

KfK-PEF 68

Juni 1990

**Projekt Europäisches
Forschungszentrum für
Maßnahmen zur Luftreinhaltung
(PEF)**

**Der Einfluß von Düngung im
Wald auf die Fruktifikation von
Mykorrhizapilzen**

**Chr. Müller, F. Oberwinkler
Institut für Botanik
Spezielle Botanik/Mykologie
Eberhard-Karls-Universität Tübingen**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Zentralbibliothek**

10. AUG. 1990

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Projekt Europäisches Forschungszentrum
für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF)
Forschungsbericht KfK-PEF 68

Der Einfluß von Düngung im Wald auf die Fruktifikation von
Mykorrhizapilzen

von
Chr. Müller, F. Oberwinkler

Institut für Botanik
Spezielle Botanik / Mykologie
Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Die Arbeiten des Projektes Europäisches Forschungszentrum für
Maßnahmen zur Luftreinhaltung werden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg und der
Europäischen Gemeinschaft gefördert

Förderkennzeichen: 85/001/1A

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Zentralbibliothek

27 Seiten

Juni 1990

KfK-PEF-Berichte

Das Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF) im Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH fördert, koordiniert und betreut im Auftrag des Landes Baden-Württemberg und der Europäischen Gemeinschaft Forschungsvorhaben zur Ausbreitung und Umwandlung von Luftverunreinigungen sowie deren Einwirkungen auf Waldökosysteme und die menschliche Gesundheit. Darüberhinaus werden Forschungsvorhaben zur Entwicklung von Emissionsminderungsverfahren gefördert. Hierbei arbeitet es eng mit Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft und Einrichtungen der Öffentlichen Hand zusammen. Die PEF-Projektleitung gibt die Schriftenreihe PEF-Berichte heraus.

Diese Schriftenreihe hat den Zweck, die im PEF-Programm erarbeiteten Erkenntnisse bekannt zu machen und ihre rasche und breite Anwendung und Nutzung in der Praxis zu unterstützen.

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren. Das Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH übernimmt keine Gewähr insbesondere für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben, sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

ISSN: 0931 - 2749

Herausgeber:

Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen
zur Luftreinhaltung (PEF) im Kernforschungszentrum Karlsruhe

Druck und Verbreitung:

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 36 40, 7500 Karlsruhe 1

Printed in the Federal Republic of Germany

Der Einfluß von Düngung im Wald auf die Fruktifikation von Mykorrhizapilzen

Christoph Müller und Franz Oberwinkler

Eberhard - Karls - Universität Tübingen, Fakultät für Biologie, Institut für Botanik, Spezielle Botanik / Mykologie

Zusammenfassung

Auf zwei Düngerversuchsflächen der FVA Baden-Württemberg bei Freudenstadt (60-jähr. Fichtenbestand) und bei Pfalzgrafenweiler (100-jähr. Fichtenbestand) im Nordschwarzwald wurde in 3 Untersuchungsjahren die Fruktifikation der Mykorrhizapilze untersucht. In Freudenstadt traten keine Unterschiede zwischen den gedüngten Parzellen und den Nullfeldern auf. In Pfalzgrafenweiler dagegen konnten erhebliche Unterschiede in den Fruchtkörperdichten festgestellt werden. Der Form und Mächtigkeit des Humushorizontes ist hierfür eine besondere Bedeutung beizumessen. Auf den Nullfeldern mit einem ca. 10 cm mächtigen Auflagehumus war die Fruchtkörperdichte gegenüber den Düngeparzellen deutlich höher. Den geringeren Fruchtkörperdichten in den Düngeparzellen stehen breitere Artenspektren gegenüber. Die Düngung dieses Waldstandortes und die danach folgenden stärkeren Durchforstungsmaßnahmen haben langfristig zu einer größeren Artenvielfalt von Mykorrhizapilzen geführt, die in einer größeren kleinstandörtlichen Variation begründet sein dürfte.

Investigations of the occurrence of mycorrhizal basidiocarps on fertilization test plots

Christoph Müller und Franz Oberwinkler

Eberhard - Karls - Universität Tübingen, Fakultät für Biologie, Institut für Botanik, Spezielle Botanik / Mykologie

Summary

Inventories of mycorrhizal basidiocarps were carried out over a period of three years on two fertilized plots (pure spruce stands) near Freudenstadt in the northern Black Forest (testing grounds of the Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg).

In one case no differences between fertilized and nonfertilized plots could be detected. On the other stand very clear differences in the numbers of mycorrhizal basidiocarps were found over the whole period, especially between the fertilized and the nonfertilized plots. The numbers of mycorrhizal fruitbodies were very much higher in the nonfertilized plots than in the fertilized plots. On the other hand a higher number of species of mycorrhizal fungi could be detected in the fertilized plots. It is derived from the results that the fertilization and the different consequences in forestry practices initiated an increase of species diversity of mycorrhizal fungi because of a higher diversity of small distance soil conditions.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	1
2.1 Versuchsflächen	1
2.1.1 Versuchsfläche DV Fi 337 Pfalzgrafenweiler	1
2.1.1.1 Standort	1
2.1.1.2 Düngeversuch	1
2.1.1.3 Boden	2
2.1.1.4 Bestand	2
2.1.2 BMFT-Versuchsfläche "Hirschkopf"	3
2.1.2.1 Standort	3
2.1.2.2 Düngeversuch	3
2.1.2.3 Boden	3
2.1.2.4 Bestand	3
2.2 Eigene Untersuchungen	4
2.2.1 Fruchtkörperaufnahmen	4
2.2.2 Bodenparameter	4
2.2.3 Wurzelparameter	4
3. Ergebnisse	5
3.1 BMFT-Fläche "Hirschkopf"	5
3.2 Versuchsfläche DV Fi 337 Pfalzgrafenweiler	8
3.2.1 Unterschiede der Fruchtkörperdichten in den einzelnen Parzellen	8
3.2.2 Unterschiede der Artenspektren in den einzelnen Parzellen	17
4. Diskussion	22
4.1 Versuchsfläche "Hirschkopf" Freudenstadt	22
4.2 Versuchsfläche DV Fi 337 Pfalzgrafenweiler	23
5. Literaturliste	26

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden werden zur Zeit teilweise großflächig Wälder gekalkt. Die langfristigen Auswirkungen von Dünge- und Kalkungsmaßnahmen hinsichtlich der zu erwartenden Veränderungen in den Artenspektren von Mykorrhizapilzen wurden bisher nicht ausreichend untersucht. Es wurden daher im Rahmen des PEF-Projektes "Waldschäden" während der Vegetationsperioden 1985, 1986 und 1987 auf zwei Düngeversuchsflächen der FVA-Baden-Württemberg wöchentlich Fruchtkörperaufnahmen von Mykorrhizapilzen und begleitende Untersuchungen von Bodenfaktoren durchgeführt. Die Niederschlags- und Temperaturdaten während des Untersuchungszeitraumes wurden die Auswertungen miteinbezogen.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsflächen

Die Untersuchungen wurden auf den Versuchsflächen DV Fi 337 im Forstbezirk Pfalzgrafenweiler und der BMFT-Fläche "Hirschkopf" im Forstbezirk Freudenstadt durchgeführt.

2.1.1 Versuchsfläche DV Fi 337 Pfalzgrafenweiler

2.1.1.1 Standort

Die Versuchsfläche DV Fi 337 Pfalzgrafenweiler liegt im "Einzelwuchsbezirk 3/06, Flächenschwarzwald" ca. 10 km nordöstlich von Freudenstadt in 600 m ü. N. N. am Ostrand eines Plateaus des oberen Buntsandsteins, der hier als Plattensandstein vorliegt. Die durchschnittlichen jährlichen Niederschläge betragen 950 mm bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7,0°C.

Die Standortseinheit wird gemäß der forstlichen Standortskartierung folgendermaßen beschrieben: anlehmige bis lehmige, fein- bis mittelkörnige, steinhaltige, mäßig nährstoffreiche Sandböden, podsolige bis schwach podsolierte Braunerden mit geringer Moderauflage, häufig Mullmoder, örtlich lettige Einlagerungen mit stärkerer Moder- bis Rohhumusauflage, frisch bis mäßig frisch, örtlich grundfrisch.

2.1.1.2 Düngeversuch

Das Versuchsziel 1952 war die Behebung des Nährstoffmangels bei der Fichte auf oberem Buntsandstein. Nach der Verbesserung der Nährstoffversorgung durch die Düngung waren zunächst besonders ertragskundliche Aspekte von Interesse. Anfang der 60-er Jahre wurden zusätzliche Untersuchungen über die Bodenflora und Bodenfauna auf dieser Fläche durchgeführt.

Die Düngung mit kohlensaurem Kalk (Ca), Kalkammonsalpeter (KAS) und Thomasphosphat (T) in unterschiedlicher Dosierung und Kombination erfolgte 1953, 1954 und 1955; 1966 wurden die Parzellen 1, 2 und 4 mit KAS nachgedüngt (Abb. 1).

Die Bodenflora wurde im Rahmen des PEF-Projektes auf dieser Fläche erneut von Frau Schornick untersucht. Die Ergebnisse lassen gewisse Parallelen hinsichtlich der Artenvielfalt von Bodenflora und Mykorrhizapilzen in den verschiedenen Parzellen erkennen (SCHORNICK 1988).

2.1.1.3 Boden

Der Boden ist tiefgründig, mit hohem Skelettanteil, der von 10% im Oberboden auf 70% in 80 cm Bodentiefe ansteigt. Insgesamt liegt stark grusig-steiniger, stark lehmiger Sand vor, dem im Durchschnitt 15% Ton beigemischt ist.

Die Wasserversorgung wird als gut, aber nicht optimal bezeichnet.

Die Mineralversorgung des Bodens ist gering, trotzdem ist die Wachstumsleistung der Fichte überraschend hoch. Insbesondere Ca, K und Mg liegen in geringen Mengen vor. Die Versorgung mit P aus dem Mineralboden ist ungenügend. Mit steigender Rohhumusdecke werden jedoch mehr citronensäurelösliche P-Verbindungen angereichert und nehmen an Bedeutung für die P-Ernährung der Fichte zu. Das Angebot an den Mikronährelementen Cu, Zn, B, und Mn wird als optimal bezeichnet, Mo liegt in vergleichsweise geringen Mengen vor. Die Versorgung mit N ist ungenügend, führt jedoch zu keinem extremen N-Mangel.

Die Ausgangssituation vor der Düngung war also durch eine schwache Nährstoffversorgung, insbes. bei Ca, P und N gekennzeichnet. Es hatte sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt, der einerseits durch eine fehlende Ionenkonkurrenz (geringes, aber ausgewogenes Angebot an Ca, K und Mg), andererseits durch eine relativ hohe Nährstoffnachlieferung aus dem Auflagehumus begründet war. Dieses Gleichgewicht ermöglichte eine ungewöhnlich hohe Wachstumsleistung (dGZ₁₀₀-Stufen von 12-13) bei Fichte. Dieses Gleichgewicht ist aber labil und kann durch Humusschwund leicht zusammenbrechen.

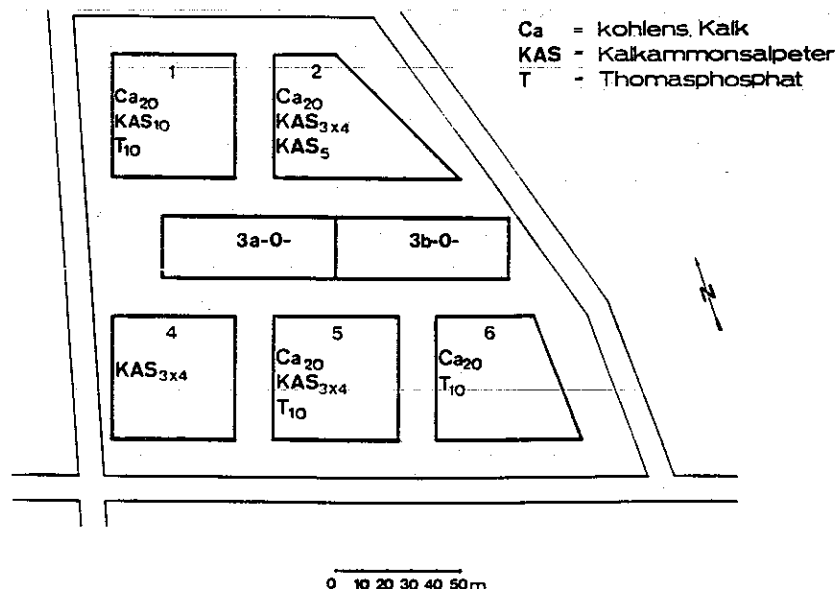
2.1.1.4 Bestand

Der reine Fichtenbestand ist aus Pflanzung in den Jahren 1888 bis 1893 nach streifenweisem Kahlschlag hervorgegangen. Bei Anlage des Düngerversuchs Ende 1952 waren die Fichten 64-68 (im Mittel 66) Jahre alt und der Bestand sehr gleichmäßig geschlossen. Seit der Düngung wurden die Fichten "ungefähr grundflächengleich" durchforstet.

