

Über den jüngeren Löß in Niederösterreich, Mähren und Böhmen*

mit 10 Tafeln

von

Robert Lais †

INHALT

Einleitung	
I. Die Beziehungen zwischen Sedimentation, Abtragung und Bodenbildung im Löß	121
II. Die begrabenen Böden im jüngeren Löß des Untersuchungsgebietes, ihre zeitliche Einordnung und Verknüpfung	125
III. Bodenkundlich-geologische Untersuchung und klimatische Deutung der Löß- und Verwitterungshorizonte	
A. Vorbemerkung	131
B. Allgemeine Erörterungen	132
1. Der Löß als Boden	
2. Die Verwitterungshorizonte als Zeugnisse von Klimaänderungen	
C. Einzeluntersuchungen	
1. a) Die Horizonte des Würm-I/Würm-II-Interstadials	134
a. Die Göttweiger Verlehmungszone	
b. Die Hollabrunner Humuszone	
c. Die Ablagerungen über der Hollabrunner Humuszone	
β) Ihre bodenkundlich-klimatische Deutung	137
a. Die Göttweiger Verlehmungszone als Horizont der degradierten Schwarzerde oder als Braunerde	
b. Die Hollabrunner Humuszone als Schwarzerdehorizont	
c. Die Ablagerungen über der Hollabrunner Humuszone als Braunerde	
2. Die Horizonte des Würm-II/Würm-III-Interstadials und ihre bodenkundlich-klimatische Deutung	147
IV. Zusammenfassung über den Klimaablauf während der Würm-Eiszeit	152
V. Die zeitliche Einweisung der paläolithischen Lößfunde des Untersuchungsgebietes	161
VI. Übersichtliche Darstellung einiger Lößprofile	Falttafel
VII. Schlußbemerkung	165

* Die vorliegende Arbeit war im Juli 1944 abgeschlossen. Durch Kriegseinwirkung wurde das Manuskript im November 1944 vernichtet. Die Durchsicht der Zweitschrift vor der Drucklegung besorgte Frau Dr. Elisabeth SCHMID, Freiburg i. Br., die als ehemalige Schülerin und spätere Mitarbeiterin meines Mannes von ihm in seine Arbeitsmethoden eingeführt worden war. Ich spreche ihr auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank aus.
Martha LAIS

Einleitung

In dieser Arbeit wird der Versuch gemacht, die für den jüngeren Löß der Gebiete Niederösterreich, Mähren und Böhmen zahlreich vorliegenden Einzelerkenntnisse zu einem Gesamtbild zusammenzufügen. Dabei fußt der Verfasser auf den Feststellungen und Forschungsergebnissen der im Untersuchungsgebiet tätigen Geologen und Bodenkundler; sie konnten durch eigene Beobachtungen und Untersuchungen vielfach ergänzt und berichtigt werden. Für persönliche Förderung schuldet der Verfasser den zahlreichen, im Untersuchungsgebiet ansässigen Wissenschaftlern besonderen Dank ¹.

In zahlreichen Aufschlüssen des Gebietes erscheint der jüngere Löß durch Laimen- und Humushorizonte gegliedert. Ihre Entstehung wird als Folge der während der Würmeiszeit aufgetretenen Klimaschwankungen und des mit ihnen zusammenhängenden Wechsels in der Pflanzenbedeckung erklärt und damit die allgemeine Geltung und ermittelte Gliederung erwiesen. Nachdem die Laimen- und Humushorizonte und auch der Löß selbst schon seit längerer Zeit als begrabene Böden gedeutet worden waren, und nicht anders gedeutet werden können, erschien es notwendig, in breiterem Umfang als bisher bodenkundliche Erkenntnisse und Methoden heranzuziehen. Den Einzeluntersuchungen müssen einige allgemeine Erörterungen vorausgeschickt werden.

Sämtliche Aufnahmen stammen vom Verfasser

¹ Es sind dies in Brünn die Herren PELISEK und ZAPLETAL, in Prag Herr ZOTZ, in Wien die Herren BOHMKER, GÜTZINGER, HUTTER (der inzwischen gestorben ist), MENGHIN, WILLVONSEDER und Fr. von OREL.

1. Die Beziehungen zwischen Sedimentation, Abtragung und Bodenbildung im Löß

BLANK nennt in seinem Handbuch der Bodenlehre (Bd. 1, 1929) den Boden das Produkt eines ewigen Kampfes der Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre um den Besitz der Lithosphäre. Es ist eine allgemeine Auffassung der Bodenforschung, daß der Boden ein dynamisches System darstellt, das unter gleichbleibenden oder wenig veränderten Bedingungen einem Gleichgewichtszustand zustrebt.

Wegen der Langsamkeit der dabei tätigen chemischen Prozesse fordert die Entstehung eines Bodens die hinreichend lang dauernde Einwirkung aller bodenbildenden Faktoren auf das gleiche Muttergestein. Dieses muß also durch genügend lange Zeiten hindurch die Oberfläche bilden. Daraus folgt, daß zwei Arten geologischer Vorgänge, Sedimentation und Abtragung, der Bodenbildung entgegenwirken. In beiden Fällen müssen die bodenbildenden Prozesse immer wieder neues Gestein in Boden umzuwandeln versuchen; diese Umwandlung wird daher um so unvollständiger sein und ihr Ergebnis jenem Gleichgewichtszustand um so ferner stehen, je schneller Sedimentation oder Abtragung erfolgen.

Greifen wir, um dies an einem Beispiel zu erläutern, aus der Fülle der bodenbildenden Prozesse einen der auffallendsten heraus, nämlich die Ansammlung der dunkel färbenden humosen Stoffe, so erkennen wir, daß sie bei rascher Veränderung der Bodenoberfläche, gleichviel ob sie in Form von Sedimentation oder von Abtragung vor sich geht, nie ein hohes Maß erreichen, also nie zur Ausbildung dunkelbraun oder schwarz gefärbter Böden führen kann.

Der äolisch abgelagerte Löß, der nur selten Humussubstanzen in nachweisbarer Menge enthält, ist das beste Beispiel für die Wirkung der *S e d i m e n t a t i o n*. Wir wissen aus den in ihm vielerorts enthaltenen Wurzelröhrchen und Schneckenschalen, daß er eine Pflanzendecke getragen hat, wenn sie auch nur dünn oder lückenhaft war. Wurde durch äolische Ablagerung neuen Lößstaubs die Oberfläche ständig aufgehöhht, so mußte mit ihr die Rasendecke in die Höhe wachsen. Eine bedeutende oder auch nur mäßige Anhäufung von Humusstoffen war daher unmöglich².

Die Wirkung des allmählichen Übergangs von fehlender zu kräftiger Sedimentation ließ sich in der tiefen Lehmgrube der Ziegelei auf dem Juliefeld (Julianov) bei Brünn sehr schön erkennen. Hier sind übereinander vier begrabene Böden aufgeschlossen. Der unterste besteht aus mächtigem braunrotem Lehm, der von dunkelgraubrauner Schwarzerde überlagert ist;

² Doch war der eiszeitliche Flugstaub unter dem Einfluß der sog. hydratischen Verwitterung, wie GANSSSEN 1922 gezeigt hat, gewissen andern chemisch-physikalischen Veränderungen unterworfen, die ihn zu Löß umgestalteten. Wir werden später darauf zurückkommen.

diese Schwarzerde entstand während eines durch ein niederschlagsreiches Klima verursachten Stillstandes der Lössedimentation. Der dunkle Horizont geht nach oben ganz allmählich in graubraunen, graugelben und schließlich tiefgelben älteren Löß über. Eine anfangs schwächere, später stärkere Anwehung von Lößstaub hat die unter dem Einfluß der Pflanzendecke erfolgte Entstehung der Humussubstanzen immer kräftiger unterdrückt, bis schließlich normaler Löß abgelagert wurde³.

In gleicher Weise wirkt natürlich auch jede andere Art von Sedimentation, etwa die in Mulden oder am tiefliegenden flachen Gehänge auftretende Anhäufung von Lößmaterial, das durch die Schwerkraft in Verbindung mit den Niederschlägen von oben herangeführt worden ist.

Auf Vorgänge dieser Art ist die häufig beobachtete Erscheinung zurückzuführen, daß dunkle humose oder rotbraun gefärbte Bodenhorizonte, die im oberen ebenen oder schwach geneigten Teil der Lehmgruben scharf voneinander und vom hangenden Löß abgegrenzt und wenig mächtig sind, in den tiefer liegenden Teilen erheblich anschwellen oder ineinander übergehen und weniger dunkel oder weniger kräftig rotbraun gefärbt sind. Hier sind unter dem Einfluß der Niederschläge Teile der oberen Schichten abgetragen und am tieferen Hang angelagert worden. Sie haben sich dabei miteinander und mit unverändertem Löß vermischt, so daß alle oben sichtbaren Grenzen undeutlicher und verwaschen wurden.

Ein gutes Beispiel liefern die ausgedehnten Aufschlüsse der Lehmgruben von Prag-Selz (Sedlec). Im obersten, jetzt aufgelassenen Teil der Grube ist im jüngeren Löß ein rötlichbrauner Lehm von 0,5 m Mächtigkeit aufgeschlossen, der von zahlreichen mit Schwarzerde ausgefüllten Eiskeilspalten durchsetzt ist. Die ursprünglich darüber gebildete Schwarzerde ist abgetragen. Östlich davon, abwärts gegen die Moldau hin, schwillt dieser Horizont zu etwa 4 m Mächtigkeit an; er ist in seinen tieferen Teilen schmutzig rötlichbraun, in den höheren trüb graubraun gefärbt und in der Mitte von einem dünnen lößfarbenen Streifen durchzogen. Der untere Teil dieser mächtigen Ablagerung entspricht zwar noch dem rötlichbraunen Lehm, ist aber durch kräftige Beimengung humoser Substanzen verschmutzt. Der obere besteht aus umgelagerter und mit Lößmaterial vermischter Schwarzerde, die erheblich heller ist als die Füllmasse der Eiskeilspalten. Die dünne helle Zone läßt eine zeitweilige Einschwemmung wenig veränderten Lößes erkennen. Während dieser Horizont scharf begrenzt ist, gehen die rotbraune und grauschwarze Schicht unmerklich ineinander über. Ganz unten, nahe der Moldau, tritt nur noch eine einheitliche braune lehmig-humose Schicht von etwa 5 m Mächtigkeit auf.

Die Wirkung der *A b t r a g u n g* auf die Bodenbildung läßt sich in den lößbedeckten Hügel- und Berglandschaften Mitteleuropas allenthalben erkennen. Hier hat infolge der Beseitigung der schützenden Rasendecke durch

³ Beobachtungen des Verfassers am 1. 10. 1943.

den Ackerbau eine Entblößung des Bodens stattgefunden, die im Laufe der Jahrhunderte eine sehr beträchtliche Abtragung verursachte. An den lößbedeckten Abhängen des Kaiserstuhls wie in den Lößgebieten der Wachau, des Weinviertels und der Marchhügel bei Wien, in Mähren und in der Slowakei ist die oberste Bodenschicht nur um wenig dunkler als der unveränderte Löß. Der Boden ist arm an Humusstoffen und auch die übrigen Veränderungen des Lösses sind geringfügig geblieben.

Das Ausmaß, in dem der Löß und seine Verwitterungsprodukte der Abtragung und Sedimentation, sei es unter dem Einfluß des Windes, der Niederschläge oder des Eises unterworfen waren, ist von einer Reihe von Faktoren abhängig. Hier sollen als wichtigste das Klima, die durch Verwitterungsvorgänge mehr oder weniger stark veränderte Struktur des Lösses, die Neigung des Bodens und die Art der Pflanzendecke besprochen werden.

Das Klima: Das eiszeitliche Klima war durch Kälte und relative Niederschlagsarmut ausgezeichnet. Es war die Zeit der Auswehung des Lössstaubes aus den Schotterfluren der Flüsse und der Ablagerung auf den benachbarten Terrassen und Anhöhen. Doch fehlten Niederschläge nicht ganz und es konnten sich daher in weiten, nicht vom Eis bedeckten Gebieten Mitteleuropas Dauerfrostböden bilden. Durch das im Sommer erfolgende Auftauen der obersten Bodenschicht wurden beträchtliche Bodenteile leicht beweglich und zum Abgleiten auf der gefrorenen Unterlage befähigt. Gelegentliche Regenfälle können dabei fördernd mitgewirkt haben. Die während der letzten Eiszeit erfolgten Klimaschwankungen brachten zeitweise vermehrte Niederschläge und damit ebenfalls die Möglichkeit verstärkter Bodenbewegung. Doch wurde dieser Einfluß durch die gleichzeitig einsetzende Verdichtung der Pflanzendecke auch wieder eingeschränkt.

Die Struktur des Lösses und seiner Verwitterungsprodukte: Der frisch abgesetzte Löß, der durch die Diagenese und Verwitterungsvorgänge noch nicht verfestigt ist, hat eine leichtere Bewegbarkeit als alle aus ihm hervorgegangenen Böden. Am wenigsten ist der völlig entkalkte Lösslehm Umlagerungsvorgängen ausgesetzt. Er ist in feuchtem Zustand wegen seines hohen Gehaltes an kolloidalem Ton gegen Abspülung und Zerfall sehr widerstandsfähig. Hohlwege, in denen zur Abspülung durch den Regen noch die mechanische Wirkung der Schuhsohlen und Wagenräder tritt, tiefen sich häufig nur bis zu einer im Löß liegenden Verlehmungszone ein. Weniger stark verlehmt Lößhorizonte, etwa die Schwarzerdebildung mit ihrer ausgesprochenen feinkrümeligen Struktur, setzen der Abtragung erheblich geringeren Widerstand entgegen. Diese Unterschiede gelten, vielleicht sogar in verstärktem Maß, auch für die durch den Wind erfolgende Aufarbeitung.

Die Neigung des Bodens: Es ist selbstverständlich, daß an stark geneigtem Gehänge die unter Mitwirkung der Niederschläge erfolgende Abtragung besonders stark ist. Doch lehrt die Beobachtung, daß auch bei

sehr schwachem Gefälle gelockertes Material allmählich nach unten wandert. Vom Wind vertragener Lößstaub kann sich im Windschatten auch an steilem Gehänge absetzen; doch wird man hier schon während der Bildungszeit des Lößes, die nicht völlig niederschlagsfrei war, mit Abtragungsvorgängen rechnen müssen. Im Gegensatz zu den Abhängen sind die Mulden und Täler der Ort bevorzugter Sedimentation; in ihnen häuft sich das oben abgetragene Lockermaterial an. Auf ausgedehnten ebenen Flächen findet nur äolische Ablagerung, aber keine unter der Mitwirkung des Wassers erfolgende An- oder Abschwemmung statt.

Die Pflanzendecke: Eine geschlossene Rasendecke, deren Boden durch zahllose kleine Wurzeln völlig verfilzt ist, setzt allen Abtragungsvorgängen ein starkes Hindernis entgegen. Diese wirken sich aber um so kräftiger aus, je lückenhafter die Pflanzendecke ist. Das gelegentliche Fehlen von Schneckenschalen und Wurzelröhrchen in äolisch abgelagertem Löß weist darauf hin, daß dieser an manchen Stellen keine Pflanzendecke getragen hat. Diese Plätze waren natürlich der Abtragung in besonders hohem Maße ausgesetzt. Der Sedimentation, gleichviel welcher Art, setzt die Pflanzenbedeckung kein nennenswertes Hindernis entgegen. Die an ihr erfolgende Taubildung fördert sogar die Sedimentation des äolischen Lößes.

Aus diesen Darlegungen wird ersichtlich, daß während der ganzen Würmeiszeit, gleichviel ob in ihren einzelnen Abschnitten das Klima kalt oder gemäßigt war, Abtragungs- und Sedimentationsvorgänge, jene im wesentlichen an den Hängen, diese in den Mulden und Tälern, nahezu immer erfolgen konnten und sich daher das Gestein nur auf verhältnismäßig großen ebenen Flächen völlig ungestört zum Boden hin entwickeln konnte.

Damit b e g r a b e Böden entstanden, mußte die Oberfläche mit neuem Gesteinsmaterial so schnell zugedeckt werden, daß die bis dahin erfolgte Bodenbildung unterbrochen oder wenigstens stark abgeschwächt wurde. Am günstigsten wirkte sich dabei die Überwehung mit Löß während der eiszeitlichen Klimaperioden aus. Auch die Übersichtung mit Material, das von höheren Teilen der Hänge auf die tiefer liegenden herabgeschwemmt wurde, konnte einen vorhandenen Boden begraben. In solchen Fällen wurde natürlich zunächst von oben gleiches Material herangetragen, wie es sich unten bereits als Boden gebildet hatte; erst in einem späteren Abschnitt dieses Abtragungsvorganges wurden auch andersartige Schichten angeschnitten und unten angehäuft. Während dieser ganzen Zeit hörte aber auch die Entwicklung der abgelagerten Massen zum Boden hin nie auf. In solchen Fällen wird es schwierig oder unmöglich sein, den an Ort und Stelle entstandenen Boden vom umgelagerten Boden mit Sicherheit zu unterscheiden. Eine solche Unterscheidung würde aber oft auch gar nicht dem tatsächlichen geologischen Vorgang gerecht werden. Denn es sind in den Senken Bodenbildung und Ablagerung von Bestandteilen fertig ausgebildeten Bodens nebeneinander her-

gegangen. Aus diesem Grunde wird vielfach beobachtet, daß Böden irgendwelcher Art, rezente und fossile, in den Senken mächtiger entwickelt sind als an den Hängen.

Ob durch Überlagerung mit andersartigem Material ein begrabener Boden wesentlich verändert wird, ist einstweilen nicht sicher zu beurteilen. Eine Verfestigung durch den Druck der mächtigen Deckschichten ist immerhin wahrscheinlich. Für den Abbau der durch Oxydation leicht zerstörbaren Humusstoffe spricht die Tatsache, daß die dem Löß vielfach eingelagerten Verlehmungszonen von rötlicher oder rotbrauner Farbe in ihren obersten Teilen keine Humusanreicherung erkennen lassen, obwohl sie ursprünglich, wie jeder Boden, eine Humusdecke getragen haben müssen.

Unsere Erörterungen dürften gezeigt haben, daß eine ganze Anzahl von Faktoren gleichsinnig wirken müssen, damit ein begrabener Boden entsteht. Dieses Zusammengehen wird nur in verhältnismäßig seltenen Fällen verwirklicht gewesen sein. Großräumig und über geologische Zeiträume hinweg wird offenbar der Kampf der Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre um den Besitz der Lithosphäre nicht zu Gunsten der Biosphäre entschieden.

Die Mannigfaltigkeit der meisten größeren Lößprofile ist der Ausdruck dieser Kämpfe, des Zusammen- und Widerspiels der vielerlei, nicht nur die Bodenbildung, sondern auch den Aufbau der ganzen Ablagerungen fördernden und hemmenden Kräfte. Nur die eingehende Untersuchung gegliederter Lößprofile, die Ermittlung der örtlichen Besonderheiten, die durch die Neigung des Gehänges, den Verwitterungszustand des Materials und die Art des Pflanzenwuchses hervorgebracht worden sind, wird es möglich machen, die großräumig wirkenden Einflüsse des Klimas freizulegen und damit zu Erkenntnissen allgemeiner Geltung vorzudringen.

II. Die begrabenen Böden im jüngeren Löß des Untersuchungsgebietes, ihre zeitliche Einordnung und Verknüpfung

Dem jüngeren Löß unseres Gebietes sind, in zahlreichen Aufschlüssen sichtbar, lehmige, braun bis rötlichbraun gefärbte und stark humose dunkelbraune bis braunschwarze Horizonte eingeschaltet.

Aus dem Gebiet Niederösterreich sind Profile dieser Art in Arbeiten von BAYER, GÖTZINGER, KÜMEL und WIESENER erwähnt oder kurz beschrieben und gedeutet worden. Aus Böhmen und Mähren kennen wir solche aus Arbeiten von FLOROV, ZAPLETAL und neuerdings von PELISEK.

Diese Laimen- und Humuszonen, wie wir sie hier kurz nennen, verdanken ihre Entstehung, soweit sie nicht durch Umlagerungsvorgänge an die Stelle gebracht worden sind, einem Stillstand in der Sedimentation des äoli-

schen Lösses, der lange genug dauerte, um unter dem Einfluß des Klimas und einer von ihm bedingten Pflanzendecke die Bildung eines ausgereiften Bodens zu ermöglichen.

Im Löß ist ein solcher Sedimentationsstillstand, wie wir wissen, klimatisch bedingt, nämlich durch das Aufhören eines ausgesprochen trocken-kalten Eiszeitklimas, an dessen Stelle ein niederschlagreicheres und gemäßigteres trat, entweder von mehr atlantischem oder mehr kontinentalem Charakter. Laimen- und Humuszonen sind demnach Zeugnisse interglazialer oder interstadialer Klimaverhältnisse.

