>	506,47	103,65	27,66	0,15
<b>1995</b>	557,39	53,3	19,18	0
<b>1996</b>	1420,40	773,82	12,38	3,90

2145 erhöht werden, der und besseren Anpa  
Laubwaldanteil (rein) von und Widerstandsfäh  
16 % auf 28 %. Dies soll deutlich verstärkt we  
insbesondere durch Erhöhung  
des Eichen- und Buchenanteils  
erfolgen.

## Hessen

Neukulturen		
Jahr	ha	LH-Anteil
<b>1994</b>	1.315	80%
<b>1995</b>	912	80%

- \* Die Kulturfläche wird verringert
- \* Naturverjüngung und Pflanzung unter Schirm wird bevorzugt

Pflanzenzahlen/a [Stck.]		
Jahr	Eiche	Buche
<b>1986</b>	4.271.232	8.155.809
<b>1989</b>	2.884.189	8.371.025
<b>1991</b>	5.048.611	11.607.687
<b>1992</b>	4.354.067	11.346.411
<b>1993</b>	2.467.153	10.386.180
<b>1994</b>	1.809.502	7.589.521
<b>1995</b>	1.506.966	629.838

Eiche soll von 11 % auf 14 % Die Saat wird nur  
Flächenanteil erhöht werden, gentlich ausgeführt  
Buche von 35 % auf 39 %.

**Niedersachsen**

Kulturfläche über alle Baumarten					
Jahr	1991	1992	1993	1994	1995
Pflanzung [ha]	2.120	1.651	1.388	1.735	1.651
Saat [ha]	92	6	107	2	7

Pflanzenzahl incl. Nachbesserung					
Jahr	1991	1992	1993	1994	1995
Buche [Tsd.]	4.979	3.897	3.527	3.297	3.052
Eiche [Tsd.]	2.655	2.154	1.325	1.415	1.002

- \* die Kulturfläche wird in Zukunft geringer
- \* Naturverjüngung wird angestrebt
- \* während Umbauphase sind umfangreiche Pflanzungen nötig

Der Laubholzanteil soll von 38 % auf 64% erhöht werden

Die Saat spielt z.Z. Rolle. Die Eiche sollte der Pflanzung vorgezogen werden

**Nordrhein-Westfalen**

- \* Jährlich stehen ca. 4450 ha Verjüngungsfläche an, wovon ca. 2/3 gepflanzt werden mit abnehmender Tendenz.

Der Eichenanteil soll um 5 %, der Buchenanteil um 10 % erhöht werden.

Die Saat ist z.Z. deutlich. In Zukunft der Fichtenunterbau Buche durch Saat ersetzt werden.

**Sachsen**  
(Landes- u.  
Treuhandwald)

\* Im Jahr 1996 über alle Baumarten  
1620 ha

\* Im Jahr 1996 190 ha Eiche und 800 ha  
Buche

Für alle Besitzarten ist das Ziel Die Saat als Verjü-  
11 % Flächenanteil Eiche und methoden ist unbedeu-  
36 % Buche.

**Schleswig-  
Holstein**

\* Jährlich 760 ha bis 1520 ha, die zu  
95 % gepflanzt werden

\* Eichen- und Buchenkulturen liegen jährl.  
zwischen 500 ha und 750 ha

**NH:** Reduktion um 20 %, Aufgrund von K  
80 % NH/LH Mischbestände vorteilen wird die S  
**LH:** Erhöhung um 20 % reine Bedeutung gewinne  
LH-BZTen.

**Thüringen**

Gesamtverjüngungsfläche Staats- u. Treuhandwald		
Jahr	Fläche [ha]	Anteil Pflanzung
1992	1.340	98%
1993	1.811	94%
1994	1.819	96%
1995	1.487	91%
1996	1.576	98%

Verjüngungsfläche [ha]		
Jahr	Eiche	Buche
1992	79	520
1993	117	729
1994	126	726
1995	126	614
1996	140	684

Eiche soll von 5,2 % Flächen- Die Saat wird au-  
anteil auf 12 %, Buche von des nicht ausreich  
17,8 % auf 25 % erhöht wer- Saatgutaufkommen  
den. ausgeführt.

Quelle: [1]: schriftliche Mitteilung des jeweiligen Bundeslandes; [2]: Hessisches Ministerium des Inneren und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, 1997; [3]: Ministerium des Inneren und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, 1997; [4]: Bayerische Staatsforstverwaltung 1986-1987; [5]: Niedersächsische Landesforsten, 1997; [6]: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, 1996; [7]: Niedersächsische Landesforsten, 1997