Sämtliche Angaben zum Standort Pfalzgrafenweiler wurden HAUSSER & WITTICH (1969) entnommen.

Abb.1

Düngungs-Vers. F1337 Pfalzgrafenweiler



2.1.2 BMFT-Versuchsfläche "Hirschkopf"

2.1.2.1 Standort

Die im Stadtwald Freudenstadt gelegene Fläche "Hirschkopf" befindet sich knapp 800 m ü. N. N. im oberen Buntsandstein. Die durchschnittlichen jährlichen Niederschläge betragen 990 mm, bei einer mittleren Jahrestemperatur von 6,5°C.

2.1.2.2 Düngeversuch

Die Versuchsfläche wurde 1983 von der FVA-Baden-Württemberg im Rahmen des BMFT-Projektes "Waldschadenforschung" angelegt. Eine Düngung mit Kalksalpeter und Silvital erfolgte 1984 und 1985 (Abb. 2). Silvital ist ein spezieller Forstdünger und enthält Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} und P_2O_5 .

Die gesamte Fläche, also auch das Nullfeld waren Anfang der 70-er Jahre mit Thomasmehl und Hüttenkalk gedüngt worden; über die damals ausgebrachten Düngermengen gibt es keine Angaben.

2.1.2.3 Boden

Der Buntsandstein liegt hier ebenfalls als Plattensandstein vor und wird als feinkörniger, dunkelroter, glimmeriger, oft verfleckter, oben ausgesprochen plattiger und lettenführender Sandstein beschrieben. Laut forstlicher Standortskartierung handelt es sich um lehmigen Sand mit leichtem bis mäßigem Steingehalt. Der Boden ist meist tiefgründig und wird im Unterboden toniger, so daß örtlich leichter Wasserstau auftritt. Häufig tritt Podsolierung auf. Die Wasserversorgung und Bodenbelüftung wird als gut bezeichnet. Bei nur mäßiger Nährstoffversorgung ist der Boden mehr oder weniger versauert. Insbesondere austauschbare Ca- und Mg-Ionen liegen in sehr geringen Mengen vor. Die Standortseinheit wird als mäßig frischer, lehmiger Sand bezeichnet. Im Oberboden ist z. T. pleistozäner Schlufflehm eingemischt (Fließerde der Buntsandsteinhochfläche), dann ist der Boden nährstoffreicher, günstiger strukturiert und weniger versauert. Hier liegt dann die Standortseinheit mäßig frischer Buntsandstein-Mischlehm vor.

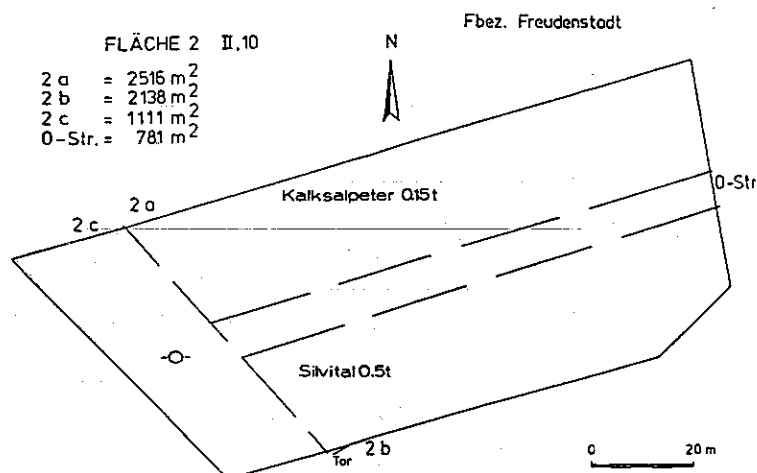
Bei der Humusaufgabe handelt es sich um sehr unterschiedlich mächtigen, z. T. fehlenden Moder bis rohhumusartigen Moder.

2.1.2.4 Bestand

Es handelt sich um einen ca. 60-jährigen Bestand mit etwa 80% Fichte und 20% Tanne (Kiefer, Buche), der ein lockeres bis geschlossenes Kronendach aufweist. Im Gegensatz zu den Fichten in Pfalzgrafenweiler treten auf der Fläche "Hirschkopf" deutliche Baumschäden auf. 1986 wurden 20% der Fichten der Schadklasse 3 zugeordnet. Die Wuchsleistung der Fichte mit einem dGz100 von 11 recht hoch.

Die Unterlagen zum Standort Freudenstadt wurden freundlicherweise von Herrn Krebs (FVA Baden-Württemberg) zur Verfügung gestellt.

Abb. 2



2.2 Eigene Untersuchungen

2.2.1 Fruchtkörperaufnahmen

Auf den Versuchsflächen wurden während der Vegetationsperioden 1985, 1986 und 1987 wöchentlich Fruchtkörperaufnahmen von Mykorrhizapilzen durchgeführt. Dabei wurden jeweils Richtung und Entfernung zum nächsten Baum festgehalten, um ein möglicherweise clusterartiges Vorkommen einzelner Pilzarten durch Kartierung dokumentieren zu können. Die Unterscheidung von Mykorrhizapilzen und Saprophyten, bzw. Parasiten erfolgte nach MOSER (1978)

Begleitend hierzu erfolgten zahlreiche Messungen von Boden- und Wurzelparametern auf der Fläche in Pfalzgrafenweiler; auf der BMFT-Fäche in Freudenstadt wurden die entsprechenden Daten von der FVA Baden-Württemberg übernommen.

2.2.2 Bodenparameter

In den Einzelnen Parzellen der Versuchsfläche wurde wöchentlich die Bodenfeuchte gravimetrisch nach Ofentrocknung bei 105°C gemessen. Gleichzeitig erfolgte die Messung der Boden-pH-Werte in H₂O und KCl.

Außerdem wurde während des Untersuchungszeitraumes pro Jahr zwei- bis dreimal der Gesamtstickstoff nach der Kjeldahl-Methode bestimmt. Ergänzend hierzu erfolgte die Kohlenstoffbestimmung nach trockener Veraschung der Bodenproben und die anschließende Ermittlung der entsprechenden C/N-Werte.

Im letzten Untersuchungsjahr 1987 wurden auf der Fläche DV Fi 337 die Bodentemperaturen nach der Invertzuckermethode von Pallmann (PALLMANN, EICHENBERGER & HASLER 1940) gemessen.

2.2.3 Wurzelparameter

1986 wurden auf der Fläche DV Fi 337 an je 10 Probebäumen (gleicher Kraft'scher Baumklasse) pro Parzelle Wurzelproben entnommen und im Labor ausgewertet. Dabei wurden Feinwurzellängen und Verzweigungsmuster mit Hilfe des MOP-Videoplan Bildanalysegerätes bei gleichzeitiger Zählung mykorrhizierter Feinwurzelspitzen gemessen. Die Verzweigungsdichte der Feinwurzelssysteme wurde als Quotient aus der Anzahl der Wurzelspitzen höchster Verzweigungsordnung und der Gesamtlänge der Feinwurzeln zweithöchster Verzweigungsordnung berechnet.

Aus Zeitgründen war es nicht möglich, auf der Fläche "Hirschkopf" Wurzeluntersuchungen durchzuführen. Es liegen jedoch Mykorrhizauntersuchungen aus der eigenen Arbeitsgruppe vor (BLASIUS 1984, FEIL 1984 und HAUG 1987).

3. Ergebnisse

3.1 BMFT-Fläche "Hirschkopf"

Auf diesem Standort fruktifizierten sehr wenige Mykorrhizapilzarten (Tab. 1). Die Unterschiede in der Fruchtkörperdichte und den Artenzahlen zwischen den einzelnen Parzellen waren sehr gering und daher nicht absicherbar (Abb. 3a u. 3b).

Abb. 3a

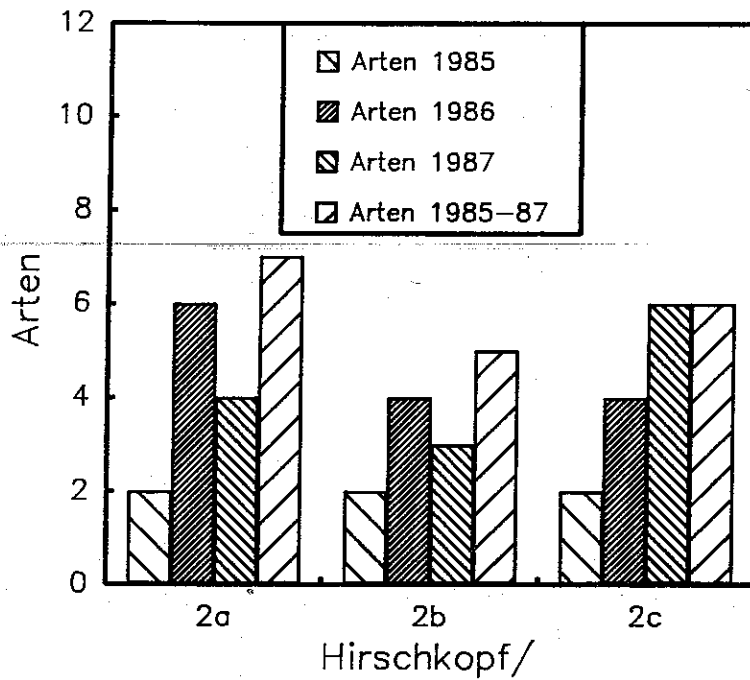
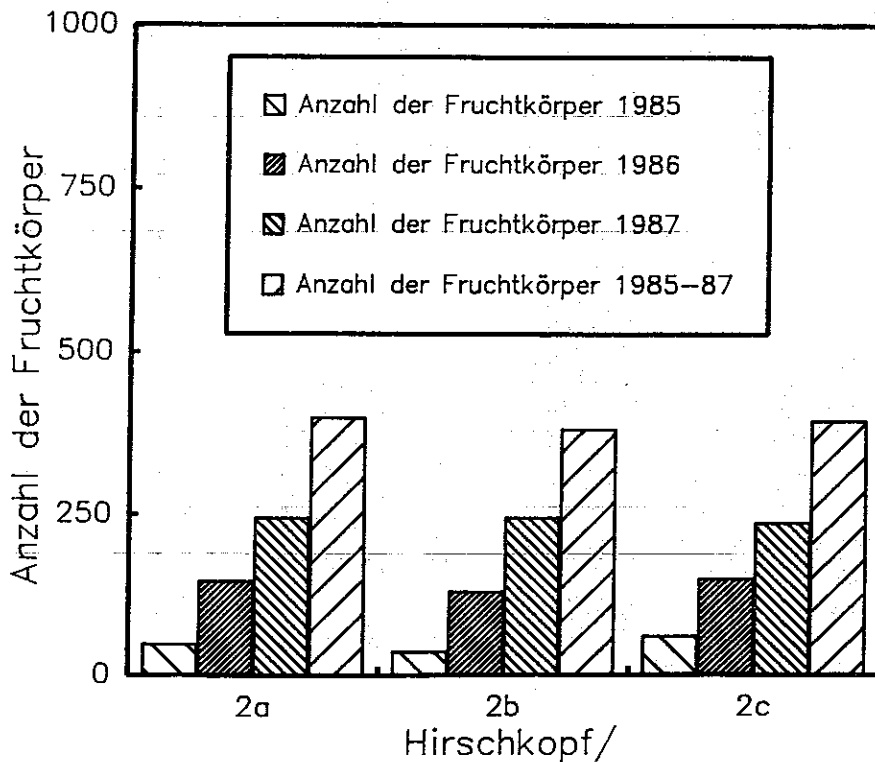


Abb. 3b



Tab. 1 Artenliste "Hirschkopf" 1985-1987

Gattung/Art	Parzelle		
	2a	2b	2c
Xerocomus badius	0	1	2
Xerocomus chrysenteron	1	0	0
Paxillus involutus	2	0	0
Hygrophorus pustulatus	165	71	253
Laccaria amethystea	66	214	25
Laccaria laccata	69	63	11
Amanita rubescens	0	0	1
Russula ochroleuca	97	35	104
Russula puellaris	1	0	0
Summe der Fruchtkörper	401	384	396
Summe der Arten	7	5	6

Die Düngung hat in Freudenstadt zu einer deutlichen Veränderung der pH-Werte im Auflagehumus der Düngeparzellen (2a und 2b) geführt (Abb. 4a), während im obersten Mineralboden noch keine pH-Unterschiede zwischen Düngeparzellen und Nullfeld (2c) auftreten (Abb. 4b).

