

Zusammenfassung

Mit dem Einsatz von Methoden der Fernerkundung wurden im Lößgebiet nordwestlich von Halle erstmals jungpleistozän-periglaziäre Polygonstrukturen in flächenhafter Verbreitung nachgewiesen. Neben der Verbreitungsanalyse werden Größen- und Formmerkmale der Strukturen untersucht und ihre Genese und stratigraphische Position beschrieben. Die Abbildung der Polygonstrukturen wird besonders auf Multispektralaufnahmen untersucht. Die durch die Polygonstrukturen bedingten Differenzierungen in der Bodendecke werden nachgewiesen und ihre ökologische Wirkung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen diskutiert.

Summary

Studies of the Pleistocene polygonal structures in loess deposits of the eastern Harz foreland (in the Wettin-Gerbstedt region) by geo-scientific remote sensing techniques

The use of remote sensing techniques made it possible for the first time to identify younger Pleistocene periglacial polygonal structures of sheet-like extension. The paper not only analyzes the extension but also studies the size and shape characteristics of the structures concerned and describes their genesis and stratigraphic position. The image of the polygonal structures is preferably studied on multispectrograms. The differentiations caused in the soil cover as a result of the polygonal structures are indicated and their ecological effects on the agriculturally usable land are discussed.

Резюме

Разведка плейстоценовых полигональных структур в лёссовых отложениях восточного предгорья Гарца (район Веттин – Гербштедт) с помощью методов дистанционной разведки Земли

С помощью методов дистанционной разведки в лёссовом районе северо-западнее г. Галле были впервые доказаны верхнеплейстоценовые пери-

Erkundung pleistozäner Polygonstrukturen in Lößablagerungen des östlichen Harzvorlandes (Raum Wettin – Gerbstedt) mit Methoden der Geofernerkundung¹

Mit 11 Abbildungen, 10 Tabellen und 5 Photos im Text

Autor:

Dr. GERD VILLWOCK
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Sektion Geographie
Wissenschaftsbereich Physische Geographie
4020 Halle (Saale)
Domstraße 5

1 Für Diskussionen und Hinweise dankt der Verfasser den Herren Prof. Dr. H. KUGLER, Dr. M. ALTERMANN, Dr. T. CZUDEK (Brno), Dipl.-Geogr. D. KÜHN, Dr. B. REUTER und Dr. H. SCHRÖDER

Hall. Jb. f. Geowiss. Bd. 9
Seite 73...92
VEB H. Haack Gotha 1984

гляциальные полигональные структуры площадного распространения. Кроме анализа распространения рассматриваются признаки величины и формы структур и описываются их происхождение и стратиграфическая позиция. Отражение полигональных структур рассматривается в первую очередь на многоспектральных аэрофотоснимках. Доказываются различия структуры почвенного покрова, обозначенные полигональными структурами, и обсуждается их экологическое влияние на сельскохозяйственные угодья.

1. Einleitung

Zeugen der periglaziären Überprägung einer Landschaft lassen sich zumeist in Aufschlüssen nachweisen. Mit dem Einsatz von Fernerkundungsmethoden besteht die Möglichkeit, Bodenstrukturen periglaziärer Genese über größere Flächen hinweg in ihrer horizontalen Ausdehnung zu beobachten und zu kartieren. Bei Luftbildanalysen im Lößgebiet nordwestlich von Halle (Saale) wurden auf landwirtschaftlichen Nutzflächen polygonale Muster festgestellt und als periglaziäre Phänomene gedeutet.

2. Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im zentralen Teil des Bezirkes Halle westlich und nordwestlich der Bezirksstadt und gehört zu den Kreisen Eisleben, Hettstedt und Saalkreis (Abbildung 1). Der Südteil des Gebietes ist aus mesozoischen Gesteinen der Mansfelder Mulde aufgebaut, den Nordteil bildet die Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke mit permischen und karbonischen Gesteinen. Eine mächtige quartäre Lockergesteinsdecke überlagert weitestgehend die älteren Gesteine. Das Zusammenwirken von glazialen, fluvialen, subrosiven, äolischen und denudativen Formungsprozessen bewirkte die Herausbildung eines durch Flachtäler gegliederten Hochflächenreliefs mit stärker zerschnittenen Randbereichen und z. T. stark (bis 80 m) eingetieften Tälern der Saale und Schlenze (KUGLER und MÜCKE 1979). Das vollständig zur Saale entwässernde Gebiet ist sehr niederschlagsarm (480...500 mm/Jahr).

