Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)

Band: 109 (1992)

Artikel: Mykosoziologie der Grauerlen- und Sanddorn-Auen ("Alnetum incanae, Hippophaëtum") am Hinterrhein (Domleschg, Graubünden, Schweiz) = Mycosociology of riverine "Alnus incana" and "Hippophaë" stand in the Upper Rhina Valley (Domleschg, Grisons, Switzerland)

Autor: Griesser, Bernard

Kapitel: 2: Material und Methoden

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308973

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 12.07.2025

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

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

Die folgenden Abkürzungen werden in Text, Tab. und Fig. verwendet:

Fk	: Fruchtkörper
NS	: Niederschlag
sp., spp.	: Art, Arten
T	: Temperatur
VF	: Versuchsfläche
1 Pilzfund	: 1 Nachweis einer Pilzart pro VF und Exkursion; Der Begriff "Pilzfund" macht keine Aussage über die Anzahl der registrierten Fk einer Pilzart.

2.2. UNTERSUCHUNGSGEBIET RHÄZÜNSER RHEINAUEN (GR)

2.2.1. Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen Chur und Thusis am Hinterrhein in einer felsigen Talenge am nördlichen Eingang zum Domleschg, Kanton Graubünden, Schweiz (Fig. 2).

2.2.2. Klima

Die Rhäzünser Rheinauen werden von den offiziellen regionalen NS-Messstationen Tomils (3.5 km südöstlich) und Reichenau (3 km nördlich) flankiert. Die nächstgelegene T-Messstation befindet sich in Chur/Ems (5 km nordöstlich). Tomils im Domleschg geniesst durch die umgebenden Bergflanken Schutz vor West- und Nordwinden. Die Muldenlage des Domleschgs erzeugt eine klimatische Oase mit kontinentalem Klimacharakter (BRAUN-BLANQUET 1961, URFER et al. 1979), gekennzeichnet durch höhere Sommer-T, tiefere Winter-T und geringeren NS als im Churer Rheintal. Reichenau liegt am östlichen Eingang zum Vorderrheintal, dessen Wetter vermehrt von Westwinden geprägt wird. Oft ziehen Gewitter von den Glarner und Bündner Alpenketten ins Rheintal hinein (URFER et al. 1979). Alle drei Messstationen sind starkem Föhneinfluss ausgesetzt.
Fig. 3 zeigt den langjährigen, mittleren Verlauf von NS und Luft-T in der Umgebung des Untersuchungsgebietes. Der mittlere Jahres-NS beträgt für Tomils 854 mm, für Reichenau 1017 mm. Das monatliche NS-Maximum

wird im Juli erreicht und macht 13% der Jahressumme aus. Diese NS-Werte sind deutlich geringer als diejenigen des schweizerischen Mittellandes, welches ein ± feucht-ozeanisches Klima besitzt [Zürich SMA (556 m ü.M.): 1129 mm; UTTINGER 1965]. Chur/Ems weist eine durch Föhn beeinflusste Jahresmittel-T von 8.1°C auf, wobei mittlere Januar- und Juli-T von -1.5°C bzw. 16.9°C registriert werden (Zürich SMA: Jahresmittel-T 7.9°C, mittlere Januar- und Juli-T -1.0°C bzw. 16.7°C; SCHÜEPP 1967).
Nach MÜLLER (1958) wird das Lokalklima der flussbegleitenden Auen durch