Abb. 4a

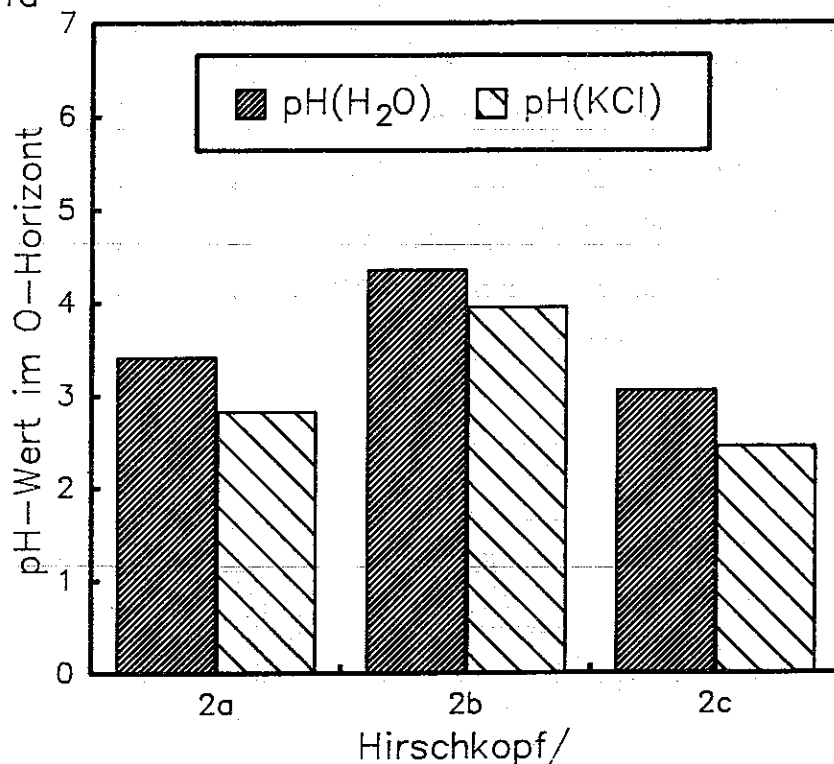
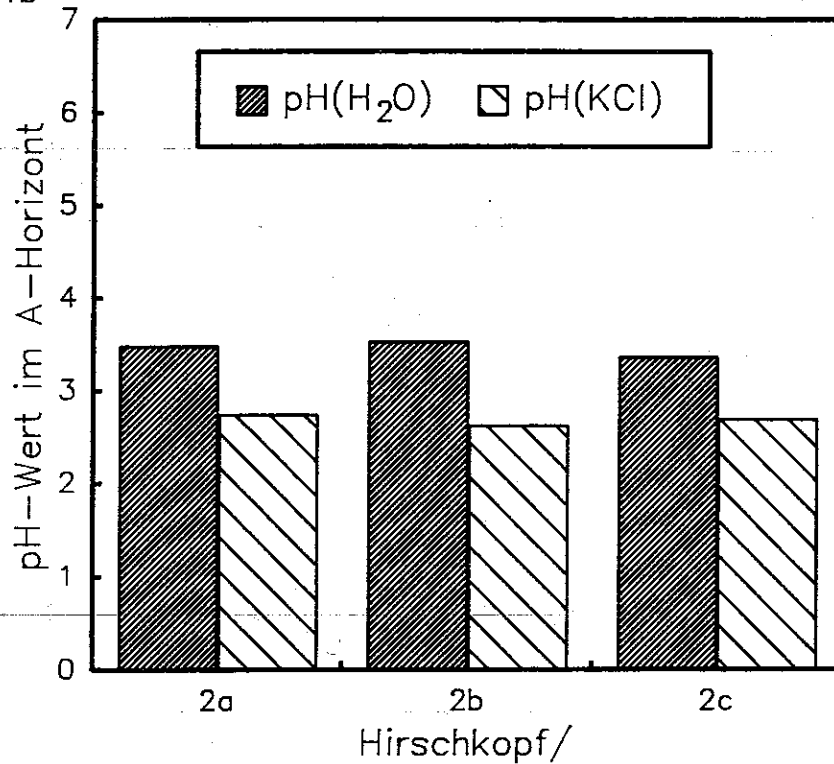


Abb. 4b

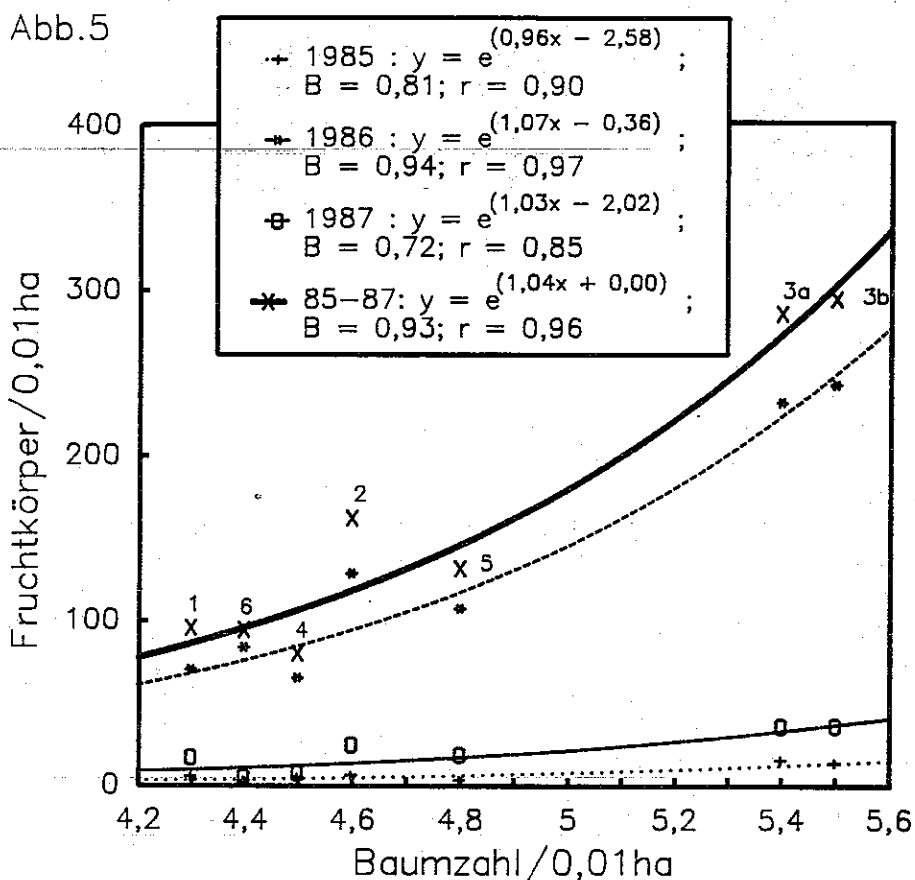


Die pH-Werte im obersten Mineralboden entsprechen in etwa denen auf der Fläche DV Fi 337 in Pfalzgrafenweiler. Im Auflagehumus der Düngeparzellen auf dem Standort "Hirschkopf" hat dagegen eine mehr oder weniger deutliche pH-Anhebung stattgefunden. Diese Unterschiede ließen eigentlich eine Reaktion der Mykorrhizapilze erwarten. Die Fruchtkörperaufnahmen führten jedoch innerhalb des Beobachtungszeitraumes nicht zu einem derartigen Ergebnis. Die pH-Werte im obersten Mineralboden aller Parzellen und der pH-Wert im Auflagehumus der Nullparzelle auf der Fläche "Hirschkopf" sind den in Pfalzgrafenweiler gemessenen pH-Werten sehr ähnlich. Das bedeutet, daß die auffallend geringe Fruktifikation der Mykorrhizapilze auf der gesamten BMFT-Fläche nicht allein im Boden-pH ihre Ursache haben kann. Möglicherweise ist auch hier die Mächtigkeit der Humusaufgabe entscheidend für die Fruktifikation der Mykorrhizapilze. Es bleibt abzuwarten, wie sich im weiteren Verlauf des Düngerversuchs der Humus auf diesem Standort verändert und ob sich diese Veränderungen auf die Mykorrhizapilze qualitativ und quantitativ auswirken.

3.2 Versuchsfläche DV Fi 337 Pfalzgrafenweiler

3.2.1 Unterschiede der Fruchtkörperdichten in den einzelnen Parzellen

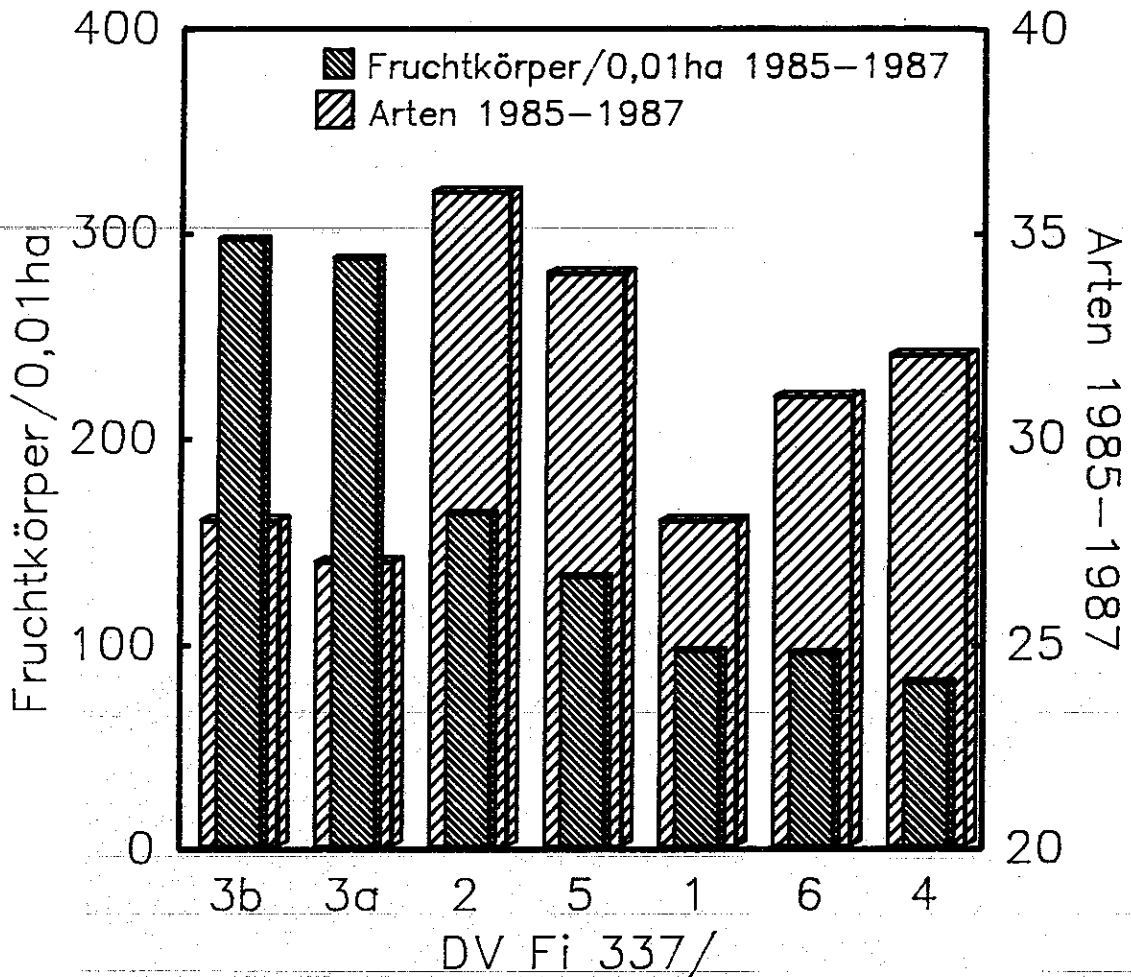
Die Düngung verursachte auf der Versuchsfläche in Pfalzgrafenweiler langfristig eine Veränderung zahlreicher Parameter, die sich mit den Fruchtkörperdichten in den einzelnen Parzellen korrelieren lassen. Diese Veränderungen einzelner Parameter sind gleichgerichtet und dürften untereinander in Beziehung stehen. So führte die Düngung zu einer deutlichen Zuwachssteigerung der Fichten gegenüber den Nullparzellen. Bei den Durchforstungen wurde die Grundfläche in etwa konstant gehalten. Daraus resultierte in den Düngeparzellen aufgrund des Mehrzuwachses eine stärkere Stammzahlfreuduzierung als in den Nullfeldern. Die Baumzahlen lassen sich mit den Fruchtkörperdichten positiv korrelieren (Abb. 5).