1	<i>Absidia glauca</i> Hagem	14
2	<i>Absidia</i> von Tiegh. sp.	8, 13
3	<i>Acremoniella atra</i> (Corda) Sacc.	11, 13, 14, 22
4	<i>Acrospeira mirabilis</i> Berk. et Br.	8, 13, 14
5	<i>Acrostalamus cinnabarinus</i> Corda	10, 11, 13, 14, 22
6	<i>Acrothetium tenebrosus</i> (preuss.) Sacc.	8, 11, 13, 14
7	<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Kreissl.	2
8	<i>Alternaria humicola</i> Oud.	8, 11, 14
9	<i>Alternaria</i> sp.	23
10	<i>Alternaria tenuis</i> Ness.	10, 11, 13, 14, 22
11	<i>Alternaria tenuissima</i> (Fr.) Wiltshire	8, 11, 13, 14
12	<i>Apiognomonina quercina</i> (Kleb.) v. Höhnelt	2
13	<i>Arachnopeziza aurelia</i> (Pers.) Fuckel	12
14	<i>Arthrobotrys arthrobotryoides</i> (Berl.) Lindau	11, 13, 14
15	<i>Arthrobotrys superba</i> Corda	11, 13, 14
16	<i>Arthrobotrys superba</i> Corda f. <i>irregularis</i> Matr.	14
17	<i>Arthrobotrys superba</i> Corda var. <i>oligospora</i> (Fres) Coemans	11, 13, 14
18	<i>Aspergillus candidus</i> Link.	14
19	<i>Aspergillus niger</i> v. Tiegh.	10, 11, 13, 14
20	<i>Aspergillus ochraceus</i> Wilhelm	14
21	<i>Aspergillus repens</i> (Corda) Sacc.	14
22	<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) Arn.	2
23	<i>Bispora fuscocincta</i>	12
24	<i>Botryosphaeria quecuum</i>	25
25	<i>Botrytis cinerea</i> Pers.	2, 10, 11, 13, 21, 22, 2
26	<i>Botrytis geniculata</i> Corda	14, 22
27	<i>Bulgaria inquinans</i>	12
28	<i>Cephalosporium acremonium</i> Corda	8, 11, 13, 14
29	<i>Cephalosporium curtipes</i> Sacc.	14, 22
30	<i>Cephalosporium subverticillatum</i> Schulz et Sacc.	11, 13, 14, 22
31	<i>Cephalothecium roseum</i> Corda	10, 13
32	<i>Ceratocystis fagacearum</i> (Bretz) Hunt	13, 27
33	<i>Ceuthospora glandicola</i> Sacc. Rouss et Bomm	14, 22
34	<i>Chaetomium globosum</i> Kunze	10, 13, 14
35	<i>Chaetomium offline</i> Corda	13, 22
36	<i>Chlorociboria aeruginascens</i>	12
37	<i>Chlorociboria aeruginosa</i>	12
38	<i>Ciboria batschiana</i> (Zopf) Buchwald	1, 2, 9, 12, 13, 16, 17,
39	<i>Ciboria echinophila</i> (Bull) Sacc.	14
40	<i>Ciboria firma</i> (P.) Fuck	14
41	<i>Ciboria pseudotuberosa</i> Rehm	14
42	<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen) de Vries	2
43	<i>Cladosporium elegantulum</i> Pidopl. et Deniak	11, 13, 14
44	<i>Cladosporium epiphyllum</i> (Pers) Mart.	14, 22
45	<i>Cladosporium graminum</i> (Pers.) Corda	14, 22

48	<i>Cladosporium spnaerospermum</i> Penz.	2
49	<i>Cladosporium subverticillatum</i>	13, 22
50	<i>Codinaea cf. Simplex</i> Hughes&Kendrick	2
51	<i>Colpoma quercinum</i>	12
52	<i>Coniomela taurica</i> N. Naum.	13, 14, 22
53	<i>Coniosporium aterrimum</i> (Corda) Sacc.	8, 13, 14
54	<i>Coniothyrium quercinum</i> (Bonord) Sacc.	8, 13, 14
55	<i>Coniothyrium quercinum</i> Sacc. var <i>glandicola</i>	26
56	<i>Coniothyrium</i> sp.	2
57	<i>Coremium glaucum</i> Fries	14
58	<i>Corenium glandicola</i> Oudem.	14
59	<i>Cryptostictis glandicola</i> Starb.	14
60	<i>Cudoniella acicularis</i>	12
61	<i>Cylindrium elongatum</i> Bonord.	14, 22
62	<i>Cylindrium glandestinum</i> (Corda) Sacc.	14
63	<i>Cylindrium glandestinum</i> (Corda) Sacc. var. <i>microsporum</i> Saccardo	14
64	<i>Cylindrocarpon didymum</i> (Hartig) Wollenw.	1
65	<i>Cylindrocarpon radicolica</i> Wr.	8, 13, 14
66	<i>Cylindrocephalum aureum</i> Corda	10
67	<i>Cylindrocephalum stellatum</i> Harz.	10
68	<i>Cytospora ambiens</i> Sacc.	14
69	<i>Cytospora glandicola</i> C. Georgescu et M. Badea	14
70	<i>Cytospora intermedia</i> Sacc.	8, 13, 14, 21, 22,
71	<i>Cytospora quercella</i> Brun.	14
72	<i>Dactylium dendrides</i> (Bull.) Fries.	10
73	<i>Dasyscypha virginea</i> (Batsch.) Fuckel	14
74	<i>Dendrophoma myriadea</i> (Preuss.) Sacc.	14, 22
75	<i>Diaporthe eres</i> Nitschke	2
76	<i>Diaporthe insularis</i> Nietschke	8, 13, 14, 21
77	<i>Diaprothe</i> sp.	13, 22
78	<i>Dichomera saubinettii</i> (Mont.) Cooke	14
79	<i>Diplodina periglandis</i> Sacc.	14
80	<i>Discosia artocreas</i> (Tode) Fries.	10, 14
81	<i>Discula quercina</i> (West.) Arx.	15
82	<i>Discula umbrinella</i>	13
83	<i>Dothiorella fructicola</i> Scalia	14
84	<i>Dothiorella glandicola</i> (Fr.) Starb.	14
85	<i>Dothiorella parasitica</i> Bubak	14
86	<i>Echinobotryum atrum</i> Corda	10, 13, 14
87	<i>Endomyces magnusii</i> Ludw.	14
88	<i>Epicoccum nigrum</i> Link	2
89	<i>Epicoccum purpurascens</i>	13
90	<i>Epochnium monilioides</i> Link	8, 13, 14
91	<i>Excipula glandicola</i> Schwein.	14
92	<i>Fusarium allescheri</i> Sacc. et Syd	14