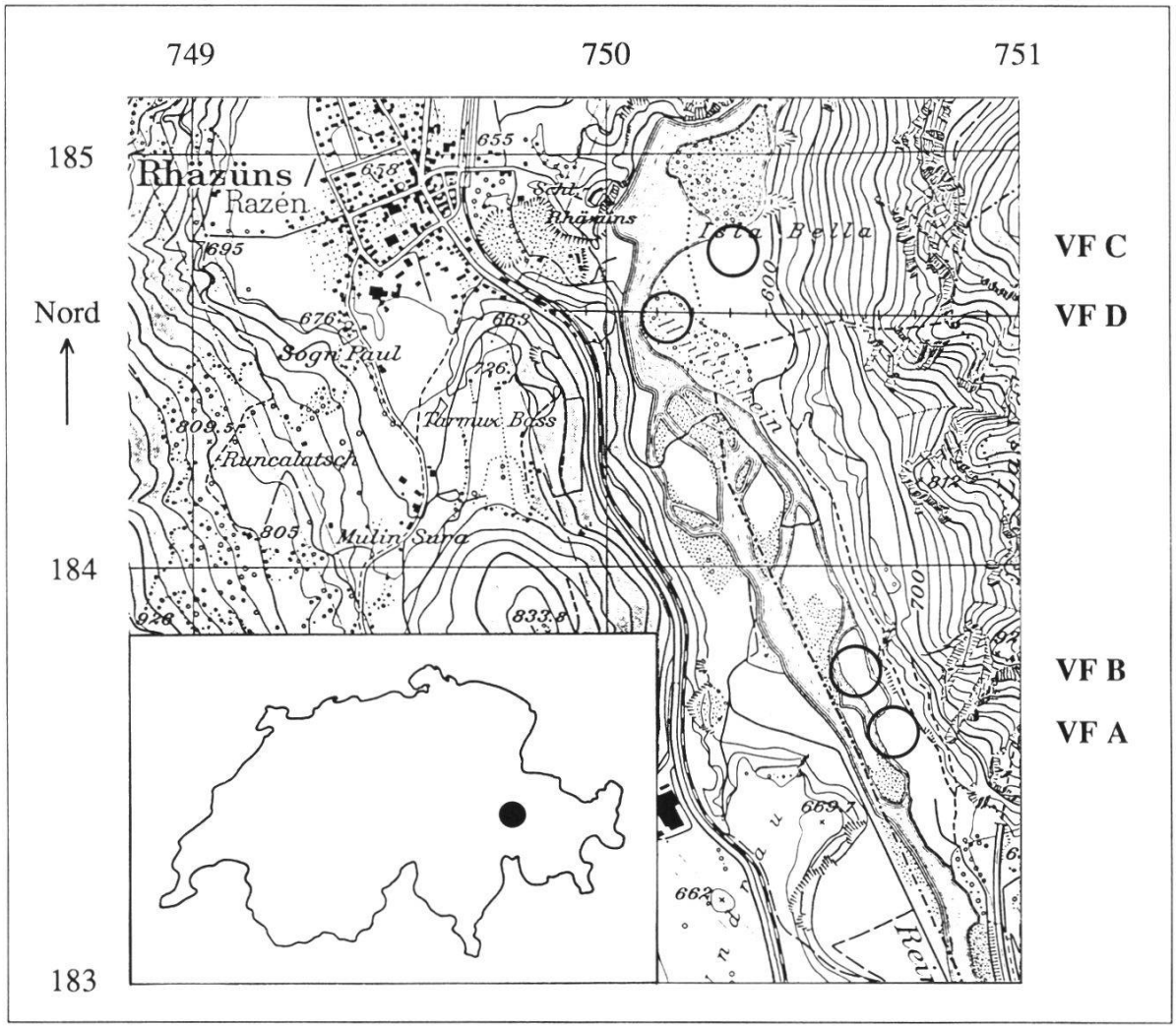

Fig. 2. Geographische Lage des Untersuchungsgebietes (Punkt) innerhalb der Schweiz und Position der VF A-D (Kreise) in den Rhäzünser Rheinauen (Landeskarte der Schweiz 1:25'000, Blatt 1195, Reichenau; reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 13.3.1989).
Geographical location of the research area (point) in Switzerland and position of research sites A-D (circles) near Rhäzüns (scale of map 1:25'000).

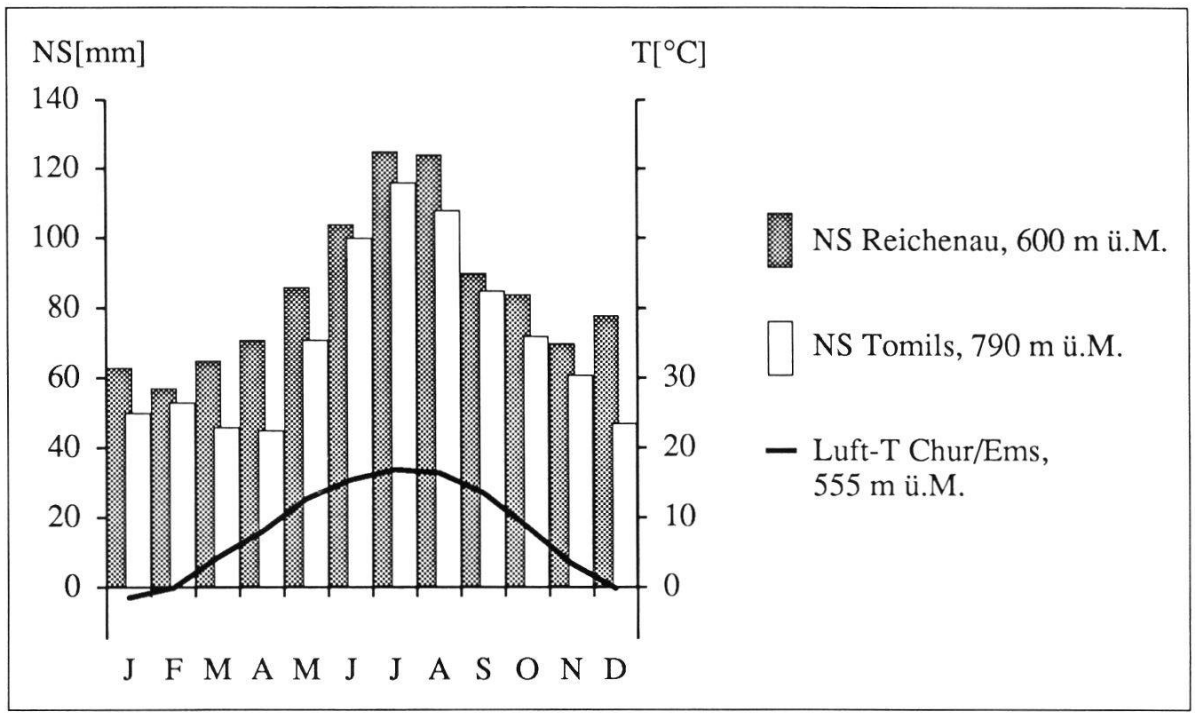

Fig. 3. Klimadiagramm der Rhäzünser Rheinauen mit Jahresverlauf von NS und Luft-T [langjährige Mittelwerte nach SCHÜEPP (1967) und UTTINGER (1965): NS Reichenau 1901-1940, NS Tomils 1931-1960, T Chur/Ems 1901-1960].
Climatic diagram of the research area with seasonal course of precipitation NS and temperature T.

die starke Transpiration der krautreichen Vegetation und die Nähe von Fluss- und Grundwasser geprägt. Diese Standortsbedingungen haben eine hohe relative Luftfeuchtigkeit und häufige Nebelbildung über der Talsohle zur Folge.

2.2.3. Geologie

Das Untersuchungsgebiet liegt in einer Erosionsrinne des Hinterrheins an der nordwestlichen Grenze der penninischen Decken. Der Untergrund besteht aus fluvioglazialem Schotter, der über Bündnerschiefer abgelagert wurde. Im nördlichen Teil der Rhäzünser Rheinauen steht Geröll aus der jungpleistozänen Reichenauer Bergsturzmasse an (SPICHER 1980a, 1980b).
Der Hinterrhein entwässert ein grosses Einzugsgebiet, das bis in die ostalpinen Decken (Flüela, Albula) reicht. Entsprechend setzt sich das Flussgeschiebe sowohl aus basenarmen, kristallinen Gesteinen (Granit, Gneis, kristalline Schiefer) als auch aus basenreichen Sedimenten (Kalke, Dolomit, Mergel, Tonschiefer) zusammen. Die leichte Verwitterbarkeit des Bündnerschiefers bewirkt eine hohe Sedimentlast des Flusses bei Hochwasser.