Die Fruchtkörperaufnahmen lassen z. T. deutliche qualitative und quantitative Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen, besonders jedoch zwischen den Düngeparzellen und den Nullflächen erkennen. Witterungsbedingte Unterschiede zwischen den Vegetationsperioden führten erwartungsgemäß auf dieser Fläche im Beobachtungszeitraum zu starken Schwankungen bei der Fruktifikation der Mykorrhizapilze, graduelle Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen blieben jedoch in etwa erhalten. Dies gilt sowohl für die Fruchtkörperdichten, als auch für die Artenzahlen.

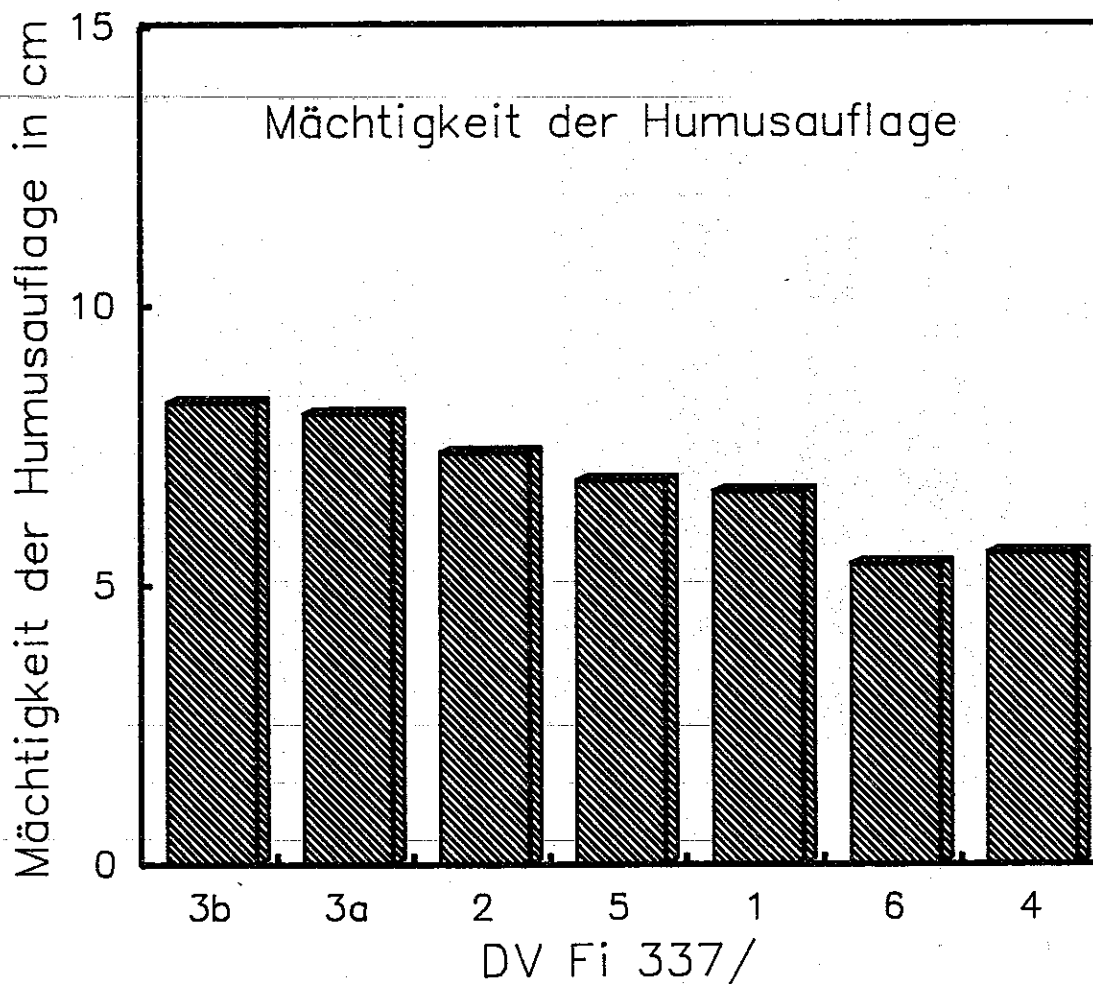
Summiert man die Fruchtkörperfunde über die 3 Beobachtungsjahre auf, so läßt sich feststellen, daß in den Nullflächen die höchsten Fruchtkörperdichten, jedoch die geringste Artenvielfalt anzutreffen ist (Abb. 6). Die Fruchtkörperdichten und die Artenspektren verhalten sich tendenziell gegenläufig.

Abb. 6



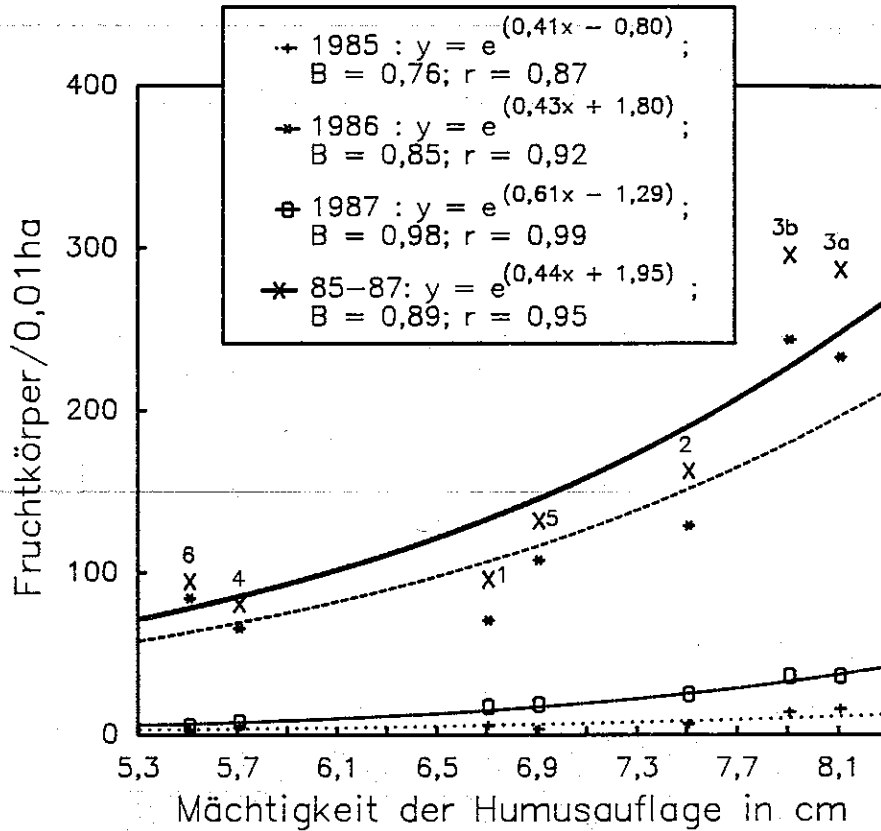
Aus dem erhobenen Datenmaterial ergeben sich Hinweise darauf, daß der Form und Mächtigkeit des Humushorizontes hinsichtlich quantitativer Unterschiede bei der Fruktifikation der Mykorrhizapilze eine bedeutende Rolle zukommt. In den Nullfeldern ist eine gegenüber allen Düngeparzellen deutlich mächtigere Humusauflage anzutreffen (Abb. 7).

Abb. 7



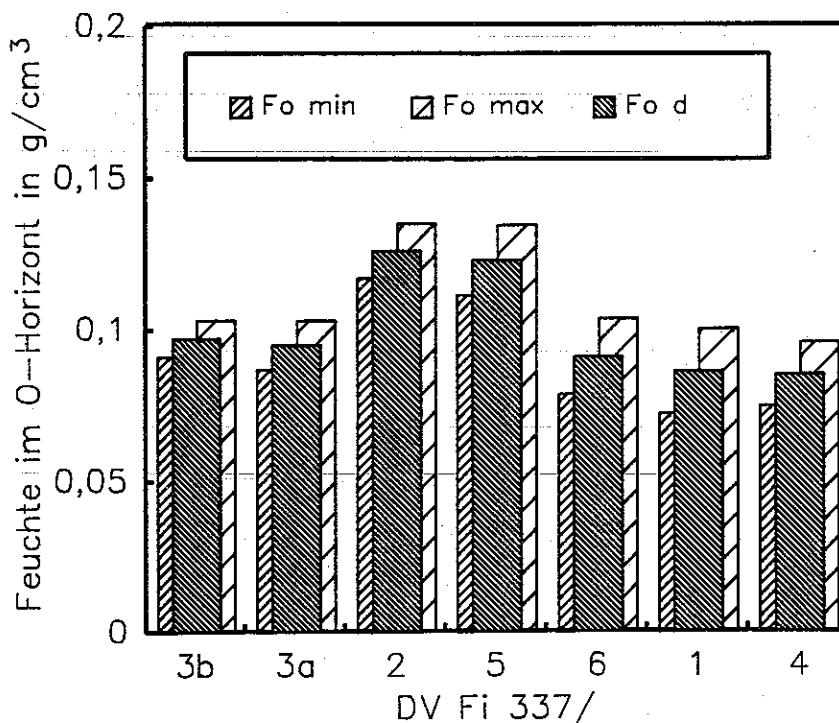
Höhere Fruchtkörperdichten lassen sich zur Mächtigkeit der Humushorizonte in den einzelnen Parzellen korrelieren (Abb. 8).

Abb. 8



Im Humushorizont der Nullfelder wurden hinsichtlich der Feuchtigkeitsverhältnisse etwas geringere wöchentliche Schwankungen festgestellt, wobei die durchschnittliche Feuchtigkeit selbst ein mittleres Niveau gegenüber den übrigen Parzellen einnimmt (Abb.9).

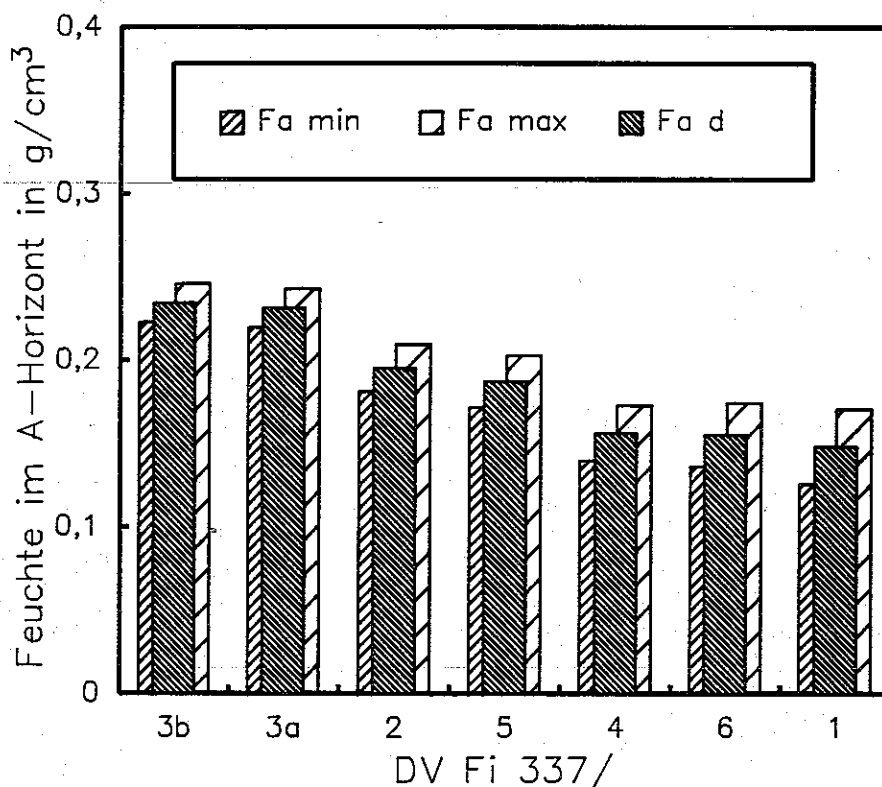
Abb. 9



Fo min und Fo max symbolisieren den unteren bzw. oberen Wert der durchschnittlichen wöchentlichen Feuchtigkeitsschwankungen im Auflagehumus, Fo d kennzeichnet die durchschnittliche Feuchtigkeit über die gesamte Vegetationsperiode in $\text{g H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ Boden.