95	<i>Fusarium avenaceum</i> (Fr.) Sacc.	13, 14, 22, 28
96	<i>Fusarium bulbigenum</i> Cke. et Mass.	8, 11, 13, 14
97	<i>Fusarium culmorum</i> (W. G. Sm.) Sacc.	14, 22
98	<i>Fusarium heterosporum</i> Nees.	8, 13, 14
99	<i>Fusarium lateritium</i> Nees	8, 11, 13, 14
100	<i>Fusarium merismoids</i>	13, 14, 22
101	<i>Fusarium oxysporum</i>	10, 13, 14
102	<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wr.	14
103	<i>Fusarium sacrochrom</i> (Desm.) Sacc.	14, 22
104	<i>Fusarium sambucinum</i> Fuck.	14, 22
105	<i>Fusarium scirpi</i> Lamb. et Fautr.	14, 22
106	<i>Fusarium semitectum</i> Berk. et Rav.	14, 22
107	<i>Fusarium solani</i> (Mart.) App. et Wr.	8, 13, 14
108	<i>Fusarium solani</i> (Mart.) App. et Wr. var. <i>eumartii</i> (Carp.) Wr	14
109	<i>Fusarium sporotrichiella</i> Bilai var. <i>sporotrichoides</i> (Sherb.) Bilai	14
110	<i>Fusarium</i> spp.	2, 13, 23
111	<i>Fusella olivacea</i> (Corda) Sacc.	8, 13, 14
112	<i>Fusidium stilbophyllum</i> Corda	14
113	<i>Gleosporium quercinum</i> West.	8, 10, 14, 21, 22, 28
114	<i>Gliocladium penicilloides</i> Corda	8, 11, 13, 14
115	<i>Gliocladium roseum</i> (Link) Bain.	8, 10, 11, 14
116	<i>Gliocladium vermoeseni</i> (Biourge) Thom.	10
117	<i>Gliocladium verticilloides</i> Pidopl.	8, 13, 14
118	<i>Gnomonia quercina</i> Kleb.	8, 13, 14
119	<i>Gonabotrys flava</i> Bon.	13, 14, 22
120	<i>Graphiothecium</i> sp.	10
121	<i>Graphium kubanicum</i> Szczerbin-Parfenenko	10
122	<i>Graphium</i> sp.	10
123	<i>Graphium subulatum</i> (Nees) Sacc.	14
124	<i>Guillermondia fulvesceus</i> Nadson et Konokotine	14
125	<i>Harziella capitata</i> Cost. et Matruch.	14
126	<i>Helicosporium pulvinatum</i> (Nees) Pers.	8, 13, 14
127	<i>Helminthosporium apiculatum</i> Corda	10
128	<i>Helminthosporium</i> sp.	10
129	<i>Helotium fructigenum</i> (Bull.) Karst.	14
130	<i>Helotium pallescens</i> (Pers.) Fr.	14
131	<i>Helotium uliginosum</i> Fr.	14
132	<i>Hertiella capitata</i> Cost. et Matruch.	14
133	<i>Humaria carpophila</i> (Bizzoz) Sacc.	14
134	<i>Hymenoscyphus fructigenus</i>	12
135	<i>Hypoderma glandicola</i> Speg.	14
136	<i>Hypoderma virgultorum</i> De Condolle	14
137	<i>Hysterographium putaminium</i> (Cooke) Sacc.	14
138	<i>Hypoderma rubi</i> (Pers.) Schröt	14
139	<i>Kabatiella apocrypta</i> (Ellis&Everh.) Arx	2

142	<i>Macrophoma</i> (Cldrph) <i>nitens</i> (Sacc. Rouss et Bomm)	11, 13, 14
143	<i>Macrophoma leucostigma</i> Berl.	14, 22
144	<i>Melophila glandicola</i> Vesterg.	14
145	<i>Monilia siphia</i> (Mont.) Sacc.	8, 13
146	<i>Monilia stophila</i> (Mont.) Sacc.	14
147	<i>Mucor globosus</i> A. Fischer	10, 11, 13, 14
148	<i>Mucor plumbeus</i> Bonorden	14, 22
149	<i>Mucor racemosus</i> Fresenius	10, 14
150	<i>Mucor</i> sp.	13, 23
151	<i>Mucorales</i>	2
152	<i>Mycogone</i> sp.	22
153	<i>Neurospora sitophila</i> (Mont.) Shear et Dodge	14
154	<i>Nigrospora oryzae</i> (B. et Br.) Petch	13, 14, 22, 28
155	<i>Oedocephalum glomerulosum</i> (Bull.) Sacc.	13, 14, 22
156	<i>Oidiodendron griseum</i> Robak	8, 13, 14
157	<i>Oidium quercinum</i> Thuem	14
158	<i>Oospora glauca</i> (Preuss.) Sacc.	8, 11, 13, 14
159	<i>Oospora ludwigii</i> (Hans) Sacc.	14
160	<i>Oospora</i> Wallr. sp.	14
161	<i>Ophionectria cupularum</i> Kirschst.	14
162	<i>Ophiostoma</i> (H. et P. Syd) Mel. et Nannf sp.	6, 8, 10, 11, 13, 14
163	<i>Ophiostoma exiguum</i> (Hedg.) H. et P. Syd.	10
164	<i>Ophiostoma kubanicum</i> Szczerbin-Parfenko	10
165	<i>Ophiostoma pluriannulatum</i> (Hedg.) Syd.	10
166	<i>Ophiostoma quercus</i> (Georgiev) Nannfeld	10
167	<i>Ophiostoma roboris</i> Georgescu et Teodoru	10
168	<i>Ophiostoma valachicum</i> Georgescu, Teodoru et Badea	13, 14
169	<i>Paecilomyces varioti</i> Bainier	8, 13, 14
170	<i>Papulospora</i> Hutson sp.	11, 13, 14, 22
171	<i>Papulospora sepedonioides</i> Preuss.	8, 13, 14
172	<i>Passalora</i> Fries et Mont. sp	8, 13, 14
173	<i>Penicillium canescens</i> Sopp.	14, 22
174	<i>Penicillium claviforme</i> Bain	10, 14
175	<i>Penicillium clavigerum</i> Demelius	14
176	<i>Penicillium corylophilum</i> Dierckx.	14, 22
177	<i>Penicillium cyclopium</i> Westl.	14, 22
178	<i>Penicillium divergens</i> Bain et Sart	11, 13, 14, 21
179	<i>Penicillium duclauxi</i> Delacroix	14, 21
180	<i>Penicillium expansum</i> Link.	10, 11, 13, 14
181	<i>Penicillium flavo-glaucum</i> Biourge	14
182	<i>Penicillium funiculosum</i> Thom.	10, 11, 13, 14
183	<i>Penicillium glauco griseum</i> Sopp.	14
184	<i>Penicillium glaucum</i>	21
185	<i>Penicillium gorgonzola</i> West.	14, 22
186	<i>Penicillium granulatum</i> Bainier	10, 13, 14, 21, 22