2.2.4. Naturschützerische Bedeutung des Untersuchungsgebietes

Die Rhäzünser Rheinauen (Inventar BLN: Objekt Nr. 1903, Inventar KLN: Objekt Nr. 3.52a) gehören mit einer Fläche von 350 ha zu den neun schweizerischen Auenlandschaften von internationaler Bedeutung (AMIET 1980). Der Auenkomplex zwischen Reichenau und Rothenbrunnen steht auch heute noch unter relativ natürlicher Flussdynamik (ELMER und KLÖTZLI 1972). Beachtenswert ist die hydrologische Mannigfaltigkeit des Gebietes. Prallhang, Gleithang, Flutinsel und weitere typische, geomorphologische Elemente der Aue sind hier ausgebildet (KUHN et al. 1984). Auf Flussinseln und am Ufer lassen sich verschiedenste Entwicklungsstadien der zentralalpinen Auenvegetation beobachten, ausgehend von Pionierpflanzen und Alpenpflanzen-Flussschwemmlingen auf nacktem Schotter bis zu Weiden- und Erlenauenwald auf durch Hochwasser eingetragenem Sand bzw. Föhrenwald auf flussbegleitender Schotterterrasse.

2.3. VERSUCHSFLÄCHEN

Die geographische Lage der vier untersuchten Dauerflächen (VF A-D) im Gebiet der Rhäzünser Rheinauen ist dem Kartenausschnitt in Fig. 2 zu entnehmen.
Die Ausscheidung der VF A, B und C wurde unter Berücksichtigung mög-

Tab. 1. Charakterisierung der VF A-D. - *Characterization of research sites A-D.*

	VF A	VF B	VF C	VF D
Koordinaten	750.700/183.600	750.600/183.750	750.300/184.750	750.150/184.600
Höhe ü.M.	605 m	605 m	600 m	600 m
Vegetation	Grauerlenwald	Grauerlenwald	Grauerlenwald	Sanddorn- und Weidengebüsch (Föhre, Lärche)
Flächengrösse	600 m^2	400 m^2	1000 m^2	1000 m^2
Grösse der Fk-Kartierungszone	30 x 4 m	20 x 4 m	50 x 4 m	-
Höhe über Mittelwasser	1 - 1.5 m	1.5 - 2 m	1 - 1.5 m	2 - 2.5 m
Flächenrelief	von Gräben durchquert	± eben	von Gräben durchquert	± eben

lichst reiner Grauerlenbestände durchgeführt. Dieses Vorgehen hatte jedoch unterschiedliche Flächengrösse und -umriss der einzelnen VF zur Folge (Tab. 1). Die VF D (Sanddorn-Weiden-Gebüsch) stellt eine speziell ausgewählte Vergleichsfläche dar, in welcher die Grauerle vollständig fehlt.
Die VF D wurde durch die Überschwemmungen des Hinterrheins in den Jahren 1987 und 1988 bis auf eine Restfläche von ca. 200 m^2 abgetragen. Im Juli 1987 wurden in der VF C zusätzlich 20 m der für die Kartierung von Fk ausgeschiedenen Kernzone durch ein Spitzenhochwasser zerstört. Die fehlende Kartierungsfläche wurde in einem hangwärts angrenzenden Areal neu ausgeschieden (Kartierungszone C_1 30 x 4 m: Kartierung 1986-1988, Kartierungszone C_2 20 x 4 m: Kartierung August 1987-Dezember 1988).

2.4. VEGETATIONSKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN

2.4.1. Waldbestandesaufnahmen und Pflanzensoziologie

Die Vegetationsaufnahmen erfolgten im April, Juni und August 1986 (mit Wiederholung 1987) nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964), wobei die gesamte Fläche der jeweiligen VF einbezogen und die Vegetationsdecke in Baum-, Strauch- und Krautschicht gegliedert wurde. Innerhalb jeder Schicht wurde die Häufigkeit (Individuenzahl und Deckungsgrad) der einzelnen Pflanzenarten mit einer 7teiligen Skala (r, +, 1 bis 5: r = selten, 5 = Deckungsgrad 75-100%) bewertet. Taxonomisch kritische Phanerogamen wurden nach HESS et al. (1976, 1977, 1980) bestimmt und im Herbarium der ETH Zürich (ZT) hinterlegt.
Die Moos- und Flechtenflora wurde aus Zeitgründen lediglich bei zwei Sammeldurchgängen (September 1986, April 1987) erfasst. Da nur fertile Proben berücksichtigt wurden, ist die Auflistung der Moos- und Flechtentaxa aus den VF A-D nicht vollständig. Die Bestimmung erfolgte nach FRAHM und FREY (1983) und WIRTH (1980, 1987). Die Belege sind im Kryptogamenherbar ZT hinterlegt.
Die pflanzensoziologische Zuordnung der Waldgesellschaften folgt ELLENBERG (1986), ELLENBERG und KLÖTZLI (1972) und MOOR (1958) und wurde anhand von Charakterarten-Gruppen durchgeführt.

2.4.2. Auswertung pflanzenökologischer Zeigerwerte

Die auf eine Lebensgemeinschaft einwirkenden Umweltbedingungen lassen

sich anhand der ökologischen Zeigerwerte von allen am Standort wachsenden Pflanzen beurteilen. Diese empirischen Indikatorwerte basieren auf einer 5teiligen Skala und sind in ihren Extremen wie folgt definiert (LANDOLT 1977):

F = Feuchtezahl (1: trockene, 5: nasse, w: wechselfeuchte Böden)
R = Reaktionszahl (1: saure, 5: basen- bzw. kalkreiche Böden)
N = Nährstoffzahl, meist auf Stickstoff bezogen (1: nährstoffarme, 5: nährstoffreiche Böden)
H = Humuszahl (1: Rohböden, 5: Rohhumus- oder Torfböden)
D = Dispersitäts- und Durchlüftungsmangelzahl (1: Felsen, Felsblöcke, Mauern, 5: tonige oder torfige, sauerstoffarme Böden)
L = Lichtzahl (1: schattige Lagen, 5: Lagen im vollen Licht)
T = Temperaturzahl (1: kalte Lagen, meist alpine Stufe, 5: wärmste Lagen der kollinen Stufe)
K = Kontinentalitätszahl (1: ozeanisches, 5: kontinentales Klima).

Die für die pflanzensoziologischen Aufnahmen gültigen Mittelwerte wurden nach LANDOLT (1977) berechnet, wobei die Arten mit Deckungswert + einmal, solche mit 1 zweimal, mit 2 dreimal, usw. gewichtet sind. Der Durchschnittswert für w wird mit einem Bruch angegeben. Die mittleren F-, R-, N-, H- und D-Werte für die Baum- und Strauchschicht charakterisieren den Unterboden, jene für die Krautschicht den Oberboden.