Ein anderes Bild ergibt sich beim durchschnittlichen Wassergehalt im obersten Mineralboden; der Mineralboden der Nullfelder hat ein höheres Feuchtigkeitsniveau als der sämtlicher Düngeparzellen, wobei auch hier die mittleren wöchentlichen Schwankungen am geringsten sind (Abb. 10, Symbole analog zur Abb. 9).

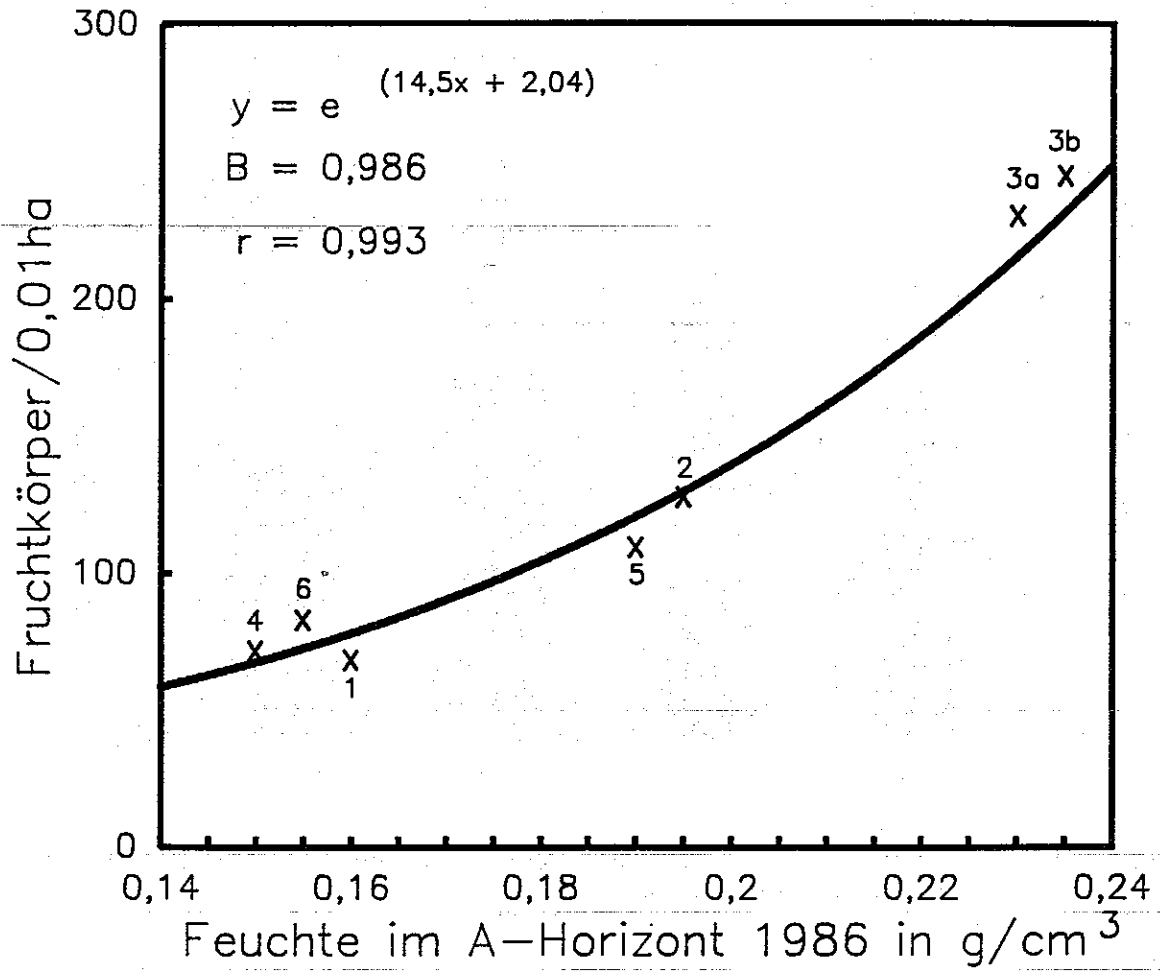
Abb. 10



Setzt man die Feuchtigkeitsdaten des obersten Mineralbodens der einzelnen Parzellen mit den Fruchtkörperdichten in Beziehung, so ergibt sich ein eindeutiger Zusammenhang.

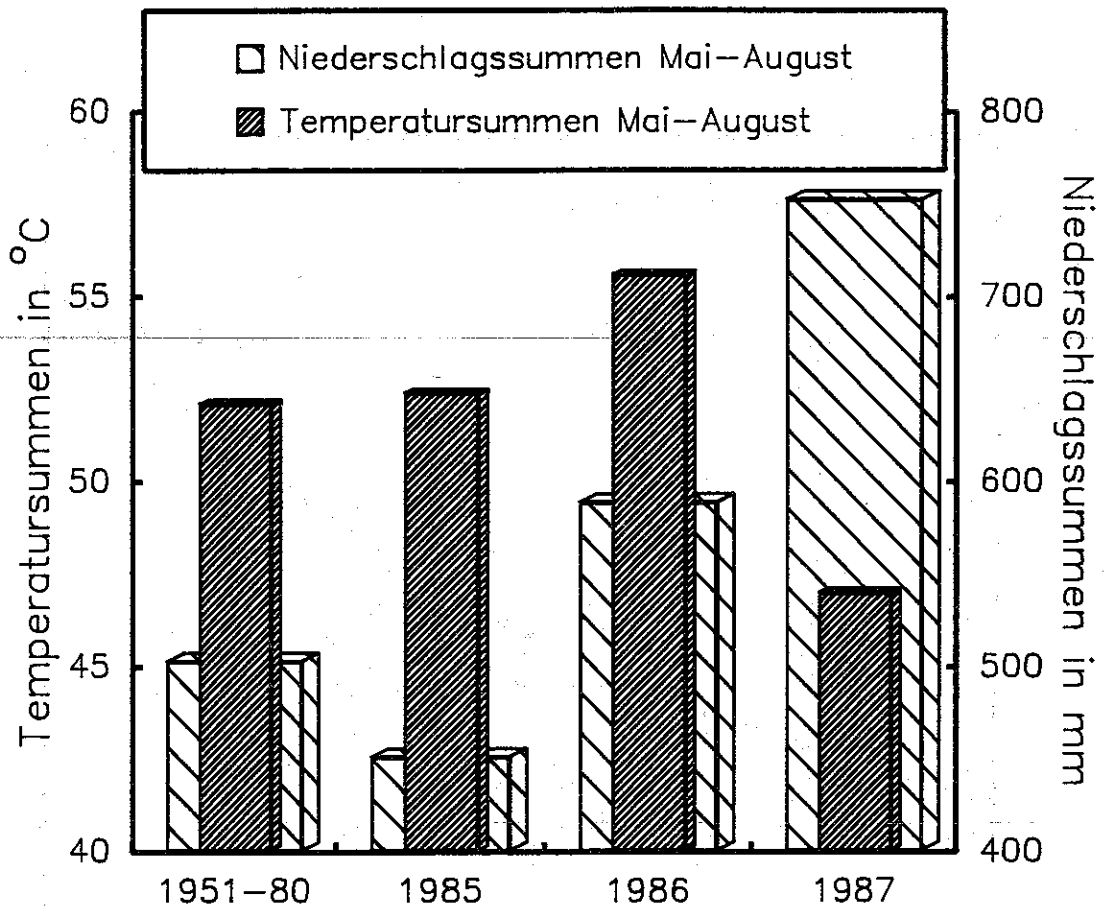
Je höher die mittlere Feuchte des obersten Mineralbodens und je geringer die durchschnittlichen wöchentlichen Schwankungen, desto höher war die Fruchtkörperdichte in den einzelnen Parzellen, hier dargestellt am Beispiel der Vegetationsperiode 1986 (Abb. 11).

Abb. 11



Konstante, relativ hohe Feuchtigkeitsbedingungen im Oberboden bei gleichzeitig hohen Temperaturen während der Sommermonate scheinen die Fruktifikation der Mykorrhizapilze zu begünstigen. Die Temperatur- und Niederschlagssummen während der Monate Mai-August zeigen die jeweils unterschiedliche Witterungssituation der 3 Beobachtungsjahre: 1985 trocken-warm, 1986 feucht-heiß und 1987 naß-kalt (Abb. 12).

Abb. 12



Die feucht-heiße Witterung 1986 hat sich dabei am günstigsten auf die Fruktifikation der Mykorrhizapilze ausgewirkt.

Die mittleren pH-Werte im Auflagehumus (Abb. 13) und im obersten Mineralboden (Abb. 14) liegen in allen Parzellen sehr eng beieinander, so daß aufgrund dieser geringen Unterschiede Rückschlüsse auf die Fruktifikation der Mykorrhizapilze nicht sinnvoll wären. Die pH-Werte sind insgesamt sehr niedrig und ähnlich, obwohl die einzelnen Parzellen bezüglich anderer Bodenparameter insgesamt sehr deutlich unterscheiden.

Abb. 13

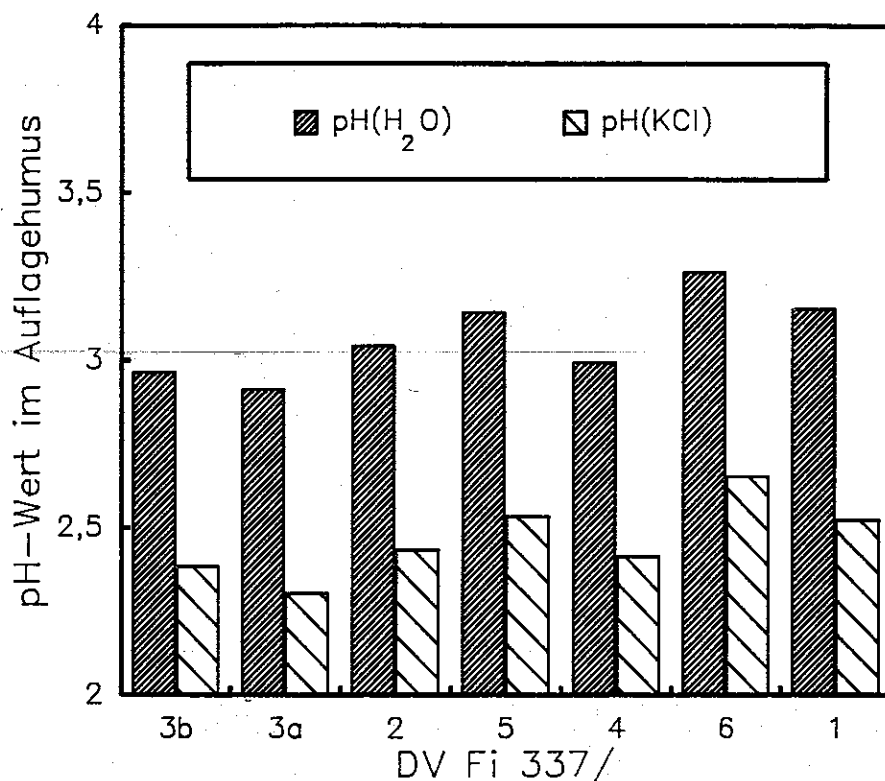
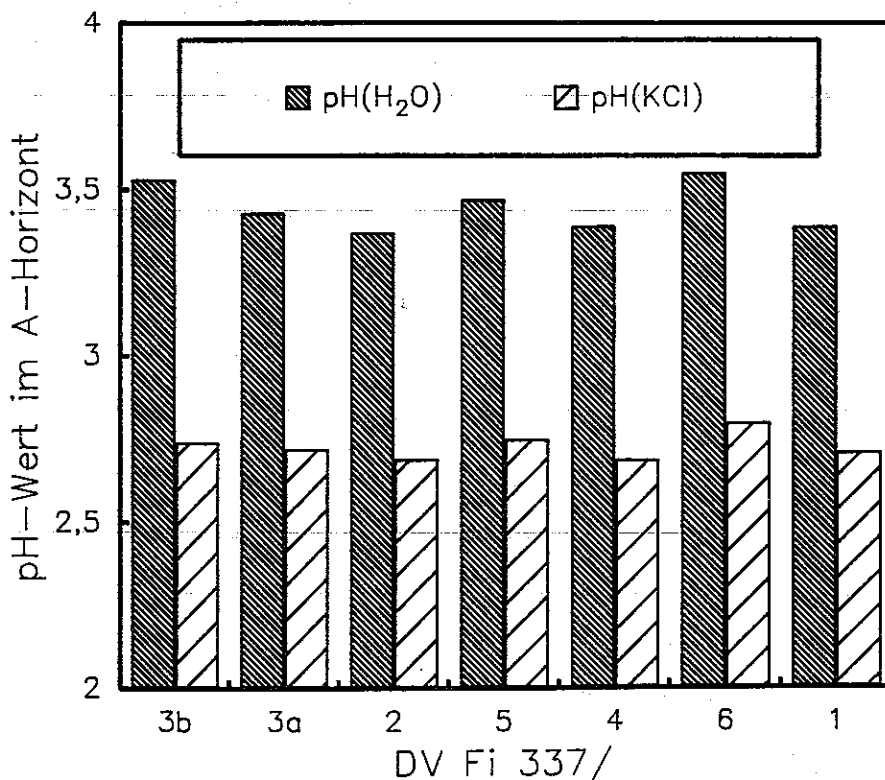