189	<i>Penicillium luteum</i> Zukal (lub seria <i>P. luteum</i> )	10
190	<i>Penicillium martensii</i> Biourge	14, 22
191	<i>Penicillium melearginum</i> Biourge	22
192	<i>Penicillium puberulum</i> Bainier	14, 22
193	<i>Penicillium purpurogenum</i> Stoll.	10
194	<i>Penicillium rugulosum</i> Thom	14
195	<i>Penicillium spp.</i>	2, 13, 23, 24
196	<i>Penicillium steckii</i> Zaleski	14, 22
197	<i>Penicillium tardum</i> Thom.	14, 22
198	<i>Penicillium turbatum</i> Westl.	14
199	<i>Penicillium corymbiferum</i> Westling	14, 21, 22
200	<i>Pestalotia castagnei</i> Desm.	13, 14, 22, 28
201	<i>Pestalotia glandicola</i> (Cast.) Guba	13, 14
202	<i>Pestalotia grandicora</i> (Cost) Guba	11
203	<i>Pestalotia quercina</i> Guba	8, 13, 14
204	<i>Pestalotia truncata</i> Lev.	8, 13, 14
205	<i>Pestalotiopsis spp.</i>	13, 27
206	<i>Pestalozzia hartigii</i> Tubeuf	10, 13
207	<i>Pezicula cinnamomea</i> (D.C.) Sacc.	2
208	<i>Phacidium glandicolum</i> Schwein.	14
209	<i>Phacidium perexiguum</i> Desm.	14
210	<i>Phecolomyces varioti</i> Bain.	14
211	<i>Phialea calyculus</i> (Sow.) Gill.	14
212	<i>Phialea fructigena</i> (Bull.) Gill.	14
213	<i>Phialea virgutorum</i> (Vahl.) Karst. var <i>fructigenum</i> (Bull.) Rehm.	14
214	<i>Phoma glandicola</i> Lev.	14
215	<i>Phoma innumerabilis</i> Thüm.	22
216	<i>Phoma leucostigma</i> (DC) Sacc.	14
217	<i>Phoma spp.</i>	2
218	<i>Phomopsis glandicola</i> Grove	12, 14
219	<i>Phomopsis quercella</i> Died.	8, 10, 14, 21, 22, 24
220	<i>Phomopsis quercina</i>	25
221	<i>Phytophthora cactorum</i> (L. et C.)	9, 10
222	<i>Piptocephalis freseniana</i> de Bary et Woron	11, 13, 14
223	<i>Placosphaeria glandicola</i> C. Georgescu et El. Zaharia	14
224	<i>Polyscytalum sericeum</i> Sacc.	14
225	<i>Pullularia pullulans</i> (de Bary) Berkhout.	11, 13, 14
226	<i>Rhizoctonia solani</i> Kühn	2
227	<i>Rhizopus betavorus</i> Newodowskij	10, 13
228	<i>Rhizopus Ehrenb. sp.</i>	8, 13
229	<i>Rhizopus nigricans</i> Ehrenberg	11, 13, 14, 22
230	<i>Rhizopus nodosus</i> Namyslowski	14
231	<i>Rustroemia firma</i> (Pers.) Karst	14
232	<i>Schizophyllum alneum</i> Schröt.	13, 14, 22, 28
233	<i>Schizophyllum commune</i> Fries	8, 10, 13, 14, 21

236	<i>Sclerotinia libertiana</i> Fuck.	13, 14, 21, 28
237	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	13, 14
238	<i>Scloretinia pseudotuberosa</i> Rehm.	10, 11, 13, 14, 18, 24, 28
239	<i>Scopinella caulicola</i> (Fuckel) Malloch	12
240	<i>Scopulariopsis brevicaulis</i> (Sacc.) Bain var. <i>glabra</i> Thom.	11, 13, 14
241	<i>Sepedonium chrysospermum</i> (Bull) Fries.	11, 14
242	<i>Septocylindrium</i> Bonord. sp.	14
243	<i>Septocylindrium virens</i> Sacc.	8, 13, 14
244	<i>Sordaria</i> sp.	22
245	<i>Sphaeria glandis</i> Duby	14
246	<i>Sphaeronema amenticolum</i> Ces.	14
247	<i>Spicaria</i> sp.	22
248	<i>Sporomiella</i> sp	2
249	<i>Sporotrichum roseum</i> Link.	11, 13, 14
250	<i>Stemphylium ilicis</i> Tengwall	8, 11, 13, 14
251	<i>Stemphylium piriforme</i> Bonord.	8, 13, 14
252	<i>Stereum hirsutum</i> (Wild) Pers.	8, 10, 13, 14, 22, 2
253	<i>Stilbospora anceps</i> Pass.	14
254	<i>Stilbum vulgare</i> Tode	14
256	<i>Stromatinia pseudotuberosa</i>	8, 19, 20
257	<i>Stysanus microsporus</i> Sacc.	11, 13, 14
258	<i>Stysanus stemonites</i> (Pers.) Corda	10, 11, 13, 14, 21,
259	<i>Tabesia albo-viridis</i> Sacc.	14
260	<i>Torula convoluta</i> Harz	8, 13, 14
261	<i>Trichoderma koningii</i> Oud.	10, 13, 14, 21
262	<i>Trichoderma lignorum</i> (Tode) Harz	10, 11, 13, 14, 21,
263	<i>Trichoderma</i> sp.	3
264	<i>Trichosporium cerealis</i> (v. Thum.) Sacc.	13, 22
265	<i>Trichosporium maydis</i> (Catt.) Sacc.	14, 22
266	<i>Trichosporium olivatum</i> Sacc.	8, 13, 14
267	<i>Trichothecium roseum</i> Link.	11, 13, 14, 21, 22,
268	<i>Tricladium castaneicola</i>	12
269	<i>Ulocladium atrum</i> Preuss	2
270	<i>Ulocladium chartarum</i> (Preuss) Simmons	2
271	<i>Valsa ambiens</i> (Pers.) Fr.	14
272	<i>Valsa intermedia</i> Nietschke	8, 13, 14
273	<i>Verticillium albo-atrum</i> Reinke et Berthold	9
274	<i>Verticillium candelabrum</i> Bonord.	13, 14, 22
275	<i>Verticillium cinnabarinum</i> (Corda) Rke. et Barth	10
276	<i>Verticillium compactiusculum</i> Sacc.	8, 14
277	<i>Verticillium epimyces</i> Berk.	13, 14
278	<i>Verticillium kubanicum</i> Szczerbin-Parfenenko	10
279	<i>Verticillium lateritium</i> Berk.	14
280	<i>Verticillium</i> sp.	10, 13
281	<i>Verticillium spaeroideum</i> Sacc.	14