Die Bodendecke ist vor allem substrat- und reliefbedingt differenziert. Löß-Standorte mit Schwarzerden, Kolluvialschwarzerden und Rendzinen nehmen rund 60 % der Fläche ein. Den übrigen Teil bilden Standorte auf Festgesteinen mit Berglehm- und Bergton-Rendzinen und Auenstandorte mit Schwarzerden, Vega und Vegagleyen (ALTERMANN und MAUTSCHKE

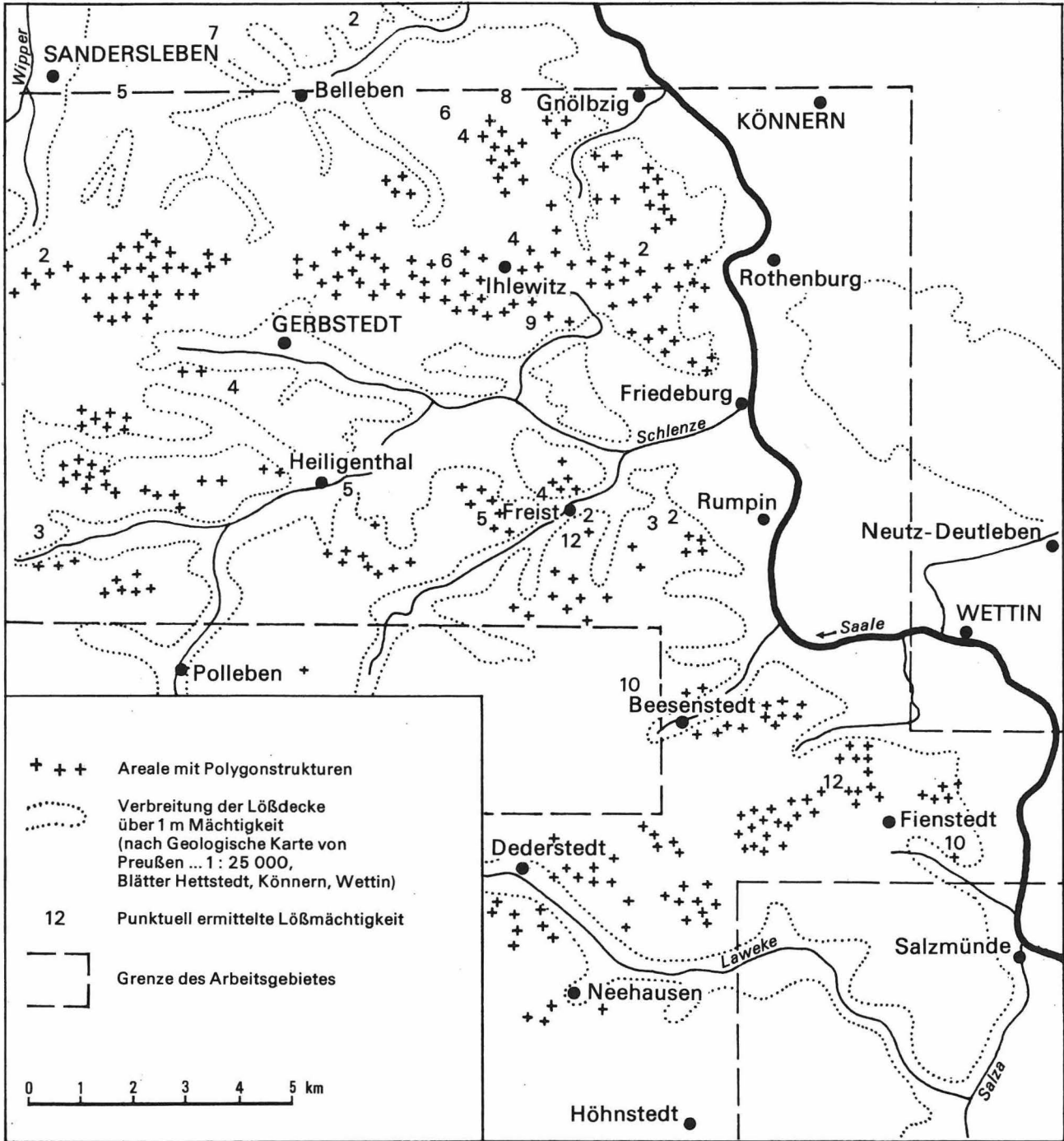


Abbildung 1
 Verbreitung periglaziärer Polygonstrukturen im Raum Gerbstedt–Wettin
 (nach Auswertung von Luftbildern)

Art der Aufnahme	Kamera	Flughöhe (in m)	Bildmaßstab	Aufnahme termin	Erkennbarkeit von Polygonstrukturen
Multispektral	MKF-6	7 000	1 : 55 000	05.7.78	sehr deutlich nur fleckige Texturen
	AFA-39	7 200	1 : 72 000	17.6.76	
Panchromatisch	MRB	3 800	1 : 18 000	08.4.69	sehr deutlich fleckige Texturen, vereinzelt deutliche Muster nicht sichtbar
	MRB	540	1 : 6 000	26.4.70	
	MRB	3 750	1 : 12 000	06.5.80	

Tabelle 1
Verwendetes Luftbildmaterial

1972). Die ackerbauliche Nutzung dominiert, auf steileren Hangbereichen existieren Obstanlagen, Wald- und Trockenvegetation.