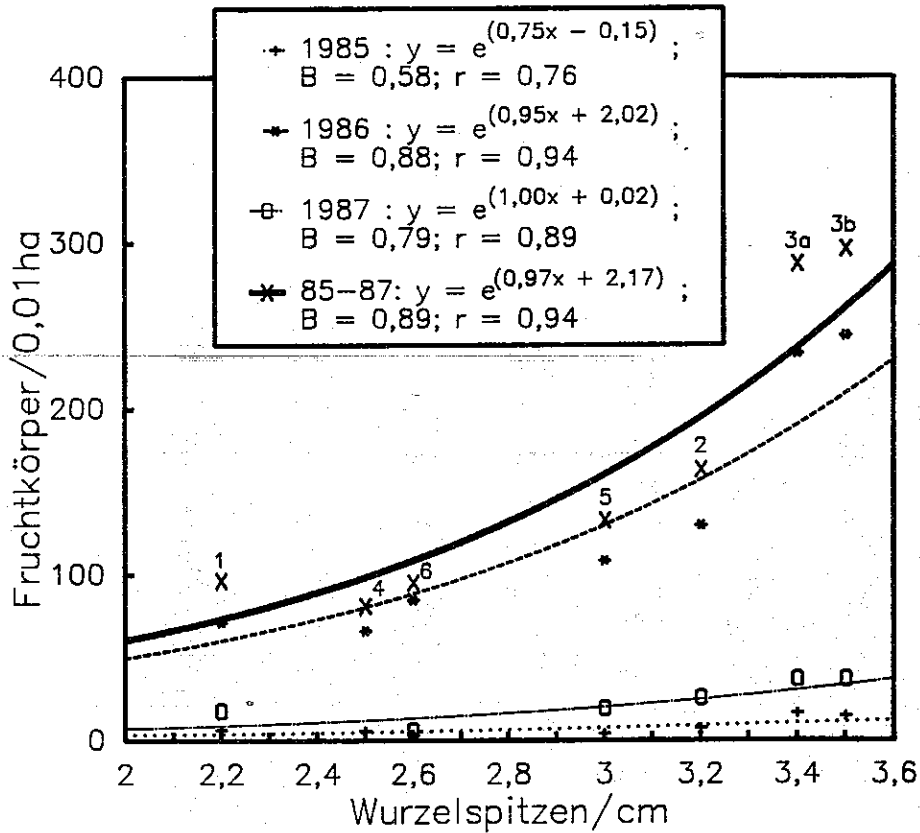
Abb. 14



Die Feinwurzeluntersuchungen ergaben, daß der Oberboden der Nullfelder am stärksten durchwurzelt war und hier die Fichtenfeinwurzeln am dichtesten verzweigt waren.

Es ergab sich eine eindeutige Korrelation zwischen der Verzweigungsdichte der Fichtenfeinwurzeln aus den obersten 10 cm Boden und der Fruchtkörperdichte in den einzelnen Parzellen (Abb. 15).

Abb. 15



Fruchtkörperbeobachtungen scheinen auf diesem Standort eine grobe Einschätzung gradueller Unterschiede bei der Durchwurzlung und der zu erwartenden Verzweigungsmuster der Fichtenfeinwurzeln zu erlauben.

3.2.2 Unterschiede der Artenspektren in den einzelnen Parzellen

Innerhalb des 3-jährigen Untersuchungszeitraumes wurden insgesamt 44 Arten von Mykorrhizapilzen auf der Versuchsfläche in Pfalzgrafenweiler nachgewiesen (Tab. 3, Artenliste). Die gefundenen Arten sind typisch für saure Fichtenwälder (MOSER 1978). Von den insgesamt 44 Arten kamen 20 Arten in allen Parzellen vor, 1 Art war ausschließlich in den Nullparzellen anzutreffen und 15 Arten fruktifizierten nur in Düngeparzellen. Die Artenliste zeigt, daß in den Düngeparzellen bei niedrigeren Fruchtkörperdichten etwas größere Artenspektren voranden sind, als in den Nullparzellen.

Betrachtet man die Artenzahlen der einzelnen Parzellen (Tab. 2) in den 3 Untersuchungsjahren, so zeigt sich, daß während der Sommermonate eine trocken-warme (1985) oder naß-kalte (1987) Witterung die Fruktifikation der Mykorrhizapilze beeinträchtigen. Feucht-heiße Sommermonate (1986) wirken sich dagegen positiv auf die Fruchtkörperproduktion der Mykorrhizapilze aus.

Der Einfluß unterschiedlicher Witterungsbedingungen auf das Artenspektrum läßt sich erst nach einem größeren Beobachtungszeitraum beurteilen.

Tab. 2

337/	Arten 1985	Arten 1986	Arten 1987	Arten 1985-87
1	19	27	19	28
2	23	30	27	36
3a	17	23	22	27
3b	14	23	22	28
4	21	29	18	32
5	15	29	22	34
6	17	26	17	31

Die deutlich höheren Fruchtkörperdichten in den Nullparzellen führen auf der Fläche außerdem zu einer gleichmäßigeren Verteilung der vorkommenden Arten und nicht etwa zu einer clusterartigen massenweisen Fruktifikation.

Arten und Fruchtkörper in den einzelnen Parzellen der Fläche
DV Fi 337 in Pfalzgrafenweiler 1985 - 1987

DV Fi 337/	1	2	3a+3b	4	5	6
Gattung/Art						
Arten, die in allen Parzellen vorkamen						
Xerocomus badius	362	307	893	123	353	316
Xerocomus chrysenteron	27	48	25	9	16	2
Paxillus involutus	139	170	92	160	24	13
Amanita fulva	14	13	77	57	14	19
Amanita rubescens	55	143	84	50	82	79
Amanita spissa	7	20	7	31	3	16
Russula adusta	9	9	10	15	2	11
Russula densifolia	6	29	21	16	31	15
Russula mustelina	1	6	11	4	6	9
Russula ochroleuca	142	334	1906	354	335	159
Lactarius lignyotus	17	37	26	26	16	2
Lactarius necator	31	50	405	32	38	8
Lactarius theiogalus	409	481	357	144	150	60
Hygrophorus olivaceoalbus	211	102	198	14	177	102
Laccaria amethystea	104	143	120	41	755	362
Dermocybe sanguinea	5	22	17	108	1	1
Cortinarius brunneus	13	262	884	334	192	260
Cortinarius paleaceus	126	583	286	164	452	506
Cortinarius paleiferus	407	709	236	164	439	276
Cortinarius speciosissimus	49	9	10	15	2	5
Fruchtkörper insgesamt	2134	3477	5665	1861	3088	2221
Arten insgesamt	20	20	20	20	20	20

Arten, die sowohl in Düngeparzellen, als auch in Nullparzellen vorkamen, aber nicht in allen Parzellen

Rozites caperata	0	23	7	0	0	0
Russula badia	0	0	1	5	3	0
Russula cyanoxantha	0	2	2	1	0	0
Russula puellaris	8	13	11	0	28	0
Russula vesca	0	1	3	1	6	0
Laccaria laccata	18	5	124	0	33	4
Lactarius rufus	0	11	57	0	1	8
Cantharellus tubaeformis	44	369	1220	0	75	0
Fruchtkörper insgesamt	70	424	1579	104	144	12
Arten insgesamt	3	7	8	3	6	2

DV Fi 337/ 1 2 3a+3b 4 5 6

Gattung/Art

Arten, die ausschließlich in den Düngeparzellen vorkamen

Boletus erythropus	0	0	0	0	0	1
Xerocomus subtomentosus	0	2	0	0	4	0
Tylopilus felleus	14	0	0	32	4	2
Amanita citrina	0	0	0	1	1	0
Amanita umbrinolutea	2	0	0	2	1	1
Amanita vaginata	13	3	0	4	4	2
Russula integra	0	4	0	7	3	8
Russula paludosa	0	0	0	1	0	0
Lactarius camphoratus	0	4	0	0	0	0
Lactarius helvus	0	33	0	5	0	88
Lactarius piperatus	0	3	0	0	0	0
Lactarius vellereus var. velutinus	0	10	0	0	0	0
Gomphidius glutinosus	0	0	0	0	0	1
Inocybe umbrina	67	8	0	31	77	80
Cortinarius camphoratus	131	114	0	7	15	15
Fruchtkörper insgesamt	227	181	0	90	109	198
Arten insgesamt	5	9	0	9	8	9

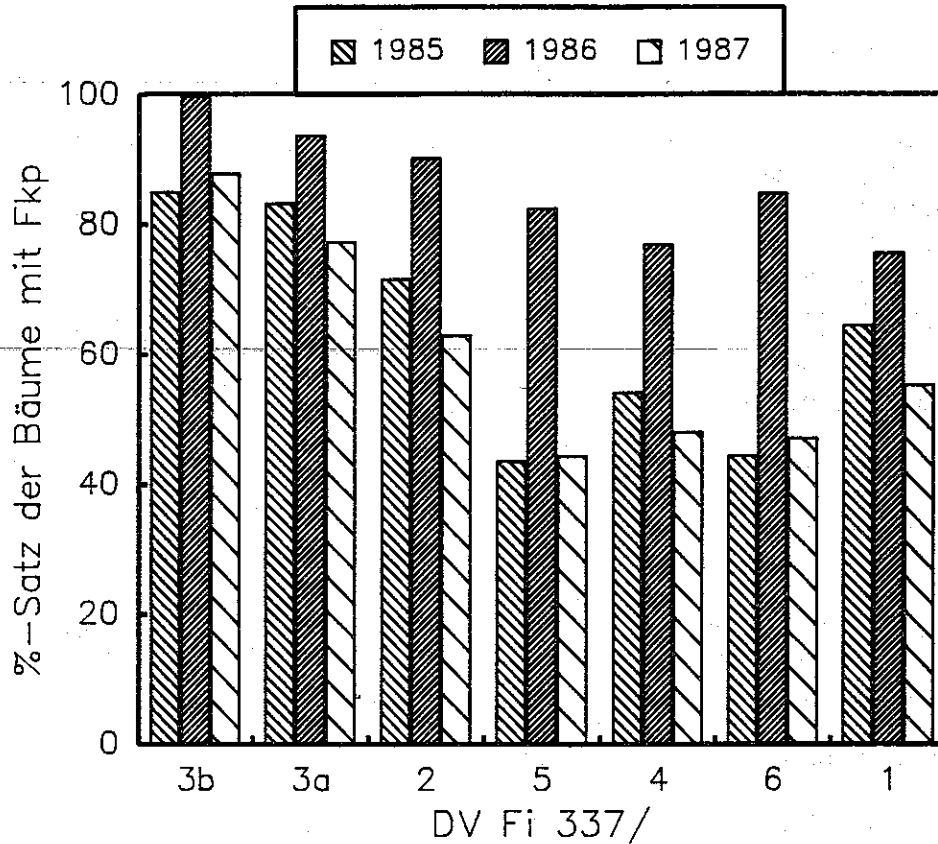
Arten, die ausschließlich in den Nullparzellen vorkamen

Russula emetica	0	0	8	0	0	0
Fruchtkörper insgesamt	0	0	8	0	0	0
Arten insgesamt	0	0	1	0	0	0

Fruchtkörper insgesamt	2431	4082	7252	2055	3341	2431
Arten insgesamt	28	36	29	32	34	31

Dies zeigt sich im prozentualen Anteil der Bäume, die mit Mykorrhizapilzfruchtkörpern besetzt sind. Der Prozentsatz der mit Mykorrhizapilzfruchtkörpern besetzten Bäume ist in den Nullflächen höher als in allen Düngeparzellen (Abb. 16).