Diese haben zweifellos große Räume beherrscht. Doch ist ihre Einwirkung auch auf das gleiche Muttergestein wie der Löß von örtlichen Besonderheiten beeinflusst. Höhenlage, Neigung und Exposition, Durchfeuchtung und Art der Pflanzendecke bedingen unter dem gleichen Großklima eine gewisse Mannigfaltigkeit der entstehenden Böden. Gleichwohl sind die Böden eines niederschlagsreichen und warmen oder gemäßigten Klimas wesentlich anders als die eines trocken-kalten Eiszeitklimas.

Darum muß es möglich sein, solche Böden als stratigraphische Leithorizonte zu benutzen. Dazu eignen sich aber nur die Profile, in denen die von den verschiedenen Klimaschwankungen hervorgebrachten Bodenarten auch vollständig erhalten geblieben sind. Wir wissen, daß sie vielfach Abtragungsvorgängen ganz oder teilweise zum Opfer gefallen sind. Ob dies zutrifft, und für welche der ursprünglich vorhanden gewesenen Böden, ist aber vielfach nicht oder nicht sicher zu entscheiden.

Eine andere Möglichkeit stratigraphischer Auswertung bietet die Verknüpfung der Löße mit Flußschotterterrassen oder — was aber für unser Gebiet außer Betracht bleiben muß — mit Moränen.

Im Rahmen dieser Untersuchung handelt es sich allein um den würemeiszeitlichen, den jüngeren Löß. Sein unterster Teil überlagert die unverwitterten Schotter und Sande der obersten Stufe der Niederterrasse.

In unserem Gebiet erfüllt das Sand- und Sandlößprofil von Unterwisternitz (Mähren) am Fuß der Pollauer Berge alle für eine stratigraphische Auswertung erforderlichen Bedingungen: es enthält zwei begrabene Böden und steht mit einer Schotterterrasse in Verbindung.

Über Schottern der Thaya-Niederterrasse lagert hier Flugsand, der nach oben allmählich in Sandlöß übergeht. Dieser wird von einer Schicht rotbraunen Lößlehms abgeschnitten, dem drei durch dünne hellere Lagen getrennte dunkelbraune Humushorizonte folgen. Diese laufen seitlich in einen einzigen Humushorizont zusammen, bilden also ein zusammengehöriges Ganzes. Dann folgt Löß, dann eine dünne bräunliche Lößlehm Lage, dann wieder Löß und schließlich die rezente Humusdecke. Hier wird also der jüngere, während der ganzen Würmeiszeit abgelagerte Löß durch zwei Ver-

witterungshorizonte in drei Abteilungen zerlegt, die wir den drei astronomisch und geologisch ermittelten Eiszeitphasen Würm I, Würm II und Würm III zuordnen.

Für die zeitliche Eingliederung der Löße und Verlehmungszonen in Aufschlüssen, in denen keine Verknüpfung mit sicher datierbaren Schottern vorliegt, gibt es zwei Möglichkeiten:

Die erste fußt darauf, daß der jüngste der im Untersuchungsgebiet abgelagerten Löße der Würm-III-Löß ist. (Dabei wird natürlich von postglazial umgelagertem Löß, der an gewissen Merkmalen sicher erkannt werden kann, abgesehen.) Doch muß hier mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß dieser Würm-III-Löß und auch ältere Löße mit ihren Verwitterungsdecken abgetragen worden sind. Solche Abtragungsvorgänge können sorgfältiger Beobachtung nicht entgehen. Haben sie größeres Ausmaß erreicht, so sind sie bereits an einer erheblichen Verringerung vor allem der Mächtigkeiten der Löße erkennbar, die bei unveränderten Profilen infolge ihrer äolischen Entstehung innerhalb eines nicht zu großen Gebietes eine gewisse Gleichheit zeigen. Eine gesicherte stratigraphische und damit auch zeitliche Eingliederung der Würmlöße und ihrer Verwitterungsdecken wird also im allgemeinen nur an hinreichend mächtigen Lößprofilen möglich sein. Häufig trifft diese Voraussetzung nicht zu, und die Vielfalt in der Mächtigkeit und Ausbildung der Löße und ihrer Verwitterungshorizonte hat ältere Forscher zu der Meinung veranlaßt, diese Horizonte seien stratigraphisch nicht auswertbar (z. B. DEECKE 1918 bis 1920³, BRÜCKNER 1909, WIESENER 1933).

Die zweite Möglichkeit beruht auf der Überlegung, daß nicht nur die Mächtigkeit des äolisch abgelagerten Lösses die Dauer des Ablagerungsvorgangs zum Ausdruck bringt, sondern auch, daß die Mächtigkeit der Verwitterungsschichten die Dauer und Intensität des Verwitterungsvorgangs, der sie hervorgebracht, widerspiegelt. Lokale Einflüsse können dadurch ausgeschaltet werden, daß man nicht die absoluten Mächtigkeiten zugrunde legt, sondern die *Mächtigkeitsverhältnisse* innerhalb eines Aufschlusses; denn es darf angenommen werden, daß im allgemeinen an ein und derselben Stelle die lokalen Umstände, die eine Vergrößerung oder Verminderung der Mächtigkeiten herbeiführen konnten, sehr viel weniger verschieden waren, als in zwei verschiedenen Aufschlüssen, auch wenn diese nahe beieinander liegen.

Das Verfahren der stratigraphischen Verknüpfung ist demnach folgendes:

Wir ermitteln für das zeitlich gesicherte Profil der Lehmgrube von Unterwisternitz die Mächtigkeitsverhältnisse der Verlehmungshorizonte zueinander und zu dem Löß, der sie trennt. Wenn, wie wir meinen, diese Ergebnisse allgemeine Ursachen zum Ausdruck bringen, dann müssen sie mit wenig abweichenden Beträgen auch in anderen Lößprofilen auftreten. Dazu sind

³ „Niemals ist ein Lehmband ein Leithorizont“.

natürlich nur die verwendbar, in denen unter der rezenten Humusdecke und einem jüngsten Löß ebenfalls zwei durch einen zweiten Löß getrennte Verwitterungshorizonte aufgeschlossen sind. Es werden hierfür alle mir bekannten Lößprofile benützt, in denen keine Umlagerungsvorgänge großen Ausmaßes den Einblick unmöglich machen.

Für das schon oben kurz besprochene Profil von Unterwisternitz konnten unter Berücksichtigung der Tatsache, daß in ihrem mittleren Teil durch Umlagerung eine Dreiteilung des humosen Horizontes stattgefunden hat, folgende Durchschnittsmächtigkeiten ermittelt werden:

Oberer Löß	3,0 m
Obere Laimenzone (= Kulturschicht)	0,35 m
Mittlerer Löß	3,5 m
Humuszone	0,5 m
Rotbrauner Lehm	0,3 m
Unterer Sandlöß und Flugsand	3,0 m
Niederterrassenschotter und -sand der Thaya	

Gleichartige oder sehr ähnliche Verhältnisse lassen eine größere Anzahl von Lößaufschlüssen des Untersuchungsgebietes erkennen. Auch in ihnen treten im jüngeren Löß zweimal begrabene Böden auf. Der untere ist von J. BAYER nach seinem Vorkommen im Löß unterhalb des Stiftes Göttweig in der Wachau „Göttweiger Verlehmungszone“ genannt und als „Laimenzone von rötlicher, bräunlicher oder schwärzlich humoser Farbe“ beschrieben worden (BAYER 1927). Diese Benennung ist, allerdings mit Beschränkung auf eine Laimenzone von rötlicher Farbe, in jenem Gebiet allgemein benutzt worden. GÖTZINGER hat später, da die Göttweiger Verlehmungszone häufig unmittelbar von einer Humuszone überlagert ist, diese nach einem Vorkommen im Wiener Weinviertel als „Hollabrunner Humuszone“ bezeichnet. BAYER hat jeweils die oberste der in den Lößaufschlüssen der Wachau sichtbaren Verlehmungszonen der Göttweiger Verlehmungszone gleichgesetzt. Er weist darauf hin, daß seinem Löß III, der der Göttweiger Verlehmungszone folgt, rötliche Laimenzen zu fehlen scheinen; GÖTZINGER aber hat sie richtig eingereiht und nachgewiesen, daß im Löß über ihr noch eine zweite Verlehmungszone auftritt, die er nach ihrem Vorkommen in einer Lehmgrube der Wachau „Paudorfer Verlehmungszone“ genannt hat.

Für Mähren verdanken wir den wertvollen, in tschechischer Sprache geschrieben und mit einer deutschen Zusammenfassung versehenen Arbeiten des Brünner Bodenkundlers J. P. PELISFK den Nachweis entsprechender Verlehmungshorizonte in zahlreichen Gruben der näheren und weiteren Umgebung von Brünn.

Für die Umgebung von Prag konnte ich zwei weitere Beispiele beisteuern.

Die für unsere Untersuchung wichtigen brauchbaren Aufschlüsse sind in der folgenden Tabelle ausgewertet. Hier ist mit V_1 die obere Verlehmungszone, mit V_2 die untere bezeichnet, ohne daß dabei zwischen rötlich gefärbtem Laimen und stark humosen, dunkelbraun gefärbten Horizonten unterschieden wurde. L_m bedeutet den mittleren, zwischen den beiden Verlehmungszonen liegenden Löß. Der obere und untere Löß ist nicht mit aufgenommen worden, weil die Mächtigkeit des oberen Lösses häufig durch postglaziale Abtragung verringert, der untere oft nicht vollständig abgeschlossen ist.

	V_1	L_m	V_2	$V_1:V_2=1:$	$V_2:L_m=1:$
Niederösterreich					
Paudorf	0,55	4,5	1,25	2,3	3,6
Ulrichskirchen-Schleinbach	0,4	2,0	1,7	4,25	1,2
Neubau-Kreuzstetten	0,4	2,0	1,0	2,5	2,0
Groß-Mugl	0,4	—	0,65	1,6	—
Göllersdorf	1,3	1,75	0,9	0,7	2,0
Mähren					
Unterwisternitz	0,35	3,5	0,8	2,3	4,75
Brünn, Akad.-Str.	0,8	5,2	2,1	2,6	2,6
Brünn, Neuer Berg	0,4	7,8	1,2	3,0	6,5
Bisterz I	0,55	2,0	1,1	1,8	1,8
Bisterz II	0,75	4,0	1,35	1,35	3,0
Mödlan	0,8	4,2	1,8	2,25	2,33
Mödriz, Ziegelei Lederer	0,8	5,2	1,2	1,5	4,35
Mödriz, obere Ziegelei	0,6	4,4	1,4	2,33	3,14
Ponowitz	0,8	5,2	1,3	1,62	4,0
Wischau	0,5	6,5	1,4	2,8	4,6
Böhmen					
Prag-Selz	0,3	0,8	1,2	4,0	0,66
Prag-Podbaba	0,6	1,5	0,5	0,8	3,0

Siehe Falt afel hinter Seite 164

Es lassen sich folgende Gesetzmäßigkeiten erkennen: Die obere Verwitterungsschicht ist mit den Ausnahmen (Göllersdorf und Prag-Podbaba) schwächer als die untere; sie steigt nie über 0,8 m (Ausnahme Göllersdorf) und sinkt nie unter 0,3 m. Im Mittel mißt sie 0,61 m. Die untere Verwitterungsschicht ist erheblich stärker als die obere (zwei Ausnahmen): sie schwankt zwischen 0,5 und 2,1 m um den Mittelwert 1,23 m, ist also im Durchschnitt doppelt so mächtig wie jene. In den einzelnen Aufschlüssen bewegt sich das Mächtigkeitsverhältnis $V_1:V_2$ zwischen 1:1,35 und 1:4,25

(zwei Ausnahmen). Die Mächtigkeit des mittleren Lößes zeigt beträchtlichere Unterschiede, ist aber immer größer als die der unteren Verwitterungsschicht (Ausnahme Prag-Selz). Sie bewegt sich zwischen 0,8 und 7,8 m und beträgt im Mittel 3,8 m.

Unsere Zusammenstellung lehrt ferner, daß im mährischen Lößgebiet wesentlich gleichartigere Mächtigkeitsverhältnisse herrschen als in Niederösterreich.

Die zur Untersuchung benutzten Aufschlüsse zeigen in der Mächtigkeit der beiden Verwitterungsschichten und des sie trennenden Lößes mit dem Aufschluß von Unterwisternitz eine Übereinstimmung, die weiter geht, als im Hinblick auf den Einfluß örtlicher Umstände erwartet werden durfte. Wir sind also berechtigt, diese Schichten als gleichartig mit den Unterwisternitzer Schichten anzusehen, und müssen dann die obere Verwitterungsschicht dem Würm-II/Würm-III-Interstadial, die untere dem Würm-I/Würm-II-Interstadial zuweisen.

BAYER hat seine Göttweiger Verlehmungszone der sogenannten Aurignac-Schwankung, einer Phase ozeanischen Klimas zwischen der Bildung seines Lößes II und III zugeordnet. Da BAYERS Gliederung des Diluviums als Ganzes verfehlt ist, braucht darauf nicht näher eingegangen zu werden.

Nach GÖTZINGER findet sich Löß im Gebiet um Göttweig und Krems nicht auf der Niederterrasse des Traisentals, aber primär auf dem Erosionsabfall von der Hochterrasse zur Niederterrasse; er muß hier also jünger sein als die Riß/Würm-Interglazialzeit. Der auf dem Abfall der höheren Deckenschotterterrasse liegende Löß, der verschwemmte Gerölle des Deckenschotterterrasse führt, wird für rißeiszeitlich gehalten. Da er die Göttweiger Verlehmungszone unterlagert, müßte diese dem Riß-Würm-Interglazial zugeschrieben werden.

Schlüssig sind diese Beweise für das Alter der Göttweiger Verlehmungszone und des liegenden Lößes nicht. Dieser muß durchaus nicht rißeiszeitlich sein. Seine Lagerung auf den Deckenschottern beweist nur, daß er jünger ist als diese. Während des Riß/Würm-Interglazials haben, wie sich vielerorts zeigen läßt, Abtragungsvorgänge sehr kräftig gewirkt, denen ein ursprünglich vorhanden gewesener Riß-Löß zum Opfer gefallen sein kann. So kann also sehr wohl der über den Deckenschottern liegende Löß der Würm-I-Eiszeit angehören.

PELISEK gibt in seinen Arbeiten keine geologisch-stratigraphische Deutung der Bodenhorizonte.

Ergänzend sei noch angeführt, daß ältere Humus- und Laimenzonen in Niederösterreich nur an wenigen Stellen gefunden worden sind. KÜMEL hat vom Laaer Berg in Wien ein derartiges Profil beschrieben, das aus verschiedenen Teilen kombiniert, folgende Schichten zeigt:

rezenter Humus
Löß

Humus (teilweise fehlend)

braunroter Laimen

Löß

bräunlicher Löß (humos)

Humus

gelber Lehm

Löß

dunkelroter Lehm bis zu 3 m Dicke, hangwärts vertreten durch stark verwitterten rotbraunen Laaerbergsschotter.

Löß, hangwärts vertreten durch unverwitterten Laaerbergsschotter.

Nach KÜMEL ist die obere Laimenzone (= Paudorfer Verlehmungszone) mit ihrem Humushorizont dem Würm-I/Würm-II-Interstadial, die untere Verlehmung (= Göttweiger Verlehmungszone) dem Riß/Würm-Interglazial und der dunkelrote Lehm dem Mindel/Riß-Interglazial zuzuordnen. Die stratigraphische Lagerung und Mächtigkeit des unteren dunkelroten Lehms sollen seine Einweisung in die lang dauernde Mindel/Riß-Interglazialzeit rechtfertigen. Wir können sie uns aber ebenso gut während der Riß/Würm-Interglazialzeit entstanden denken, deren klimatische Wirkung die der späteren Interstadiale ebenfalls stark übertroffen hat.

III. Bodenkundliche Untersuchungen und klimatische Deutung der Löß- und Verwitterungshorizonte

A. Vorbemerkung

Seit man weiß, daß der Löß während eines eiszeitlichen, trocken-kalten Klimas entstanden ist, werden die dem jüngeren Löß eingeschalteten Laimen- und Humuszonen fast allgemein als Zeugen einer Unterbrechung des Lößklimas durch ein anderes, niederschlagsreicheres und wärmeres angesehen. Allmählich reifte auch die Erkenntnis heran, daß diese durch Struktur, Farbe und Chemismus vom Löß unterschiedenen Zonen nichts anderes als fossile und von neuem Löß begrabene Böden seien. Damit war auch der Weg zu einer bodenkundlichen Auswertung dieser Verwitterungsschichten gewiesen; nachdem die Bodenkunde zu der Erkenntnis durchgedrungen war, daß der Boden die während seiner Entstehungszeit wirkenden besonderen klimatischen Verhältnisse zum Ausdruck bringt, war es möglich geworden, aus jenen Verwitterungsschichten das Klima ihrer Entstehungszeit abzulesen. Versuche dieser Art sind vor allem im östlichen Mitteleuropa und in Osteuropa gemacht worden, wo sich die fossilen Böden besonders kräftig vom Löß abheben und die Bodenkunde, ausgehend von einem der auffallendsten und wirtschaftlich wichtigsten Böden, der Schwarzerde der südrussischen Steppen, am weitesten vorgedrungen war. Darum verdanken wir auch einem russischen Forscher, FLOROV, die erste bodenkundliche Untersuchung und klimatische Deutung südrussischer, im Löß begrabener Böden. Die von dieser

Arbeit ausgehende Anregung aufnehmend, haben GÖTZINGER und andere Wiener Forscher die fossilen Böden von Niederösterreich mehr oder weniger eingehend nach bodenkundlichen Gesichtspunkten untersucht und gedeutet. In Mähren und Böhmen sind gleiche Wege beschritten worden; dort hat in neuester Zeit PELISEK unsere Kenntnis über die begrabenen Böden Mährens durch zahlreiche Arbeiten rein bodenkundlicher Art wesentlich gefördert.

Hier soll der Versuch gemacht werden — die früheren Forschungsergebnisse durch eigene Beobachtungen und Untersuchungen ergänzend und teilweise berichtend —, unser Wissen um den Klimaablauf während der letzten Eiszeit in dem von uns behandelten Raum zusammenzufassen und weiter auszubauen. Dabei wird ohne weiteres erkennbar werden, daß nur die enge Zusammenarbeit von Geologie und Bodenkunde zum Ziel führen kann.

Wir müssen der eingehenden Untersuchung und Deutung der verschiedenen begrabenen Bodenhorizonte einige allgemeine Erörterungen vorausschicken:

B. Allgemeine Erörterungen

1. Der Löß als Boden. Wenn die Laimen- und Humuszonen als begrabene Böden bezeichnet werden, so sind sie damit in einen gewissen Gegensatz zum Löß gestellt, aus dem sie hervorgegangen sind. Dieser ist jedoch, wie GANSSSEN (1922) in einer viel zu wenig beachteten Abhandlung nachgewiesen hat, nicht etwa ein Gestein, sondern ebenfalls ein Boden. Er ist das Ergebnis der während des ariden Klimas seiner Ablagerungszeit herrschenden hydratischen Verwitterung, die zeolithische Silikate und krümelige Gebilde der Korngrößen zwischen 0,01 und 0,05 mm geliefert hat. Doch befindet sich dieser Boden wegen der Fortdauer des Sedimentationsvorgangs im Gegensatz zu den Laimen- und Humuszonen im Anfangszustand seiner Entwicklung. Nur diese Tatsache gibt ein gewisses Recht, die Bezeichnung „begrabener Boden“ auf die Laimen- und Humushorizonte zu beschränken. Da sie sich eingebürgert hat, auch im außerdeutschen Schrifttum, behalten wir sie bei.

2. Die Verwitterungszonen als Zeugnisse von Klimaänderungen. Nachdem oben auf den Zusammenhang zwischen Sedimentation und Bodenbildung hingewiesen worden ist, muß die Frage beantwortet werden, ob die im Löß auftretenden lehmigen oder humusreichen Horizonte wirklich als Folgeerscheinung von Klimaänderungen aufzufassen sind, oder ob sie nicht einfach als Ausdruck eines zeitweiligen Stillstandes in der Sedimentation des Lößes gedeutet werden können. Daß das Lößklima das Aufkommen und den Bestand einer Vegetationsdecke zuließ, wird durch das vielfach beachtete Auf-

treten von Wurzelröhrchen, kleinen Konkretionen und Schneckenschalen im äolisch abgelagerten Löß bewiesen. Es wäre immerhin denkbar, daß eine solche Decke an einer Stelle, an der die Sedimentation während längerer Zeit aus irgend welcher Ursache unterblieb, zu einer Humusbildung geführt hätte. Nach GANSEN herrschen in den ariden und semiariden Klimazonen, also auch während der Bildungszeit des Lößes, hydratische Verwitterung, die aus dem stark SiO_2 -haltigen Flugstaub der Eiszeit außer Löß nur Schwarzerde erzeugen kann. Die damals herrschende tiefe Temperatur und geringe Niederschlagsmenge mußte der Anreicherung der Humussubstanzen günstig sein, weil diese weder zersetzt noch ausgewaschen werden konnten. Dem entspricht die Feststellung, daß in der Arktis unter einer Pflanzendecke ein humusreicher Boden und in Sibirien auf Dauerfrostboden Schwarzerde entsteht (MEINARDUS 1930).