Literatur: [1] WERRES et al. 1992; [2] KEHR & PEHL 1992; [6] FOFFOVA 1992; [8] UROSEVIC 1962; [9] UROSEVIC 1964b; [10] KOZLOWSKA 1970; [11] UROSEVIC 1959; [12] ELLIS & 1985; [13] MITTAL et al. 1990; [14] UROSEVIC 1961; [15] WILSON 1990; [16] DELAT 1979; [17] MEN 1976; [18] SOKOLOWA & SEMENKOWA 1981; CHEWTSCHENKO & ZILJURIK 1986; [20] SCHURALEW & SOKOLOW 1969; [21] UROSEVIC 1957; [22] POTLAICHUK 1953; [23] BAIER et al. 1994; [24] SEMENKOWA 1960; [25] FRIEDL 1995; [26] GROVE 1935; [27] RICHARDSON 1979; [28] SEMENKOWA 1959

2	<i>Alternaria</i> sp.	x	
3	<i>Amphiporthe leiphaemia</i> (Fr.) Butin	x	
4	<i>Aposphaeria</i> sp.	x	
5	<i>Ascocoryne sarcoides</i> (Jacq. Ex S.F. Gray) Groves & Wilson		
6	<i>Aureobasidium</i> sp.	x	
7	<i>Botrytis cinerea</i> Pers. Ex Bocca & Balbis	x	
8	<i>Camarosporium</i> sp.	x	
9	<i>Ceratocystis</i> sp.		
10	<i>Ceuthospora</i> sp.		
11	<i>Ciboria batschiana</i> (Zopf) Buchw.	x	
12	<i>Cladosporium</i> sp.	x	
13	<i>Codinaea simplex</i> Hughes & Kendrick	x	
14	<i>Coleophoma</i> cf. <i>cylindrospora</i>	x	
15	<i>Coleophoma</i> sp.	x	
16	<i>Coniothyrium fuckelii</i>		
17	<i>Coryne</i> sp.	x	
18	<i>Coryneum</i> sp.	x	
19	<i>Cylindrocarpon</i> cf. <i>coprosmae</i> sp. nov.	x	
20	<i>Cylindrocarpon</i> cf. <i>tenuis</i> Bugn.	x	
21	<i>Cylindrocarpon didymum</i> (Hartig) Wollenw.		
22	<i>Cylindrocarpon</i> sp.	x	
23	<i>Cystodendron</i> sp.	x	
24	<i>Cytospora intermedia</i> Sacc.	x	
25	<i>Cytospora</i> sp.	x	
26	<i>Cytosporella</i> sp.	x	
27	<i>Dendrophoma</i> sp.	x	
28	<i>Diaporthe eres</i> Nitschke	x	
29	<i>Dictyorchella</i> sp.		
30	<i>Diplodina</i> sp.	x	
31	<i>Discula quercina</i> (West.) Arx	x	
32	<i>Epicoccum nigrum</i> Link	x	
33	<i>Fusarium</i> spp.	x	
34	<i>Harpographium</i> sp.		
35	<i>Hormonema</i> sp.	x	
36	<i>Libertella</i> sp.		
37	<i>Mollisia cinerea</i> (Batsch ex Merat) Karst.	x	
38	<i>Mollisia</i> sp.	x	
39	<i>Monochaetia monochaeta</i> (Desmazieres) Allescher	x	



42	<i>Ophiostoma quercus</i> Georg	x	x
43	<i>Penicillium</i> spp.	x	x
44	<i>Phialocephala</i> sp.	x	x
45	<i>Phialophora bubakii</i>	x	
46	<i>Phialophora</i> sp.	x	x
47	<i>Phoma</i> sp.	x	x
48	<i>Phomopsis quercella</i> Died.	x	x
49	<i>Phomopsis</i> sp.	x	x
50	<i>Pleospora herbarum</i> (Pers.: Fr.) Rabenh.	x	
51	<i>Pyrenochaeta</i> sp.	x	x
52	<i>Strasseria geniculata</i> (Berk. & Broome) Höhn.		x
53	<i>Sphaeropsis</i> sp.	x	
54	<i>Talaromyces</i> sp.		x
55	<i>Torula</i> sp.	x	
56	<i>Trichoderma</i> sp.	x	x
57	<i>Trimmatostroma</i> sp.	x	
58	<i>Tubakia dryina</i>	x	x
59	<i>Ulocladium chartarum</i> (Preuss) Simmons	x	
60	<i>Ulocladium</i> sp.	x	
61	<i>Xylariales</i>	x	

1.) Welche Flächengröße hat Ihr Betrieb? (Angaben in ha)

Anzuchtfläche gesamt : \_\_\_\_\_ ha  
 Anteil Forstgehölze : \_\_\_\_\_ ha  
 davon Anteil Nadelholz: \_\_\_\_\_ ha  
 davon Anteil Laubholz : \_\_\_\_\_ ha

2.) Bei welchem Produktionsabschnitt in Ihrem Betriebsablauf ergeben sich Probleme bei der Verpilzung von Forstsaatgut?