2.4.3. Belaubung und Laubfall im Grauerlenwald

Die Laubstreu stellt eine wesentliche Komponente der jährlich anfallenden, abzubauenden Biomasse dar (ZAVITKOVSKI und NEWTON 1971). Da sich zahlreiche saprobe Pilzarten ausschliesslich von toten Blättern ernähren, wurde 1987 und 1988 der Laubfall im Grauerlenwald während der gesamten Vegetationsperiode quantitativ erfasst. In den VF A-C wurden je 1 x 1 m Bodenoberfläche mit einem 30 cm hohen Maschengitter umgrenzt. Ein Plastikeinsatz verhinderte die Verschmutzung der aufgefangenen Laubstreu mit Sand. Die wöchentlich aus den Laubfallen eingesammelten Blätter wurden während 12 Std. bei 60°C getrocknet, nach Baumarten sortiert und gewogen.
Als zusätzliche, lokalklimatische Information wurde die Belaubung der Grauerlen im jahreszeitlichen Verlauf phänologisch festgehalten [Bewertungsskala 1-5 nach KRÜSI (1981): 1 = 5-20%, 5 = 80-100% der Individuen einer Pflanzenpopulation zu einem gegebenen Zeitpunkt in einem bestimmten phänologischen Zustand].

2.5. MIKROKLIMATISCHE UNTERSUCHUNGEN

2.5.1. Regenmessung

Als Sammelbehälter für den NS wurden im Boden eingegrabene 2-Liter-Plastikflaschen mit enger Öffnung verwendet, die einen Auffangtrichter von 20 cm Durchmesser (= 314 cm^2 Fläche) aufgesetzt hatten. Der unter Laborbedingungen bestimmte Wasserverlust der vollen Gefässe durch Verdunstung beträgt pro Woche maximal 7% (BRUNNER 1987). Zur Messung des NS im Bestand wurden in den Grauerlenflächen A-C je zwei Totalisatoren an Stellen mit durchschnittlichem Kronenschluss aufgestellt. Zwei weitere Sammelbehälter wurden in Waldlichtungen zwischen den VF A und B und in der Nähe der VF C plaziert, um die von den Baumkronen unbeeinflusste, totale NS-Menge und die Interzeption (= $NS_{Lichtung}$ - $NS_{Bestand}$) zu registrieren. In der lückenhaft mit Gebüsch bestockten VF D wurde ein Totalisator im Strauchbestand und ein weiterer in einer Bestandeslücke aufgestellt.
Die Sammelbehälter wurden ein- bis zweiwöchentlich geleert und der gemessene NS (Genauigkeit des 250 ml-Messzylinders: ±2%) in l/m^2 (= mm NS) umgerechnet. Da die Leerung nicht immer am gleichen Wochentag durchgeführt werden konnte, mussten die abgelesenen Werte auf tägliche NS-Mengen umgerechnet werden. Die NS-Summe für die Messperiode Montag-Sonntag ergab sich durch Addition der entsprechenden täglichen Werte.

2.5.2. Temperaturmessung (T-Extreme, T-Mittel)

Die T-Verhältnisse in den VF wurden mittels zweier verschiedener Messverfahren untersucht:
Für die Registrierung der T-Extreme auf der Bodenoberfläche wurden Minimum-Maximum-Thermometer verwendet, deren Messbereich zwischen -40°C und +55°C liegt. Der im Labor bestimmte Messfehler der Geräte beträgt maximal ±1°C. In den Grauerlenflächen A-C wurden in jeder VF zwei Thermometer unter der Krautschicht direkt auf die Bodenoberfläche gelegt, während in der VF D die Thermometer sowohl an beschatteter Stelle unter einen Strauch als auch auf einer vegetationslosen, stark besonnten Fläche plaziert wurden.
Die Minimum- und Maximum-T wurden ein- bis zweiwöchentlich mit einer Messgenauigkeit von ±0.5°C abgelesen. Die Minimum-T liefern pilzökologisch relevante Daten bezüglich Frost an der Bodenoberfläche. Die z.T. ho-

hen Werte der Maximum-T zeigen den möglichen Einfluss der direkten Sonnenbestrahlung (Strahlungs-T).
Das zweite, angewendete Messverfahren ermöglicht die Bestimmung des T-Mittels für eine längere Messperiode und beruht auf der Zuckerinversions-Methode nach PALLMANN et al. (1940). Dieses Verfahren nützt die T-abhängige Umwandlung von optisch rechts drehendem Rohrzucker in links drehenden Invertzucker aus. Je höher die T, desto rascher erfolgt die Spaltung des Rohrzuckers. Die Menge des gebildeten Invertzuckers lässt sich polarimetrisch erfassen und das entsprechende T-Mittel für die Expositionszeit mit einer Genauigkeit von ±0.05°C berechnen.
Die in Glasampullen abgefüllte, wässerige Rohrzuckerlösung wurde in gefrorenem Zustand in die VF gebracht. An zwei Standorten pro VF wurden fünf Zuckerampullen auf der Bodenoberfläche ausgelegt und fünf weitere in 2-5 cm Bodentiefe eingegraben. In der VF D wurde eine Ampullenserie auf einer vegetationsfreien, stark besonnten Fläche exponiert. Die zweite Serie in der VF D und alle Serien in den Grauerlen-VF A-C wurden an beschatteten Stellen unter der Krautschicht plaziert.
Die Messperiode lief von November 1986 bis November 1988, wobei die Zuckerampullen am Ende eines jeden Monats ausgetauscht wurden. Von Dezember bis März blieben die Ampullen wegen Schneebedeckung und Dauerfrost in den VF. Die Zuckerampullen wurden nach der Exposition sofort tiefgefroren und später mittels eines Zeiss-Polarimeters mit Na-Dampflampe ausgewertet.