Zunächst sprechen allerdings mehrere Betrachtungen und Erwägungen durchaus gegen die Annahme, es sei während der Bildungszeit des Lößes, also unter einem eiszeitlichen Klima, ein länger dauernder Stillstand der Sedimentation eingetreten.

Kennzeichnend für den Löß ist vor allem sein Korngrößenaufbau, ein starkes Überwiegen der Körner von weniger als 0,05 mm Größe. Diese verteilen sich zu rund 50 % auf die Größe 0,05—0,01 mm und zu rund 25 % auf Größen von weniger als 0,01 mm. Hierbei ist aber zu beachten, daß in den durch den Wind herbeigeführten Staubwolken der Anteil an feinstem Staub ($< 0,01$ mm) erheblich größer war, als er in dem aus ihm hervorgegangenen Löß ist. GANSEN hat dargelegt, daß durch die unter dem ariden Klima der Lößbildungszeit erfolgte hydratische Verwitterung ein ursprünglich höherer Anteil von allerfeinsten tonigen Korngrößen zu zeolithischen Silikaten oder krümeligen Gebilden der gröberen Korngrößen von 0,01 bis 0,05 mm umgewandelt worden ist.

Daraus geht hervor, daß der Löß im wesentlichen als Absatz von Wolken allerfeinsten Staubes gedeutet werden muß, die in beträchtlichen Höhen und aus großen Entfernungen herbeigeführt worden sind⁵.

Die Lößbildung hat also eine großräumig wirksame klimatische Ursache. Als solche kann sie unmöglich für längere Zeiträume (Jahrzehnte bis Jahrhunderte) völlig aufgehoben gewesen sein, d. h. es kann ohne Änderung des Klimas kein Stillstand in der Sedimentation des Lößes eingetreten sein. Lokale Ursachen haben, wie zahlreiche Beobachtungen lehren, höchstens Mächtigkeitsunterschiede herbeigeführt, wobei es nicht einmal sicher ist, daß diese bereits während der Sedimentation des Lößes aufgetreten sind.

⁵ Die gelegentlich schwächere oder stärkere Beteiligung größerer Körner lehrt, daß auch örtliche Winde oder Stürme an seinem Aufbau mitgewirkt haben. Doch ist ihr Anteil an der Lößbildung immer verhältnismäßig gering.

Eine solche Unterbrechung hätte auch dann, wenn eine Pflanzendecke fehlte, eine Veränderung des äolisch abgelagerten Sedimentes bewirkt, die über die von GANSSSEN dargelegten Wirkungen — Umbildung des Flugstaubs zu Löß — irgendwie hinausgeführt hätte. GANSSSEN sagt ausdrücklich: „Die Hydratisation und die Ablagerung des Materials müssen gleichen Schritt miteinander halten, damit die lockere Lagerung und die poröse Struktur gewahrt bleibt.“ Eine zeitweise Unterbrechung der Sedimentation hätte des weiteren eine Schichtung des Lößes zur Folge gehabt. Sie fehlt aber in der Regel, und wo sie auftritt, muß sie auf Einwehung gröberer Sandes oder nachträgliche Umlagerung am Gehänge zurückgeführt werden. Schichtungslosigkeit gilt ja als eine der kennzeichnenden Eigenschaften des äolisch abgelagerten Lößes.

Wenn aber, was weit wahrscheinlicher ist, ein Sedimentationsstillstand zur Ausbildung einer Pflanzendecke geführt hatte, dann mußte eine mehr oder weniger starke Humusanreicherung in der obersten Lößschicht erfolgen. Wäre der Sedimentationsstillstand die Folge lokaler Ursachen, so müßten diese humosen Horizonte nach Anzahl, Mächtigkeit und gegenseitigem Abstand in den einzelnen Aufschlüssen sehr viel stärkeren Schwankungen unterworfen sein, als dies tatsächlich der Fall ist. Der Löß der letzten Eiszeit enthält in Wirklichkeit, wie wir gesehen haben, nur zwei humose Horizonte, deren Mächtigkeit und Abstand gewisse Gesetzmäßigkeiten deutlich erkennen lassen. Diese Überlegungen führen also übereinstimmend zu dem Schluß, daß die Entstehung der Laimen- und Humuszonen klimatische Ursachen haben muß.

C. Einzeluntersuchungen

1. a) Die Horizonte des Würm-I/Würm-II-Interstadials

Wo im jüngeren Löß des Untersuchungsgebietes ein unterer begrabener Boden aufgeschlossen ist, handelt es sich fast ausnahmslos um die mächtig entwickelte Göttweiger Verlehmungszone. Sie wird in einer großen Zahl von Aufschlüssen, aber nicht überall, von der dunkelbraun bis schwarz gefärbten Hollabrunner Humuszone unmittelbar überlagert. Nur in einem Aufschluß, Oberhollabrunn im Wiener Weinviertel, ist die Humuszone allein, ohne die Göttweiger Verlehmungszone ausgebildet. In einer kleineren Anzahl von Aufschlüssen folgt der Humuszone abermals eine braune bis rötlichbraune Laimenschicht.

a. Die Göttweiger Verlehmungszone

Die Göttweiger Verlehmungszone ist in den Hohlwegen der Umgebung des Stiftes Göttweig bei den Orten Furth und Steinaweg als lebhaft rotbraune Schicht von 0,5 bis 1,0 m Mächtigkeit ausgebildet. Sie wird aus den Aufschlüssen bei Krems und im Wiener Weinviertel von GÖTZINGER (1936)

lediglich als rotbraune Laimenzone gekennzeichnet. Am Laaerberg in Wien (Grube der Ziegelei Simmering) ist sie nach KÜMEL ein gelber Lehm. Eingehendere Untersuchungen verdanken wir WIESENER (1933). Das aus dem nördlich von Steinaweg bei Göttweig eingeschnittenen Hohlweg stammende Material hat ein Porenvolumen von 31 %, während das des Lösses 45 % ausmacht. Vom Calciumkarbonat abgesehen ist die mineralische Zusammensetzung die gleiche wie im Löß. Gegenüber diesem ist eine leichte Anreicherung von Fe_2O_3 (von 4,5 % auf 6,6 %) festzustellen, während der Gehalt an FeO , CaO und MgO etwas niedriger ist. Weil bei diesem Vorkommen eine unter dem Lehm liegende Zone der Kalkanreicherung fehlt, wird der Kalkmangel der Laimenzone von WIESENER als ursprünglich aufgefaßt und die Deutung dieser Verlehmungszone als eines fossilen Bodens oder Bodenhorizontes abgelehnt (siehe oben S. 127). Das Fehlen dieses Inkrustationshorizontes ist m. E. ein Ausnahmefall; denn an den meisten übrigen Fundstellen ist dieser sehr kräftig und auffallend ausgebildet. Die von WIESENER betonte scharfe Grenze zwischen Laimen und liegendem Löß, die sonst gleichfalls nicht beobachtet werden konnte, hat eine später zu besprechende Ursache. In Stillfried an der March ist die rotbraune Göttweiger Verlehmungszone scharf gegen den liegenden Löß abgesetzt, der in seinen obersten Teilen durch fein verteiltes Kalkkarbonat sehr hell, fast weiß gefärbt ist. In der Lehmgrube von Unterwisternitz ist diese Laimenzone unten gelbbraun, darüber tief rotbraun und oben trübbraun gefärbt. Im oberen Teil zerfällt das Material beim Austrocknen in kleine, unregelmäßig polyedrisch begrenzte wallnuß- bis haselnußgroße Stücke, die auf den Ablösungsflächen speckig glänzen und stellenweise von dunkeln Mangananflügen überzogen sind. Der Korngrößenaufbau ist der eines verlehnten Sandlösses. Im groben Schlämmrückstand finden sich kleine Brauneisenkonkretionen. Der Karbonatgehalt beträgt in den oberen Teilen an drei verschiedenen Stellen 0,9 %, 1,4 % und 2,4 %, während er in den tieferen Teilen fast völlig verschwunden ist (0,0 % bis 0,1 %). Hier enthält der die Verlehmungszone unterteufende Sandlöß unmittelbar unter seiner Oberkante eine Lage von autochthon entstandenen lößkindelartigen Konkretionen, die sich leicht zerbrechen und zu gelblich-weißem Mehl zerreiben lassen. Auch im oberen Teil des rotbraunen Lehms selbst stecken senkrecht hinabziehende, sehr mürbe, beim Anschlagen mehlig zerbrechende Konkretionen bis zu 30 cm Länge. Daneben finden sich auch die bekannten harten und innen von Rissen durchzogenen Lößkindel.

Das Kalkilluvium, das den Löß unter der Göttweiger Verlehmungszone durchsetzt, beweist, daß diese an Ort und Stelle durch Verwitterung entstanden und nicht etwa umgelagertes Material ist. Obwohl also für die Deutung der Profile von erheblicher Wichtigkeit, hat es nicht immer Beachtung gefunden. In gleicher oder ähnlicher Ausbildung wie bei Furth habe ich es bei Krems in der Nordwand der Schießstätte, im Hohlweg zwischen Ulrichskirchen und Schleinbach und in der Lehmgrube beim Bahnhof Neubau-

Kreuzstetten beobachtet. Aus der Umgebung von Brünn schildert PELISEK die Göttweiger Verlehmungszone als zimmet- und rostfarben (Brünn, Akademische Straße), rostfarben (Retschkowitz) und rötlich-rostfarben (Mödritz, obere Ziegelei). Im Aufschluß an der Akademischen Straße in Brünn ist der Löß unmittelbar unter der Laimzone mergelig ausgebildet. In der großen Lehmgrube von Selz bei Prag besteht das Karbonatilluvium wie in Stullfried aus fein verteiltem, kreidig weißem Kalk, der den Löß stellenweise verhärtet hat. Aber auch der rote Lehm selbst enthält hier kreidige, leicht zerbrechliche Konkrete runder oder langgezogener Form. Karbonatilluvium unter dem roten Lehm stellte ich auch in der alten Lehmgrube von Prag-Podbaba fest.

b. Die Hollabrunner Humuszone

Die Hollabrunner Humuszone hat im Durchschnitt eine Mächtigkeit von 0,8 m. Wenn auffallend starke Mächtigkeiten auftreten, wie etwa in Zellerndorf und Kleedorf (GÖTZINGER 1936), so ist dies auf Zusammenschwemmung der humosen Erde zurückzuführen. Gleiches gilt auch für die wenigen Fälle, in denen — wie in Unterwisternitz — mehrere solcher Humuszonen in geringem senkrechten Abstand übereinander auftreten. Diese Verdreifachung ist auf eine flache Mulde beschränkt; seitlich von ihr vereinigen sich die drei Zonen zu einer einzigen.

Die Farbe wechselt von dunkel graubraun bis zu dunkelbraun und grauschwarz. Beim Austrocknen in den Wänden der Aufschlüsse wird dieser Horizont im Gegensatz zur Göttweiger Verlehmungszone durch senkrechte Trockenrisse in grobe prismatische Klötze zerlegt. Sogenanntes Pseudomyzelium, ein feiner weißer, auf verästelten Linien auftretender Kalkanflug, wird auf Spalten häufig beobachtet. Auch senkrechte, schräge und waagrechte, mit andersartigem Material ausgefüllte Tiergänge von durchschnittlich 5 bis 10 cm Durchmesser, die sog. Krotowine (Wühlgänge von Tieren), durchsetzen die Hollabrunner Humuszone an vielen Orten. Sie reichen, mit dunkler Erde ausgefüllt, mitunter auch noch in den untersten Teil des hangenden Lößes und in den liegenden rotbraunen Lehm. Der Korngrößenaufbau der Hollabrunner Humuszone ist ähnlich wie der des Lößes über und unter ihr. WIESENER hat für Oberhollabrunn gegenüber dem Löß eine Korngrößenverfeinerung festgestellt, die auf einer Vermehrung des Anteils der Fraktion 0,002 bis 0,02 mm beruht. Gegenüber dem Löß hat WIESENER eine Verdichtung ermittelt: In der Humuszone des Oberhollabrunner Aufschlusses beträgt das Porenvolumen 37 %, im Löß 44 %. Trotz der dunklen Farbe ist der Humusgehalt gering. Er beträgt nach WIESENER in Oberhollabrunn 3,24 %. Ich habe für den untersten dunklen Horizont von Unterwisternitz 0,25 bis 2,1 % (im Mittel 0,95 %), für den mittleren 0,9 bis 1,9 % (im Mittel 0,9 %) und für den oberen 0,2 bis 2,4 % (im Mittel 0,9 %) Humus festgestellt. PELISEK hat im Lößaufschluß von Wischau für den unteren Humushorizont 0,53 bis 0,50 %, für den von Brünn 0,413 % Humus ermittelt. Der

Karbonatgehalt beträgt in Oberhollabrunn 5,5 % (WIESENER), in Unterwisternitz zwischen 0,7 und 3,7 % (im Mittel von 7 Analysen 1,76 %). Im Humushorizont von Wischau nimmt er von oben nach unten ab: 0,4 — 0,3 — 0,3 — 0,2 % (PELISEK, ohne Jahreszahl). Der darüber liegende Löss enthält 10,8 % Karbonate. In Brünn hat PESILEK (1938) 3,5 % Karbonate gefunden.

c. Die Ablagerungen über der Hollabrunner Humuszone

Die Ablagerungen, die die Hollabrunner Humuszone bedecken, sind in den verschiedenen Aufschlüssen nicht gleichartig.

In der Mehrzahl der Fälle ist es Löss. Doch wird nur selten etwas darüber gesagt, ob dieser äolisch abgelagert oder durch Umlagerung an Ort und Stelle gebracht worden ist. In der Lehmgrube von Unterwisternitz ist der unterste Löss unmittelbar über den Humuszonen durch Sandeinlagerungen und langgestreckte 3 bis 4 cm starke Linsen humosen schwarzen Bodenschichten, also umgelagert. In der Ziegelei von Groß-Mugl (GÖTZINGER 1935) folgt dem humosen Horizont eine 0,1 m starke Lößlehmschicht, dann in 0,3 m Stärke der obere humose Horizont; hier fehlt also der mittlere Löss überhaupt. In der Ziegeleigrube von Wielandstal beim Stift Göttweig liegt über 3 bis 5 m gelblichem, unterem ungeschichtetem Löss eine 2 bis 3 m mächtige Schicht bräunlichen Lehms, der eine dunkelbraune Humuszone von 0,3 m Stärke enthält. Dem oberen Teil des bräunlichen Lehms folgen 1—5 m ungeschichteter gelblicher Löss. In der Lehmgrube von Brünn-Mödlan beobachtete ich über dem humosen Horizont 1,3 m rotbraunen Lehm mit einem nicht sehr stark ausgebildeten Karbonatilluvialhorizont im untersten Teil, dessen Vorhandensein aber als Beweis dafür wichtig ist, daß die Verlehmung an Ort und Stelle entstanden ist. Auf lebhaftere Umlagerung deuten die Verhältnisse in der Lehmgrube von Prag-Selz, wo die Hollabrunner Humuszone sich nur noch als Füllung von Eiskeilspalten erhalten hat. Im übrigen ist sie und stellenweise auch noch der oberste Teil der Göttweiger Verlehmungszone abgetragen.

β) Bodenkundlich-klimatische Deutung

a. Die Göttweiger Verlehmungszone als Horizont der degradierten Schwarzerde oder als Braunerde

WIESENER hat den Kalkmangel der Göttweiger Verlehmungszone von Steinaweg beim Stift Göttweig als ursprünglich aufgefaßt und darum ihre Deutung als fossilen Boden oder Bodenhorizont abgelehnt. Dazu veranlaßte ihn wohl vor allem der Umstand, daß an dieser Stelle eine unter dem Lehm liegende Zone der Kalkanreicherung fehlt. Doch ist dies, wie wir gesehen haben, ein Ausnahmefall. Ganz in der Nähe, bei Furth, ist der Horizont

des Kalkilluviums sehr kräftig und über eine weite Strecke hin ausgebildet. Die von WIESENER betonte scharfe Grenze zwischen dem Laimen und dem liegenden Löß, die sonst gleichfalls nicht beobachtet werden konnte, spricht dafür, daß bei Steinaweg der Bildung der Laimenzone eine Zeit der Erosion vorausgegangen ist, in der der Löß größtenteils abgetragen wurde; denn der Laimen liegt nach WIESENER im allgemeinen auf Donauschottern und nur an wenigen Stellen sind „kleine Lößschmitzen“ eingeschaltet.

Wenn WIESENER sagt, „die Entstehung des Göttweiger Profils wäre demnach so vor sich gegangen, daß das Ausgangsmaterial, ein Feinsand, durch diagenetische Vorgänge zum Löß einerseits und zur ‚Göttweiger Verlehmungszone‘ andererseits umgestaltet wurde“, so muß diese Deutung als verfehlt gelten; sie hat auch von keiner Seite her Zustimmung gefunden.

Wir betrachten die Göttweiger Verlehmungszone als echten Bodenhorizont.

Das gleiche gilt für die Hollabrunner Humuszone, die auch von WIESENER als Bodenbildung anerkannt wird. Alle Forscher, die sich mit der Hollabrunner Humuszone beschäftigt haben, stimmen in dieser Deutung überein. Dabei wird entweder nur von einer Humuszone, humosen Zone usw. gesprochen, ohne auf die besonderen Bedingungen ihrer Entstehung einzugehen, oder sie wird als Schwarzerde (Tschernosem) in dem von der Bodenkunde geprägten Sinn bezeichnet (STEBUTT 1930). Als Grund für diese letztgenannte Anschauung wird die morphologische Ähnlichkeit mit der rezenten Schwarzerde angeführt. Die Übereinstimmung etwa mit der Schwarzerde der südrussischen Steppen bezieht sich auf die Farbe, die durch einen verhältnismäßig geringen Humusgehalt verursacht wird, auf den zwar nicht hohen, aber immer vorhandenen Kalkgehalt, der die alkalische Reaktion des Bodens bedingt und seine Auswaschung verhindert, auf das Vorhandensein von Pseudomyzel und Tiergängen, schließlich auf die beim Austrocknen erfolgende Zerteilung in grobe Klötze. Ein Unterschied besteht in der Struktur: die der jetzigen Schwarzerde ist ausgesprochen kleinkrümelig, während die Hollabrunner Humuszone vielfach ebenso gleichmäßiges Gefüge hat wie der äolische Löß. Dieser bereits von KÜMEL beobachtete Unterschied läßt sich als Folge der späteren Lößüberdeckung in Verbindung mit der ständigen Durchfeuchtung zwanglos erklären. Dazu muß immerhin bemerkt werden, daß beim Zerbrechen größerer Stücke häufig die Krümelstruktur noch erkennbar wird, und daß ich diese auch am Löß des Untersuchungsgebietes selbst beobachten konnte (z. B. Krems [Schießstätte], Unterwisternitz).

Eingehendere Begründungen für die Deutung der Hollabrunner Humuszone als eines begrabenen Schwarzerdehorizontes hat zuerst WIESENER gegeben, der auf den geringen Humus- und Karbonatgehalt und das gegenüber dem Löß geringere Porenvolumen hinwies. Außerdem zeigte WIESENER an Hand einer chemischen Gesamtanalyse, daß die Hollabrunner Humuszone weitgehende Ähnlichkeit mit dem A-Horizont eines Schwarzerdeprofils von Usin (Gouv. Kiew) hat.

Nach KRAUSE und UTESCHER (1934) unterscheiden sich Schwarzerde- und Niedermoorböden, die man in manchen Fällen ihrem Aussehen nach durchaus für Schwarzerden halten könnte, dadurch, daß das Verhältnis des salzsäurelöslichen Eisens zur salzsäurelöslichen Tonerde deutlich hinter dem Normalwert 1 zurückbleibt, der sich bei normaler Verwitterung unter dem mitteleuropäischen Klima ergibt, während dieses Verhältnis für Moorerde und Schlickboden Werte über 1 ergibt. Der von KRAUSE und UTESCHER aus 18 Analysen errechnete Mittelwert ergab für:

Lößboden	0,90
Schwarzerde auf Löß	0,80
Moorerde und Schlickboden	1,26

Diese Unterschiede rühren daher, daß bei der Schwarzerdebildung eine geringe Auswaschung der Aluminium-, Eisen- und Humusverbindungen stattgefunden hat, die aber das Eisen etwas stärker betroffen hat als die Tonerde, während bei den Niedermoor- und Schlickböden unter dem Einfluß des Grundwassers eine Anreicherung des Eisens eingetreten ist.