Produktionsabschnitt: Reihenfolge	Baumarten:	Pilz: (soweit bekannt)
<input type="checkbox"/> Zwischenlager	_____	_____
<input type="checkbox"/> Während der Lagerung	_____	_____
<input type="checkbox"/> Stratifizierung	_____	_____
<input type="checkbox"/> Saatbeet	_____	_____
<input type="checkbox"/> _____	_____	_____

Bitte numerieren Sie unter der Rubrik "Reihenfolge" die Produktionsabschnitte nach der Wichtigkeit der Probleme im Betriebsablauf.

3.) In welchem Umfang gemessen am Gesamtaufkommen der jeweiligen Saatgutart in Ihrem Unternehmen kommt der o.g. Pilzbefall vor?

Gesamtaufkommen Saatgut [kg/Jahr]:	Baumarten:	davon Pilzbefall [%]	Produktionsabschnitt bei Befall

Bemerkungen \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

5.) Welches Ziel verfolgen Sie mit der Beizung?

- Vermeidung/Bekämpfung von Pilzbefall
- Vermeidung/Bekämpfung von Insektenbefall
- Verhinderung von Vogelfraß
- Sonstiges: \_\_\_\_\_

Baumarten:

---

---

---

---

6.) Auf welcher Grundlage setzen Sie Beizmittel ein?

- Eigene Erfahrungen bzw. eigene Versuchsergebnisse
- Hinweise des Pflanzenschutzwarndienstes
- Übertragung von Ergebnissen aus der Landwirtschaft
- Literatur für Baumschulen (Bitte geben Sie nachfolgend benutzte Literatur an.)

Quelle:

---

---

---

- Sonstiges: \_\_\_\_\_

7.) Die Anwendung der Beizmittel erfolgt:

- als Prophylaxe vor der Aussaat \_\_\_\_\_
- Prophylaxe aus sonstigen Gründen \_\_\_\_\_

---

- nur bei erkennbarem Pilzbefall \_\_\_\_\_
  - vor der Aussaat \_\_\_\_\_
  - vor der Einlagerung \_\_\_\_\_
  - Sonstiges: \_\_\_\_\_

Baumarten:

---

---

---

---

---

9.) Kombinieren Sie zur Erhöhung der Wirksamkeit verschiedene Beizmittel bzw. Wirkstoffe?

Ja, mit Kombination von:

---

---

---

Nein

10.) Welche Beizmittel führen nach Ihren Erkenntnissen eher zu einer Schädigung des Saatgutes, was sich z.B. durch verminderte Keimfähigkeit oder erhöhte Anfälligkeit gegen Krankheitserreger deutlich macht?

Beizmittel/Wirkstoff	Baumart	Art der Schädigung
<hr/>	<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>	<hr/>

11.) Konnten Sie beobachten, daß es trotz Saatgutbeizung zu Ausfällen durch Pilzbefall im Saatbeet gekommen ist?

<input type="checkbox"/> Ja: Beizmittel	Baumart	Krankheitsbild
<hr/>	<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>	<hr/>

Nein

12.) Wenn Sie Frage 11. mit Ja beantwortet haben: Sind Sie der Meinung, daß der Pilz bereits am Saatgut vorhanden war und durch die Beizung nicht bekämpft werden konnte oder wurde das Saatgut erst im Saatbeet infiziert?

---

---

---

---

---

---

---

14.) Welchen Kostenanteil, gemessen an den Kosten der Saatgutbeschaffung, nimmt die Beizung in Ihrem Betrieb ein?

Kosten Saatgutbeschaffung pro Jahr: \_\_\_\_\_ DM/Jahr  
Kosten bzw. Anteil Beizmittel: \_\_\_\_\_ DM/Jahr \_\_\_\_\_ %

15.) Welchen Kostenanteil, gemessen am Gesamtverbrauch von Pflanzenschutzmitteln von der Lagerung des Saatgutes bis zum Verkauf der Pflanze, nehmen in Ihrem Betrieb Beizmittel ein?

Kosten Pflanzenschutzmittel allgemein: \_\_\_\_\_ DM  
Kosten bzw. Anteil Beizmittel: \_\_\_\_\_ DM \_\_\_\_\_ %

16.) Wo ergeben sich für Sie in Ihrem Betrieb bei der Lagerung und Beizung von Forstgut Probleme, bzw. wo sehen Sie auf diesem Gebiet noch Forschungsbedarf?

---

---

---

---

---

---

An dieser Stelle darf ich mich für Ihre Bereitwilligkeit diesen Fragebogen auszufüllen herzlich bedanken!

Es würde mich freuen, wenn Sie an einer engeren Zusammenarbeit mit mir auf dem Gebiet der Saatgutlagerung und Saatgutbeizung interessiert wären. Wenn Sie Interesse an meiner Arbeit über die "Beizung mit Elektronenstrahlen" haben, bin ich gerne bereit Ihnen die Beendigung meiner Untersuchungen die Ergebnisse darüber zukommen zu lassen. Bitte Sie zu diesem Zweck Ihre Adresse bei und vermerken sie diese nicht auf dem Fragebogen, damit eine anonyme Behandlung der vorgenannten Daten gewährleistet ist.

