

## Hypogäen in Mainfranken – geologische und geographische Aspekte

R. A. HINTZ

Schönbornstraße 4,  
D-6000 Frankfurt/Main

Eingegangen am 31.4.1987

Hintz, R. A. – Hypogeous fungi in Mainfranken. Beiträge zur Kenntnis der Pilze Mitteleuropas, III: 385–400.

**Key Words:** hypogeous fungi, geology, pH-value, soil.

**Summary:** Favorable conditions for the development of hypogeous fungi are discussed with respect to geology, morphology, and soil development for the region of Mainfranken where unusual abundant occurrences were observed.

Probably this abundance is the result of a combination of calcareous soils of small depths on a rather large area which on the one hand is of no use for agriculture or forestry but on the other not so poor as to develop a 'dry lawn'.

The pH-value of near surface soil layers is related to the occurrence of hypogeous fungi even if considering that practicable possible pH-measurements are only accurate to 0.5 pH. Habitats with almost the same geology and morphology differ partially by 1.0 pH.

With pH-values lower than pH 5 very little numbers of hypogeous fungi were found. Most occurrences were connected with soil between pH 6 and pH 8. Preferred values for the observed genera were: *Rhizopogon* pH 6–7, *Tuber* pH 7–8, *Hymenogaster* and *Hysterangium* pH 6–8.

The varieties of *Hymenogaster luteus* showed a distinct preference for different values of pH: *H. luteus* var. *luteus* preferred pH 7–8, *H. luteus* var. *berkeleyanus* Corda preferred pH 6–7.

**Zusammenfassung:** Am Beispiel des Gebiets Mainfranken wird dargestellt, wie Geologie, Morphologie und Bodenentwicklung unter besonders günstigen Bedingungen zu einem ungewöhnlich reichhaltigen Vorkommen von Hypogäen führen können. Insbesondere, wenn dadurch flachgründige, kalkreiche Böden in größerer Fläche entstehen, die land- bzw. forstwirtschaftlich nicht mehr nutzbar sind, andererseits aber noch nicht so arm, daß es nur zur Ausbildung eines Trockenrasens kommt.

Der pH-Wert der oberflächennahen Bodenschichten liefert eine Beziehung zwischen Hypogäenvorkommen und Bodenschichten, auch wenn Messungen im Bereich von 0,1 pH-Wert-Einheiten in der notwendigen Anzahl nicht durchführbar sind. Zwischen den einzelnen Fundorten ergaben sich z. T. Unterschiede von 1 pH-Wert-Einheit.

Bei pH-Werten unter 5,0 wurden nur sehr wenige Hypogäen gefunden, die meisten bei pH-Werten zwischen pH 6 und pH 8. Bei der Gattung *Rhizopogon* lag der pH-Wert des Bodens bei 6 bis 7, bei der Gattung *Tuber* bei 7–8, bei den Gattungen *Hymenogaster* und *Hysterangium* bei 6–8. Bei den Varietäten von *Hymenogaster luteus* zeigte sich eine deutliche Bevorzugung unterschiedlicher pH-Werte: pH 7–8 bei der Varietät *luteus*, pH 6–7 bei der Varietät *berkeleyanus* Corda.

### 1. Einleitung

Der Verfasser hat sich seit 1980 mit dem Vorkommen und dem Aufsuchen von Hypogäen beschäftigt und hatte anfänglich große Schwierigkeiten, sie überhaupt zu finden. So begann die Arbeit mit dem Aufsuchen möglicher bzw. günstiger Fundgebiete. In den ersten Jahren waren die Hinweise von Groß (1969, 1975) über Standorte und Suchtechnik eine unverzichtbare Hilfe. Anfängliche Schwierigkeiten entstanden bei der Übertragung dieser Hinweise auf andere Fundgebiete, weil sie wesentlich von Beobachtungen im Saargebiet bestimmt waren. Die charakteristischen günstigen Stellen des Saarlandes entsprachen den Erscheinungsbildern in Mainfranken nur bedingt. Nur die wichtigsten Voraussetzungen waren übertragbar: Ein Wirtsbaum, fehlende Krautschicht, geringe Laubbedeckung, Waldränder, Waldwege, Halbschatten, kalkhaltige Böden, dazu als botanischer

Indikator das Vorkommen von Orchideen; auch, daß Weinbaugebiete mit ihrem Klima das Vorkommen der Sommertrüffel (*Tuber aestivum*) begünstigen und last not least die Mahnung zur Geduld.

Da der Verfasser Geologe ist, nahm er sich die Merkmale „kalkreich“ und „Weinbaugebiet“ als erstes Kriterium vor. An Hand geologischer Karten und ihrer Erläuterungen wurde (nach einigen Fehlschlägen bei Frankfurt näherliegenden Vorkommen von Zechsteinkalk) das Gebiet nördlich Würzburg ausgewählt. Da in den Erläuterungen zur geologischen Karte (Schwarzmeier 1978, 1979) die Grenze zum Buntsandstein als Grundwasserstauer angegeben war, lag der Gedanke nahe, an der Grenze Muschelkalk/Buntsandstein mit der Suche zu beginnen, da Pilze ja Feuchte lieben und die Karsthochflächen sehr trocken erschienen. (Erst später erkannte der Verfasser, daß der Feuchte speichernde Tongehalt wichtiger ist als die Grundwasserführung.) Das Klima – trocken-warm mainfränkisch mit 650 mm Niederschlag/Jahr und einer mittleren Jahrestemperatur von 8–9° C – erschien ebenfalls günstig.

Um in dem unübersichtlichen Gelände Waldränder, Lichtungen und feuchtere Gebiete zu finden und die verwirrenden, in den Meßtischblättern nicht eingezeichneten Waldwege zu identifizieren, wurden Luftbilder hinzugezogen (Flurbereinigungsdirektion München, 1978). Die Luftbilder erwiesen sich in der Tat als gutes Hilfsmittel, lockere Waldränder und ihre Übergänge zum Halbtrockenrasen auszumachen und danach die Suchgänge auszurichten. Die reichlichen Funde bestätigten die Hypothesen. Da das Finden der Hypogäen schwierig ist, ist über ihre Verbreitung noch wenig bekannt. Der Verfasser möchte mit diesem Bericht eine Anregung geben, diese Wissenslücke zu schließen.

## 2. Allgemeines zum Vorkommen von Hypogäen

Hypogäen sind Mykorrhizapilze. Sie wachsen in Vergesellschaftung mit Bäumen bzw. Sträuchern und bilden ihre Fruchtkörper am häufigsten in deren Randzone aus, soweit diese nicht von einer Krautschicht bedeckt sind, sei es aus Lichtmangel oder weil ein dichtes Wurzelgeflecht keine Wachstumsmöglichkeit bietet.

Der Boden ist meist nur dünn mit Laub- oder Nadelstreu bedeckt. Die Baumkronen sind locker oder die Blätter wurden weggeweht. (Unter bzw. in dicken Streuschichten fanden sich nur Arten der Gattungen *Melanogaster* und *Sclerogaster*.)

Diese Bedingungen treten in Mainfranken häufig bei flachgründigen Böden mit flachwurzelnden Sträuchern (*Corylus avellana*) und Bäumen (*Quercus spec.*) auf. Die Krautschicht wird weitgehend aus der Baumscheibe verdrängt, und damit bieten sich gute Bedingungen für das Wachstum und das Finden von Hypogäen (Tafel 1 u. 2). Eine detaillierte Beschreibung der Vegetation einiger Fundstellen – Diebsloch und Ständelberg (MTB Gemünden) – erfolgte durch Winterhoff (Hintz & Winterhoff 1984).

Es gab keine Hinweise für ein aktives Verdrängen der Krautschicht durch Ausscheidung von Herbiziden, wie es von der in Südfrankreich, Italien oder Spanien wachsenden Wintertrüffel (*Tuber melanosporum*) bekannt ist.