Eine für einen der humosen Horizonte von Unterwisternitz ausgeführte Analyse ergab als Verhältnis der im salzsäurelöslichen Teil

$$\text{Fe}_2 \text{O}_3 : \text{Al}_2 \text{O}_3 = 0,8 : 1$$

Alle Befunde sprechen also dafür, daß es sich bei der Hollabrunner Humuszone um eine echte Schwarzerdebildung handelt.

Die Entstehung fossiler Horizonte russischer Profile, die der Göttweiger Verlehmungszone und der Hollabrunner Humuszone in ihrer Ausbildung entsprechen, ist zuerst von FLOROV erklärt worden. Später ist PELISEK dem russischen Forscher in der Deutung der mährischen begrabenen Böden gefolgt.

FLOROV und PELISEK fassen den rotbraunen Verlehmungshorizont als Ergebnis der Degradation eines ursprünglichen Schwarzerdehorizontes und den darüberliegenden humosen Horizont als erneute Schwarzerdebildung, als „Regradation der Schwarzerde“ auf.

In der Waldsteppe Südrußlands werden verschiedene Stadien der Degradierung der Schwarzerde sichtbar, von denen FLOROVs „dunkelgrauer podsolierter Lehm der Waldsteppe“ und das weiter fortgeschrittene Stadium des „grauen podsolierten Lehms der Waldsteppe“ in ihren unteren Horizonten mit der Göttweiger Verlehmungszone weitgehende Ähnlichkeit haben.

Für das Endstadium der Degradierung ist nach FLOROV folgendes Profil typisch:

Horizont A: 0—0,2 m: Humusarm, aschgrau, Plattenstruktur, auf der Fläche der Platten SiO₂-Mehl abgelagert. Untergrenze scharf.
0,2—0,4 m: Weißlich, nußartige und prismatische Struktur, ohne Humusfärbung. Auf den Flächen der Nüsse SiO₂-Anhäufung. Die Nüsse zerfallen beim Zerdrücken in kleine, nach einer Richtung verlängerte Teilchen.

Horizont B: 0,4—1,3 m: Rotbrauner Horizont mit prismatischer Struktur, in feuchtem Zustand zäh. Die Prismen haben glänzende, mit Dendriten bedeckte Flächen.

Horizont C: 1,3—2,0 m: Sehr hellgelber Löß (Karbonatilluvium). Obergrenze hell, wellig. Allmählicher Übergang zu von 2,0 m ab: Hellgelber Löß mit geringerem Karbonatgehalt.

In einem weniger weit fortgeschrittenen Stadium der Degradierung, dem dunkelgrauen podsolierten Lehm der Waldsteppen, ist der Humushorizont A mächtiger und weniger stark entfärbt, also noch humusreicher. Der rotbraune Horizont B kann in zwei Unterhorizonte zerlegt werden, von denen der obere Teil noch durch Humusbeimengen mehr braun gefärbt ist und in längliche kleine Prismen zerfällt, während der untere Teil rein rotbraune Farbe hat und in dauerhaftere, scharfkantige und lange Prismen zerfällt.

Die Göttweiger Verlehmungszone zeigt im allgemeinen gute Übereinstimmung mit dem B- und C-Horizont dieser Profile. Dabei kann der rötlich-braune Lehm mehr einheitlich sein, wie bei dem grauen podsolierten Lehm der Waldsteppe, oder in seinem oberen Teil noch braunfärbende Humussubstanzen enthalten, wie bei dem dunkelgrauen podsolierten Lehm. Das Zerfallen in längliche, scharfkantige kleine Prismen konnte ich allerdings nur einmal, in dem Aufschluß der Jeneralka im Sarkatal bei Prag beobachten.

Die Hollabrunner Humuszone zeigt sich jedoch anders ausgebildet als der A-Horizont des podsolierten Lehms: sie hat alle Eigenschaften einer typischen Schwarzerde; alle Kennzeichen eines Podsolierungsvorganges fehlen ihr.

Daraus ergibt sich deutlich, daß der Entstehung des rotbraunen Lehms ein zweiter, von ihr unabhängiger bodenbildender Vorgang gefolgt ist, die Schwarzerdebildung. Darin kann also der Deutung FLOROVS durchaus zugestimmt werden. Es ist mir aber nicht gelungen, Beweise dafür zu finden, daß der rotbraune Lehm durch die Degradation eines ursprünglich vorhanden gewesenen Schwarzerdebodens entstanden ist, weder in den Ausführungen FLOROVS und PELISEKS, noch in den Aufschlüssen des Untersuchungsgebietes.

Die Entstehung eines rotbraunen Bodens kann sich in der Tat auch unabhängig von einem Schwarzerdeboden, das heißt aus dem Muttergestein unmittelbar vollziehen. Aussehen und Chemismus der Göttweiger Verlehmungszone lassen mindestens ebenso nahe Beziehungen zur Braunerde wie zur degradierten Schwarzerde erkennen, die damit zu erklären sind, daß die bodenbildenden Vorgänge in beiden Fällen gleich waren.

Nach STREMMER (1930), der den Begriff der Braunerde in die Bodenkunde eingeführt hat, und STEBUTT (1930) schwankt bei der Braunerde die Farbe zwischen gelbbraun und rotbraun, meist in schmutzigen Tönungen. Diese werden durch einen gewissen, aber nicht sehr hohen Humusgehalt verursacht,

der die reinen vom Gelb bis zum Rotbraun gehenden Farben der Eisenhydroxyde überlagert. Der Tongehalt ist gering, aber ausreichend, um Krümelstruktur zu verhindern und den Boden bindig zu machen. So entstehen beim Austrocknen kleine, eckige Bröckel. Der Boden reagiert neutral bis leicht alkalisch. Die Auswaschung ist gering; sie beschränkt sich auf die leicht löslichen Salze und das Calciumkarbonat, das sich unten in einem Illuvialhorizont anreichert. Kieselsäure und Sesquioxyde (Al_2O_3 und Fe_2O_3) bleiben am Ort ihrer Bildung liegen, was diesen Boden scharf vom Podsolboden unterscheidet. Es findet aber — im Gegensatz zur Schwarzerde — nur eine geringe Bildung der aus Kieselsäure und Tonerde aufgebauten Zeolithe statt.

Braunerdeprofile sind nur schwach gegliedert. Eine beträchtliche Humusanreicherung in den obersten Teilen fehlt: die ganze Braunerde ist ziemlich einheitlich. Sie wird unten abgeschlossen durch die Zone der Kalkanhäufung, der das Muttergestein folgt.

Die Braunerde zeigt Beziehungen zur Schwarzerde, zum Podsol und zur Roterde, die nicht nur in ihrer Morphologie und ihrem Chemismus, sondern auch im räumlichen Auftreten deutlich zum Ausdruck kommen. Die Braunerden sind die verbreitetsten Böden Mitteleuropas. Im kühleren und feuchteren Norden gehen sie leicht in Podsolböden, im kontinentalen Osten in Schwarzerde, im wärmeren Süden in Roterde über. STEBUTT vertritt die Auffassung, daß die Braunerde typisch vor allem an der Südgrenze ihrer Verbreitung ausgebildet sei, daß sie zu ihrer Entstehung eines zwar humiden, aber auch ziemlich warmen Klimas bedürfe. Mit ihrer wenig stabilen Dynamik sei sie außer den Einwirkungen des Klimas auch anderen Einflüssen, dem der Vegetation, Exposition und des Muttergesteins stark ausgesetzt. Sie komme auf gut dränierten, vor allem geneigten Flächen vor, bevorzuge Hänge und höher gelegene Ebenen, meide aber feuchte Niederungen. In der serbischen Provinz Schemadia beobachtete STEBUTT, daß die von Ost nach West verlaufenden Hügel auf ihren nordexponierten Hängen mit schwarzer Smonitza (einer Art von Schwarzerde), auf den südexponierten mit Braunerde bedeckt sind und diese beiden Bodenarten auf den Rücken unmerklich ineinander übergehen. Die Braunerde ist der Boden der winterkahlen Laubbäume, auf der Balkanhalbinsel vor allem des lichten Eichenwaldes. Als Substrat erscheint „durchlässiger Lehm auf kalkhaltigem Muttergestein“ am geeignetsten, während sandiger Boden zu trocken und schwerer Ton zu feucht ist.

Für unsere Betrachtungen sind diejenigen Verhältnisse besonders wichtig, die auf Löß liegende Braunerde zeigen. Nach GLINKA (siehe STREMMER 1930) fand sich beim Dorf Solymar, unweit von Budapest, unter Wald und Ackerland Braunerde auf karbonatreichem Löß. Hier zeigten sich oben Spuren von Podsolierung, darunter ein mächtiger rotbrauner Horizont, der „sich nach Farbe, Plastizität und Zähigkeit bedeutend vom Löß selbst abhob. Auf dem Ackerland waren die Podsolspuren nur noch in den Senken vorhanden,

die höheren Stellen waren auch an der Oberfläche rotbraun“. Andere von GLINKA aus Polen beschriebene Braunerden zeigen an der Oberfläche noch kräftigere Einwirkung des Podsolprozesses, in der Tiefe aber denselben rotbraunen B-Horizont.

Die große Ähnlichkeit, um nicht zu sagen Übereinstimmung, der Göttweiger Verlehmungszone mit der Braunerde ist offenkundig. In diesem Zusammenhang wird eine Beobachtung KÜMELS an den Humus- und Lehmschichten des Laaerbergs wichtig: „Die Verminderung der Humuszonen hangaufwärts stimmt mit der Beobachtung überein, daß zeitgenössische Schwarzerdeböden in kuppigem Gelände auf den Hängen eine geringere Mächtigkeit haben als in der Ebene.“ Und: „Daß der Humushorizont hangaufwärts in rotbraune Erde übergeht, hängt mit den Feuchtigkeitsverhältnissen zusammen. An den Wänden des Aufschlusses ist ersichtlich, daß der Humus in einer seichten Mulde nahe dem Fuß des Laaerberges entstand, während die rotbraune Erde auf den trockeneren Hängen gebildet wurde.“

Wir fassen die Göttweiger Verlehmungszone als Braunerdebildung auf. Grundbedingung ihrer Entstehung ist Waldbedeckung unter einem gemäßigten, niederschlagsreicheren Klima. Dabei wirken sich die Unterschiede der geographischen Breite, Höhenlage, Exposition und Bodenneigung vor allem in der Mächtigkeit der Schicht, der Lebhaftigkeit ihrer Rotfärbung und dem Humusgehalt aus; sie rufen zusammen mit den Einflüssen von Sedimentation und Abtragung die in den Aufschlüssen sichtbare, wenn auch nicht sehr bedeutenden Verschiedenartigkeit hervor.

b. Die Hollabrunner Humuszone als Schwarzerdehorizont

Die Entstehung der Schwarzerde fordert ein kontinentales Klima mit strengen Wintern und warmen Sommern. Die Hauptmenge der Niederschläge, die z. B. im südrussischen Schwarzerdegebiet nur 400 bis 600 mm im Jahr beträgt, fällt im Frühsommer. Im Frühjahr ist der Boden feucht genug, um bis Ende Juni einen üppigen Graswuchs zu sichern. Im trockenen Spätsommer und Herbst führen lebhaftere Sonnenbestrahlung, heftige Trockenwinde und geringe Luftfeuchtigkeit eine so starke Verdunstung herbei, daß der Pflanzenwuchs abstirbt und der Boden bis in beträchtliche Tiefen hinein trocken wird; im feuchten Frühjahr findet also reichliche Bildung organischer Substanzen statt, die im trockenen Sommer und Herbst nur mangelhaft zersetzt werden und Humussubstanzen liefern. Der strenge, niederschlagsarme und wegen des Frostes trockene Winter verhindert den Abbau der Humussubstanzen und die Destruktion und Auswaschung des Bodens. Die mittleren Jahrestemperaturen, unter denen sich Schwarzerde bilden kann, schwanken innerhalb weiter Grenzen. Im westsibirischen Schwarzerdegebiet beträgt die mittlere Jahrestemperatur $0,5^{\circ}$, in Argentinien sinkt die Mitteltemperatur des kältesten Monats nicht oder nur wenig unter 10° . Für die begrabenen

Schwarzerden unseres Gebietes lehrt aber der Anschluß an die Braunerde der Göttweiger Verlehmungszone, daß auch ein klimatischer Anschluß gegeben war, d. h., daß die Temperaturverhältnisse der Schwarzerdebildungszeiten nicht wesentlich von denen verschieden waren, die zur Zeit der Braunerdebildung geherrscht haben, so wie auch jetzt in diesem Gebiet Schwarzerden neben Braunerden liegen.

Der Aufschluß von Prag-Selz vermittelt eine weitere sehr wichtige Erkenntnis über den Klimaablauf des Würm-I-/Würm-II-Interstadials:

Im oberen Teil der großen Lehmgrube, die sich am linken Ufer der Moldau mehrere hundert Meter weit am Hang hinaufzieht, sind in den senkrecht abgestochenen Wänden eine größere Anzahl von Eiskeilspalten angeschnitten, die mit Schwarzerde und nur mit Schwarzerde ausgefüllt sind. Sie verlaufen in Nord-Süd-Richtung, also ungefähr in der Streichrichtung des nicht sehr steil zur Moldau abfallenden Hanges. Im oberen Teil des Aufschlusses haben sie 100—150 cm Tiefe (im Durchschnitt 120 cm), eine obere Breite von 25—35 cm und einen durchschnittlichen Abstand von 150 cm. Sie durchsetzen den rötlich-braunen Lehm der Göttweiger Verlehmungszone von 65 cm Stärke und reichen noch in einen von zahllosen kleinen Wurzelröhrchen durchsetzten Löss. Dieser ist an seiner Obergrenze von weißem, kreidigem, stellenweise etwas verhärtetem Kalk durchsetzt, dem Karbonatilluvium des rotbraunen Lehms. Dieser enthält in seinen oberen Teilen zahlreiche humose Einläufe und rundliche hellgraue abreibbare und zerbrechliche Konkretionen. Solche stecken in gleicher Höhe auch in der Schwarzerdefüllung der Eiskeilspalten, sind also nach ihrem Aufreißen und ihrer Ausfüllung entstanden. Oben endigen die Eiskeilspalten in einem bräunlichen humosen Löss, offenbar dem letzten Rest der hier abgetragenen Schwarzerdedecke, der nach oben hin in gelbbraunen und schließlich hellgelben Löss übergeht. Das Vorhandensein der Konkretionen des Illuvialhorizontes beweist, daß die Umbildung des Lösses zu rotbraunem Lehm und zu Schwarzerde an Ort und Stelle vor sich gegangen ist. Jedoch lassen die zahlreichen eingestreuten kleinen Gerölle und erhebliche Beimengen gröberer Sandes erkennen, daß am Aufbau des Lösses Umlagerungsvorgänge beteiligt waren.

Aus diesem Profil können folgende geologische und bodenbildende Vorgänge herausgelesen werden:

1. Äolische Ablagerung des liegenden Lösses am flachen Gehänge; dabei wurden aus höheren Schotterterrassen einzelne Gerölle und grober Sand beigemischt.
2. Aufhören der äolischen Sedimentation und Verwitterung der damaligen Oberfläche zu rotbraunem Lehm unter Waldbedeckung während eines niederschlagreichen Klimas. Gleichzeitig erfolgte die Abwanderung der Karbonate in den Illuvialhorizont.

3. Bildung der Schwarzerde unter einem mehr kontinentalen Klima und Entstehung zahlreicher Trockenrisse.
4. Entstehung von Dauerfrostboden unter einem ausgesprochen kalten Klima; Füllung der Spalten mit Eis und Erweiterung zu Eiskeilen.
5. Auftauen der Eiskeile unter einem wärmeren Klima des Dauerfrostbodens und Ausschmelzung der Eiskeile unter einem wärmeren Klima. Ausfüllung des Spaltenraums mit Schwarzerde. Löß kann die Oberfläche nicht gebildet haben, weil die Spaltenfüllung nur aus Schwarzerde besteht.
6. Bildung humoser Einläufe im rotbraunen Lehm durch Ausschlammung der Schwarzerde. Verlehmung der Oberfläche unter einem niederschlagsreichen Klima und Bildung der Konkretionen im braunen Lehm und in der Spaltenfüllung. Gleichzeitig allmähliche Abtragung der Oberfläche bis auf den rotbraunen Lehm.
7. Auflagerung von bräunlichem und gelblichem Löß teils durch äolische Sedimentation unter Mitwirkung einer immer schwächer werdenden Pflanzendecke.
8. Auflagerung von hellem Löß unter einem eiszeitlichen Klima.
9. Verwitterung der Lößoberfläche zu gelblichem Lehm.
10. Äolische Auflagerung des oberen Lößes und
11. Bildung der rezenten Verwitterungsdecke (Schwarzerde).

Der Vorgang 1 gehört der Würm I-Eiszeit, die Vorgänge 2 bis 6 der Würm I/Würm II-Interstadialzeit, 7 und 8 der Würm II-Eiszeit, 9 der Würm II/Würm III-Interstadialzeit, 10 der Würm III-Eiszeit und 11 dem Postglazial und der Gegenwart an.

Die Bildung von Eiskeilen ist nur in Dauerfrostboden möglich. Dieser setzt mittlere Jahrestemperaturen von weniger als -2°C voraus, wozu allerdings noch andere Faktoren, z. B. eine bestimmte Dicke der Schneedecke treten müssen. Daß während eines derartig kalten Klimas die Bildung von Schwarzerde möglich ist, wissen wir aus den Verhältnissen im westsibirischen Schwarzerdegebiet, wo bei Tobolsk (nach GLINKA 1914) folgende Temperaturen ermittelt worden sind: Mittlere Jahrestemperatur $0,5^{\circ}\text{C}$, Temperatur der Vegetationsperiode $14,7^{\circ}\text{C}$. Die jährliche Niederschlagsmenge beträgt nur 321 mm, die Niederschlagsmenge während der Vegetationsperiode 22 mm. Zwar erreichen hier die Temperaturen noch nicht ganz den zur Ausbildung von Dauerfrostboden erforderlichen Tiefstand, wir wissen aber, daß in Sibirien Schwarzerde tatsächlich auf ewig gefrorenem Boden festgestellt worden ist (MEINARDUS 1930). Wo das Muttergestein kalkhaltig ist, und im Sommer eine Pflanzendecke nicht fehlt, ist die Gefrorennis der Ausbildung von Schwarzerde nur günstig: sie verhindert die Durchschlammung der Humusstoffe und des Kalks, und die tiefe Lufttemperatur läßt keine Oxydation der anfallenden Pflanzenreste zu.

Der während der Bildungszeit der Schwarzerde erfolgte Einbruch eines eiszeitlich-kalten Klimas hat aus diesen Gründen durchaus nichts befremdendes.

Eiszeitliches Ausmaß erreichte der Dauerfrostboden von Prag-Selz nicht. Die tiefsten Eiskeile reichen hier 1,5 m tief hinab, während eiszeitliche Eiskeile viel bedeutendere Tiefen haben. Im jüngsten Löß (Würm III-Löß) unter dem Friedhof von Predmost in Mähren beobachtete ich im Spätherbst 1943 an einer neu aufgeschlossenen Wand eine mit Löß erfüllte Eiskeilspalte von 2,60 m Tiefe.

Daraus muß geschlossen werden, daß während des Kälterückfalls im Würm I/Würm II-Interstadial der winterliche Frost weniger hart oder die sommerliche Auftautiefe bedeutender war als während der Eiszeiten.

Die in jenes Interstadial fallende Wiederkehr eines kalten Klimas ist bereits in anderen Gebieten, wenn auch nicht derartig handgreiflich, nachgewiesen.

Der sog. Pseudopariser der Travertinbrüche von Ehringsdorf bei Weimar spricht nach SOERGEL (1940) für ein der pflanzlichen Überwachsung weniger günstiges, wohl kühleres und kontinentaleres Klima, das sich in der Zeit der Bildung des oberen Travertins I und II einschaltete. Das Zurückgehen oder Aufhören der Travertinbildung ist mit einer Verminderung der Überwachsung zu erklären, die wahrscheinlich von einer die Verdunstung einschränkenden Abnahme der mittleren Sommertemperatur und von einer Abnahme der Quellenschüttung begleitet war, die als Folge einer Klimaänderung angesehen werden müssen.

Das Auftreten der Eiskeilspalten in Prag-Selz zeigt, daß die Temperaturerniedrigung dieses Zeitabschnittes in einem Gebiet, das vom Rand der Weichselvereisung etwa 220 km entfernt lag, zur Ausbildung von Dauerfrostboden ausreichte. Ehringsdorf liegt vom Eisrand nur etwa 180 km entfernt, das Klima kann aber entsprechend der mehr westlichen Lage etwas weniger kontinental gewesen sein. Jedenfalls würde die Annahme von Dauerfrostboden in Thüringen das Aufhören der Quellenschüttung in einfacher Weise erklären.