2.6. BODENKUNDLICHE UNTERSUCHUNGEN

2.6.1. Feldbeobachtungen und Probenentnahme

Grundwasserstand: Zur Messung der Grundwasserhöhe wurde in jeder VF eine Plastikröhre von 100 cm Länge und 5 cm Durchmesser vertikal soweit in den Waldboden eingesenkt, bis sie die Schotterschicht des Flussbetts in 60-80 cm Tiefe erreichte. Die fein durchlöcherten Röhrenwände ermöglichten das Eindringen des Bodenwassers ins Röhreninnere, so dass der Pegelstand mit einem trockenen Messstab registriert werden konnte.
Bodenprofile: Nach Abschluss der mykologischen Feldtätigkeit wurde im April 1989 in jeder VF ein Bodenprofil von 1-1.5 m Tiefe geöffnet, um Horizontabfolge sowie Bodeneigenschaften festzuhalten. Symbole und Signaturen der bodenkundlichen Feldaufnahmen richten sich nach RICHARD et al. (1978).

Bodenproben: Vom 24.-25.4.1989 wurden mit einem zylindrischen Probenstecher von 50 mm Höhe und 67 mm Durchmesser Bodenproben für physikalische und chemische Laboranalysen ausgehoben. Die Proben wurden vertikal an drei verschiedenen Stellen pro VF aus je zwei Bodentiefen entnommen. Da die Pilzmyzelien hauptsächlich die oberste Bodenschicht durchwachsen (CARBIENER 1981), wurden für die Untersuchungen nur die Horizonte in 0-5 cm und 5-10 cm Tiefe berücksichtigt. Material aus dem Unterboden wurde lediglich stichprobenweise mitgenommen. Für die chemischen Analysen, bei welchen das Probenvolumen nicht relevant ist, wurden Mischproben aus mehreren Einstichen pro Entnahmestelle und Horizont verwendet.

2.6.2. Laboranalysen

Die Bodenproben wurden im Labor zunächst luftgetrocknet, anschliessend mit einem Sieb von 2 mm Maschenweite in Feinerde und Skelett aufgetrennt und deren Anteile gewogen. Die Feinerde wurde auf folgende bodenkundliche Faktoren untersucht:

Physikalische Bodeneigenschaften

Korngrössenverteilung: Die Körnung beeinflusst Bodenstruktur und Porengrösse und damit Wasser- und Lufthaushalt eines Bodens (SCHROEDER 1984). Für die Korngrössenanalyse mussten vorgängig die Kittsubstanzen (organische Stoffe, Kalk) mit H_2O_2 (35%ig) zerstört werden. Die Auftrennung in Korngrössenklassen erfolgte durch Nasssiebung für die Sand-Fraktionen bis 0.063 mm und mit der Pipetten-Methode für die Schluff-Fraktionen bis 0.002 mm (SCHLICHTING und BLUME 1966).

Porenvolumen: Das Porenvolumen umfasst die mit Wasser oder Luft erfüllten Hohlräume einer Volumeneinheit natürlich gelagerten Bodens. Es ist diejenige Grösse, die zusammen mit dem Wassergehalt die Durchlüftung kontrolliert (VOLK 1940). Die Bestimmung des Porenvolumens erfolgte pyknometrisch nach STEUBING (1965).

Scheinbare und reelle Dichte: Die scheinbare Dichte, d.h. die Masse der festen Bodensubstanz pro Volumeneinheit natürlich gelagerten Bodens, kann ökologisch als Mass für die Durchwurzelbarkeit des Bodens verwendet werden (RICHARD et al. 1978). Die reelle Dichte, welche die Hohlräume im Boden nicht berücksichtigt, hängt vom Anteil des organischen Materials an der Bodenmatrix ab und lässt sich nach STEUBING (1965) aus dem Porenvolumen und der scheinbaren Dichte berechnen.

Chemische Bodeneigenschaften

Bodenreaktion (pH): Der pH-Wert der Feinerde wurde sowohl in einer wässerigen Suspension als auch in einer 0.01M $CaCl_2$-Lösung (Feinerde:$H_2O_{dest.}$ bzw. 0.01M $CaCl_2$ = 1:2.5) elektrometrisch gemessen (STICHER et al. 1971).

Karbonat ($CaCO_3$): Das Karbonat der Bodenproben wurde mit 1M H_2SO_4 zersetzt und das freigesetzte CO_2 nach Absorption an Natronasbest gravimetrisch bestimmt (Absorptionsmethode des Laboratoriums für Bodenkunde ETHZ).

Organische Substanz ($C_{org.}$), Gesamtstickstoff (N_{total}): Die Bestimmung von Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff erfolgte mit einem CHN-Analyser Rapid der Firma Heraeus und wurde vom Laboratorium für Bodenkunde ETHZ durchgeführt. Die Werte für den organischen Kohlenstoff ergaben sich aus der Differenz zwischen Gesamtkohlenstoff und anorganischem Kohlenstoff, welcher stöchiometrisch aus $CaCO_3$ berechnet wurde.

C/N-Verhältnis ($C_{org.}/N_{total}$): Die Verhältniszahl zwischen $C_{org.}$ und N_{total} stellt ein Mass für die biotische Aktivität bzw. für den Abbau des toten organischen Materials im Boden dar (SCHROEDER 1984).

Gesamtphosphor (P_{total}): Die Bodenproben wurden mit 70%iger Perchlorsäure aufgeschlossen und die Silikatrückstände abfiltriert. Anschliessend erfolgte die Messung des P-Gehaltes mit einem Spektralphotometer im gelben Farbbereich (BOHNE et al. 1958).

Phosphat (PO_4): Die Bestimmung des mit Na-Bicarbonat extrahierbaren Phosphates wurde photometrisch nach der Methode von OLSEN et al. (in STICHER et al. 1971) durchgeführt.