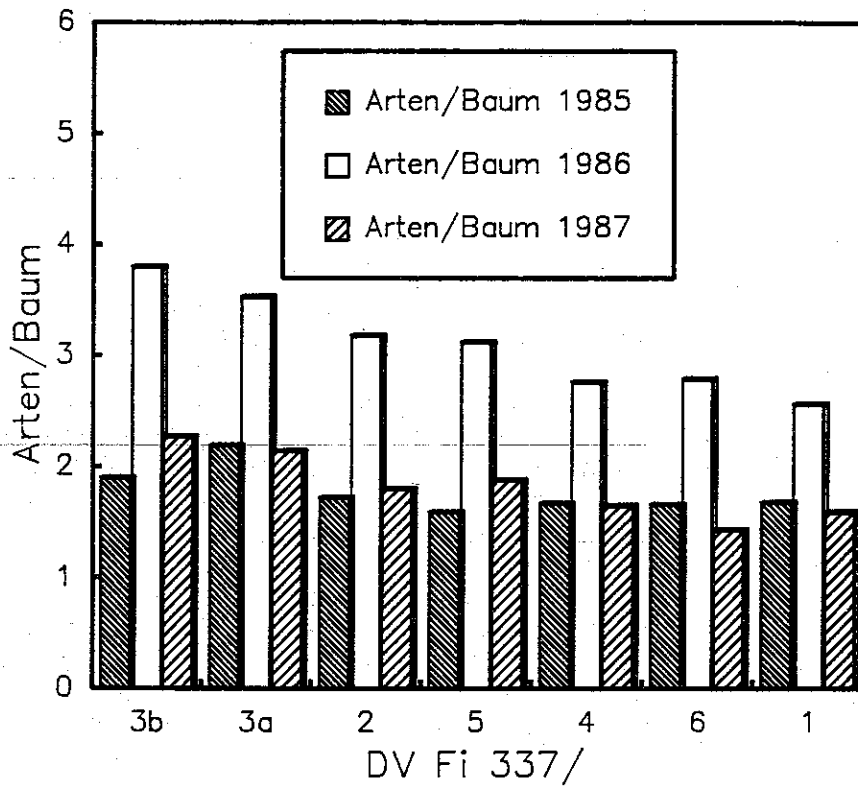
Abb. 16



Die gleichmäßigere Verteilung der in den Nullflächen vorkommenden Arten führt auch zu höheren Artendichten, bzw. durchschnittlichen Artenzahlen pro Baum, trotz niedrigerer Artenvielfalt (absolute Anzahl an Arten).

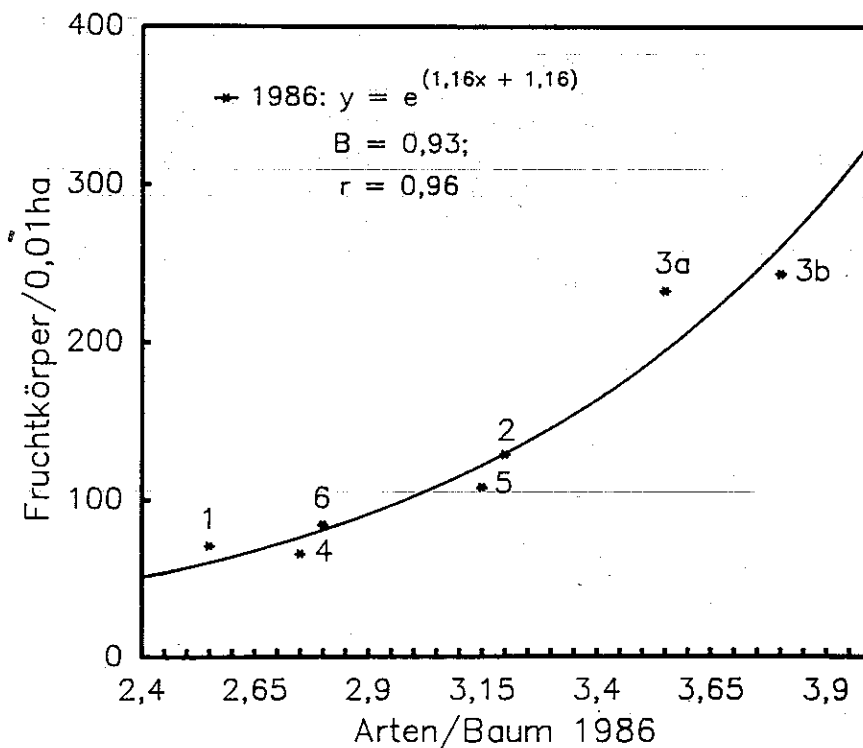
Die Fichten in den Nullflächen sind also im Durchschnitt mit mehr Arten besetzt als in den Düngeparzellen (Abb. 17).

Abb. 17



Die durchschnittlichen Artenzahlen pro Baum und die Fruchtkörperdichten lassen sich positiv korrelieren, hier exemplarisch dargestellt für das Jahr 1986 (Abb. 18), der Zusammenhang besteht für den gesamten Beobachtungszeitraum.

Abb. 18



4. Diskussion

Zunächst muß darauf hingewiesen werden, daß die vorliegenden Ergebnisse aufgrund des für pilzsoziologische Untersuchungen sehr kurzen Zeitraumes als vorläufig bewertet werden müssen. Auch wenn sich teilweise deutliche Tendenzen aus dem Datenmaterial abzeichnen, ist nicht auszuschließen, daß im Laufe der weiteren Bestandesentwicklung Verschiebungen in der Hierarchie der Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen stattfinden. Dies könnte insbesondere dann eintreten, wenn die Düngewirkung längere Zeit abgeklungen ist.

Bei der Darstellung von Zusammenhängen zwischen möglichen, bzw. wahrscheinlichen Einflüssen einzelner Faktoren auf die Fruchtkörperhäufigkeit von Mykorrhizapilzen ist es aufgrund der zahlreichen Wechselwirkungen und Rückkopplungen schwierig, Ursache und Wirkung voneinander zu trennen. Deshalb sollten die dargestellten Zusammenhänge einzelner Einflußfaktoren als Glied in der Kette solcher Wechselwirkungen und Rückkopplungen innerhalb eines Ökosystems gewertet werden. Es wurden einzelne Faktoren innerhalb des Ökosystems herausgegriffen und mit Fruchtkörperdichten korreliert, um zu prüfen, welche Einflußgrößen wirksam sein könnten. Dies läßt nicht notwendigerweise auf ursächliche Zusammenhänge schließen. Die Korrelationen zeigen jedoch, daß sich nach der Veränderung einer Komponente eines Ökosystems eine ganze Reihe anderer Faktoren ebenfalls verändern, wobei diese Veränderungen teilweise zu Verhältnissen führen, die eine gleichgerichtete Stratifizierung erlauben.

Düngemaßnahmen auf Waldstandorten führen nicht nur zu direkten Wirkungen, wie Veränderungen im Nährstoffangebot, im Stickstoffumsatz und im Wachstum der Bäume. Es kommt im Laufe der Zeit zu Sekundärwirkungen, wie veränderte forstliche Maßnahmen, die ihrerseits zumindest kleinstandörtliche Veränderungen verursachen. Es ist daher, besonders wenn die Düngung längere Zeit zurückliegt, nicht mehr möglich, zwischen den eigentlichen Düngewirkungen und den Wirkungen der durch die Düngung veränderten Faktoren zu unterscheiden, bzw. die Wirkung einzelner Komponenten zu differenzieren.

4.1 Versuchsfläche "Hirschkopf" Freudenstadt

Wie bereits in Kapitel 3.1 erwähnt, scheint die Fruktifikation der Mykorrhizapilze auf diesem Standort stark beeinträchtigt zu sein. Es konnten über den gesamten Beobachtungszeitraum insgesamt nur 9 Arten nachgewiesen werden, die in ungewöhnlich wenigen Exemplaren fruktifizierten (Abb. 3). Die Unterschiede in den Fruchtkörperdichten und der Artenvielfalt zwischen den einzelnen Parzellen waren unbedeutend und ließen keine Tendenz erkennen.

Die Düngung erbrachte so kurzfristig noch keine Veränderung, obwohl der pH-Wert im Auflagehumus deutlich anstieg. Es muß abgewartet werden, ob langfristige Veränderungen in der Humusformation zu ähnlichen Unterschieden wie in Pfalzgrafenweiler führen. Der pH-Wert kann auf keiner der Parzellen für die Erklärung der Unterschiede sinnvoll herangezogen werden.

Die Humusaufgabe ist stark heterogen bis gestört, Moose sind im Gegensatz zur Fläche in Pfalzgrafenweiler kaum vorhanden.

Möglicherweise beeinträchtigt die Tätigkeit der zahlreichen Arbeitsgruppen (häufiges Betreten der Fläche) auf der Fläche "Hirschkopf" die Fruktifikation der Mykorrhizapilze; außerdem sind zahlreiche Meßeinrichtungen auf der Fläche fest installiert (eingegraben), was als zusätzliche Störung der Mykorrhizapilze gewertet werden muß.

Als weitere mögliche Ursache für die Störung der Fruktifikation der Mykorrhizapilze kommen Schäden am Feinwurzelsystem der Fichten in Betracht. Eigene Wurzeluntersuchungen waren aus zeitlichen Gründen nicht möglich, es liegen jedoch Ergebnisse aus Feinwurzeluntersuchungen von Jungfichten auf diesem Standort vor. BLASIUS, KOTTKE & OBERWINKLER (1985) fanden an 5-jährigen Fichten eine verminderte Verzweigungsdichte der Feinwurzelsysteme und niedrige Sproß- und Wurzeltrockengewichte gegenüber einer anderen Untersuchungsfläche. Diese Unterschiede werden jedoch auf die höhere Bestandesdichte, bzw. den Lichtmangel am Boden der Fläche "Hirschkopf" und die damit verbundenen schlechteren Wachstumsbedingungen für den Jungwuchs zurückgeführt (BLASIUS 1984, FEIL 1984, BLASIUS, KOTTKE, OBERWINKLER 1985). Eine Störung der Mykorrhizierung konnte dabei nicht nachgewiesen werden.

Bei Untersuchungen zur Formenvielfalt von Mykorrhizen zeigte sich, daß auf der Fläche "Hirschkopf" nicht auffällig weniger Mykorrhizaformen vorkommen als auf anderen Standorten (HAUG 1987). Die Ergebnisse beziehen sich jedoch nur auf eine Profilgrube, flächendeckende Untersuchungen zur Formenvielfalt von Mykorrhizen fehlen auf dieser Fläche ebenso wie auf der Fläche DV Fi 337 in Pfalzgrafenweiler. Die auf der Fläche "Hirschkopf" vorhandenen und stärker werdenden Baumschäden (Schadkl. 3: 1984 0%, 1985 15% und 1986 20%) kommen möglicherweise ebenfalls als Ursache für die Beeinträchtigung der Fruktifikation von Mykorrhizapilzen in Frage.

Ob andere, noch unbekannte Faktoren für die Beeinträchtigung der Fruchtkörperbildung von Mykorrhizapilzen verantwortlich sind, kann vorerst nicht entschieden werden.