Weitere Beweise oder Hinweise auf eine kalte Klimaschwankung innerhalb des Würm I/Würm II-Interstadials lieferte nach SOERGEL die pollenanalytische Untersuchung des Talsandprofils der Grube Marga bei Senftenberg durch FIBRAS (FIBRAS und GRAHMANN 1928). Dieses Interstadial ist hier durch einen Kiefern-Eichen-Mischwald (Kiefernphase 1 a) eingeleitet; ihm folgte eine Zeit weniger günstigen Klimas (Kiefernphase 1 b), dann eine Birkenphase 1 c, die gegenüber 1 b eine gewisse Verarmung darstellt; abgeschlossen wird dieses Interstadial durch eine reine Kiefernphase 2, in der ein milderes Klima herrschte als zur Zeit der Kiefernphase 1 a und 1 b.

Die dritte Parallele hat sich im Diluvialprofil von Wickerstedt an der Ilm finden lassen. Der hier zwischen Ablagerungen der Würm I- und Würm II-Zeit eingeschaltete umgelagerte Löß ist gleichaltrig mit dem Pseudopariser von Ehringsdorf und wie dieser in einer Klimaperiode entstanden, die eine nur sehr geringe Bewachung des Hanges zur Folge hatte.

c. Die Ablagerungen über der Hollabrunner Humuszone

Aus der Mehrzahl der Aufschlüsse, in denen die Hollabrunner Humuszone von hellem Löß überlagert ist, könnte der Schluß gezogen werden, es sei der Schwarzerdebildung unmittelbar die äolische Auflagerung neuer Lößmassen gefolgt. Dem widersprechen aber einige der oben mitgeteilten Beobachtungen. Vor allem ist hier die Lehmgrube von Mödlan bei Brünn wichtig, wo ich über der Hollabrunner Humuszone 1,3 m rotbraunen Lehm beobachtete, der in seinem untersten Teil von Karbonatausscheidungen durchsetzt ist. Diese beweisen, daß die Laimenzone oder wenigstens ihr unterer Teil an Ort und Stelle gebildet wurde. Auch in der Lehmgrube von Prag-Selz ist das Auftreten des oberen Konkretionshorizontes nur mit einer nach der Schwarzerdebildung erneut einsetzenden Verlehmung erklärbar (Vorgang 6, S. 144). In der Ziegeleigrube von Wielandstal ist die Hollabrunner Humuszone von bräunlichem Lehm bedeckt. Auf den gleichen Verlehmungsvorgang lassen die Beobachtungen PELISEKs an den mährischen Lößprofilen schließen, in denen die Hollabrunner Humuszone nicht schwarz, sondern dunkelbraun bis schokoladebraun gefärbt ist und Humuszungen auf starke Durchschlammung unter der Einwirkung der Niederschläge hinweisen. Dies gilt für die Aufschlüsse von Brünn (Akademische Straße und Neuer Berg), Retschkowitz (= Mödlan), von wo PELISEK die rotbraune Laimenzone nicht besonders erwähnt, von Mödritz (Ziegelei Lederer und obere Ziegelei), Popowitz und Mohelno. PELISEK spricht hier allgemein von degradierter Schwarzerde, verlegt aber, wie oben gezeigt worden ist, den Degradierungsvorgang in einen anderen Zeitabschnitt des Würm-I/Würm-II-Interstadials.

Der Bildung der Hollabrunner Humuszone ist also zunächst eine feuchtere und mehr atlantische Klimaperiode gefolgt, die in manchen Fällen zur Ausbildung eines rotbraunen Lehms, in andern zur Degradation der Schwarzerde geführt hat. Als niederschlagsreiche Zeit hat sie offenbar an vielen Stellen Abtragungsvorgänge hervorgerufen, also keine positiven Spuren hinterlassen. Hier ist dann über der Schwarzerde Löß abgesetzt worden, anfangs mit deutlichen Zeichen von Umlagerung, später auf rein äolischem Weg. Beispiele liefern die Lehmgruben von Unterwisternitz, Prag-Selz u. a.

Die Dauer dieser niederschlagsreichen Periode hat die der ersten, in der die Göttweiger Verlehmungszone gebildet wurde, bei weitem nicht erreicht; ihre Lehmablagerungen sind meist dünn, die Degradation der Schwarzerde

ist gering. Es hat ganz den Anschein, als hätten während dieser Zeit die Vorgänge der Abtragung und Sedimentation den der Bodenbildung stark überwuchert.

2. Die Horizonte des Würm-II/Würm-III-Interstadials und ihre bodenkundlich-klimatische Deutung

Zunächst erfolgt die Besprechung der oberen Verlehmungszone an Hand der einzelnen Aufschlüsse. Aus dem niederösterreichischen Gebiet ist sie von folgenden Stellen bekannt:

In einer verlassenen Lehmgrube von *P a u d o r f* ist die obere der beiden Verlehmungszonen, die Paudorfer Verlehmungszone, als eine 0,4 m mächtige Schicht rotbraunen Lehms ausgebildet (GÖTZINGER 1936).

Am *L a a e r b e r g* in *W i e n* besteht die Paudorfer Verlehmungszone bei mächtiger Entwicklung aus einer 1 m starken humosen Schicht, die nach unten in einen ebenso starken braunroten Laimen übergeht, unter dem ein Horizont mit Kalkkonkretionen liegt. Im Humus, Laimen und dem liegenden Löß finden sich Wühlgänge von 1,5 bis 4 cm Durchmesser, und vom Humus reichen zungenförmige Streifen mehrere Dezimeter tief in den Laimen. An einer anderen Stelle des Aufschlusses sind die beiden Horizonte zu einem einzigen rotbraunen Laimen von nur 0,9 m Stärke vereinigt, unter dem ebenfalls Lößkonkretionen ausgebildet sind (KÜMEL 1936).

Im Hohlweg zwischen *U l r i c h s k i r c h e n* und *S c h l e i n b a c h* ist nur eine 0,4 m starke braune Humuszone von krümeliger Struktur ausgebildet, die mit unscharfen Grenzen an den hangenden und liegenden Löß stößt. Dunkel ausgefüllte Tiergänge von höchstens 10 cm Durchmesser reichen aus der Humuszone bis zu 0,3 m Tiefe in den liegenden Löß (GÖTZINGER 1936 und Beobachtungen des Verfassers vom 29. 9. 1943).

Östlich dieses Hohlweges ist ziemlich grober weißer, etwas kalkhaltiger Sand tertiären Alters aufgeschlossen, der von einer rotbraunen Verlehmungszone von etwa 0,45 m Stärke bedeckt ist. Unmittelbar unter dieser ist der Sand durch Karbonatilluvium gelblich gefärbt. Der rotbraun verwitterte Sand geht nach oben allmählich in dunkelbraunen, stark humosen Sand von 0,45 m Stärke über. Die darüber folgende rezente Humusbildung ist nur etwa 0,1 m stark und heller braun gefärbt.

Es ist nicht ganz sicher, aber wahrscheinlich, daß diese Verlehmung ebenfalls dem Würm-II/Würm-III-Interstadial angehört. Jedenfalls lehrt dieser Aufschluß, daß auch andere Gesteine den gleichen bodenbildenden Vorgängen — Braunerde- und Schwarzerdebildung — unterworfen sind wie der Löß.

In der Lehmgrube beim Bahnhof *Neubau-Kreuzstetten* ist nach GÖTZINGER (1936) eine 0,3 bis 0,5 m starke helle Humuszone abgeschlossen; ich habe von hier 0,3 m humosen bräunlichen Lehm notiert (29. 9. 1943).

In der Ziegelei von *Weinsteig* ist im nördlichen Teil nur eine dünne Humuszone ausgebildet. Im südlichen Teil schwillt sie in einer flachen Mulde zu 2,5 m Mächtigkeit an; hier liegt sie auf einer rostbraunen Laimenzone. Offenbar hat in dieser Mulde eine Zusammenschwemmung humosen Materials stattgefunden (GÖTZINGER 1936).

Bei *Groß-Mugl* liegt über 0,8 m „Lößlehm“ eine 0,3 m starke Humusschicht. Es ist möglich, daß der Lößlehm zu der darunter liegenden Verlehmung des Würm-I/Würm-II-Interstadials gehört (GÖTZINGER 1936).

Bei *Göllersdorf* liegt über 0,3 m Laimen 1,0 m Humus (GÖTZINGER 1936).

Aus Mähren und Böhmen ist die obere Verlehmungszone von folgenden Stellen bekannt:

In der Lehmgrube von *Unterwisternitz* ist das Würm-II/Würm-III-Interstadial durch eine 0,35 m mächtige rötlichbraune Laimenzone vertreten, die durch senkrechte Klüfte in grobe prismatische Klötze zerlegt ist; diese sind aber erheblich kleiner als die der Schwarzerdehorizonte in den tieferen Teilen des Aufschlusses. Die Klüfte sind als Trockenschwindrisse der an kolloidalen Substanzen reichen Ablagerung zu deuten. Diese Laimenzone führt zahlreiche Holzkohlenstückchen und Tierknochen. Sie stellt die Kulturschicht des Aurignaciens dar.

Bei der Grabung, die A. BOHMERS weiter östlich, unweit von Pollau, im Jahre 1942 durchgeführt hat, war die Kulturschicht nicht als eigentliche Verlehmungszone ausgebildet. Doch setzt sie sich mit dem unmittelbar darüber und darunter liegenden Löß durch einen erheblich größeren Tongehalt deutlich von dem darüber liegenden Löß ab. Wie ich an anderer Stelle ausführlich dargelegt habe (Manuskript: Über den Löß von Unterwisternitz, Mähren), gehört diese Kulturschicht ebenfalls dem Würm-II/Würm-III-Interstadial an.

Brünn, Akademische Straße. Unter einem 0,4 m starken humosen Horizont mäßig degradierter Schwarzerde liegt ein ebenso starker rostfarbener Horizont. In die Unterlage gehen dünne Humuseinläufe (PELISEK 1940).

Brünn, Lehmgrube am Neuen Berg. Der obere begrabene Boden besteht aus 0,4 m dunkelgrauer lockerer Erde mit reichlichen Kalkausblühungen. Von ihr gehen zahlreiche Humuszungen in die Unterlage, die aus hell- bis rostbraunem Lehm von 0,3 m Stärke besteht. Er enthält reichliches

CaCO₃-Pseudomycel und viele Tiergänge, die in die Humusschicht und in den liegenden Löß hineinreichen. Der humose Horizont enthält 1,8 % Humus und 2,8 % Kalk, der rostbraune Horizont 0,4 % Humus und 0,8 % Kalk (PELISEK 1938).

Mödlan, *Lehmgrube* (von PELISEK als Lehmgrube von Retschkowitz bezeichnet). Die im ganzen 0,8 m starke Verlehmungszone gliedert sich in einen oberen dunkelbraungrauen Horizont degradiertes Schwarzerde und einen mächtigen humosen rostfarbenen Horizont (PELISEK 1940).

Mödritz, *Ziegelei Lederer*. Der humose, dunkelschokoladebraune Horizont ist etwa 0,3 m, der darunter liegende rostfarbene etwa 0,5 m mächtig (PELISEK 1940).

Mödritz, *obere Ziegelei*. Der humose Horizont ist rotbräunlich, der tiefere rostfarben. Beide messen zusammen 0,6 m (PELISEK 1940).

Popowitz, *Ziegeleigrube*. Die Verlehmungszone ist in einen humosen und einen rostfarbenen Horizont von zusammen 0,8 m Stärke gegliedert (PELISEK 1940).

Wischau, *Neue Lehmgrube*. Der obere Horizont besteht aus leicht lehmiger, reichlich von weißem Pseudomycel durchsetzter Schwarzerde, die in den oberen 0,5 m gleichmäßig dunkelgrau, in den unteren 0,1 m schokoladebraun gefärbt ist. Darunter liegt, 0,4 m mächtig, ein rostfarbener Horizont mit reichlich weißem Pseudomycel, rostigen Anflügen und Flecken, langen Humuszungen, die bis in den liegenden Löß reichen, sowie stellenweise vielen Tiergängen (PELISEK, ohne Jahrgang).

Bei meinem Besuch der Lehmgrube am 5. Oktober 1943 beobachtete ich folgendes:

Der humose Horizont des begrabenen Bodens ist nur im östlichen Teil der langen, von Westen nach Osten verlaufenden Abbauwand vollständig erhalten. Hier ist er im allgemeinen von gelbbraunem Lehm unmittelbar überlagert, stellenweise schaltet sich über ihm auch heller Löß in dünner Schicht ein. Unter der Schwarzerde liegt gelbbrauner Lehm, darunter unveränderter Löß. Das Kalkilluvium tritt hier nur in Form von Lößkonkretionen auf, nicht als kreibige, weiße Ausscheidung. Allen Schichten des Würm-II/Würm-III-Interstadials sind vereinzelte kleine Gerölle eingelagert. Zu diesen Zeugnissen der Umlagerung treten noch Beweise kräftiger Erosion. Im westlichen Teil der Abbauwand wird eine seichte begrabene Mulde sichtbar, in deren Mitte die Schwarzerde völlig abgetragen ist. Ihre Entstehung fällt in die Zeit der Bildung des oberen gelbbraunen Lehms über der Schwarzerde,

den sie teilweise durchschneidet. Während der Würm-III-Eiszeit ist sie durch Ausfüllung mit hellem Löß fast völlig eingeebnet worden. Hier wird der Gegensatz zwischen dem niederschlagsreichen Klima des Würm-II/Würm-III-Interstadials und dem trockenen Klima der letzten Lößbildungszeit besonders deutlich erkennbar.

In dieser Lehmgrube konnte noch eine andere Art der Bodenbewegung beobachtet werden. Im westlichen Teil wird die Grube durch eine von Norden nach Süden verlaufende Abbauwand begrenzt, in der wie in der langen Ost-West-Wand zahlreiche von der Schwarzerde in die liegenden Schichten reichende Humuseinläufe angeschnitten sind. Während diese in der Ost-West-Wand senkrecht hinabführen, liegen sie in der Nord-Süd-Wand schräg; der obere Teil jedes Humuseinlaufs erscheint gegenüber dem unteren nach Süden, zur Erosionsmulde der Betschwa hin verschoben. Nach der Bildung der Schwarzerde und der von ihr ausgehenden Humuszungen müssen die Schichten, die sie durchsetzten, hangabwärts abgeglitten sein, und zwar die oberen stärker als die tieferen.

Wie zahlreiche Beobachtungen gelehrt haben, sind die Humuseinläufe an tief hinabreichenden Trockenrissen entstanden, die den aus den humusreichen Schichten stammenden Humusstoffen den Weg vorzeichneten; von ihnen ausgehend ist dann auch das Nebengestein der Spalten, in den oberen Teilen stärker in den unteren schwächer von den Humussubstanzen durchsetzt worden. In der Ost-West-Wand der Grube sind die im allgemeinen nord-südlich verlaufenden Humuskeile so geschnitten, daß eine Verlagerung des Bodens nicht sichtbar werden kann. In der Nord-Süd-Wand, in der die von Osten nach Westen gerichteten Humuskeile quer durchschnitten sind, wirkt sich die Verlagerung des Bodens in der oben geschilderten Weise aus. Es sind also nach unten keilförmig verschälerte Räume mit Humussubstanzen durchsetzt worden.

W i s c h a u, *aufgegebene Lehmgrube*, westlich der oben besprochenen. Hier sind die gleichen Schichten sichtbar; der obere bräunliche Lehm geht aber allmählicher in die Schwarzerde über und enthält in seinem tiefsten Teil dünne Schmitzen von Schwarzerde. Diese grenzen unten scharf an die hier mehr rötlich gefärbte Lehmschicht, die in helleren, gelblichen Lehm übergeht. In beiden Lehmgruben tragen ebenflächige Trockenrisse Tapeten aus blendend weißem Kalkmehl (Beobachtungen vom 5. 10. 1943).

P r a g - P o d b a b a. Im Stadtteil Podbaba liegen zwei aneinander stoßende verlassene Lehmgruben; in der nördlichen steht heute eine Brauerei. Sie sind voneinander durch eine etwa 8 m hohe von Westen nach Osten verlaufende senkrechte Lößwand getrennt. In ihr fallen die Schichten etwas nach Nordosten. Sie tragen alle die deutlichsten Anzeichen für Umlagerung

am Gehänge: mehr oder weniger starke Durchsetzung mit Geröllen und Sand. Insbesondere tritt eine bis zu 0,1 m starke Gerölllage im obersten Teil des Aufschlusses auf, und der Löß der unteren Hälfte erscheint durch dünne bis 3 cm starke Sandbänder geschichtet.

Im oberen Teil der Wand liegt unter der Geröllschicht eine 0,3 m starke gelbbraune Lehmschicht, dann 0,8 m Löß, dann eine 0,7 m starke Schwarzerdeschicht, die in rotbraunen Lehm von 0,45—0,50 m Stärke übergeht. Im obersten Teil des liegenden, 4 m mächtigen Lösses ist nur schwaches Karbonatilluvium ausgebildet. Im westlichen Teil der Wand wird der Löß von einer bis zu 1,5 m mächtigen rotbraunen Lehmschicht unterlagert. Diese ist reichlich von Sand und Geröllen durchsetzt. In der Westwand der Grube schwellen diese Schottereinlagerungen mächtig an.

Wegen der kräftigen Umlagerungsvorgänge ist die zeitliche Einweisung der verschiedenen Horizonte unsicher. Es ist möglich, daß die oberste gelbbraune Verlehmung dem Würm-II/Würm-III-Interstadial, die aus einem Schwarzerde- und rotbraunen Lehmhorizont bestehende mittlere, dem Würm-I/Würm-II-Interstadial und die tiefste dem Riß/Würm-Interglazial angehört.

Erwähnt sei noch, daß im südlichen Teil der Grube der jüngere Löß gut ausgebildete Brodelhorizonte enthält. (Beobachtungen vom 5. Oktober 1943.)

S e l z (S e d l e c) bei Prag. Im westlichen Teil der ausgedehnten Lehmgrube wird unter 1,5 m hellem Lößmaterial eine 0,5 m starke hellgelbbraune Schicht sichtbar. Diese stellt den untersten Teil der ehemaligen Oberflächenverlehmung dar, auf die im Zug des Lehmgrubenbetriebes der Löß künstlich aufgetragen worden ist. Unter der hellgelbbraunen Lehmschicht liegen 2,75 m heller Löß, darunter eine 0,6 m starke hellgelbbraune Lehmschicht, dann etwa 1,5 m heller Löß, der nach unten mehr gelb wird, dann etwa 0,5 m rötlich-brauner Lehm, der von den oben beschriebenen mit Schwarzerde gefüllten Eiskeilspalten durchsetzt ist. Die tiefste sichtbare Schicht ist ein an seiner Obergrenze durch reichliches Karbonatilluvium weißlich gefärbter Löß. Alle, insbesondere die Lehm- und Schwarzerdeschichten, enthalten einzelne kleine Gerölle. Wir weisen die untere rötlich-braune Lehmschicht dem Würm-I/Würm-II-Interstadial, die nächst höhere dem Würm-II/Würm-III-Interstadial zu.

Diese Beobachtungen ermöglichen folgende bodenkundlich-klimatische Deutung:

Die Horizonte des Würm-II/Würm-III-Interstadials zeigen — im ganzen gesehen — die gleiche Ausbildung und Gliederung wie die des Würm-I/Würm-II-Interstadials. Sie unterscheidet sich von diesem hauptsächlich durch ihre geringe Mächtigkeit.

Aus seinen Beobachtungen in den Aufschlüssen des Schwarzawatales bei Brünn (Brünn, Akademische Straße; Mödlan; Mödritz und Popowitz) glaubt PELISEK schließen zu dürfen, daß das Klima der Bildungszeit der oberen Schwarzerde wärmer und trockener gewesen sei als während der Bildungszeit der unteren Schwarzerde. Jene sei viel dunkler als die untere. Nach den Profilbeschreibungen trifft dies aber schon für die beiden Lehmgruben von Mödritz nicht zu, wo in der Grube Lederer die Farbe beider Horizonte als dunkelschokoladebraun bezeichnet wird, und in der oberen Ziegelei die obere Schwarzerde bräunlich, die untere dunkelschokoladebraun gefärbt sei. Es gilt vor allem nicht für zahlreiche Aufschlüsse von Niederösterreich und der Umgebung von Prag, wo die Paudorfer Verlehmung oft nur als dunkel-, rötlich- oder hellbrauner Horizont ausgebildet ist, während die Göttweiger Verlehmungszone häufig als Schwarzerde auftritt. Aus diesem Grund scheint mir die Folgerung PELISEKS, die allgemeine Gültigkeit beansprucht, nicht haltbar. Die gelegentlich erkennbare dunklere Färbung des oberen Schwarzerdehorizontes kann örtliche Ursachen haben.