2.7. SCHWERMETALLGEHALTE VON LAUBSTREU UND PILZFRUCHTKÖRPERN

Pilz-Fk werden in der Umweltforschung zur Bioindikation eingesetzt. Sie ermöglichen Rückschlüsse auf die Schwermetallbelastung von Böden (FISCHER und HEIN 1990, IRLET und RIEDER 1985, KUUSI et al. 1981). Ein erhöhter Schwermetalleintrag kann Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Pilzflora am Standort haben (ARNOLDS 1988a, HORAK und RÖLLIN 1988, MCCREIGHT und SCHROEDER 1974, RÜCKER et al. 1990). Um die Schwermetallbelastung für das in der Nähe der Ems-Chemiewerke gelegene und von einer Autobahn tangierte Gebiet der Rhäzünser Rheinauen beurteilen zu können, wurde im Juli und November 1988 je eine Laubprobe aus den VF A, B und C für chemische Analysen entnommen. Die sechs Laubproben wurden zusam-

men mit drei Pilzproben [Fk-Massenaufsammlungen von *Hypholoma fasciculare* und *Psathyrella candolleana* (VF A, 28.9. bzw. 12.7.1988, beide saprob-lignicol) sowie *Lepiota aspera* (VF B, 19.9.1988, saprob-terricol)] vom Anorganisch-Chemischen Institut der Universität Zürich auf die Gehalte an Blei (Pb), Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) untersucht.
Das Analysematerial wurde in einem Umluftofen getrocknet und in einem Moulinex-Mixer mit Tantal-Messern zerkleinert. Der Aufschluss der organischen Substanz erfolgte durch ein Säuregemisch aus $HNO_3/HClO_4$. Die Werte für Cd und Pb wurden elektrochemisch nach der Standardadditions-Methode, diejenigen für Cu und Zn durch Atomabsorptions-Spektroskopie bestimmt. Jede Probe wurde dreimal aufgeschlossen und analysiert.

2.8. MYKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

2.8.1. Problematik des Pilzarten-Nachweises

Der Nachweis der in spezifischen Pilzgesellschaften zusammenlebenden Makromyceten ist nur aufgrund der produzierten Fk zu erbringen, weil nur diese genügend differenzierende Merkmale aufweisen, um eine sichere Artbestimmung durchführen zu können. Das vegetative, morphologisch wenig entwickelte Pilzmyzel entzieht sich durch das Wachstum im Boden oder in organischem Material der direkten Beobachtung. Zusätzlich wird der Nachweis von Pilztaxa in einer Vegetationseinheit dadurch erschwert, dass die meisten Grosspilze kurzzeitig und oft nicht jedes Jahr fruktifizieren. Um das Artenspektrum möglichst vollständig zu erfassen, ist der Mykologe deshalb gezwungen, das Untersuchungsgebiet in der Hauptsaison wöchentlich und während mehrerer Jahre abzusuchen (WINTERHOFF 1984b).

2.8.2. Beobachtungsdauer und Exkursionsdaten

Von Juni 1986 bis Dezember 1988 wurden total 84 Exkursionen von meist zweitägiger Dauer in die Rhäzünser Rheinauen unternommen (Tab. 2). VF A wurde 78 x, VF B 76 x, VF C 76 x und VF D 74 x besucht. Da zur Zeit des Frühlings- und des Herbstmaximums grosse Mengen an gesammeltem Pilzmaterial im Labor zu verarbeiten waren, konnte nicht regelmässig jede Woche während der gesamten Vegetationsperiode eine Feldbegehung eingehalten werden.

Tab. 2. Daten der Feldbegehungen von 1986-1988. - *Dates of excursions 1986-1988.*
H = Hochwasser - *flood*, S = VF schneebedeckt - *research sites covered with snow*, T = Teilbegehung - *field work in part.*

Woche	1986	1987	1988	Woche	1986	1987	1988
3	-	-	18.1.	32	4.8.	4.8.	9.8.
12	-	-	23.3.	33	11.8. H	11.8.	- H
13	-	24.3. S	- S	34	18.8.	17.8.	23.8.
14	-	- S	4.4.	35	24.8.	25.8. H	30.8.
15	-	6.4.	11.4.	36	2.9.	30.8. T	5.9.
16	-	- S	18.4.	37	9.9.	8.9.	12.9.
17	-	20.4.	25.4.	38	15.9.	13.9. T	19.9.
18	-	27.4.	2.5.	39	22.9.	21.9.	27.9.
19	-	4.5. S	9.5.	40	29.9.	27.9. T	-
20	-	11.5.	16.5. T	41	6.10.	7.10.	10.10.
21	-	18.5.	23.5.	42	13.10.	13.10.	18.10.
22	-	25.5.	30.5.	43	20.10.	-	24.10. T
23	-	2.6.	7.6. T	44	27.10.	25.10. T	1.11.
24	-	8.6. H	13.6.	45	-	-	-
25	16.6. T	15.6. H	-	46	-	10.11.	13.11.
26	23.6. T	22.6.	27.6.	47	-	17.11. T	-
27	1.7. T	-	4.7.	48	24.11.	23.11.	29.11.
28	7.7. T	6.7.	11.7.	49	-	-	4.12.
29	14.7.	13.7.	-	50	-	8.12. S	-
30	21.7.	- H	25.7.	51	-	-	-
31	28.7.	27.7.	1.8. T	52	-	-	-

2.8.3. Sammeln und Verarbeiten von Pilzfunden

Die in den VF gefundenen Fk wurden bei eindeutiger Identifikation der Art schon im Feld protokolliert (Artname, Substrat, Wuchsform, Anzahl Fk, VF, Datum) und der Hut jedes Pilzes zu Markierungszwecken abgeschnitten und liegengelassen. Makroskopisch nicht sicher bestimmbare Funde wurden in Plastikdosen verpackt, in einer Kühlbox gelagert und nach der Feldbegehung mikroskopisch studiert. Im folgenden wurden taxonomisch kritische bzw. neu registrierte Arten fotografiert, gezeichnet und beschrieben. Nach der Dokumentation wurden die Funde auf einem T-regulierbaren Trockner bei ca. 50°C während 24 Std. getrocknet. Für den Aufbau einer Mykothek wurden von jungen Fk zusätzlich Gewebekulturen auf künstlichen Nährmedien angelegt (vgl. Kap. 2.8.6).

Nach Abschluss der Feldsaison wurden die Mikromerkmale der Exsikkate in 4% KOH präpariert und mit Hilfe eines Leitz-Dialux Lichtmikroskops unter Verwendung von Ölimmersion (100er Objektiv) analysiert. Die Huthaut-

Strukturen wurden mit einem Zeichentubus bei 500facher, die Cystiden und Basidien bei 1000facher und die Sporen bei 2000facher Vergrösserung gezeichnet.
Makroskopische Dokumentation und mikroskopische Analyse ermöglichten die Identifikation der Arten mit Spezialliteratur (vgl. Kap. 3.2.1). Das bestimmte Material wurde mit Kollektionen aus dem Kryptogamenherbar ZT, vereinzelt auch mit Typusmaterial, verglichen.
Während der dreijährigen Sammeltätigkeit wurden 3400 Pilzfunde aus den VF A-C und 400 aus der VF D mikroskopisch kontrolliert und 1600 vollanalysierte Kollektionen angelegt. Repräsentative Exsikkate jeder registrierten Pilzart sind im Kryptogamenherbar ZT hinterlegt.