Mit freundlichen Grüßen

(Thomas Schröder)

Biologische Bundesanstalt Braunschweig  
- Institut für Pflanzenschutz im Forst  
Messeweg 11-12  
38104 Braunschweig

Die Abimpfung der Saatgutinkokula (Eiwe und Buche) erfolgte auf 2 % Malzagar in Kunststoffpetrischalen (Durchmesser 60 mm). Die Kulturen für die Letaldosis wurden auf 4 % Malzagar in Kunststoffpetrischalen (Durchmesser 90 mm) angezogen. Subkulturen erfolgten auf 2 % Malzagar auf kleinen Schalen (Durchmesser 60 mm). Nährbodenherstellung erfolgte in Anlehnung an KREISEL & SCHAUER (1987).

- 2 %iger Malzagar
  - 20 g Maltzin (Fa. Diamalt, München)
  - 20 g Agar-Agar
  - 1000 ml Leitungswasser
  - 50 ppm Streptomycin
- 4 %iger Malzagar
  - 40 g Maltzin (Fa. Diamalt, München)
  - 20 g Agar-Agar
  - 1000 ml Leitungswasser
  - 50 ppm Streptomycin

Die mykologische Untersuchung sowie der Keimtest von Sitkafichtensaatgut erfolgte auf 15 % Wasseragar

- 15 %iger Wasseragar
  - 15 g Agar-Agar
  - 1000 ml Leitungswasser

### Einbettungsmethode

Einbettung mit 2-Hydroxyethyl-Methacrylat (GMA)  
(Fa. Kulzer & Co. Friedrichsdorf)

- Fixieren in AFE (Alkohol-Formalin-Eisessig)
- Viermal je 30 Minuten in 50 % Isopropanol geben, dabei jeweils 3 x 5 Minuten evakuieren
- In 70 % Isopropanol 3 x 5 Minuten evakuieren und über Nacht stehen lassen
- Nacheinander in 90 %, 96 % und 99 % Isopropanol 3 x 5 Minuten evakuieren und stehen lassen
- 2,5 h in Präinfiltrationslösung geben (Vorbereitungslösung aus 100 ml *Technovit 3040* + 1 g *Härter I*, im Verhältnis 1:1 mit Isopropanol vermischt)
- 24 h in Vorbereitungslösung
- 15 ml Vorbereitungslösung + 1 ml *Härter II* in eine Teflonform geben, die Objekte ausrichten und über Nacht bei Zimmertemperatur aushärten lassen
- Abdrucknahme mit Plastikträgerblöcken, dazu 20 g *Technovit 3040 Pulver* mit *Technovit 3040* Flüssigkeit vermischen
- Auf Rotationsmikrotom Schnitte von 5 µm bis 10 µm Dicke anfertigen, in 60 °C aqua dest. geben, auf Objektträgern auffangen und trocknen lassen.

Herrn Prof. Dr. Franz Gruber vom Institut für Forstbotanik der Universität Göttingen  
ich für die Übernahme des Korreferates.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Rolf Kehr für seine engagierte und freundschaftliche Betreuung. Durch vielfältige Diskussionen während der gesamten Projektdauer manches Problem aus dem Weg geräumt werden. Seine Bereitschaft mir die Geheimnisse der Mykologie näher zu bringen war unermüdlich. Darüber hinaus konnte ich seiner Unterstützung immer gewiß sein, was für die Durchführung des Projektes von unschätzbarem Wert war. Vielen herzlichen Dank!

Den Mitarbeitern des Fraunhofer-Institutes für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik Olaf Röder und Herrn Matthias Kotte danke ich für ihre Hilfe bei der Durchführung der Elektronenbehandlung. Herrn Dr. Siegfried Panzer danke ich für seinen Einsatz um meine Interessen seit Anbeginn des Projektes sowie für die kritische Durchsicht des Manuskriptes der Arbeit.

Herrn Dr. Ehlert Natzke gilt mein Dank für seine immerwährende Unterstützung der Lagerversuche durch Gewährung von Kühlkapazitäten und die Vermittlung von Probenmaterial. Den Mitarbeitern der Landesforstbaumschule des Landes Sachsen-Anhalt, Frau Rösler und Herrn Nils Schumann sei an dieser Stelle ebenfalls für ihre Hilfe gedankt.

Für die Bereitstellung von Saatgut und Saatflächen sowie der Durchführung der Stratifikationsversuche danke ich Herrn Dr. Dieter Müller und Herrn Thomas Volk von der Staatsdarre Hanau.

Die Mikrowellenversuche wurden maßgeblich von Herrn Dr. Dieter v. Hörsten (Institut für Agrartechnik Göttingen) gefördert. Für die unkomplizierte Bereitstellung der Anlage und die technischen Hilfestellungen auf dem Gebiet der Mikrowelle möchte ich meinen Dank sagen.

Frau Dr. Giesela Eicke (ISTA Station Freising) danke ich für die Durchführung der Bräunungsversuche und für ihre Hilfestellungen zu vielen Fragen über forstliches Saatgut.

Bei allen Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenschutz im Forst bedanke ich mich für die freundliche Zusammenarbeit, die Hilfsbereitschaft und die angenehme Arbeitsatmosphäre.

Herrn Karl-Heinz Berendes danke ich für die Unterstützung bei der Bewältigung vieler EDV-Probleme, für die er trotz intensiver Einspannung in den Dienst immer Zeit aufbrachte.

Weiterhin danke ich herzlich Frau Uta Scheidemann, die in der letzten Arbeitsphase ein intensives Korrekturlesen dazu beitrug, daß dem Leser einige Stilblüten erspart blieben.

Ganz besonders herzlich bedanke ich mich bei Frau Dörte Achilles-Franz für die technische Assistenz während der gesamten Versuchsphase. Ohne ihre Mithilfe hätten viele Versuche nicht in dem vorliegenden Umfang durchgeführt werden können. Danke!

Von ganzem Herzen danke ich Frau Ellen P. Richter für ihre Hilfe bei statistischen Berechnungen sowie ihre vielfältige und liebevolle Unterstützung besonders in der letzten Phase der Arbeit.