Stehen Bäume oder Sträucher so dicht, daß sich ihre Kronen berühren (Kronenschluß), sind Funde selten oder nur noch an Waldwegen möglich, die etwas mehr Licht durchlassen. Das Vorkommen von einzelnen Gräsern oder kleinen Moosflecken erlaubt eine gute Beurteilung der Lichtverhältnisse. Fehlen diese vollständig oder treten lichte, gleichmäßig ausgebreitete Krautschichten von Schattenpflanzen auf, sind Hypogäen nur noch selten zu finden. Ebenfalls ungünstig sind sehr dicht gepflanzte Jungwälder, die schon früh ein dichtes Laubdach bilden.

Auch in Hochwaldbeständen, in denen sich nach dem Fällen einzelner Bäume wieder eine Krautschicht entwickeln konnte, sind Hypogäenfruchtkörper selten, vielleicht, weil die Wurzeln zu sehr in die Tiefe gewachsen sind.

Die Erfahrung zeigte auch, daß alle lockeren, nachgiebigen Waldböden, in die man beim Gehen einsinkt, nahezu ohne Funde blieben. Möglicherweise waren Wühlmausgänge die Ursache. Der eher tiefgründige, relativ steinarme Boden gab den Wühlmäusen einen Lebensraum, und das dauernde Belüften und Austrocknen des Bodens behinderte das Hy-

pogäenwachstum. Man könnte auch schließen, daß bei sehr starkem Wühlmausvorkommen die Hypogäenfruchtkörper unreif gefressen werden, so daß sich die Hypogäen auf die Dauer nicht halten können. So gesehen begünstigen sehr flachgründige Böden nicht nur das Hypogäenwachstum, sondern behindern auch die Entwicklung konkurrierender Lebensformen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß günstige Wachstumsbedingungen bietende, flachgründige Böden mit lichten Waldwegen oder kleinen Gehölzgruppen und zurücktretender Krautschicht sehr viel seltener sind als ungünstige. Bei fast allen land- oder forstwirtschaftlich nutzbaren Böden wird eine Vegetationsdecke erzeugt, die den Hypogäen kaum Entwicklungsmöglichkeiten läßt.

In Abschnitt 4 wird gezeigt, wo in Mainfranken diese Wachstumsbedingungen aus geologischen Gründen häufig sind und damit die relativ reichhaltigen Hypogäenfunde möglich machten. Man kann daraus sicher nicht einfach folgern, daß Hypogäen nur unter solchen Bedingungen wachsen. Folgt man den Angaben H e s s e's (1884, 1891), so ist nur die Gattung *Tuber* auf sehr kalkreiche Böden angewiesen. Die damalige Form der Bodennutzung ließ den Hypogäen aber wohl auch auf Böden Wachstumsmöglichkeiten, auf denen man heute vergeblich suchen würde.

### 3. Suchtechnik

Ideale Voraussetzung für eine erfolgreiche Suche wäre sicher ein dressierter Hund, der den Sammler zu den unter Streu oder Boden verborgenen, im reifen Zustand charakteristisch riechenden Fruchtkörpern hinführt. Mit einer kleinen Harke, wie sie zur Pflege von Blumenbeeten benutzt wird, könnten sie dann leicht freigelegt werden.

In einem Fundgebiet hätte der Sammler anfangs zwar nur reife bis überreife Fruchtkörper zur Verfügung, aber bei der großen Standorttreue der Hypogäen wäre es leicht möglich, zu anderen Jahreszeiten an der gleichen Stelle nur durch leichtes Kratzen mit der Harke (Abdecken der Streu und des obersten Zentimeters der Bodenschicht) andere Altersstufen zu finden. Außerdem reifen viele Fruchtkörper auch teilweise, so daß in ihnen mehrere Reifezustände zu beobachten sind.

Um Fundstellen sicher wiederzufinden, empfiehlt es sich, ein Foto der näheren Umgebung, möglichst mit charakteristischen Bäumen, zu machen. Bei unübersichtlichem Gelände haben sich zur Beschriftung die abgeschätzten Koordinaten des MTB bewährt.

Dem Verfasser stand kein dressierter Hund zur Verfügung. Alle Funde (ca. 850 in 6 Jahren) wurden nur mit leicht modifizierten kleinen Harken gemacht, d. h. die Zinken waren zurückgebogen, damit sie nicht zu tief in die Bodenoberfläche eindringen und außerdem abgestumpft, um das Aufspießen von Fallaub zu verringern. Beim Suchen an einer günstigen Stelle werden nach dem Entfernen der Streuschicht meist einige größere Fruchtkörper sichtbar, da ihre Oberseite aus dem Boden heraustritt. Sie zeigen damit ein Vorkommen an, das ein sorgfältiges Absuchen der ganzen Fläche nahelegt. Dabei können dann auch tiefer liegende Exemplare gefunden werden.

Der Boden darf nicht zu trocken sein. Vor allem bei bindigen Böden kann dann die Harke nicht eindringen, und Fruchtkörper lösen sich nicht vom umgebenden Boden.

Im Laufe der Zeit erkennt man auch kleine Fruchtkörper sicher. Anfangs sind dunkel gefärbte oder ältere Fruchtkörper, die die Größe von Samenkörnern haben (der Hainbuche z. B.) nur bei langsamem, vorsichtigem Durchsuchen des Bodens zu finden. Sichere Unterscheidungsmerkmale sind: Samenkörner sind hart, unnachgiebig, Hypogäenfruchtkörper geben unter Fingerdruck immer etwas nach. Kleine fruchtkörperähnliche Steinchen klingen an den Harkenzinken. Ein gewisses „Einsehen“ in die feinen Unterschiede zwischen echten und scheinbaren Hypogäen ist aber von Fundstelle zu Fundstelle notwendig. Das Suchen von Hypogäen dauert erheblich länger als das Suchen von epigäischen Pilzen. An einer Fundstelle von etwa 25 m<sup>2</sup> oder 100 m<sup>2</sup> muß man mit einer Suchzeit von 1/2 bis 1 Stunde rechnen. Bei gutem Erfolg sind das ca. 10 Fundstellen pro Tag, im ungünstigen Fall keine oder nur 2 Fundstellen. Wenn möglich, sollte man zu zweit suchen. Einmal hängt der Erfolg auch von der Zahl der abgesuchten Quadratmeter ab, zum andern lassen sich Frustrationen leichter überstehen.

An geeigneten Standorten sind Hypogäen wahrscheinlich nicht seltener als Epigäen. Nur kann der Sammler von Epigäen in Minuten von Fundstelle zu Fundstelle gelangen, während der Hypogäensammler mit halben Stunden rechnen muß.

#### 4. Geologische Bedingungen für das Wachstum von Hypogäen

Es besteht eine deutliche Beziehung zwischen dem Vorkommen von Hypogäen und den geologischen Schichten, die an der Erdoberfläche austreten. Das Vorkommen von Hypogäen in Mainfranken ist im wesentlichen auf den unteren Muschelkalk (Wellenkalk) beschränkt, der sich als schmales Band am östlichen Rand des Spessarts von SW nach NO zieht, mit einer NO-Abzweigung auf dem MTB Remlingen (Zellinger Mulde) (Bild 1). Die Fundorte befinden sich auf den MTB Tauberbischofsheim-West, Hardheim, Wertheim, Helmstadt, Arnstein, Marktheidenfeld, Remlingen, Lohr, Karlstadt, Gmünden und Hammelburg. Der angrenzende Buntsandstein sowie der mittlere Muschelkalk waren vergleichsweise sehr arm an Hypogäen, teils wegen tiefgründiger Verwitterung und Entkalkung (Forst- oder Landwirtschaft), teils weil diluviale, entkalkte Überdeckungen auftraten.

Eine Anmerkung zur Interpretation geologischer Karten: Geologische Karten sollen in erster Linie den geologischen Aufbau eines Gebietes darstellen, nicht die Bodenoberfläche. Dünne unbedeutende Bodenschichten werden daher nicht dargestellt, sondern „abgedeckt“. Bei flach liegenden Schichten können sich dann nicht unbeträchtliche horizontale Verschiebungen zwischen einer Grenzlinie auf der Karte und der Beobachtung im Gelände ergeben und damit auch für das Vorkommen von Hypogäen. Bei Vorhandensein einer vom Geologischen Landesamt herausgegebenen Bodenkarte und den zugehörigen Erläuterungen lassen sich solche Unsicherheiten meist beseitigen.