Im übrigen lassen die Horizonte des Würm-II/Würm-III-Interstadials die gleichen bodenbildenden Vorgänge und daher auch den gleichen Ablauf des Klimas erkennen wie die des Würm-I/Würm-II-Interstadials. Der Ablagerung des mittleren Lösses folgte Braunerdebildung, dann Schwarzerdebildung, dann wieder Braunerdebildung, die sich oft nur in einer Degradation der bereits gebildeten Schwarzerde auswirkte. Auch dieses Interstadial war eine Zeit lebhafter Abtragungs- und Umlagerungsvorgänge, die gelegentlich die Ausbildung gut ausgeprägter Bodenhorizonte verhinderten. In der gleichen Richtung wirkte sich auch die kürzere Dauer dieser Interstadialzeit aus. Vor allem aber war sie die Ursache der erheblich geringeren Mächtigkeit der entstandenen Bodenhorizonte. Während dieser mehr oder weniger niederschlagsreichen Interstadialzeit fand kein Einbruch eines trocken-kalten eiszeitlichen Klimas statt.

IV. Zusammenfassung über den Klimaablauf während der Würm-Eiszeit

Der durch zahlreiche Beweise fest gegründeten und daher allgemein angenommenen Anschauung folgend nehmen wir für die Bildungszeit des Lösses ein eiszeitliches, kaltes und trockenes, kontinentales Klima an. Im Untersuchungsgebiet wird dies durch den Nachweis von Eiskeilspalten (Dauerfrostböden) im Würm-III-Löss von Predmost bestätigt. Es ergibt sich dann zusammen mit den Ausführungen der vorhergegangenen Abschnitte im östlichen Teil Mitteleuropas folgender Klimaablauf der Würm-Eiszeit.

Zeitabschnitt	Klima	Pflanzendecke	Boden
Würm-III-Eiszeit	kalt und trocken kontinental	tundraartig, stellenweise fehlend	Löß mit Dauer- frostboden
Würm-II/Würm-III- Interstadial	niederschlagsreich gemäßigt	Wald	Braunerde
	trocken, kontinental niederschlagsreich, gemäßigt	Steppe Wald	Schwarzerde Braunerde
Würm-II-Eiszeit	kalt und trocken, kontinental	tundraartig, stellenweise fehlend	Löß
Würm-I/Würm-II- Interstadial	niederschlagsreich, gemäßigt	Wald	Braunerde
	trocken, kontinental Sommer warm, Winter kalt	Steppe	Schwarzerde
	Einbruch eines kalt- kontinentalen Klimas	Tundra?	Dauerfrostboden unter Schwarzerde
	trocken, kontinental Sommer warm, Winter kalt	Steppe	Schwarzerde
Würm-I-Eiszeit	niederschlagsreich, gemäßigt	Wald	Braunerde
	kalt und trocken kontinental	tundraartig, stellenweise fehlend	Löß

Ähnliche Lößprofile wie in Mähren und in Niederösterreich sind im Raum nördlich des Schwarzen Meeres festgestellt worden. Nach KROKOS (1932) sind in der Ukraine dem Löß im allgemeinen zwei begrabene Schwarzerdeböden eingeschaltet, von denen der obere genau wie in unserem Gebiet erheblich weniger mächtig ist als der darunter liegende. Die russischen Forscher schreiben den unteren begrabenen Boden dem Riß-Würm-Interglazial,

den oberen dem „Würm-Interstadial“ zu. Von den drei durch diese begrabenen Böden getrennten Lössen wird der unterste der Dnjepr(=Riß)-Ver eisung zugewiesen, deren Moränen und Schotter ihn unterlagern.

Entsprechend den wohlbegründeten Anschauungen über die Entstehung des Lösses — daß er jeweils während der Vorstoß- und Stillstandsphasen der Vereisungen, nicht aber während der Rückzugphasen abgelagert worden sei (SOERGEL 1919) — müssen wir diesen tiefsten der drei Löss abweichend von den russischen Geologen für würmeiszeitlich halten. Dies wird auch durch die vielfach gemachte Beobachtung bestätigt, daß jeder Löss nicht auf den ihm zeitlich entsprechenden, sondern auf den während der nächst älteren Eiszeit abgelagerten Schottern oder Moränen liegt (SOERGEL 1939).

Damit ergibt sich völlige Übereinstimmung in der Gliederung des jüngeren Lösses Südrußlands und unseres Untersuchungsgebietes, die der weitgehenden Ähnlichkeit in der Ausbildung und Mächtigkeit der begrabenen Böden entspricht.

Dies muß auch zutreffen, weil es nicht denkbar ist, daß die klimatischen Bedingungen, die zur Entstehung der Lössen und der begrabenen Böden geführt haben, sich in Südrußland wesentlich anders ausgewirkt hätten als im benachbarten ostmitteleuropäischen Raum; insbesondere ist es unmöglich, daß etwa in den ukrainischen Lössen nur eine einzige Interstadialzeit zu einer Bodenbildung Anlaß gegeben hätte, wie dies auf Grund der russischen Altersdeutung angenommen werden müßte.

Die begrabenen Böden von Tokariowka (Podolien) und Baimaklia (Bessarabien) hat FLOROV in seiner mehrfach erwähnten Arbeit bodenkundlich und klimatisch gedeutet. Da die dort festgestellten Lösshorizonte den in unserem Untersuchungsgebiet vorkommenden völlig entsprechen, muß hier auf die von den unsern abweichenden Ergebnisse des russischen Forschers eingegangen werden. Sie werden in der folgenden Übersicht, die mit belanglosen textlichen Änderungen übernommen ist, dargestellt:

Boden	Bodenbildender Prozeß	Entwicklung des Eisschildes	Pflanzen- decke	Klima
Löß	Aufwehung des Lösses (unter dem Einfluß der Föhne, die von der Oberfläche des sich zurückziehenden Eises ausgingen).	Weiterer Rückzug des Eises	Halbwüste	mäßig warm, trocken
Schwarzerde	Regenerierung der Schwarzerde unter dem Einfluß eines trocken-n Klimas u. der Wiederherstellung der Steppenlandschaften	Allmählicher Rückzug des Eises	typische Steppe	mäßig warm, trocken
Degradierungserscheinungen der Schwarzerde	Wahrscheinlich schwächere Degradierung der Schwarzerde	Vorrücken des Eises und Stillstandsphase	Waldsteppe	mäßig, kalt, reichliche Schneeniederschläge
	Degradierung der Schwarzerde unter der Wirkung der eingedrungnen Wälder bis zum Stadium des grauen podsolieren Lehms	Interglazialphase	Waldsteppe	mäßig warm, feucht
Schwarzerde	Aufhören der Föhne und der Lößbildung. Entwicklung eines schwarzerdartigen Bodens	Vollendung der vorhergehenden Phase und Verschwinden des Eises	trockene Steppe	mäßig warm, trocken
Löß	Aufwehen des Lösses (unter dem Einfluß der Föhne, die von der Oberfläche des sich zurückziehenden Eises ausgingen)	Allmählicher Rückzug des Eises	Halbwüste	mäßig warm, trocken

FLOROV geht von der heute völlig aufgegebenen Anschauung aus, der Löß sei während des Rückzuges des Eises unter einem mäßig warmen und trockenen Klima abgelagert worden. Dies führt zu einer Kette von Schwierigkeiten, Widersprüchen und weiteren Irrtümern. Insbesondere wird es FLOROV beinahe unmöglich, in seinem Schema den Hochstand einer Eiszeit unterzubringen. Der stationäre Zustand des Gletschers wird einer mäßig kalten Phase mit reichlichen Schneeniederschlägen zugeschrieben, in der im periglazialen Gebiet der Ukraine die gleiche Waldsteppe gestanden haben soll wie in der unmittelbar vorausgegangenen Interglazialphase. Demgemäß soll (bei Tokariowka) auch während der Eiszeit und des Interglazials der gleiche bodenbildende Prozeß vor sich gegangen sein: die Degradation der Schwarzerde. Die Bildung des Lößes und der Schwarzerde wären dagegen beide unter einem mäßig warmen und trockenen Klima erfolgt, wobei während der Bildung der Schwarzerde nur die Föhne zu wehen aufgehört hätten.

Bei der von FLOROV vorgenommenen Deutung eines zweiten Lößprofils mit begrabenen Böden, dem von Baimaklia in Südbessarabien, wachsen die Schwierigkeiten. Hier sind dem Löß nur aus Schwarzerde bestehende Böden eingelagert. Merkmale von Degradierung (braune Horizonte) fehlen hier völlig, d. h. Wald hat hier nie gestanden. Folgendes sind nach FLOROV die Phasen der Bodenbildung:

Phase der Lößbildung	Halbwüste
Phase der Schwarzerdbildung	a) trockene Steppe b) typische Steppe
Phase der Lößbildung	Halbwüste

Versucht man, was FLOROV allerdings nicht tut, diese Bodenbildungsphasen mit der Entwicklung des nordischen Eisschildes, wie sie von FLOROV gesehen wird, in Zusammenhang zu bringen, so kommt man zu dem Schluß, daß die Phase der Schwarzerdebildung dem endgültigen Rückgang und Verschwinden des Eises (also der interglazialen Phase), dann seinem Vorrücken und stationären Zustand, also der hocheiszeitlichen Phase und schließlich wieder dem beginnenden Rückzug des Eises entspricht, während die beiden Phasen des weiteren Eisrückganges von Lößbildungen begleitet waren. Klimaphasen völlig entgegengesetzter Art — Eiszeit und Zwischeneiszeit — hätten also keine Änderung der Bodenbildung bewirkt, während Klimaabschnitte sehr ähnlicher Art — beginnender und fortgesetzter Rückzug des Eises — die Bildung der doch sehr verschiedenen Bodenarten Löß und Schwarzerde zur Folge gehabt hätten. Wir sehen: FLOROVs Annahme bereitet der klimatischen Erklärung der südrussischen Böden unlösbare Schwierigkeiten. Sieht man jedoch im Löß die Bildung eines eiszeitlichen, trockenen und kalten Klimas, so erhält die Schwarzerde ihren Platz in den wärmeren

und niederschlagsreicheren Interglazial- und Interstadialzeiten. Ob es dabei zur Ausbildung rotbrauner Bodenhorizonte kommen konnte, hing nur davon ab, ob während einer solchen Zeit das Klima immer streng kontinental oder zeitweise mehr ozeanisch war.

PELISEK hat in seinen Arbeiten über die im Löß Mährens begrabenen Böden die Grundanschauungen FLOROVS über das Klima der Lößbildungszeit übernommen und den mährischen Befunden mit ganz belanglosen Änderungen angepaßt. Auf diese einzugehen ist heute nicht mehr notwendig, nachdem mir Herr Dr. PELISEK mitgeteilt hat, daß er diese Anschauungen inzwischen aufgegeben habe.

Die morphologische Übereinstimmung des fossilen Bodens im Lößaufschluß von Tokariowka (Gouv. Podolien) mit dem podsolierten Lehm der jetzigen Waldsteppe kann deswegen nicht als Beweis gelten, weil sie, wie im nächsten Abschnitt gezeigt wird, auch mit den mitteleuropäischen Braunerden besteht. Wenn FLOROV weiterhin das Vorhandensein von Maulwurfgängen und Tierhöhlen von Steppentieren im gelbbraunen begrabenen Horizont des unteren begrabenen Bodens anführt, so ist dem entgegenzuhalten, daß diese Spuren ehemaligen Tierlebens ebensogut auch aus der Zeit der Bildung der regradierten Schwarzerde angehören können. Es ist sogar recht unwahrscheinlich, daß sie der von FLOROV angenommenen ersten Schwarzerdebildungszeit zuzuschreiben sind, weil die ihr folgende Waldbedeckung und die mit ihr zusammenhängenden starken Veränderungen des Bodens ihrer Erhaltung sehr ungünstig waren.

Gegen FLOROVS Auffassung sprechen ferner folgende Erwägungen und Beobachtungen:

Wäre der Ablagerung des Lösses unmittelbar die Ausbildung eines Schwarzerdehorizontes gefolgt, so müßte dieser in dem einen oder anderen der zahlreichen Aufschlüsse mannigfacher Art unterhalb des rotbraunen Horizontes seine Spuren hinterlassen haben. Insbesondere müßten solche in Aufschlüssen sichtbar sein, die in der Nähe von Talsohlen oder Senken liegen. Hier wird, was an vielen Stellen nachweisbar ist, teilweise unter dem Einfluß größerer Bodenfeuchtigkeit, noch mehr aber infolge der Ablagerung oben abgeschwemmter Massen, nicht nur die rezente, sondern auch die fossile Schwarzerde besonders mächtig. Es dürfte darum damit gerechnet werden, daß wenigstens ihre tiefsten Teile von der unter dem vorgedrungenen Wald erfolgten Podsolierung (Verbraunung) verschont geblieben wären. Doch hat sich in keinem der mir aus dem Schrifttum oder aus eigener Anschauung bekannten Aufschlüsse ein dunkler humoser Horizont unter der Göttweiger Verlehmungszone nachweisen lassen.

Einen zweiten Beweis stellt das Fehlen humoser Einläufe dar, die älter sind als der rotbraune Horizont. Wo sie beobachtet worden sind, reichen sie

bis zu 1 m lang durch diesen hindurch, stellenweise bis in den liegenden Löß. Nirgends aber konnten Humuszungen festgestellt werden, die oben von der Göttweiger Verlehmungszone abgeschnitten, also älter wären als diese.

FLOROV und PELISEK haben in der begrabenen Schwarzerde Südrußlands und Mährens einen gewissen Kalkgehalt entweder in fein verteilter Form oder als Ausblühungen (Pseudomycel) oder Kalkröhrchen und einzelnen Konkretionen festgestellt, und ich kann diese Beobachtungen aus Aufschlüssen von anderen Orten bestätigen (z. B. Unterwisternitz).

Da sich die Entstehung des rotbraunen Horizontes nur unter nahezu vollständiger Abfuhr des ursprünglichen Kalkgehaltes denken läßt, der in dem tiefer liegenden Illuvialhorizont angereichert ist, muß der im rotbraunen Lehm und in der Schwarzerde vorhandene Kalkgehalt eine Neubildung darstellen. Er wird, wie das FLOROV und PELISEK annehmen, in der Mehrzahl der Fälle aus den tieferen Schichten, dem Löß mit seinem Kalkilluvium stammen, und unter der Einwirkung starker Verdunstung während der Zeit der Schwarzerdebildung nach oben gewandert sein. Vor allem spricht dafür die eigenartige Ausbildung des Illuvialhorizontes, der fast immer aus weichen kreidigen Massen oder leicht zerbrechlichen und zerreibbaren Konkretionen besteht. In den westdeutschen Lößgebieten besteht das Kalkilluvium unter den Verlehmungshorizonten aus steinharten Lößkindeln, die, durch Verkittung des Lößstaubes entstanden, typische Lößfarbe haben. Kalkanreicherungen der östlichen Art habe ich hier nirgends beobachtet. Die in diesen gelegentlich auftretenden verhärteten Kerne weisen darauf hin, daß auch hier das Karbonatilluvium ursprünglich ebenfalls aus typischen Lößkonkretionen bestanden hat, diese aber während der Zeit der Schwarzerdebildung wieder angegriffen und teilweise aufgelöst worden sind. Das kontinentale Steppenklima mit seiner im Spätsommer starken Verdunstung verursacht eine weit lebhaftere Bewegung des Bodenwassers als das atlantische Klima Westdeutschlands, unter dem — bis heute nachweisbar — während des ganzen Quartärs keine Schwarzerdebildung erfolgt ist.

An den Stellen, an denen über der Hollabrunner Humuszone nochmals ein brauner oder rotbrauner Lehm abgelagert ist, wie z. B. in Wischau und Prag-Selz, können die in der Schwarzerde steckenden Konkretionen auch mit diesem zweiten Verlehmungsvorgang zusammenhängen, das heißt ihr Kalk kann von oben zugeführt sein.

Die für die Interstadiale ermittelte Vegetationsfolge von der eiszeitlichen Tundra über den Wald zur Steppe und wieder zurück zur Tundra entspricht der räumlichen Aufeinanderfolge der Vegetationsgürtel vom nordischen Eis nach Süden hin. In Osteuropa und Sibirien schließt sich an den Eisschild die Tundra, dann der Waldgürtel und die Steppe an. Diese ganze Vegetationsfolge war während der Eiszeiten nach Süden verlagert, so daß da, wo heute der Wald oder die Steppe den Boden bedecken, damals die Tundra herrschte.

Bei einem die Interstadialzeit einleitenden Rückzug des Eises trat an ihre Stelle zunächst der Wald, der den Lößboden in rotbraunen Lehm verwandelte, beim weiteren Rückzug des Eises dann die Steppe, die Schwarzerde erzeugte. Rückte das Eis wieder vor, so folgte abermals Waldbedeckung und schließlich Tundra mit Lößaufwehung.

Die Einwirkung des Klimas und des Pflanzenkleides auf das jeweilige Muttergestein waren im Würm-II/Würm-III-Interstadial erheblich geringer als im früheren Interstadial, was nicht nur an der geringeren Mächtigkeit der Bodenhorizonte sichtbar ist, sondern auch an ihrer weniger scharfen Ausprägung. Diese Erscheinung steht mit dem auf geologischem Weg ermittelten geringeren Rückzug des Eises ebensogut in Einklang wie mit der auf astronomischem Weg festgestellten geringeren Vermehrung der Strahlungsintensität.

Ein weiterer wichtiger Befund ist der, daß bei beiden Interstadialen die bodenbildenden Vorgänge, die dem Beginn eines neuerlichen Eisvorstoßes entsprechen, also die über dem Schwarzerdehorizont liegenden Verlehmungszonen, weit weniger deutlich ausgeprägt sind als die unteren. Er kann mit der weit geringeren Dauer dieser Vorstoßphasen gegenüber den Rückzugsphasen, die zur Bildung der unteren rotbraunen Laimenzonen geführt haben, erklärt werden. Nach SOERGEL beansprucht die Vorstoßphase dieser Abschnitte der Würmeiszeit jeweils nur etwa den dritten Teil der Rückzugsphase (Vorstoßphase von Würm II: 11 000 Jahre, Abschmelzperiode: 32 000 Jahre, Vorstoßphase von Würm III: 10 000 Jahre, Rückzugsphase: 36 500 Jahre).

Der Einbruch einer stark ausgeprägten Kälteperiode inmitten des Würm I/Würm-II-Interstadials findet seine Erklärung in einer erheblichen und scharf ausgeprägten Strahlungsminderung, die von Milankowitch errechnet worden ist. Auch die SOERGELSche Vereisungskurve zeigt für diese Zeit einen gewissen Eisvorstoß, der aber vielleicht, den damals zur Verfügung stehenden geologischen und botanischen Hinweisen entsprechend, etwas zu geringfügig ausgefallen ist.

Im jüngeren Löß finden sich begrabene Böden mit Schwarzerdehorizonten nur im östlichen Teil Mitteleuropas und in Osteuropa. Aus den Arbeiten FLOROVs wissen wir, daß in der südlichen Ukraine rotbraune Laimenzonen überhaupt fehlen, die Schwarzerdebildung also den einzigen Ausdruck eines interstadialen Klimas darstellt, während in der westlichen Ukraine die gleiche Bodenausbildung stattgefunden hat wie in Mähren. Bereits in Niederösterreich fehlen die Schwarzerdehorizonte stellenweise ganz oder sie sind weniger gut ausgeprägt als in Mähren. In den Lößgebieten am Oberrhein und Neckar konnten begrabene Schwarzerden der gleichen Interstadiale bis jetzt noch nicht gefunden werden. Was als solche angesprochen worden ist, waren humose Horizonte, die höchstens als Vorstufen der Schwarzerdebildung gelten können. Im allgemeinen sind hier die begrabenen Böden lediglich

rotbraune oder braune Laimenzonen, die oben und unten meist ohne scharfe Grenzen in den Löß übergehen. Häufig sind hier gut ausgebildete begrabene Böden überhaupt nicht. Meist haben sich die Interstadialzeiten nur als Perioden verstärkter Abtragung ausgewirkt, denen die etwa schon gebildeten Böden zum Opfer gefallen sind.