4.2 DV Fi 337 Pfalzgrafenweiler

Die in den einzelnen Parzellen gefundenen Unterschiede in den Fruchtkörperdichten und Artenspektren sind als Ergebnis der durch die Düngemaßnahmen hervorgerufenen direkten und indirekten Veränderungen am Gesamtsystem zu sehen. Der Zeitpunkt der letzten Düngung liegt ca. 20 Jahre zurück und die direkte Düngewirkung ist mittlerweile abgeklungen (Spiecker H., mündl. Mitt.). Das Absinken der Basensättigung wirkt sich offenbar auch auf den Boden-pH-Wert aus. Im Auflagehumus liegen die pH-Werte (in H₂O) zwischen 2,9 und 3,3 (Abb. 13), im obersten Mineralboden zwischen 3,3 und 3,6 (Abb. 14). Diese geringen Unterschiede zwischen den einzelnen Parzellen ließen keinen Einfluß auf die Fruktifikation der Mykorrhizapilze erkennen. Allein witterungsbedingte Schwankungen der pH-Werte innerhalb einer Parzelle bewegen sich in Bereichen von 0,2-0,3 pH-Stufen. Es ergaben sich daher auch keine spezifischen Reaktionsmuster in bestimmten Düngevarianten.

Die Düngung und die dadurch beeinflussten forstlichen Maßnahmen haben auf diesem Standort zu einer größeren kleinstandörtlichen Vielfalt geführt. Stärkere Durchforstungen aufgrund des beschleunigten Baumwachstums in den Düngeparzellen haben im Verlauf des Düngerversuchs die Lichtverhältnisse am Boden verändert. Dadurch wurde neben dem direkten Einfluß der verbesserten Nährstoffversorgung der Stoffumsatz und damit der Humushorizont zumindest kleinstandörtlich unterschiedlich stark verändert.

Die Form und Mächtigkeit der Humushorizonte scheint einen besonderen Einfluß auf die Fruchtkörperdichten und Artenspektren von Mykorrhizapilzen auszuüben (Abb. 7 u. 8).

Die unterschiedlich starke (schnelle) Umwandlung der Humusaufgabe in andere Humusformen (mullartiger Moder oder Mull) schaffte neue Kleinstandorte, die von neuen, an solche Bedingungen angepaßte Mykorrhizapilzarten besiedelt werden konnten. Die meisten dieser Arten fruktifizieren selten und nie in großer Zahl.

Die in den Nullparzellen vorkommenden Arten sind offenbar an gleichmäßigere Standortsbedingungen angepaßt, wobei diese Arten größtenteils viele Fruchtkörper bilden. Beides zusammen führt zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Arten (Abb. 16). Die höhere durchschnittliche Artenzahl pro Baum in den Nullparzellen gegenüber den Düngeparzellen ist deshalb ein Ausdruck für die Gleichmäßigkeit der Standortsbedingungen und die entsprechende Anpassung der hier vorkommenden Arten (Abb. 17 u. 18).

Die Ergebnisse lassen gewisse Parallelen zu den Untersuchungen von Schornick erkennen, die bei ihren gleichzeitig durchgeführten pflanzensoziologischen Untersuchungen auf der Fläche ebenfalls in den Düngeparzellen mehr Arten fand als in den Nullparzellen, was auch unter dem vegetationskundlichen Aspekt auf eine größere kleinstandörtliche Variation in den Düngeparzellen schließen läßt (SCHORNICK 1988).

Diese Gleichmäßigkeit der Standortsbedingungen zeigt sich auch in den Feuchtigkeitsverhältnissen des Oberbodens.

Im Humushorizont der Nullfelder wurde eine durchschnittliche Feuchtigkeit gemessen, die im Vergleich zu den Düngeparzellen ein mittleres Niveau einnimmt. Die durchschnittlichen wöchentlichen Schwankungen waren jedoch eindeutig niedriger (Abb. 9).

Im obersten Mineralboden dagegen war das durchschnittliche Feuchtigkeitsniveau in den Nullflächen am höchsten, wobei auch hier die durchschnittlichen wöchentlichen Schwankungen niedriger waren, als in sämtlichen Düngeparzellen (Abb. 10).

Die Feuchtigkeitsdaten des obersten Mineralbodens ließen sich mit den Fruchtkörperdichten in den einzelnen Parzellen positiv korrelieren (Abb. 11).

Konstante, relativ hohe Feuchtigkeitsbedingungen im Oberboden scheinen die Fruktifikation von Mykorrhizapilzen zu begünstigen, wobei der Auflagehumus auf diesem Standort den mineralischen Oberboden vor rascher Austrocknung zu schützen scheint.

Aus zahlreichen Untersuchungen ist bekannt, daß auf saueren Waldstandorten im Auflagehumus eine hohe Wurzeldichte anzutreffen ist. (MIKOLA & LAIHO 1962, LYR, RICHTER & HOFFMANN 1974, BABEL 1981, VALVOULIDOU-THEODOROU 1983, KOTTKE & AGERER 1983, KOTTKE 1986a).

Dieser Frage wurde auch auf der Versuchsfläche in Pfalzgrafenweiler nachgegangen und es zeigte sich, daß zwischen der Verzweigungsdichte der Fichtenfeinwurzeln aus den obersten 10 cm und der Mächtigkeit der Humusauflage eine positive Korrelation besteht. Gleichzeitig konnten die verschiedenen Verzweigungsdichten der Fichtenfeinwurzeln von je 10 Probestämmen pro Parzelle mit den entsprechenden Fruchtkörperdichten korreliert werden (Abb. 15). Dabei bleibt vorerst noch offen, ob es sich hier um einen ursächlichen Zusammenhang handelt, bei dem stark verzweigte (mykorrhizierte) Feinwurzeln einen intensiveren Kontakt und Stoffaustausch zwischen Baum und Pilz nahelegen und höhere Fruchtkörperdichten ermöglichen, oder ob die Ausprägung dieser beiden Faktoren unabhängig voneinander abläuft.

MENGE & GRAND (1978) fanden in *Pinus taeda* Beständen ebenfalls einen engen Zusammenhang zwischen der Anzahl mykorrhizierter Wurzelspitzen und der Fruchtkörperdichte von Mykorrhizapilzen.

Zusammenfassend scheint die Ausbildung der Humusformation einen entscheidenden Einfluß auf die Fruktifikation der Mykorrhizapilze zu haben.

Ein Vergleich der beiden Flächen ist nicht möglich, da Gemeinsamkeiten nur im geologischen Ausgangssubstrat (oberer Buntsandstein) und in der Hauptbaumart bestehen.

Die starken Unterschiede in der Fruktifikation der Mykorrhizapilze können mehrere Ursachen haben:

- Durch die Höhenlage bedingte klimatische Unterschiede,
- das unterschiedliche Bestandesalter,
- der unterschiedliche Zeitraum der Boden- und Bestandesentwicklung seit den Düngemaßnahmen und
- der unterschiedliche Zeitraum einer mehr oder weniger störungsfreien Entwicklung der Humusformation durch Zäunung.

Insbesondere der zuletzt genannte Punkt könnte von Bedeutung sein, da die Fläche in Pfalzgrafenweiler seit 1952 eingezäunt ist und damit der Einfluß von Wild (Asung, Export von Biomasse) verhindert und der von Menschen (Bodenverdichtung durch häufiges Betreten) zumindest stark eingeschränkt wurde. Es sollte daher auch in Freudensstadt angestrebt werden, die Zäunung der Fläche zu erhalten und langfristige Untersuchungen zur Entwicklung der Humusformation der Bodenvegetation, und der Bodenorganismen (Tiere, Mikroorganismen, Mykorrhizosphäre) durchzuführen.

Die Fläche DV FI 337 in Pfalzgrafenweiler ist besonders unter dem Gesichtspunkt der weiteren Entwicklung des Bodens, der Humusformation und der Bodenorganismen, einschließlich der Mykorrhizosphäre interessant, da die Düngewirkung mittlerweile abgeklungen ist. Die vorhandene breite Datenbasis zahlreicher Untersuchungen, die im Verlauf des Düngerversuchs durchgeführt wurden, ist eine ideale Grundlage für Langzeituntersuchungen, die möglichst auch die folgende Bestandesgeneration miterfassen sollten.

5. Literaturliste

Babel, U. (1981):

Humusmorphologische Untersuchungen in Nadelholzbeständen mit Wuchsstörung. Mitt. Verein Forstl. Standortskd. Forstpfl. 29, 7 - 20

Blasius, D. (1984):

Mykorrhizen und Wurzelsystem junger Fichten von unterschiedlich geschädigten Beständen. Zulassungsarbeit Tübingen, 81 pp

Blasius, D., Kottke, I. & Oberwinkler, F. (1985):

Zur Bewertung der Güte von Fichtenwurzeln geschädigter Bestände. Forstw. Cbl. 104, 318 - 325

Feil, W. (1984):

Vergleichend anatomische Untersuchungen an Mykorrhizawurzeln geschädigter Fichten. Zulassungsarbeit Tübingen, 57 pp

Haug, I. (1987):

Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an Mykorrhizen von Fichtenbeständen im Schwarzwald. Diss. Tübingen, 176 pp

Hausser, K. (1961):

Ergebnisse von Düngungs-Versuchen zu 50-70 jährigen Fichtenbeständen auf oberem Buntsandstein im Württ. Schwarzwald. AFJZ 132, Heft 11, 269 - 291

Hausser, K. & Wittich, W. (1969):

Ergebnisse eines Düngungs- Versuchs zu 66-jährigen Fichten auf einem typischen Standort des oberen Buntsandsteins im Württ. Schwarzwald. AFJZ 140. Jg., 25 - 62, 88 - 99

Hausser, K. (1971):

Düngungsversuche zu 45- bis 90-jährigen Fichten- und Fichten-Tannenbeständen auf oberem Buntsandstein des Württ. Schwarzwaldes. AFJZ 142. Jg., 1, 1 - 11; AFJZ 142. Jg., 3, 69 - 85

Kottke, I. & Agerer R. (1983):

Untersuchungen zur Bedeutung der Mykorrhiza in älteren Laub- und Nadelwaldbeständen des Südwestdeutschen Keuperberglandes. Mitt. Verein Forstl. Standortskd. Forstpfl. 30, 30 - 39

Kottke, I. (1986a):

Wurzelentwicklung und Wachstum der Fichte auf unterschiedlichen Böden und künstlichen Substraten. In: Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. G. Einsele, ed., DFG, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, pp 463 - 485

Lyr, H., Richter, R. & Hoffmann, G. (1974):

Die Bedeutung des Wurzelwachstums für das Pflanzenwachstum. In: Hoffmann, G. (Ed.) II. Int. Symp. Ökologie und Physiologie des Wurzelwachstums, Potsdam 1971, S. 1 - 16

Menge, J. A. & Grand, L. F. (1977):

Effect of fertilization on production of epigeous basidiocarps by mycorrhizal fungi in loblolly pine plantations. Can. J. Bot. Vol. 56, 2357 - 2362

Mikola, P. & Laiho, O. (1962):

Mycorrhizal relations in the raw humus layer of northern spruce forests. Comm. Inst. For. Fenn. 36, 1 - 13

Moser, M. (1978):

Die Röhrlinge und Blätterpilze (Polyporales, Boletales, Agaricales, Russulales). In: Kleine Kryptogamenflora, IIb/2, 4th Edition, Fischer Verlag, Stuttgart - New York, 532 pp.

Müller, Chr. & Oberwinkler, F. (1986):

Qualitative und quantitative Abhängigkeiten der Fruktifikation von Mykorrhizapilzen von Düngung, Immissionen und Baumschädigungsgrad in Fichtenbeständen des Schwarzwaldes. KfK-PEF 4, 1986, Bd. 1, 331 - 336

Müller, Chr. & Oberwinkler, F. (1988):

Der Einfluß von Düngung im Wald auf die Fruktifikation von Mykorrhizapilzen. KfK-PEF 35, 1988, Bd. 1, 113 - 121

Pallmann, H., Eichenberger, E. & Hasler, A. (1940):

Eine neue Methode der Temperaturmessung bei ökologischen oder bodenkundlichen Untersuchungen. Ber. Schweiz. Bot. Gesellsch., 50, 337 - 362

Schornick, O.-K. (1988):

Reaktionsmuster der Bodenvegetation auf Düngeversuchsflächen im Nordschwarzwald. KfK-PEF 35, 1988, Bd. 1, 75 - 83

Valvoulidou - Theodorou, E. (1983):

Feinwurzelndynamik und Humusdynamik im Humusprofil von wuchsgestörten Fichtenbeständen. Diss. Hohenheim