Bild 2 zeigt an einigen geologischen Profilen typische Beispiele des Auftretens von unterem Muschelkalk und die Neigung der geologischen Schichten gegenüber der sichtbaren Erdoberfläche. Die Schichtung ist nur durch Ober- und Unterkante sowie durch die Markierung der charakteristischen Oolith- bzw. Terebratelbänke angedeutet. In Wirklichkeit besteht er aus einer Vielzahl von Bänkchen und mehreren dichten Bänken mit dazwischen eingeschalteten tonigen Einlagerungen (Bild 3).

Der Verfasser hat die Schichten nicht kartiert, sondern aus den Angaben geologischer Karten und ihrer Erläuterungen interpoliert. Da im oberen Buntsandstein Störungen auftreten, ist dies Vorgehen mit einigen Ungenauigkeiten verbunden, liefert jedoch eine gute Hypothese für die Richtung künftiger Untersuchungen.

Man erkennt, daß durch die Neigung der Schichten auch bei nur gering geneigten Oberflächen fortlaufend andere Schichten an die Oberfläche treten. Das ist im Gelände kaum sichtbar, kann aber die kleinräumigen Bodenverhältnisse, insbesondere Flachgründigkeit und Tongehalt, stark verändern und das Vorkommen von Hypogäen entsprechend sporadisch werden lassen.

Bei großer Hangneigung, die auf wenigen Metern fortlaufend neue Muschelkalkschichten austreten läßt, werden Hypogäen seltener, da die Wurzeln der Bäume und Sträucher vermutlich leichter in die tonigen Schichtfugen zwischen den Bänken eindringen können und nicht an die Oberfläche gezwungen werden. Es bildet sich ein Biotop heraus, das bei steilen Kanten zum Trockenrasen tendiert und bei kleinen Absätzen der Krautschicht gute Wachstumsmöglichkeiten bietet, da meist günstige Lichtverhältnisse herrschen. Hinzu kommt eine bewegliche Bodenoberschicht.

Man kann jedenfalls sagen, daß Hänge mit mehr als  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$  Neigung nur zu Hypogäen gefunden geführt haben, wenn sie soweit terrassiert waren, daß nahezu horizontale Zwischenstufen von wenigstens 1 m Breite vorkamen, die sicher auch das Wasserrückhaltevermögen begünstigten.

Interessanterweise gibt es bei der französischen Kultur von Wintertrüffeln eine ähnliche Beobachtung. Sie besagt, daß die Kultur bei Neigungen über  $20^{\circ}$ – $25^{\circ}$  erfolglos ist.

##### 4.1 Fundort Diebsloch/Ständelberg (MTB Gmünden)

Bild 4 zeigt die Fundstellen auf den beiden Kuppen. Das geologische Profil (Bild 2)

zeigt, daß am Diebsloch und am Ständelberg relativ harte Bänke (Oolithbank  $\alpha$  und  $\beta$ , untere Terebratelbank) mit aufliegenden tonhaltigen Schichten parallel zur physikalischen Oberfläche vorkommen.

Dies Zusammenfallen von Schichtneigung und physikalischer Oberfläche auf größerer Fläche hat zu einer Bodentiefe geführt, die nicht so flach ist, daß sich ein Trockenrasen entwickeln konnte, aber auch nicht so tiefgründig, daß es mehr als eine lockere parkartige Vegetation ermöglicht hätte. Es ist bezeichnend, daß die größeren Bäume und die Krautschicht gleichermaßen karg sind, während am stärker geneigten Rand Kiefernbestände mit üppiger Krautschicht und dichte Buchenbestände mit unterdrückter Krautschicht vorherrschen.

Die besonders reichhaltigen Funde an diesen beiden Fundorten (nach Art und Fruchtkörperzahl) könnten durch dieses im gesamten Gebiet einmalige Zusammentreffen von physikalischer Oberfläche und geologischer Schichtung bedingt sein. Das Gebiet könnte also idealtypisch für das Wachstum von Hypogäen sein (die klimatischen Bedingungen des Weinbaugebietes hinzugerechnet).

#### 4.2 Fundort Sperbühl (MTB Karlstadt)

Ein besonderer Fall ist der Fundort Sperbühl (Bild 2, 5), da hier zusätzlich ein Zeitfaktor nachweisbar ist. Das MTB (letzte Berichtigungen 1969, erkundet 1964) zeigt den Fundort noch als Feld. Ein Luftbild von 1981 zeigt den Fundort mit Gehölzen bewachsen. Heute (1986) ist die Fläche weitgehend zugewachsen oder steht dicht vor dem Kronenschluß, mit einzelnen hohen Kiefern und Eichen und verbreiteten Haselsträuchern bis 5 m Höhe. Dazwischen vereinzelt umgestürzte Kiefern. Weiter oberhalb auf dem Sperbühl, vor allem auf der Nord- und Ostseite, stocken kräftige Kiefernbestände.

Geologisch scheint es sich bei der Fundstelle um einen durch kleine Störungen terrasierten Streifen zu handeln, etwa 100 m breit, der vielleicht während und nach dem letzten Krieg als Garten benutzt wurde, da eine Feldbestellung nicht möglich war. Auf den übrigen Teilen des Sperbühls konnte sich mit den Kiefernbeständen eine relativ dichte Krautschicht entwickeln, die im Südteil bis zum Halbtrockenrasen zurückgeht. In diesem Teil wurden auch an kleinen, im Prinzip günstigen Stellen keine Hypogäen gefunden – Speisepilze, wie kupferroter Gelbfuß (*Gomphidius rutilus*), Schmerling (*Suillus granulatus*) und Kiefernreizker (*Lactarius semisanguifluus*), die durch dichte Krautschichten nicht unterdrückt werden, dagegen durchaus.

#### 4.3 Fundorte auf anderen Hochflächen

Bei anderen Fundorten (Röderberg, MTB Lohr), (Rammersberg und Mäusberg, MTB Karlstadt) (Bild 5) liegt die Schichtung nicht parallel zur Oberfläche. Die Zahl der Fundstellen war bei ähnlicher Suchintensität wesentlich geringer.

Auch das Vorkommen von unterem Muschelkalk auf dem MTB Remlingen führte nur zu wenigen Hypogäenfunden. Vermutlich sind die relativ verbreiteten kalkärmeren und tiefgründigeren diluvialen und Keuperauflagen die Ursache. Die Bodenbildung und die Entwicklung der Vegetation verlief hier offenbar anders als z. B. auf dem MTB Karlstadt. Es gibt nur wenige Flächen, die nicht forst- oder landwirtschaftlich genutzt werden.

#### 4.4 Fundorte an Talrändern

Der Verfasser erwartete, daß Talgründe wegen ihrer größeren mittleren Feuchtigkeit das Vorkommen von Hypogäen begünstigen würden. Im Untersuchungsgebiet befinden sich zwei im Prinzip günstige Täler: das Affental und der Ölgrund. In beiden Fällen tritt der untere Muschelkalk als schmales Band aus. Die tatsächlichen Funde waren aber im Vergleich mit den Fundorten Diebsloch und Ständelberg gering.

##### 4.4.1 Fundort Affental (MTB Arnstein)

Das Affental ist eng und keilförmig eingeschnitten. Der an der nördlichen Seite des Ost-West verlaufenden Tals austretende untere Muschelkalk bildet einen sehr steilen Hang (um

45°) und wird am anschließenden flachen Kuppenteil von einer diluvialen kalkarmen Ablagerung überdeckt. Die südliche Talseite ist flacher und kann land- und forstwirtschaftlich genutzt werden. Am Fuße dieses südlichen Hanges befinden sich mehrere Terrassen, deren Vegetation für Hypogäen günstig sein sollte.