Ich danke den Landesforstverwaltungen der Länder Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Niedersachsen und Hessen für die kostenlose Bereitstellung von Eicheln und Bucheckern. Für die weitgehende Finanzierung des Projektes danke ich der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung.

geraten. Zusammengestellt von Dipl.-Ing. Siegfried Rietz, Dr. Heimann  
191 S., 37 Abb., 30 Tab., DM 45,--

- Heft 348, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Information, Recht, Geschichte  
Prof. Dr. Wolfrudolf Laux. 131 S., 7 Abb., 6 Tab., DM 30,--
- Heft 349, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Aktuelle Forschungsschwerpunkte  
Zusammengestellt von Prof. Dr. Alfred Wulf. 117 S., 21 Abb., 3 Tab.
- Heft 350, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Geschichte der Institute und  
logischen Bundesanstalt. Teil III. Zusammengestellt von Prof. Dr. V.  
20 Abb., 1 Tab., DM 29,--
- Heft 351, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Verschiedene Themen. Zusammen  
Becker. 62 S., 5 Abb., 1 Tab., DM 19,--
- Heft 352, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Die Biologische Reichsanstalt  
schaft und die Entstehungsgeschichte eines reichseinheitlichen „  
(1914 bis 1937). Von Dr. phil. habil. Ulrich Sucker. DM
- Heft 353, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Chronik zum 100-jährigen Jubiläum  
Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Ergänzt und fortgeführt  
Laux. 106 S., 146 Abb., 1 Tab., DM 28,--

- Heft 354, 1998: Datenanforderungen und Entscheidungskriterien der Europäischen  
republik Deutschland im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel
- Heft 355, 1998: Analytik von Pflanzenschutzmitteln in Luft. Kurzfassungen von Meth  
W. Rödel und Dr. J. Siebers. 229 S., DM 53,--
- Heft 356, 1998: Egg Parasitoids. 5<sup>th</sup> International Symposium. International Organisations  
Cali, Colombia, Marsh 1998. Edited by Dr. S. A. Hassan. 197 S., 42
- Heft 357, 1998: 51. Deutsche Pflanzenschutztagung in Halle/Saale, 5.-8. Oktober 19  
Wolfrudolf Laux. 464 S., 51 Abb., 47 Tab., DM 64,--
- Heft 358, 1998: Data requirements and criteria for decision-making in the European  
Republic of Germany for the authorization procedure of plant protection products  
DM 37,--
- Heft 359, 1998: Studien zum Befall des Weizens mit *Gaeumannomyces graminis* (Sacchari  
tritici Walker unter Berücksichtigung der Sorten- und Artenanfälligkeit  
des Erregers. Von Dr. Horst Mielke. 140 S., 61 Tab., DM 30,--
- Heft 360, 1999: Über die Eignung verschiedener physikalisch-technischer Verfahren  
handlung und zur Lagerung von Forstsaatgut unter besonderer Berücksichtigung  
Traubeneiche. Von Dipl.-Forstw. Thomas Schröder. 241 S., 50 Abb.

Die „Bibliographie der Pflanzenschutzliteratur“ ist die gedruckte Version der Datenbank  
Zuletzt erschien Neue Folge Band 31, Heft 4, 1996, bearbeitet von Prof. Dr.

Anschrift für Tauschsendungen:

Please address exchanges to:

Adressez échanges, s'il vous plaît:

Para el canje dirigirse por favor a:

Bibliothek der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Königin-Luise-Straße 19, D-14195 Berlin (Dahlem)

Postanschrift: 14191 Berlin



2., neubearbeitete Auflage.

1997. XVI, 488 Seiten mit 202 Abbildungen, 207 Tabellen  
85 Übersichten. 15,5 x 23,5 cm. Broschiert.

DM 98,- / öS 715,- / sFr 90,50

ISBN 3-8263-3045-5

Der Waldbau ist der mit anderen forstlichen Disziplinen  
Weise verknüpfte zentrale Bereich aller forstlichen Tätigkeit.  
Geprägt von der Vielfalt standörtlicher Vorgaben sowie den  
Ansprüchen und Reaktionsmustern der Baumarten spiegelt er  
Besonderheiten regionaler, wirtschaftlicher, gesellschaftlicher  
Verhältnisse wider.

Der in der zweiten, erweiterten Auflage vorliegende »Grundriss«  
macht dieses komplexe Gefüge anhand aktueller ausgewählter  
Ergebnisse transparent.

Das Spektrum der Themen reicht von der Beschreibung der  
der Erde und ihrer Entwicklung zu Wirtschaftswäldern bis zur  
lung technischer Details der wichtigsten waldbaulichen Tätigkeiten.

Besonderes Gewicht liegt auf einer einheitlichen Erörterung  
der Waldbehandlung, ihrer geschichtlichen und aktuellen  
ihrer waldwachstumskundlichen und ökologischen Besonderheiten.  
Kapiteln »Waldbausysteme«, »Verjüngung«, »Bestandeserhaltung  
pflege« sowie »Bodenfruchtbarkeit - Melioration - Düngung«  
stoff in zahlreichen Übersichten aufbereitet und exemplarisch  
Leitgrößen für waldbauliche Aktivitäten, »Forstästhetik« -  
eigenes Kapitel gewidmet.

Studierenden wie Praktikern wird damit ein Einstieg in die  
ermöglicht. Zugleich vermittelt das Buch ein Grundverständnis  
tätigsten Zusammenhänge als Voraussetzung für jede forstliche  
weltweit, die den ökologischen und ökonomischen Ansprüchen  
Entwicklung gerecht werden soll.

Preisstand: 1. Mai 1997

Zu beziehen über den Buchhandel oder

**Parey Buchverlag · Berlin**

Kurfürstendamm 57 · D-10707 Berlin · Tel.: (030) 32 79 06-27/28

Fax.: (030) 32 79 06-44 · e-mail: parey@blackwis.de · Internet: <http://www.blackwis.de>