Insbesondere ist das Würm-I/Würm-II-Interstadial in den lößbedeckten Hügeln und Berglandschaften (etwa des Kaiserstuhls und der Schwarzwaldvorberge) meist als sog. Rekurrenzzone ausgebildet. Diese besteht aus geschichteten Ablagerungen mehr oder weniger groben Sandes und schlecht gerundeter Gerölle aus dem vorquartären Untergrund und aus zerbrochenen und teilweise abgerollten Lößkindeln. Es hat also hier vielfach eine kräftige Abtragung, in den tieferen Teilen die entsprechende Sedimentation stattgefunden. Daß dabei häufig auch Bodenhorizonte zerstört worden sind, ist selbstverständlich. Wir gehen wohl kaum fehl, wenn wir diese im Westen kräftigen und häufigen Wirkungen mit dem hier viel mehr atlantisch gearteten Klima in Zusammenhang bringen. Der während des ganzen Jahres reichlichere Regenfall hat diese Vorgänge begünstigt, auch in den Gebieten, die wegen der geringen Neigung der Oberfläche die Ausbildung von Bodenhorizonten leichter ermöglicht hätten. Solche Umlagerungen waren auch der Oxydation, d. h. Zerstörung humoser Bodenbestandteile förderlich, so daß die rein rötlichen oder rötlich-braunen Böden überwiegen.

Das Klima der Gegenwart hat im Rhein- und Neckargebiet infolge seines ausgesprochen atlantischen Charakters nur zur Ausbildung braunerdeartiger Böden, nicht aber zu Schwarzerdebildung geführt. Diese beginnt erst in Niederösterreich an besonders günstigen Stellen, wird dann in den niederen Teilen Mährens häufiger und schließlich in Südrußland beherrschend.

Den rezenten Böden dieses Gebietes entsprechen die im jüngeren Löß begrabenen Böden so weitgehend, daß wir nicht nur auf die gleiche Abstufung des Klimas vom atlantischen zum kontinentalen, sondern auch auf ein im Ganzen dem heutigen sehr ähnlichen Klima in beiden Interstadialen schließen dürfen.

Auch das Klima der Eiszeiten war im Westen etwas mehr atlantisch getönt als im Osten. Dies geht z. B. aus der großen Schneckenarmut der östlichen Löße hervor, wo in Böhmen, Mähren und Niederösterreich die Aufschlüsse, in denen der Löß schneckenfrei ist, weit häufiger sind als im Westen. Die größere Kälte des östlichen Eiszeitwinters und die größere Trockenheit des Sommers waren der Entfaltung eines reichen Molluskenlebens ungünstig. Auch der Artenbestand bekundet das gleiche. Kontinentale Arten, wie *Vallonia tenuilabris* und *Helicella striata* var. *nilssoniana* sind im Rheintal-löß selten, treten bereits im Neckarland häufiger auf und finden sich in den östlichen Lössen regelmäßig und in großer Menge. Im Rahmen seiner Untersuchungen über die eiszeitliche Temperaturminderung in Mitteleuropa kam

SOERGEL auch zu dem Ergebnis, daß im westlichen Teil Mitteleuropas der Unterschied zwischen der eiszeitlichen Sommer- und Wintertemperatur geringer war als in den östlichen Gebieten.

Dieser Klimaunterschied würde zugleich die auffallende Tatsache erklären können, daß die westlichen Löße auch in unverlehmtem Zustand weit weniger verfestigt sind als die östlichen. Hier ist der Löß ausgetrockneter Wände oft so hart, daß er sich nur mit dem Pickel in kleinen Stücken los schlagen läßt, während er im Westen leicht abgerieben oder abgestochen werden kann⁶. Offenbar hat im Osten das mehr kontinentale Klima mit seinem scharfen Wechsel von Zeiten, die die Verdunstung fördern und hemmen, eine lebhaftere Bewegung der Bodenfeuchtigkeit und damit eine stärkere Diagenese und Verkittung des Lößstaubes hervorgerufen.

V. Die zeitliche Einweisung der paläolithischen Lößfunde des Untersuchungsgebietes

Fast bei allen paläolithischen Lößfunden des Untersuchungsgebietes ist versucht worden, das Alter geologisch zu bestimmen. In einer Zeit, in der J. BAYERS verfehlte Anschauungen über das Alter der verschiedenen Löße und ihre Beziehungen zum eiszeitlichen Klimaablauf noch für zutreffend oder möglich gehalten wurden, und vor allem die Unterteilung des jüngeren Lößes in drei Stufen noch nicht erkannt war, konnten jene Versuche naturgemäß nur ungenügende Ergebnisse erzielen.

Paläolithische Lößfunde lassen sich dem stratigraphischen Rahmen nur dann einordnen, wenn sie selbst in einer datierbaren Schicht liegen oder eine einwandfreie Beziehung zu einer solchen gefunden werden kann. Dies ist in mehr oder weniger vollständigen Profilen möglich. Allzu häufig haben jedoch Abtragungsvorgänge ältere oder jüngere Schichten beseitigt oder Umlagerungen den Gang der rein klimatisch bedingten Sedimentation und Bodenbildung verschleiert.

Bei den vor längerer Zeit ausgegrabenen Fundstellen ist die geologisch-bodenkundliche Untersuchung der Schichten im allgemeinen nicht mit der Gründlichkeit vorgenommen worden, die heute als notwendig erkannt worden ist. Ein Vorwurf kann und darf der früheren Forschung daraus keineswegs gemacht werden.

Von den Lößstationen der Untersuchungsgebiete lassen auf Grund der im Schrifttum gemachten Angaben die folgenden eine einigermaßen gesicherte Eingliederung zu:

W i l l e n d o r f : Auf einer würmeiszeitlichen Schotterterrasse liegt Löß, darüber Bildungen des Würm-I/Würm-II-Interstadials, bestehend aus einer unteren Laimenzone und darüber mächtigem Schwemmlchm und unreinem Löß (BAYER 1927). Von den neun unterschiedenen Kulturschichten, nach

⁶ Im Osten sind darum auf den Lößwänden Inschriften, Symbole und realistische Darstellungen hauptsächlich erotischen, aber auch politischen und sonstigen Inhalts sehr viel seltener als in den westlichen Lößgebieten. Was im Westen spielerischer Zeitvertreib ist, wird im Osten mühsame Arbeit.

BAYER des mittleren und oberen Aurignaciens, liegen die vier untersten im Schwemmelhm und unreinen Löß, die übrigen im Löß. Die bedeutende Mächtigkeit der interstadialen Schichten ist von BAYER zutreffend mit der Lage am steilen Hang erklärt worden. Das wärmere Klima des Interstadials wird durch das Auftreten von *Helix pommatia* L. an der Basis der Schwemmelhmschichten bestätigt; allerdings wird die Wirbeltierfauna aller neun Schichten als kälteliebend bezeichnet.

Erkennbar wird aus diesen dürftigen Angaben, daß das Aurignacien von Willendorf etwa von der zweiten Hälfte des Würm-I/Würm-II-Interstadials an bis in den Würm-II-Löß hineinreicht. Wie weit sein Ende vom Würm-II/Würm-III-Interstadial entfernt ist, läßt sich nicht feststellen.

Stein bei Mautern: Nach BAYER liegt Aurignacien im Löß über einem rotbraunen zähen Verwitterungslehm, der das Tertiär unmittelbar überlagert und nach GÖTZINGER (1936) vielleicht der Göttweiger Verlehmungszone entspricht.

Krems, *Hundssteig*: Das Aurignacien liegt in 8 m Tiefe des bis zu 10 m mächtigen Lößes, nicht hoch über der Göttweiger Verlehmungszone.

Krems, *Hohlweg oberhalb des Hundssteigs*: Die jüngere Stufe des Aurignaciens, das Aggsbachien BAYERS, liegt in den höheren Teilen des gleichen Lösses.

Die Angaben über die jungpaläolithischen Funde von Gobelnsdorf, vom Kamptal, Kotzersdorf, Groß-Weikersdorf und Ruppertsdorf lassen sich wegen ihrer Ungenauigkeit nicht auswerten.

Unterwisternitz: In der Lehmgrube ist die Kulturschicht die obere, dem Würm-II/Würm-III-Interstadial angehörende Laimenzone. Bei den Grabungen von ABSOLON und BOHMERS östlich des Dorfes und der Lehmgrube sind keine derartigen vollständigen Lößprofile erschlossen worden. Doch hat auch hier im Anschluß an die 1942 vorgenommene Grabung vom Verfasser festgestellt werden können, daß die Kulturschicht in einem Löß liegt, der durch seinen Korngrößenaufbau und Kalkgehalt eine stärkere Verlehmung erkennen läßt als der darüber und darunter liegende Löß. Unter der Kalkschicht ist bei den Grabungen ABSOLONS entweder eine Schicht von Gehängeschutt aus wenig abgerollten Jurakalkstücken oder von tertiärem Ton aufgeschlossen worden. Vor der Entstehung der Kulturschicht haben hier also Abtragungsvorgänge großen Ausmaßes stattgefunden. Aus diesen Profilen allein kann die Eingliederung der Kultur nicht erschlossen werden. Sie gewinnen aber Bedeutung im Zusammenhang mit dem vollständigen Profil der Lehmgrube von Unterwisternitz, und es steht nichts im Wege, die hier erschlossene Spätaurignacienkultur ebenfalls dem Würm-II/Würm-III-Interstadial zuzuordnen.

ZAPLETAL hat die Kulturschicht der Lehmgrube von Unterwisternitz seinem jüngeren Löß II eingeordnet, in dem er eine Humusschicht verzeichnet. Daß diese die Aurignacienkultur enthält, kann aus seiner Tabelle nicht entnommen werden. In der geologischen Deutung des Profils besteht mit

unserer Auffassung völlige Übereinstimmung, wenn man den jüngeren Löß II in unsere Stufen Löß II und Löß III trennt.

Im Herbst 1936 hat Zorz in der Lehmgrube von Unterwisternitz nach freundlicher brieflicher Mitteilung die auf S. 128 wiedergegebene Schichtenfolge notiert, die sich fast völlig mit unserem Profil deckt. Der einzige Unterschied besteht darin, daß damals über der unteren rotbraunen Verlehmungszone nur eine einzige Lage begrabener Schwarzerde angeschnitten war; dies stimmt durchaus mit unserer Auffassung überein, nach der die Dreiteilung des Schwarzerdehorizonts mit Umlagerungsvorgängen am Abhang zu erklären ist. Wichtig ist, daß Zorz zwischen dieser unteren Verlehmung und dem Schwarzerdehorizont eine durch Holzkohlenstreifen gekennzeichnete Kulturschicht von wechselnder Mächtigkeit beobachtet hat, der er einen mit weißer Patina versehenen, leider untypischen Feuersteinspan entnehmen konnte⁷. Es muß also damit gerechnet werden, daß im Gelände von Unterwisternitz auch ein älteres Aurignacien vorkommt, das vielleicht bereits durch Funde vertreten ist, ohne daß sein Alter bisher stratigraphisch gesichert werden konnte.

Über P r e d m o s t, die berühmteste altsteinzeitliche Lößstation Mährens, kann hier noch nicht berichtet werden. Auf Grund neuer Grabungen wird der Verfasser versuchen, die stratigraphischen Verhältnisse zu klären. Diese Arbeit ist noch nicht abgeschlossen.

In der folgenden Tabelle ist die Einweisung der besprochenen Lößstationen übersichtlich dargestellt.

	<i>Willendorf</i> Mittl. u. ob. Aurignacien	<i>Stein bei</i> <i>Mautern</i> Aurignacien	<i>Krems</i> <i>Hundssteig</i> Aurignacien	<i>Krems</i> <i>Hohlweg</i> Aggsbächen	<i>Unter-</i> <i>wisternitz</i> Aurignacien
Postglazialzeit					
Würm III-Eiszeit					
Würm II/III-Interstadial					
Würm II-Eiszeit					
Würm I/II-Interstadial					
Würm I-Eiszeit					
Riß-Würm-Interglazial					

⁷ Um Mißverständnissen vorzubeugen sei hier festgestellt, daß die obere Kulturschicht, die rötliche, dem oberen Löß eingelagerte holzkohlenreiche Verlehmungszone, damals unzugänglich war.

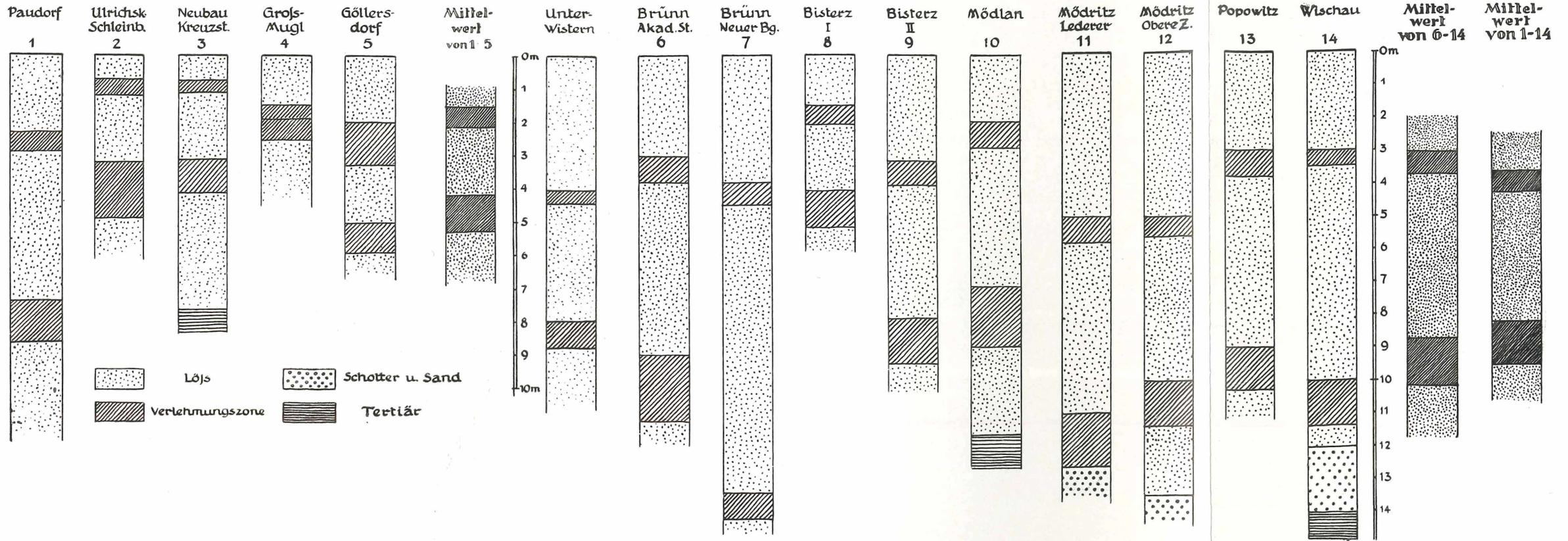
Daraus wird ersichtlich, daß das Freilandaurignacien von Niederösterreich und Mähren den von der zweiten Hälfte des Würm-I/Würm-II-Interstadials bis zum Ende des Würm-II/Würm-III-Interstadials reichenden Zeitraum umfaßt.

Da die jungpaläolithischen Freilandfunde aus dem europäischen Teil Rußlands enge Kulturbeziehungen zu den Aurignacienfunden des Untersuchungsgebietes erkennen lassen, möge hier noch kurz auf ihre stratigraphische Einweisung eingegangen werden. Ich folge dabei der ausführlichen Darstellung HANCARS (1942).

Die russischen Quartärgeologen, vor allem KROKOS und ZIRMUNSKIJ, gliedern den letzten Abschnitt des Quartärs anders als die mitteleuropäischen Geologen. KROKOS teilt die Würm-Eiszeit in die beiden Stufen Würm 1 und Würm 2, ZIRMUNSKIJ in Würm I, Würm II und Neowürm-Eiszeit. Das Würm I und Würm II (ZIRMUNSKIJ) umfassen unsere Würm-I- und Würm-II-Eiszeit mit dem eingeschalteten Würm-I/Würm-II-Interstadial, das Neowürm die übrige Würm-Eiszeit mit den Bühl-, Gschnitz- und Daun-Rückzugsstadien. Nach HANCAR gehört die sog. K o s t j e n k i - I - S t u f e (Funde von Kostjenki I, Borsevo I, Berdyz, Gagarino, Puskari, Dubovaja-Balka, Jurovici und Dovginici) der Würm-II-Eiszeit an, die der M e z i n - S t u f e (Mezin, Novgorod, Seversund und Culatov I) ganz dem Ende des Würm-II/Würm-III-Interstadials und dem Beginn des Würm-III-Vorstoßes an. Jünger ist die K o s t j e n k i - I V - S t u f e (Karacarovo, Kostjenki II, III und IV, Cusovaja und Suponevo), noch jünger die dem Beginn des Bühl-Stadiums zuzuweisende T i m o n o v k a - S t u f e (Timonovka, Honcy, Borsevo II [untere und mittlere Schicht], Kijew, Kirillovskaja ulica [untere Schicht] und Suckino). Die letzte, die B o r s e v o - I I - S t u f e, mit der das Jungpalaolithikum des osteuropäischen Flachlandes ausklingt, gehört dem Gschnitz- oder Daunstadium an.

Die älteren Stufen (Kostjenki I und Mezin) zeigen deutliche typologische Beziehungen zu den Fundstellen Ostmitteleuropas, vor allem zu Willendorf, Krems-Hundssteig, Unterwisternitz, in denen man eine Bestätigung der stratigraphischen Ergebnisse sehen darf. Für die jüngeren Stufen des osteuropäischen Paläolithikums scheinen in unserem Gebiet noch keine Entsprechungen gefunden zu sein.

VI. Übersichtliche Darstellung einiger Lößprofile



VII. *Schlußbemerkungen*

Die Lößprofile mit ihrem Wechsel von Löß und Verwitterungshorizonten waren schon früher durch Geologen und Bodenkundler untersucht worden. Da der Verfasser Gelegenheit hatte, die bekannten Lößaufschlüsse von Niederösterreich, Mähren und Böhmen zu besuchen, konnte er die bisherigen Ergebnisse durch eigene Beobachtungen ergänzen und so die Einzelerkenntnisse zu einem Gesamtbild des Ablaufs der Entstehungsbedingungen der Schichtenfolge im jüngeren Löß für das Untersuchungsgebiet zusammenfügen. Zunächst wurden die geologischen, chemischen und physikalischen Vorgänge analysiert; dadurch klärten sich die Unterschiede und Gleichheiten in den einzelnen Profilen und ermöglichten die Trennung großklimatischer und lokaler Einflüsse. Die sich daraus ergebende klimatisch-bodenkundliche Deutung der Verwitterungshorizonte des jüngeren Lößes klärten deren zeitliche Einweisung und damit die Parallelisierung mit der Vereisungskurve SOERGELS und der Strahlungskurve von MILANKOWITCH. Es können nun auch kleinere Aufschlüsse, in denen nur ein Teil des Gesamtprofils sichtbar ist, chronologisch eingereiht werden, vor allem auch die in ihnen gefundenen paläolithischen Kulturreste.

Literatur

- ABSOLON, K., ZAPLETAL, K., SKUTIL, J. und STEHLIK, A.: Bericht der tschechoslowakischen Subkommission der „The international Commission for the Study of the fossil Man“. Brünn 1933.
- BLANCK, E.: Handbuch der Bodenlehre. Bd. 1, 1929, Bd. 3, 1930.
- BAYER, J.: Der Mensch im Eiszeitalter. Leipzig und Wien 1927.
- BRÜCKNER in PENCK-BRÜCKNER: Die Alpen im Eiszeitalter. 1909.
- DEEKE, W.: Kritische Studien zu Glazialfragen Deutschlands. Zeitschr. f. Gletscherkunde, 11, 1918—1920.
- FIRBAS, F. und GRAHMANN, R.: Über jungdiluviale und alluviale Torflager in der Grube Marga bei Senftenberg (Niederlausitz). Abh. d. Math.-phys. Kl. d. Sächs. Akad. d. Wissenschaften, Nr. 4, 1928.
- FLOROV, N.: Die Untersuchung der fossilen Böden als Methode zur Erforschung der klimatischen Phasen der Eiszeit. Die Eiszeit, 4, 1927.
- Über Lößprofile in den Steppen am Schwarzen Meer. Zs. f. Gletscherkunde, XV, Leipzig 1927.
- GANSSEN, R.: Die Entstehung und Herkunft des Löß. Mitt. aus den Laboratorien der Preuß. Geol. Landesanstalt. H. 4, 1922.
- GLINKA, K.: Die Typen der Bodenbildung. 1914.
- GÖTZINGER, G.: Zur Gliederung des Lösses. Laimen- und Humuszonen im Viertel unter dem Manhartsberge. Verh. Geol. Bundesanstalt 1935.
- Das Lößgebiet um Göttweig und Krems an der Donau. Führer für die Quartär-exkursionen in Österreich, I, 1936.
- und VETTERS, H.: Exkursionen in das Lößgebiet des niederösterreichischen Weinviertels und angrenzenden Waldviertels. Führer f. d. Quartärexkurs. in Österreich, I, 1936.
- HANCAR, F.: Probleme der jüngeren Altsteinzeit Osteuropas. Quartär, 4, 1942.
- KRAUSE, P. G. und UTESCHER, K.: Über ein neues „Schwarzerde“-Vorkommen in Ostpreußen und die Kennzeichen von Schwarzerde und Moorerde. Jahrb. der Preuß. Geol. Landesanstalt, 55, 1934.
- KROKOS, W. I.: Vorschriften zur Beforschung der quartären Ablagerungen der Ukraine. Die Quartärperiode, 3, Kiew 1932.
- KÜMEL, F.: Der Löß des Laaerberges in Wien. Führer f. d. Quartär-Exk. in Österreich, I, 1936.