Die Zahl der Fundstellen war trotzdem nicht groß. Vor allem enttäuschten manche Flächen von etwa 10 x 20 m auf kleinen Terrassen mit Haselnußsträuchern, krautfreien Zonen, geringer Laubbedeckung an der Grenze zu dicht mit Kräutern bewachsenen Flächen. Die wahrscheinlichste Erklärung ist, daß hier in dem engen Tal kleine diluviale Flußterrassen erhalten geblieben sind, die aus kalkarmem Material des am oberen Ausgang des Tals anstehenden Keupers entstanden. Bei anderen an sich günstigen Stellen könnten die Hangneigung eine Rolle spielen oder von hangaufwärts liegenden Feldern eingespülte Düngerreste.

#### 4.4.2 Fundort Ölgrund (MTB Gemünden)

Der Ölgrund ist ein Tal mit einer relativ breiten Talauflage, die für Wiesen und Weiden genutzt wird. Es verläuft von Südwest nach Nordost und endet im Nordosten im Bereich des Truppenübungsplatzes Hammelburg. Der nördliche Hang ist relativ schwach geneigt und mit dichtem Nadel- und Laubjungwald bestockt. Der südliche Hang ist steiler und überwiegend mit Eichen und Hainbuchen mittleren Alters bewachsen.

Die Zahl der Fundstellen war an beiden Hängen gering, wahrscheinlich, weil die Baum- und Strauchbedeckung schon etwas zu dicht war. Am günstig terrassierten unteren Teil des südlichen Abhangs traten dann schon wieder Schichten des oberen Buntsandsteins mit niedrigen pH-Werten auf.

Andererseits konnten im mittleren Teil dieses Hanges reiche Funde von *Zelleromyces stephensii* gemacht werden, die einzigen im gesamten Fundgebiet.

Der nördliche untere Talrand brachte wenige unspezifische Funde, der Hang selber, wohl zu dicht bewachsen, keine.

## 5. Einflüsse des pH-Werts

### 5.1 Vorbemerkung zur pH-Messung von Böden

Eine genaue bodenkundliche Analyse ist aufwendig. Detaillierte flächenhafte Aufnahmen verbieten sich daher in den meisten Fällen, oder sie sind, was häufiger der Fall sein dürfte, auch gar nicht erforderlich, weil für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke nur über größere Flächen gemittelte Werte interessieren.

Für eine Detailuntersuchung liegt es daher nahe, den pH-Wert zu messen, weil mit relativ geringem Aufwand ein aussagekräftiger Parameter der Bodenqualität erhalten werden kann, der leicht durch qualitative Beschreibungen zu ergänzen ist.

Aber auch mit dieser Einschränkung sind statistisch abgesicherte Messungen nach den Erfahrungen des Verfassers zumindest nebenberuflich kaum durchführbar. Die langen erforderlichen Zeiträume beeinträchtigen die Vergleichbarkeit bzw. Reproduzierbarkeit der Messungen in schwer quantifizierbarer Weise. Das Aufdecken der Unterschiede im pH-Wert, die für das Einzelvorkommen von Hypogäen wichtig sind, erfordert jedoch Messungen an vielen Einzelstellen. Auch Stellen, an denen keine Hypogäen vorkommen, müßten erfaßt werden, damit sich ein Hintergrund ergibt, von dem sich die Fundstellen abheben (nicht nur horizontal, sondern auch im Vertikalprofil). Die pH-Werte hängen auch von der Jahreszeit ab, was die Vergleichbarkeit länger dauernder Meßreihen gefährdet. Es ist bekannt, daß pH-Werte in Abhängigkeit von der Jahreszeit um 0,5 bis 1,0 Einheit schwanken können (R u h l a n d 1958).

Für eine genauere Interpretation der pH-Werte müssen außerdem die von der Meßmethode abhängigen Unterschiede beachtet werden, d. h. es muß bekannt sein, ob die Messung elektrochemisch (Meßkette), durch Farbreaktion (pH-Papier) in Leitungswasser, in destilliertem Wasser, in n/10 oder in n/1 KCl-Lösung erfolgte. Die Unterschiede in den so erhaltenen Werten können etwa 1,0 pH ausmachen (Tab. 1).

Tab.: 1 pH-Werte in Abhängigkeit von der Meßmethode bei gleichem Bodenmaterial

Methode:	elektro-chemisch		pH-Papier	
	aqua dest.	n/10 KCl	aqua dest.	n/10 KCl
pH-Wert:	7,8	6,6	8,0	5,0

Man muß daher bedenken, daß unterschiedliche Meßmethoden zu Unterschieden im pH-Wert führen können, die in der gleichen Größenordnung liegen, in der sich die pH-Werte horizontal oder vertikal im Boden ändern. Unmittelbar vergleichbar sind nur pH-Werte, die mit gleicher Methode zur gleichen Jahreszeit gemessen wurden.

Der Verfasser hat sich nach einigen Versuchen dazu entschlossen, die Bodenproben mit n/10 KCL-Lösung anzuteigen, den Papierstreifen auf diesen Bodenteil zu legen und die sich nach 3–5 Minuten einstellende Färbung des pH-Papiers (Meßbereich 4,9–7,9) als Indikator zu verwenden. Andere Meßmethoden erwiesen sich als zu aufwendig, um sie in größerer Zahl neben der mikroskopischen Bestimmung der Hypogäen durchzuführen. Wie in Abschnitt 5.2.1 gezeigt wird, können jedoch auch bei Meßgenauigkeiten im Bereich von 0,5 pH-Einheiten relevante Aussagen gewonnen werden.

Außerdem wurde der Kalkgehalt des Bodens nach der Stärke des Aufbrausens beim Auftropfen von 10%iger Salzsäure abgeschätzt: Ein qualitatives, aber schnelles und sicheres Mittel, um in Grenzgebieten festzustellen, ob es sich um kalkhaltige oder entkalkte Böden handelt.

### 5.2 pH-Werte im Fundgebiet

Eine deutliche Beziehung zwischen der Änderung des pH-Werts und dem Vorkommen von Hypogäen besteht an der Grenze oberer Buntsandstein/Röt zu dem darüberliegenden unteren Muschelkalk. Beim Übergang von den sandig-tonigen Schichten des Röt zum unteren Muschelkalk mit seinen durch tonige Zwischenlagen getrennten Kalkbänkchen steigen die pH-Werte von unter 6,0 auf über 7,0 bis 8,0 an. Die Hypogäen in Mainfranken wurden zum weit überwiegenden Teil in diesen zu Rendzina oder Terra fusca entwickelten Schichten gefunden.

Im Vergleich dazu sind die von K r i e g l s t e i n e r (1977) bei seiner Untersuchung über das Vorkommen von „Makromyzetten der Tannenmischwälder des Inneren Schwäbisch-Fränkischen Waldes“ an 6 Flächen in sandigen bis mergeligen Böden gemessenen pH-Werte (in Wasser) von pH 4,0 bis max. 5,6 sehr niedrig. Im untersuchten Gebiet kommen derart niedrige Werte außer im oberen Buntsandstein nur in stark entkalkten Böden oder bei diluvialen Auflagen des unteren Muschelkalks vor.

An den untersuchten Fundstellen ändern sich die pH-Werte z. T. stärker in vertikaler als in horizontaler Richtung, da die Bodenentwicklung offenbar recht unterschiedlich verlaufen ist. Im allgemeinen gehen die pH-Werte vom unverwitterten Kalkstein bis zur überlagernden Humusschicht stetig von etwa 7,5 auf 6,0 zurück, an anderen Stellen tritt jedoch eine gelbe entkalkte Zwischenschicht auf, in der die pH-Werte um 4,5 bis 5,0 liegen.

Tabelle 2 gibt einige mit n/10 KCl gemessene pH-Werte in den grob als humushaltige Schicht A, Verwitterungsschicht B und Unterboden C eingeteilten Bodenprofilen wieder.