2.8.4. Untersuchte taxonomische Pilzgruppen

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf Makromyceten, d.h. auf Pilze, deren Fk von blossem Auge erkennbar sind (Fk-Durchmesser > 1 mm). Bei den Basidiomycetes wurde der Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Blätterpilze gelegt, wobei aber auch Vertreter der Aphyllophorales (*Corticiaceae, Polyporaceae* u.a.), Heterobasidiomycetes und Gasteromycetes gesammelt und in die Auswertungen einbezogen wurden. Arten mit perennierenden Fk wurden nur dann als neu zu registrierende Pilzfunde festgehalten, wenn frisch angelegte Fk-Kolonien vorlagen.
Kleinere Ascomycetes wurden nicht systematisch gesucht und nur berücksichtigt, sofern ein Fk-Massenvorkommen auftrat. Eine speziell auf Discomycetes und Sphaeriales ausgerichtete Untersuchung der VF würde die Artenzahl der für den Grauerlenwald charakteristischen Pilzflora wesentlich erhöhen (GRAUWINKEL 1987, LUCCHINI et al. 1990).
Uredinales, Ustilaginales und Deuteromycetes wurden nicht in die Arbeit einbezogen. *Lycogala epidendrum* ist als einziger Vertreter der Myxomycetes in den Auswertungen berücksichtigt.

2.8.5. Kartierung von Pilzfruchtkörpern

2.8.5.1. Literaturgrundlagen zur Fruchtkörper-Kartierung

Aus europäischen Grauerlenwäldern liegen keine Arbeiten über die kleinflächige, kartographische Erfassung von Pilz-Fk vor. Die Untersuchungen von EINHELLINGER (1973) und STANGL (1970) befassen sich nur ansatzweise mit

der räumlichen Verteilung der Pilze im *Alnetum*.
Eine grundlegende Methodik zur Kartierung von Makromyceten wurde von FORD et al. (1980) erarbeitet. Während dreier aufeinanderfolgender Jahre wurden die von Ektomykorrhiza-Symbionten um eine isoliert stehende Birke (*Betula pendula*) gebildeten Fk kartographisch registriert. Die für jede Vegetationsperiode erstellten Fundkarten zeigen einerseits Position und Abstand der produzierten Fk zum Wirtsbaum, andererseits erlaubt die Darstellung der Fundpunkte in Clustern Rückschlüsse über die Verbreitung der vegetativen Myzelien im Boden. Die kartographischen Auswertungen werden durch Assoziationsanalysen zwischen Pilzartenpaaren ergänzt.
Die von FORD et al. (1980) verwendeten, statistischen Grundlagen zur Erfassung mykoökologischer Beziehungen basieren auf den mathematischen Methoden von PIELOU (1977). Ähnliche statistische Auswertungen sind in den Arbeiten von BIERI und LUSSI (1989; Wirtsbäume: *Fagus silvatica, Picea excelsa* u.a.), BILLS et al. (1986; *Acer saccharum, Picea rubens* u.a.) und BRUNNER und HORAK (1988; *Mesobrometum*) zu finden.
Die folgenden Publikationen befassen sich mit weiteren Aspekten der räumlichen Verteilung von Grosspilzen in Laub- und Nadelwäldern: AGERER und KOTTKE (1981; *Picea* und *Carpinus, Fagus, Quercus*), AUGUSTIN (1974; *Fago-Quercetum*), BARKMAN (1987; *Quercetum*), BIERI und LUSSI (1989), COTTER und BILLS (1985; *Fraxinus americana*), EGLI (1990; *Picea excelsa*), GARDNER und MALAJCZUK (1985; *Eucalyptus* spp.), JANSEN (1984; *Quercetum*), KIRBY et al. (1990; *Picea excelsa*), LAST et al. (1983; *Betula pendula*), MASON et al. (1982; *Betula pendula*), MURAKAMI (1987, 1989; *Castanopsis cuspidata*), OGAWA (1977; *Abies mariesii, Betula ermani, Tsuga diversifolia*).

2.8.5.2. Ökologische Aussagekraft der Fruchtkörper-Kartierung

Die regelmässige Kartierung der in einer Aufnahmefläche produzierten Pilz-Fk ermöglicht bei langfristiger Beobachtung die Beurteilung folgender räumlicher Aspekte:
- Dispersion: Verbreitungsmuster der Fk-Population einer Pilzart innerhalb der Kartierungszone.
- Dichte (Produktivität): Zahl der pro Flächen- und Zeiteinheit produzierten Fk.
- Standortstreue: Fk-Fundpunkte einer Pilzart in einer Saison bzw. während mehrerer Vegetationsperioden.

- Zahl der Pilzindividuen (Myzelien) pro Flächeneinheit.
- Abschätzung der Durchmesser von Myzelkolonien bzw. einzelner, isoliert wachsender Myzelien im Boden.
- Wachstumsraten und Myzelverschiebungen.
- Konkurrenzverhalten: Überlappung (Koexistenz), Ausschluss (antagonistische, interspezifische Beziehungen) oder zufällige Verteilung (indifferentes Verhalten) der Myzelien verschiedener Pilzarten bei Wachstum im selben Bodenhorizont.

2.8.5.3. Angewandte Kartierungs-Methodik

Innerhalb der Grauerlenflächen (2000 m^2) wurden streifenförmige, permanente Kernzonen (Sanktuarien) von 30 x 2 m (VF A), 20 x 2 m (VF B) und 50 x 2 m Grösse (VF C) für die Kartierung der Fk von Grosspilzen (Ektomykorrhiza-Symbionten und Saprobe) ausgeschieden. Diese Aufnahmeflächen wurden nicht betreten und bei jeder Feldbegehung in einem Rundgang entlang ihrer Grenzen abgesucht. Dabei wurden diejenigen Fk erfasst, die innerhalb der Sanktuarien und entlang der Weggrenzen bis maximal 1 m ausserhalb der Kernzonen standen. Somit wurden total 400 m^2 Fläche bzw. 1/5 der VF A-C kartiert. Die Lage jedes Fk bzw. jeder Population einer Pilzart wurde mit einer Genauigkeit von 5 cm ausgemessen und im Massstab 1:60 in eine Karte eingetragen.