- MEINARDUS, W.: Arktische Böden. In BLANCK: Handbuch der Bodenlehre, III, 1930.
- MILANKOVITCH, M.: Astronomische Mittel zur Erforschung der erdgeschichtlichen Klimate. Handb. d. Geophysik IX, 3, 1938.
- Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitproblem. Belgrad 1941.
- PELISEK, J.: Príspevek ke studiu diluvianich pud ve stredomoravskych sprasich. (Ein Beitrag zum Studium der Diluvialböden in mährischen Lössen.) Prace Morevské Prirodovedecké Spolecnosti, XI, 1938.
- Foslini pudy ze stepni oblasti od Mohelna na Mchelna na Morave. (Ein Beitrag zur Kenntnis der Fossilböden von Mohelno in Mähren [CSR.]) Bodenkundl. Institut d. Landwirtsch. Hochschule in Brünn, ohne Jahrgang.
- Studie diluvianich pud (ve sprasich) a diluvialniho podnebi v oblasti svractekeho uvalu na Morave. (Studie über diluviale Böden [in Lössen] und diluviales Klima im Gebiet des Schwarzawa-Tales in Mähren.) Prace Moravské Prirod. Spolecn. XII, 1940.
- Pohrbené pudy ve sprasich od Bystrce u Brna. (Begrabene [diluviale] Böden in Lössen von Bisterz bei Brünn [Mähren].) Priroda, XXXIV, Brno 1941.
- Trhliny Suchem v pohrbenych cernozemich (diluvialnich) v oblasti Moravy. (Die Trockenrisse in begrabenen [diluvialen] Schwarzerden in Mähren.) Priroda, XXXIV, Brno 1941.
- Cernoseme s „krotovinami“ ve sprasich od Jinacovic u Brna. (Die Schwarzerde mit den Krotovinen in Lössen von Inatschowitz bei Brünn [Mähren].) Priroda XXXIV, 1941.
- Cernozeme pohrbené (diluvialni) ve prasich od Vyskova. (Begrabene diluviale Schwarzerden in Lössen von Vyskov, Mähren.) Bodenkundl. Institut d. Landwirtsch. Hochsch. in Brünn, ohne Jahrgang.
- SOERGEL, W.: Löss, Eiszeiten und Paläolithische Kulturen. Jena 1919.
- Die Vereisungskurve. 1937.
- Das diluviale System. 1939.
- Die als Pseudopariser bekannte Einlagerung im Travertinprofil von Ehringsdorf bei Weimar. Beitr. z. Geologie v. Thüringen, 5, 1940.
- Die eiszeitliche Temperaturminderung in Mitteleuropa. Jahresb. u. Mitt. d. Oberrh. geol. Vereins, 31, 1942.
- STEBUTT, A.: Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde. 1930.
- STREMMER, H.: Die Steppenschwarzerden, degradierte Böden. In BLANCK: Handbuch der Bodenlehre, III, 1930.

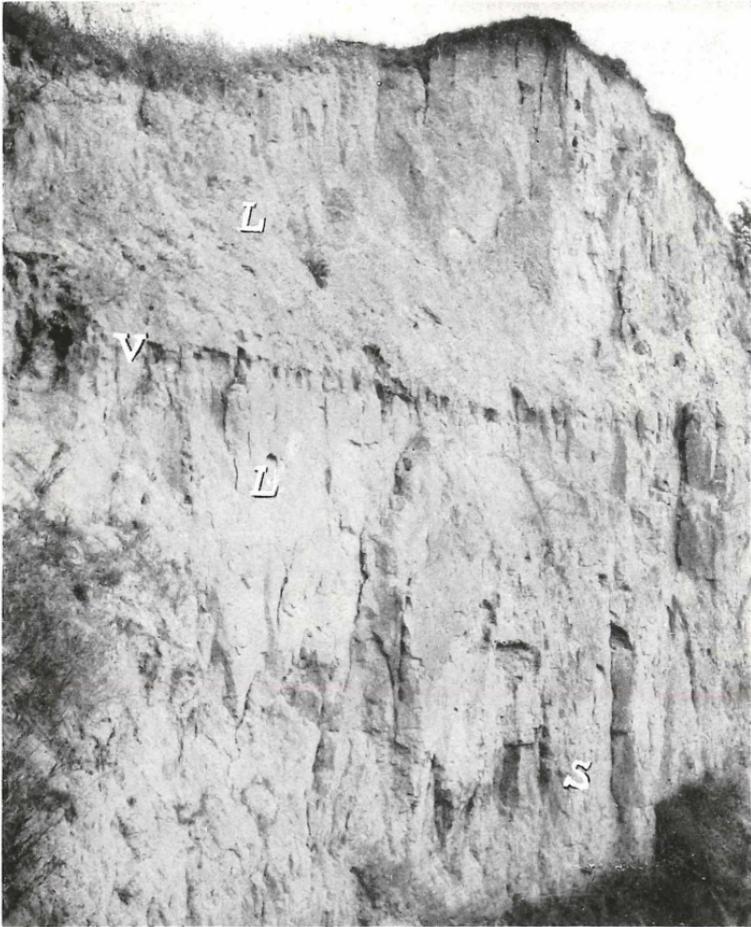
WIESENER, H.: Zur Frage der fossilen Verwitterungshorizonte im Löß Niederösterreichs. Zentralbl. f. Min. etc. 1933, Abtlg. B, 4.

ZAPLETAL, K.: Geologie des Predmoster Diluviums. Mitt. aus d. paläont. Abteilung am Mähr. Landesmuseum, Nr. 11, 1929



Tafel 1 : Unterwisternitz. Lößprofil mit seinen fossilen Böden.

L = Löß; S = Schwarzerde; V = Verlehmungszone.



Tafel 2: Unterwisternitz.
Prismatische Klüftung des Schwarzerdehorizontes.
L = Löß; S = Schwarzerde; V = Verlehmungzone.



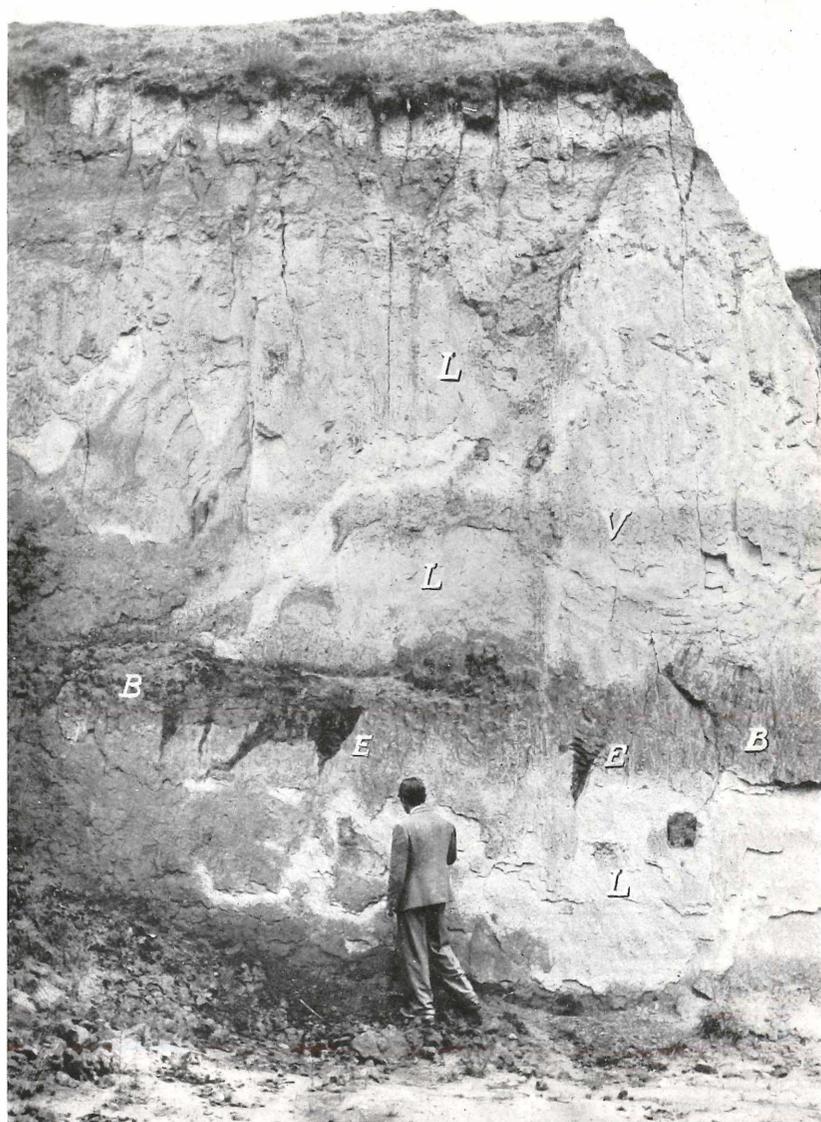
Tafel 3 : Unterwisternitz. Profilaufbau.

L = Löss; S = Schwarzerde; V = Verlehmungszone.



Tafel 4: Stillfried a. d. March. Durch Kalkkarbonat unmittelbar unter der Göttinger Verlehmungszone weißlich gefärbter Löß.

B = Braunerde; KI = Kalkilluvium; L = Löß; S = Schwarzerde.



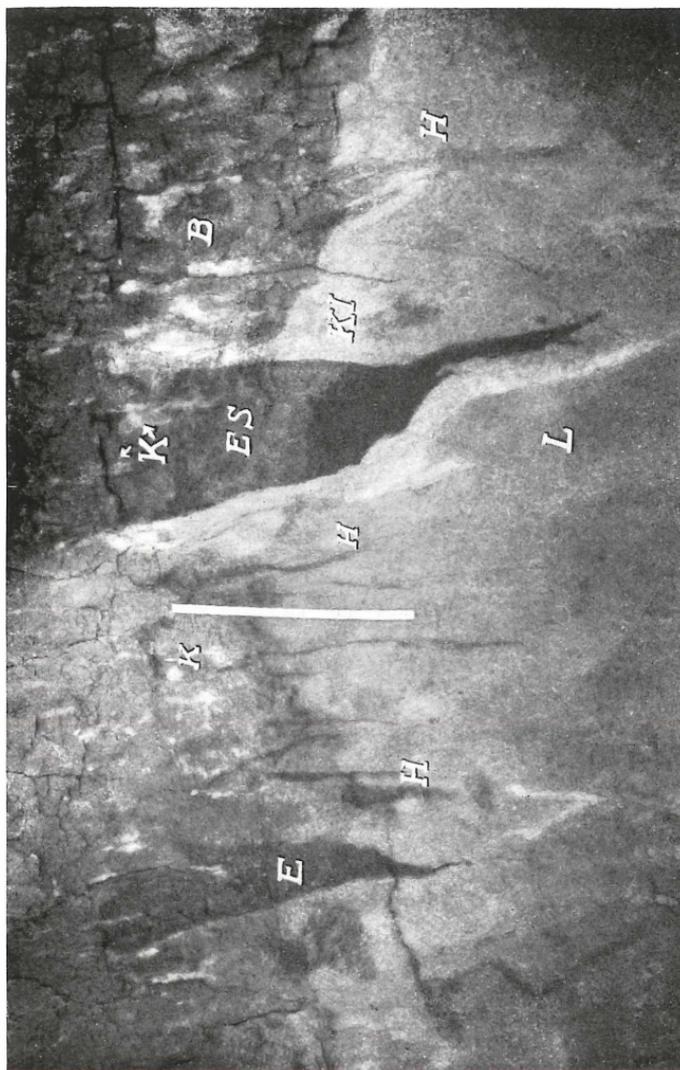
B = Braunerde; E = Eiskeil; L = Löss; V = Verlehmungzone.

Tafel 5 : Prag-Selz. Eiskeilspalten, mit Schwarzerde ausgefüllt.



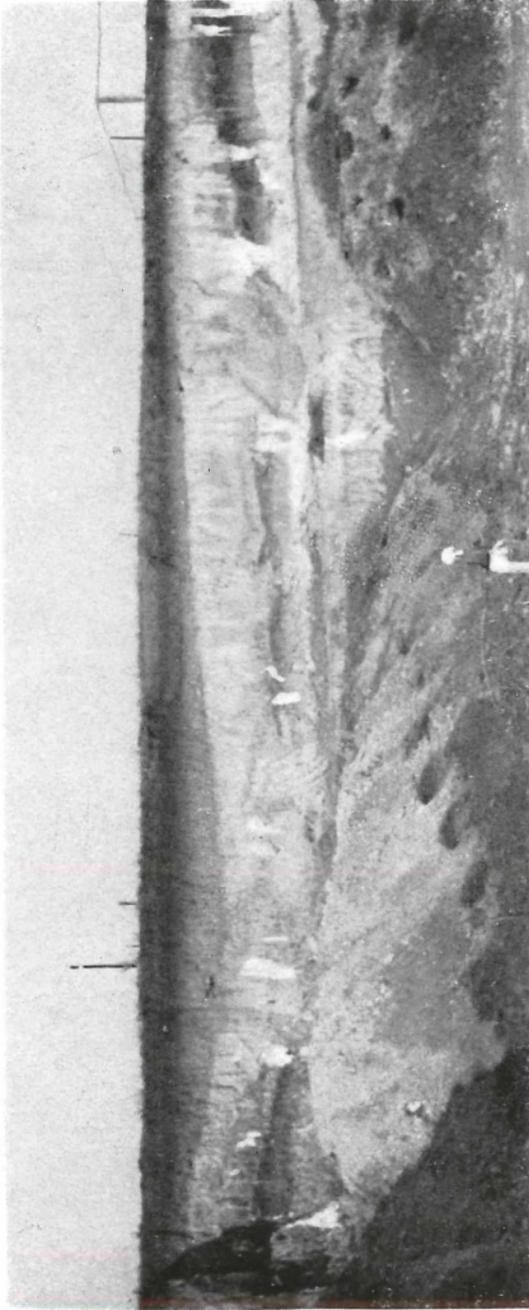
Tafel 6 : Prag-Selz. Mit Schwarzerde ausgefüllte Eiszeilspalten.

B = Braunerde; E = Eiszeil; KI = Kalkilluvium; L = Löß.

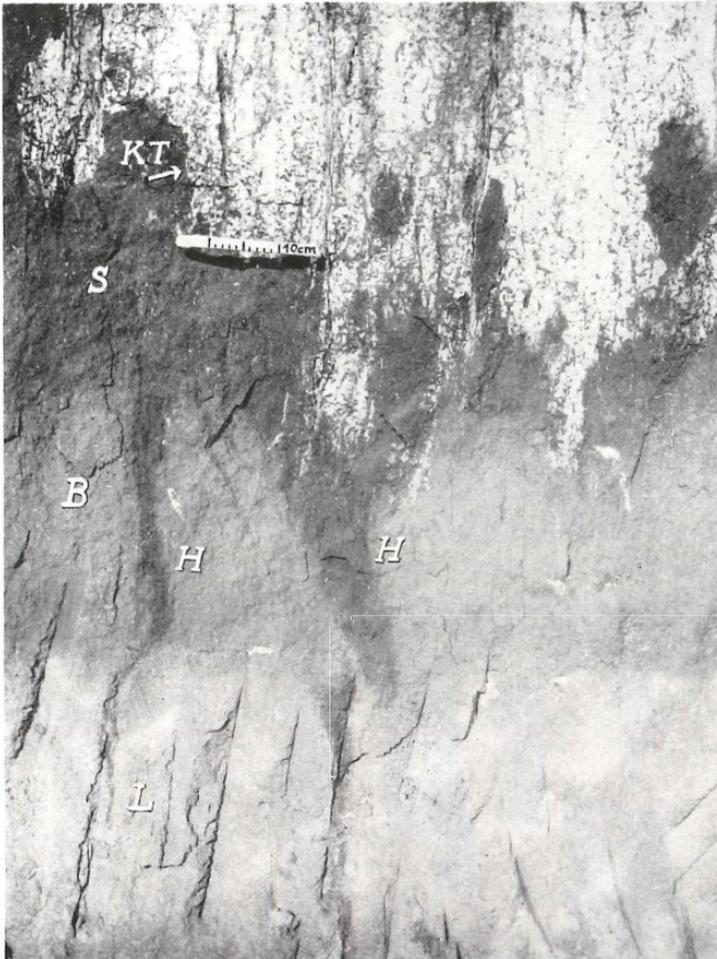


Tafel 7 : Prag-Selz. Humose Einläufe und Eiskeilspalten.

B = Braunerde; E = Eiskeil; ES = Eiskeil, mit Schwarzerde gefüllt;
 H = Humose Einläufe; K = Kalkilluvium; L = Löß.

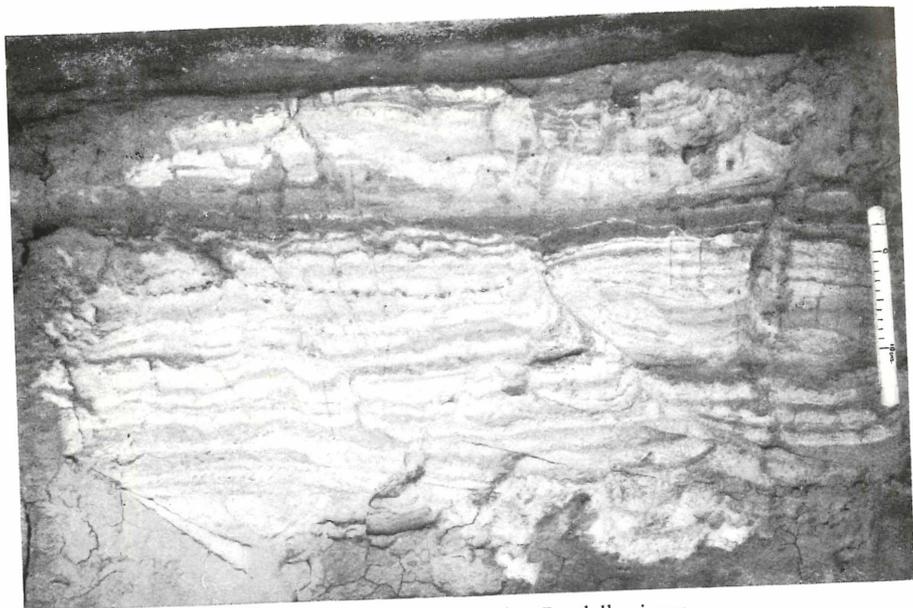


Tafel 8 : Wischau, Neue Lehmgrube. Schwarzerdehorizont in der Mitte der begrabenen Mulde völlig abgetragen.

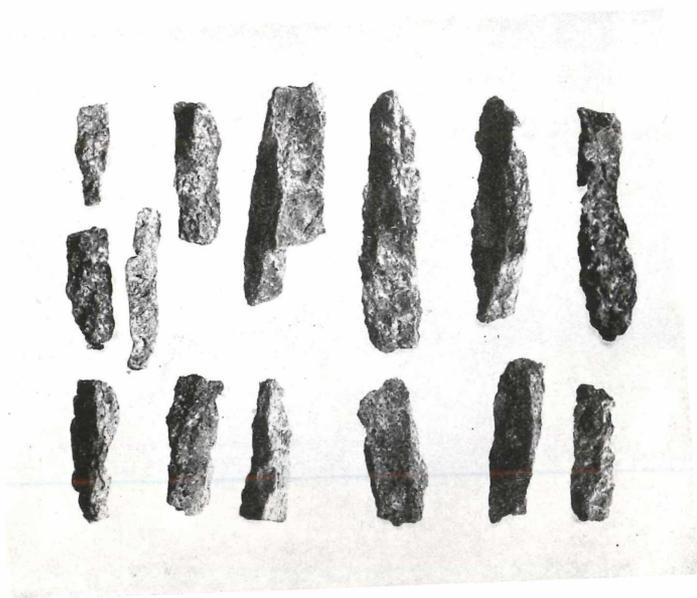


Tafel 9 : Wischau. Humuseinläufe und Kalkausblühungen.

B = Braunerde; H = Humose Einläufe; KT = Tapeten von
Kalkausblühungen; L = Löß; S = Schwarzerde.



Tafel 10 : 1) Prag-Podbaba. Brodelhorizont.



Tafel 10 : 2) Polygonale Prismen der Schwarzerde.