Tab.: 2 pH-Werte von Bodenprofilen

Horizont	pH-Werte							
A	6,6	7,0	7,3	7,4	7,4	7,5	7,7	7,9
B	6,2			7,5	5,3			4,9
C	7,7	7,4	7,5	7,8		7,6	7,6	7,1

Bemerkenswert sind Böden mit Bodenbildungsprozessen, die zu einer Entkalkung des B-Horizonts und zu einer Kalkanreicherung im darüberliegenden A-Horizont geführt haben (letztes Profil in Tab. 2). Die entkalkte Zwischenschicht ist deutlich gelb gefärbt, verglichen mit dem grauen Ausgangsgestein und dem darüberliegenden braunen bis dunkelbrau-

nen humusreichen Boden. Sie könnte für das Hypogäenwachstum sehr wichtig sein, wenn sie für die Pilzhyphen als chemische Barriere wirkt.

Da die Bodenausbildung sowohl den Wirtsbaum als auch den Mykorrhizapilz beeinflusst, lassen sich günstige und ungünstige Bedingungen nicht leicht definieren. Wahrscheinlich ist aber, daß an vielen äußerlich ähnlichen Stellen zwar die Baumwurzeln ungünstige Bodenschichten durchdringen können, die Pilzhyphen jedoch nicht. Es könnte natürlich auch sein, daß eine derartige Feinschichtung den besonderen Wachstumsbedingungen der Hypogäen entgegenkommt.

Dem Verfasser gelang es noch nicht, eine plausible – ganz abgesehen von einer statistisch gesicherten – Beziehung zwischen dieser Art Bodenprofil und dem Vorkommen von Hypogäen zu finden. Allenfalls in der wohl sehr allgemeinen Form, daß bei entkalkten Zwischenschichten Hypogäen seltener vorkamen.

#### 5.2.1 pH-Werte der oberflächennahen Bodenschicht günstiger Fundorte

Von Fundorten mit relativ vielen Fundstellen und entsprechend vielen pH-Messungen der oberflächennahen Bodenschicht wurden die Häufigkeitsverteilungen als Histogramm dargestellt (Bild 7 a). Es zeigt sich, daß die Fundorte charakteristische Abweichungen zeigen, obwohl sie alle im unteren Muschelkalk liegen.

Im Affental (MTB Arnstein) liegt das Maximum der pH-Werte bei pH 7–8, am Sperbühl (MTB Karlstadt) bei pH 6–7 (weniger stark ausgeprägt auch bei Lindelbach (MTB Wertheim)). Bei den Fundorten Diebsloch und Ständelberg (MTB Gemünden), die wegen ihrer geringen Unterschiede zusammengefaßt wurden, liegen die pH-Werte im wesentlichen gleichmäßig verteilt zwischen pH 6–8, überdecken also den doppelten Bereich der anderen Fundorte.

Die Unterschiede zwischen den Fundorten sind so groß, daß sie die Unsicherheiten bei der pH-Wert-Bestimmung deutlich überwiegen.

#### 5.2.2 Bevorzugte pH-Wert-Bereiche einiger Hypogäen

Die Zahl der Funde einer Art ist im allgemeinen zu klein, um Beziehungen zwischen dem gemessenen pH-Wert und dem Vorkommen einer Hypogäenart aufzustellen. Einige Arten waren jedoch so häufig, daß ein Versuch sinnvoll erschien. Bild 7 b zeigt die Häufigkeitsverteilung der Boden-pH-Werte für einige Arten bzw. Gattungen.

Im Vergleich zu der pH-Wert-Verteilung der günstigen Fundorte wird deutlich, daß die Hypogäen in einem weiteren Bereich vorkommen. Sie wachsen in einem Bereich von 1–2 pH-Wert-Einheiten, d. h. daß die pH-Wert-Bereiche an den einzelnen Fundorten nicht kritisch waren. Die Hypogäen konnten sich offenbar ohne Schwierigkeiten an die vorkommenden pH-Werte anpassen und fruktifizieren, wenn die sonstigen Bedingungen günstig waren.

Allgemein waren pH-Werte zwischen 6,0 und 8,0 günstig. Bei der Gattung *Tuber* überwog der pH-Wert-Bereich 7–8, bei der Gattung *Rhizopogon* der pH-Wert-Bereich 6–7. Bei den untersuchten Arten der Gattungen *Hymenogaster* und *Hysterangium* wird der pH-Wert-Bereich 6–8 überdeckt.

Interessant ist, daß bei den Varietäten *Hymenogaster luteus* var. *luteus* und *H. luteus* var. *berkeleyanus* deutlich unterschiedliche pH-Bereiche bevorzugt werden, nämlich pH 7–8 bzw. pH 6–7. Bemerkenswert auch deshalb, weil die Unterscheidung im Grenzbereich beider Varietäten nach den Sporenmaßen nicht eindeutig ist, bei den typischen Vertretern aber ein Volumenverhältnis der Sporen von 2:3 besteht (Groß, mündl. Mitt.). Das ist ein Hinweis darauf, daß diese Varietäten durch unterschiedliche Substrate bedingt sein können.

Ob diese pH-Werte den optimalen Wachstumsbedingungen von Hypogäen entsprechen, müßte an Hand von Funden in anderen Biotopen beurteilt werden.

Für die Fundorte Diebsloch und Ständelberg kann man annehmen, daß der breite verfügbare pH-Wert-Bereich zusätzlich zum flachgründigen Boden das Hypogäenwachstum begünstigt.