2.8.5.4. Auswertung und Darstellung der Kartierungsdaten

Kartierung in zweidimensionaler Darstellung: Die planare Fundkarte zeigt die Lage der Fk zueinander und zu den im Sanktuarium wachsenden Bäumen in massstabgetreuer Verkleinerung. Die gesamte Fundzahl der drei Jahre wird pro Pilzart auf einer Karte zusammengefasst, wobei die Kartierungspunkte durch unterschiedliche Symbole den jeweiligen Sammeljahren zugeordnet sind.
Kartierung in dreidimensionaler Darstellung: Mit der räumlichen Darstellung des Fundortes gegen die Fk-Dichte lässt sich die Fk-Dynamik einer Pilzart anschaulich zeigen. Die Fundkarten werden in Quadrate von 50 x 50 cm Grösse unterteilt. Die Menge der Fk, welche für die gesamte Untersuchungsdauer in jedem Quadrat gezählt wird, bestimmt die Höhe der über den Quadratmittelpunkt gesetzten Säule.
Kartierung in Clusterdarstellung: Fk-Fundpunkte der gleichen Pilzart, die

auf der Karte in weniger als 50 cm Abstand voneinander liegen, werden zu einem Cluster vereinigt. Der Verlauf der Cluster-Grenzlinien dürfte, bei genügend langer Beobachtungsdauer und bei Vernachlässigung des in dieser Zeitperiode aktiven, zentrifugalen Myzelwachstums, grob der Verbreitung des Myzels im Boden entsprechen.
FORD et al. (1980) errechneten eine theoretische, maximale Distanz von 10 cm, um zwei benachbarte Fk noch demselben Cluster zuweisen zu können. Für die eigenen Auswertungen wird diese kritische Grösse bei 50 cm angesetzt, weil die Position der Fk in den von Gräben durchzogenen Sanktuarien stellenweise nur ungenau ausgemessen werden konnte. Zudem haben eigene Feldbeobachtungen gezeigt, dass in einem Schub produzierte und demselben Myzel zuzuordnende Fk von *Paxillus filamentosus* bis zu 50 cm Abstand voneinander aufweisen.
Assoziationsanalysen zwischen Pilzartenpaaren: Die Fundkarten werden mit einer Rastereinteilung von 50 x 50 cm unterteilt. Die Rasterquadrate werden nach Präsenz und Absenz der paarweise zu testenden Pilzarten ausgezählt und in die folgende Kontingenztafel eingesetzt:

	Art A		
Art B	Präsenz	Absenz	
Präsenz	a	b	$m = a + b$
Absenz	c	d	$n = c + d$
	$r = a + c$	$s = b + d$	$N = m + n = r + s$

Nach PIELOU (1977) sind Assoziation bzw. Ausschluss zwischen zwei Arten signifikant, wenn

$$X^2 = \frac{([ad - bc] - N/2)^2 N}{mnrs} \qquad \begin{array}{l} > 3.82 \text{ (5\%-Signifikanzniveau)} \\ > 6.64 \text{ (1\%-Signifikanzniveau)} \end{array}$$

Analyse der Standortstreue von Fk-Funden: Mit dem Vierfeldertest nach PIELOU (1977) lässt sich auch die Standortstreue der während verschiedener Vegetationsperioden produzierten Fk einer Pilzart testen. In der Kontingenztafel werden auf der einen Seite die Präsenz-Absenz-Werte der Art für das erste Jahr, auf der anderen Seite diejenigen für ein folgendes Jahr eingesetzt (1986-1987, 1986-1988, 1987-1988). Der Korrelationskoeffizient

$$V = \frac{ad - bc}{(mnrs)^{1/2}}$$

berechnet, in welchem Mass die Fundsituationen der Beobachtungsjahre übereinstimmen (perfekte Standortstreue der Fk-Funde für $V = +1$).

2.8.6. Isolation und Reinkultur von Pilzmyzelien aus Fruchtkörpern

Mit einer sterilen Rasierklinge wurden Gewebestückchen aus dem Hutinnern junger, frischer Fk herausgeschnitten und auf künstliche Nährmedien in Petrischalen übertragen. Um Kontaminationen durch Bakterien zu reduzieren, wurden saprobe Pilzarten zunächst auf 2% Terramycin-Malzagar (TMA) und Ektomykorrhiza-Symbionten auf Terramycin-Hagemagar (THA) kultiviert. Die beiden Standardsubstrate setzen sich wie folgt zusammen:

TMA: 20 g Malzextrakt, 20 g Agar, 1 l Leitungswasser, nach der Sterilisierung im Autoklaven (15 Min. bei 120°C) Zugabe von 10 ml Terramycin-Acetonlösung (1 Kapsel auf 50 ml Aceton).

THA: 0.5 g NH_4Cl, 0.5 g KH_2PO_4, 0.5 g $MgSO_4$, 1 ml einer 1%igen wässerigen $FeCl_3$-Lösung, 5 g Glucose, 5 g Malzextrakt, 15 g Agar, mit $H_2O_{dest.}$ auf 1 l auffüllen, nach der Sterilisierung Zugabe von 10 ml Terramycin-Acetonlösung (nach LAIHO 1970).

Bei sichtbarem Myzelwachstum wurden die Stämme zur weiteren Aufbewahrung in Röhrchen auf entsprechende Nährmedien ohne Antibiotikum-Zusatz überimpft.

Während der dreijährigen Untersuchungsperiode konnten insgesamt 54 Stämme von 34 für den Grauerlenwald typischen, saproben Pilzarten und drei Stämme von *Paxillus filamentosus*, einem wichtigen Ektomykorrhiza-Symbiont von *Alnus incana*, isoliert werden. Die Reinkulturen sind am Geobotanischen Institut der ETH Zürich deponiert und wurden zusätzlich an das Centraalbureau voor Schimmelcultures, Baarn (Holland) geschickt (CBS-Nr. 375.90-398.90, 526.90, 527.90, 533.90, 569.90).