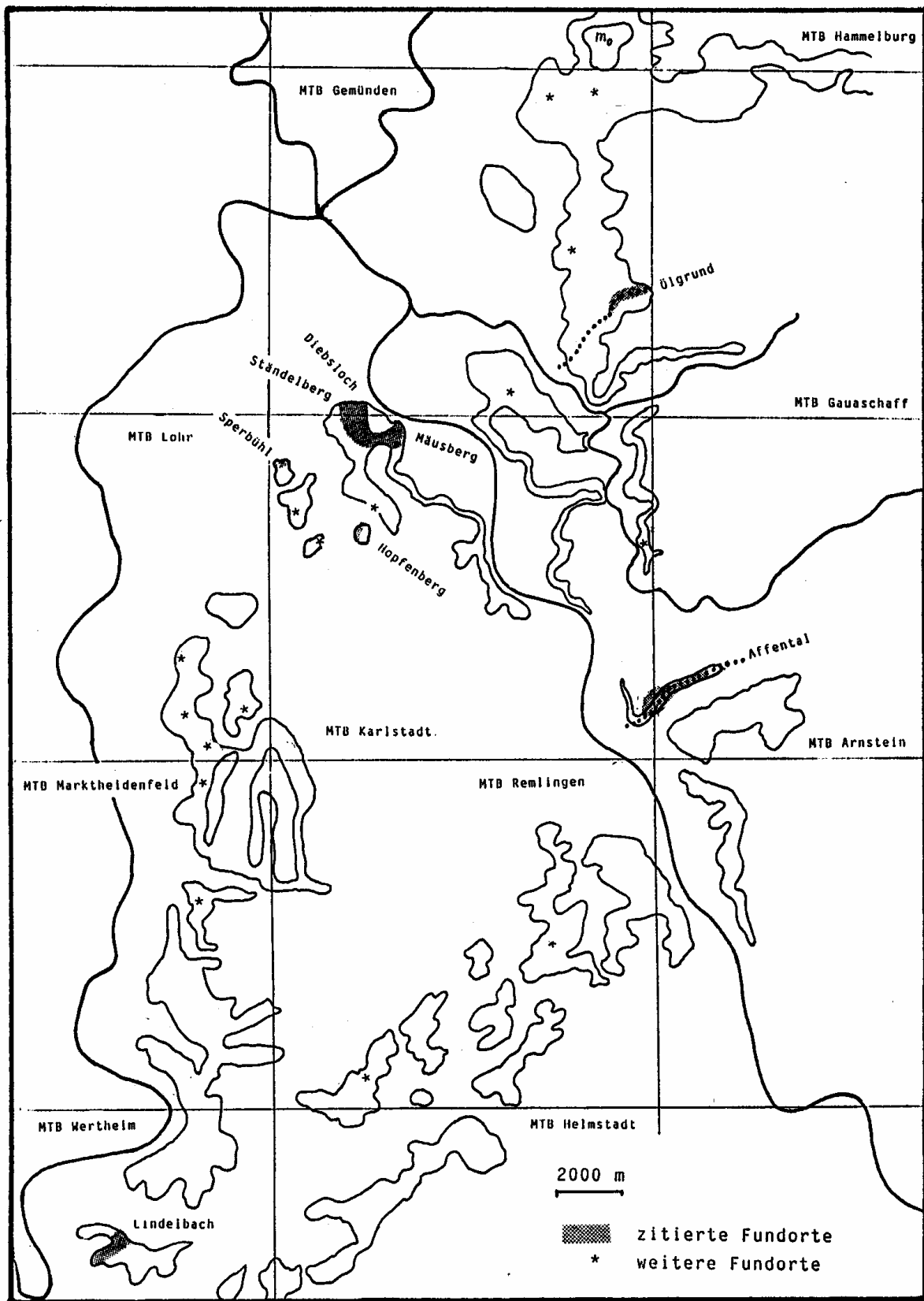


Bild 1: Vorkommen des unteren Muschelkalks in Mainfranken

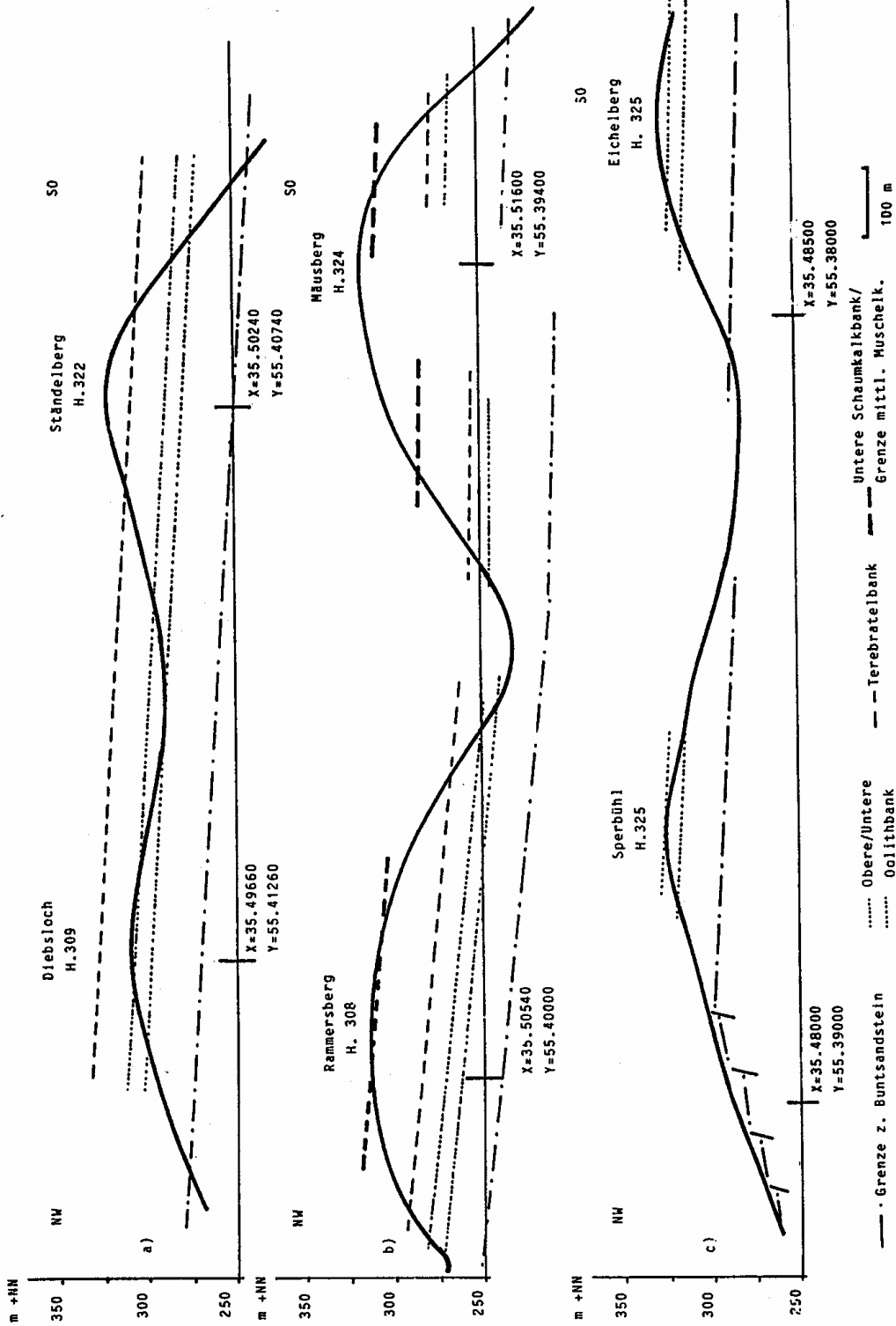


Bild 2: Profilschnitte durch Fundorte in Mainfranken  
 a) MTB Gmünden: Diebsloch, Ständelberg  
 b) MTB Karlstadt: Rammersberg, Mäusberg  
 c) MTB Karlstadt: Sperbühl, Eichelberg

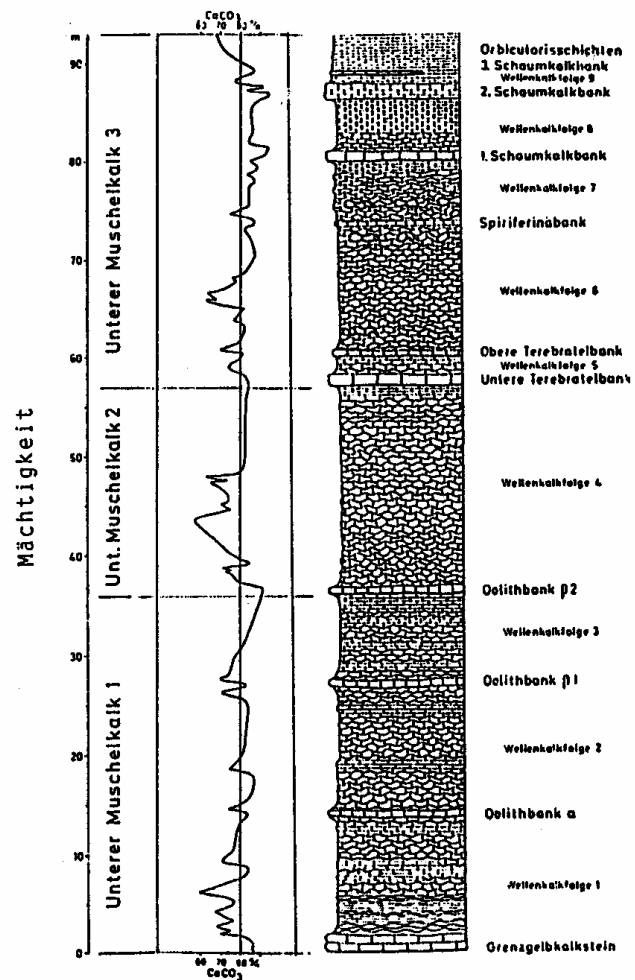
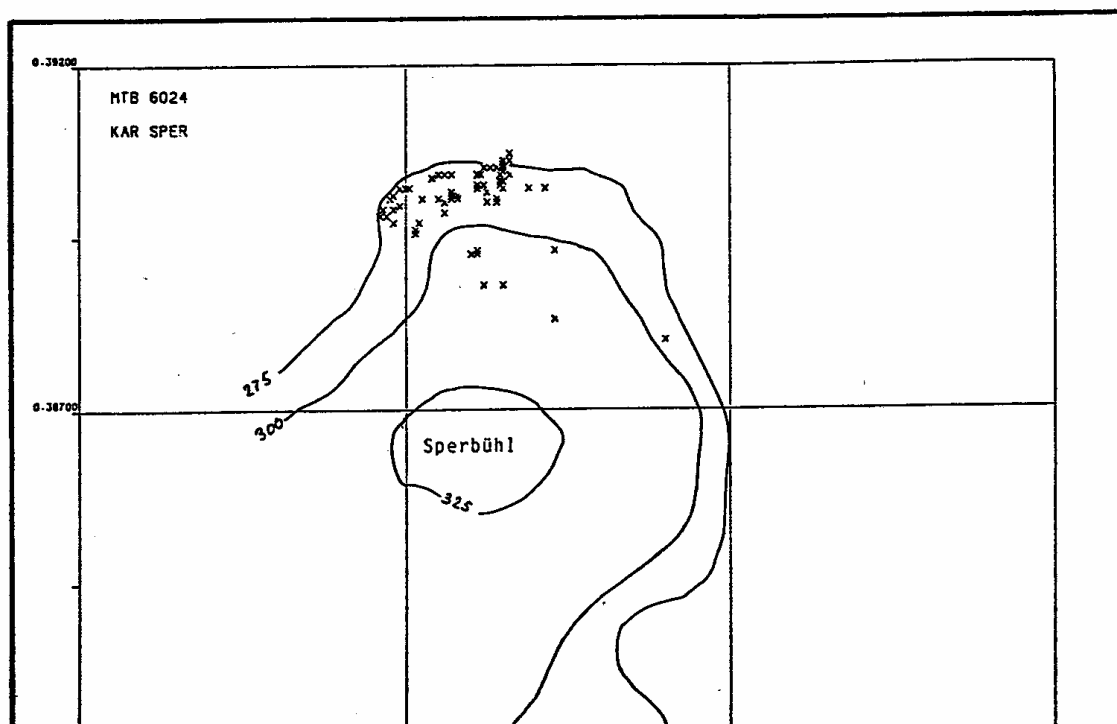
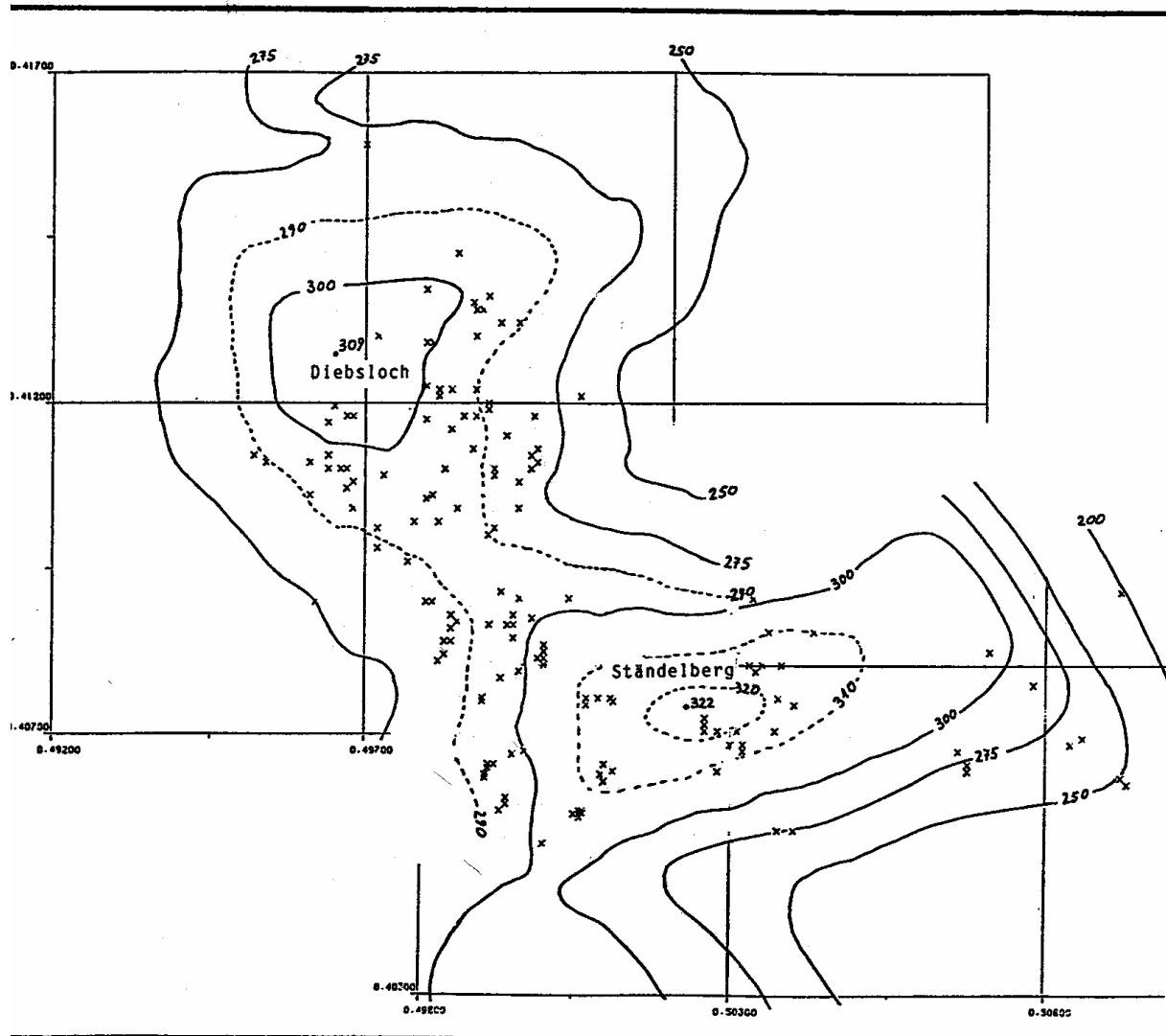
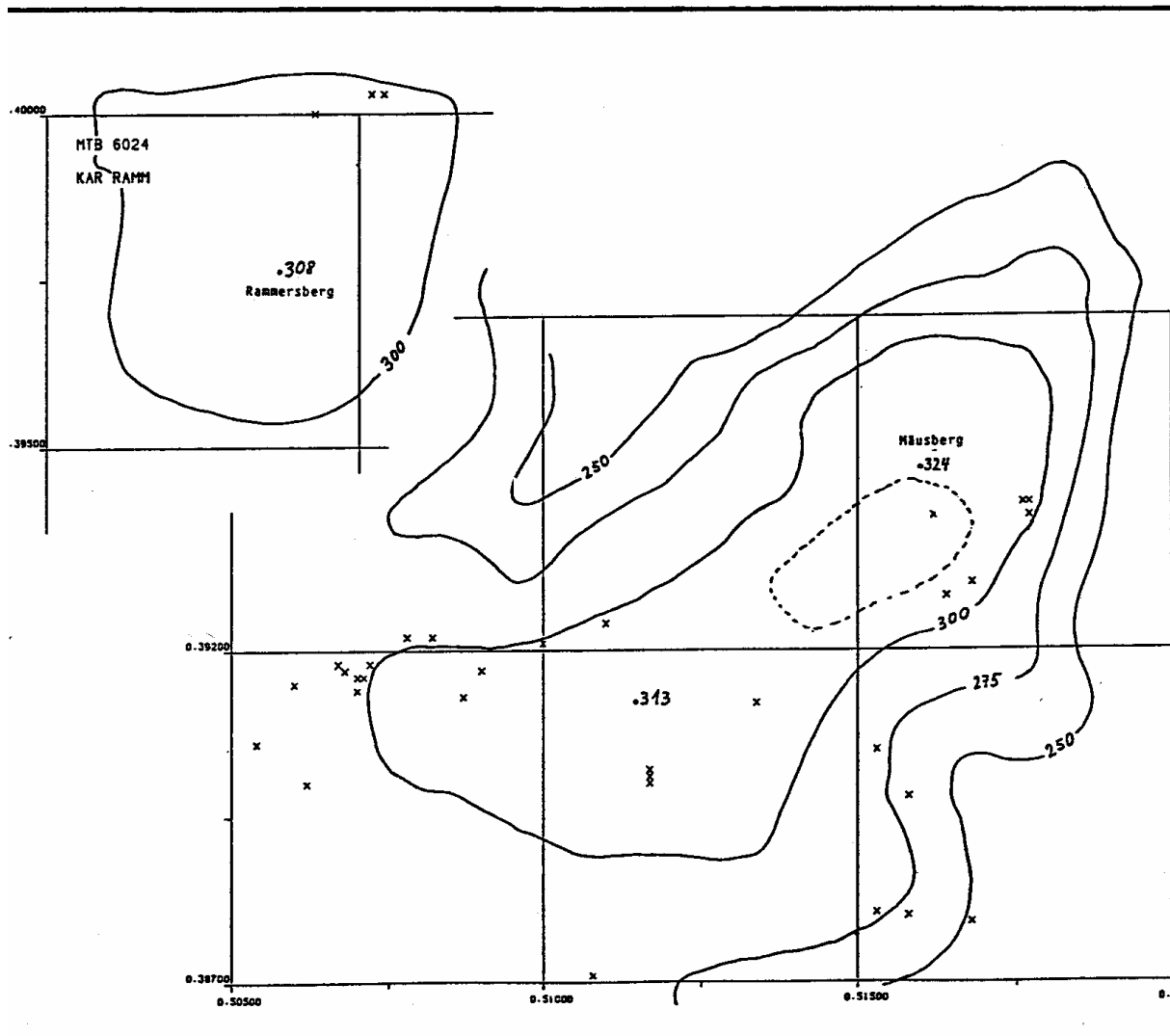


Bild 3: Normalprofil des unteren Muschelkalks und CaCO<sub>3</sub>-Gehalte der Schichten (MTB Remlingen). (Nach Schwarzmeier 1979)





4: Lage der Fundstellen am Diebsloch/Ständelberg (MTB Gemünden). (Gitterkante = 500 m).



d 5: Lage der Fundstellen am Rammersberg/Mäusberg (MTB Karlstadt). (Gitterkante = 500 m).

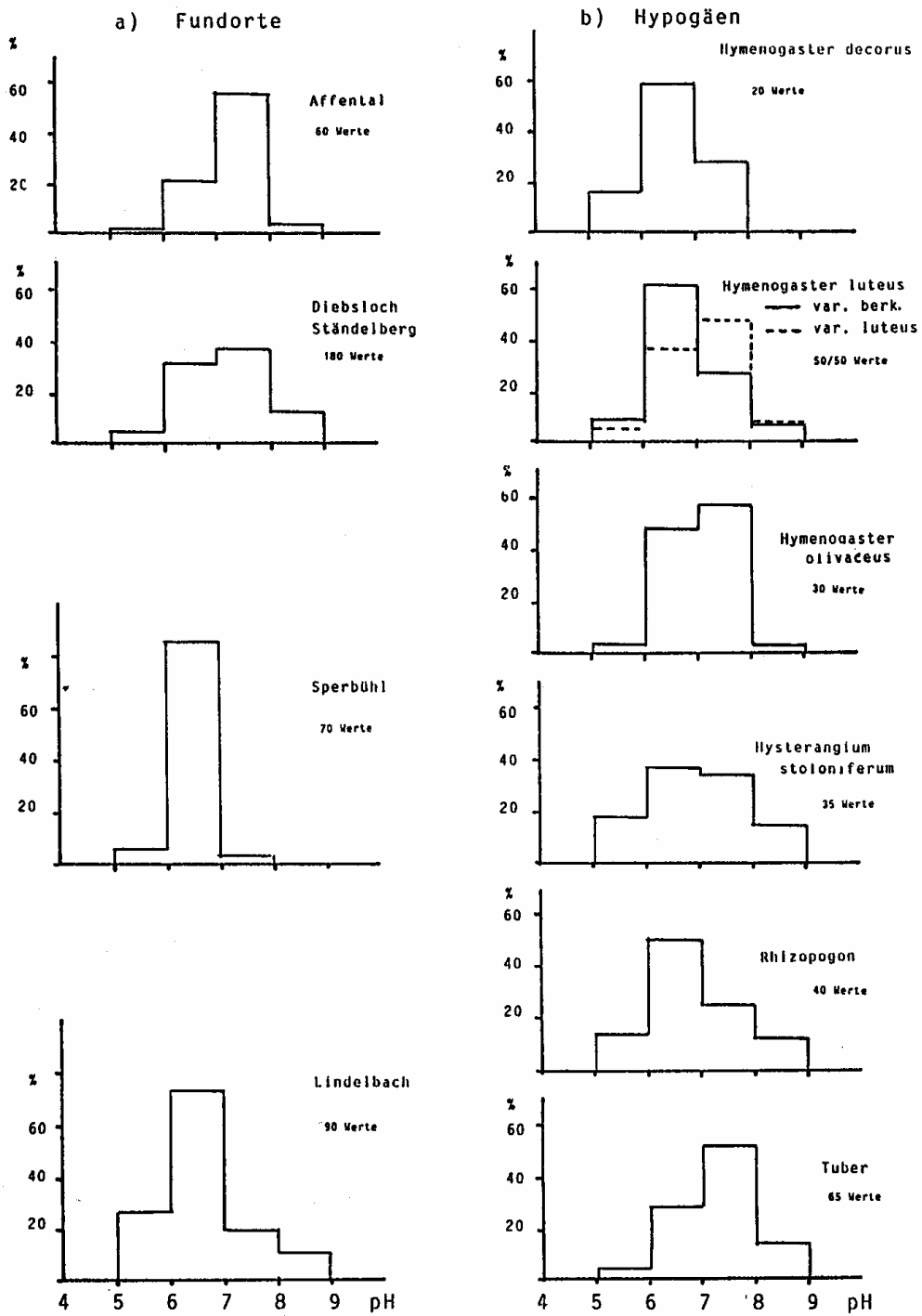


Bild 7: Oberflächennahe pH-Werte von Fundstellen  
 a) Häufigkeitsverteilung an einigen Fundorten  
 b) Häufigkeitsverteilung für einige Hypogäen

**Literatur**

- Flurbereinigungsdirektion München (28.3.1981) Bildflug Wiesenfeld – 8122 – Bild Nr. 2849 und 2874, Maßstab 1:15000.
- GROSS, G. (1969) – Einiges über die Hypogäensuche. *Z. Pilzk.* 35, 1 + 2: 13–20.
- (1975) – Die Sommertrüffel (*Tuber aestivum* Vitt.) und ihre Verwandten im mittleren Europa. *Z. Pilzk.* 41: 5–18 und 143–154.
- A. RUNGE & W. WINTERHOFF (1980) – Bauchpilze in der Bundesrepublik und Westberlin. Beiheft 2 z. *Z. Mykol.*
- HESSE, R. (1884, 1891) – Die Hypogäen Deutschlands.
- HINTZ, R. A. & W. WINTERHOFF (1983) – Seltene Hypogäen in Mainfranken (MTB 6223 Wertheim), *Z. Mykol.* 49(1): 51–60.
- – (1984) – Seltene Hypogäen in Mainfranken. *Wakefieldia macrospora*, *Z. Mykol.* 50(1): 105–116.
- KRIEGLSTEINER, G. J. (1977) – Makromyzeten der Tannenmischwälder des Inneren Schwäbischen-Fränkischen Waldes. Schwäb. Gmünd (200 S.).
- RUHLAND, W. (1958) – Handbuch der Pflanzensoziologie, Bd. IV. Die mineralische Ernährung der Pflanze. Springer-Verlag.
- SCHWARZMEIER, J. (1978) – Geologische Karte von Bayern, Erläuterungen zu den Blättern 6024 Karlstadt und 6124 Remlingen.
- (1979) – Geologische Karte von Bayern, Erläuterungen zum Blatt 6123 Marktheidenfeld.