3. Luftbildauswertung

3.1. Untersuchungen von Polygonstrukturen mit Luftbildern

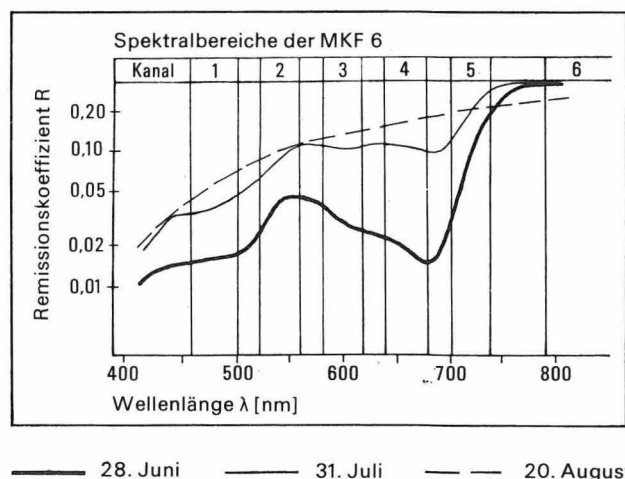
Die Auswertung von Luftbildern zur Erkundung periglaziärer Phänomene ist in rezenten Permafrostgebieten eine wichtige Arbeitsmethode (siehe u. a. WEICKMANN 1932, TROLL 1944, FRIEDEMANN u. a. 1971, WASHBURN 1973). Vereinzelt wurde die Methode auch bei der Erforschung fossiler Periglazialformen im mittel-

europäischen Raum erfolgreich angewendet (SHOTTON 1960, MORGAN 1971 in Großbritannien, SVENSSON 1972, 1974, 1976 in Südschweden und Schleswig-Holstein, CHRISTENSEN 1974 in Dänemark, JAKOB und LAMP 1980 im Norden der BRD). Das Grundprinzip besteht darin, daß die durch periglaziäre Polygonstrukturen hervorgerufenen Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit (Textur, Struktur, Steingehalt, Wasserkapazität) zu differenzier-ten ökologischen Bedingungen für die Pflanzenentwicklung führen und besonders in Kulturpflanzenbeständen Wachstums- und Reifeunterschiede bewirken. Diese rufen bei der Wiedergabe im Luftbild charakteristische Muster in den Pflanzenbeständen hervor. Von entscheidender Bedeutung sind nach SVENSSON (1972) die meteorologischen Bedingungen in der Wachstumsphase. Besonders günstige Voraussetzungen bestehen bei durch extreme früh-

Tabelle 2
Sichtbarkeit der Polygonstrukturen in der MKF-6-Hochbefliegung vom 5.7.1978

Kanal	Spektralbereich (nm)	Sichtbarkeit
1	460...500	nicht sichtbar
2	520...560	sehr undeutlich
3	580...620	sehr deutlich
4	640...680	sehr deutlich
5	700...740	nicht sichtbar
6	790...890	wegen geringerer geometrischer Auflösung nur als fleckige Textur

Abbildung 2
Spektrale Remissionskurven von Gerste zu verschiedenen Terminen (nach ARNBERG 1981)



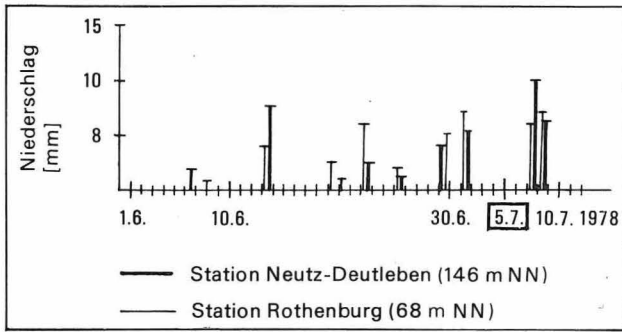


Abbildung 3
Niederschlagsmengen vor dem Bildflugtermin für die MKF-6-Aufnahme
(nach Angaben des Meteorologischen Dienstes Halle)

sommerliche Trockenperioden bewirkten Streßsituationen für die Pflanze und dadurch hervorgerufene remissionsbeeinflussende Wachstumsdifferenzierungen. Bei ausreichender Wasserversorgung sind in Luftbildern keine Strukturen erkennbar.

Die bisher auf diesem Wege entdeckten fossilen Polygonstrukturen treten in glazigenen und glazifluvialen Sedimenten auf, die Durchmesser der Einzelpolygone schwanken zwischen 2 und 30 m, das Füllmaterial der Polygonzüge ist zumeist solifluidaler, äolischer und/oder abspülungsbedingter Entstehung (Tabelle 5).

Photo 1

Ausschnitt aus einem multispektralen Luftbild (Kanal 4, Negativ) westlich von Freist (Kreis Hettstedt); zur Veröffentlichung freigegeben unter LFB-Nr. 24/84

0 40 80 120 m



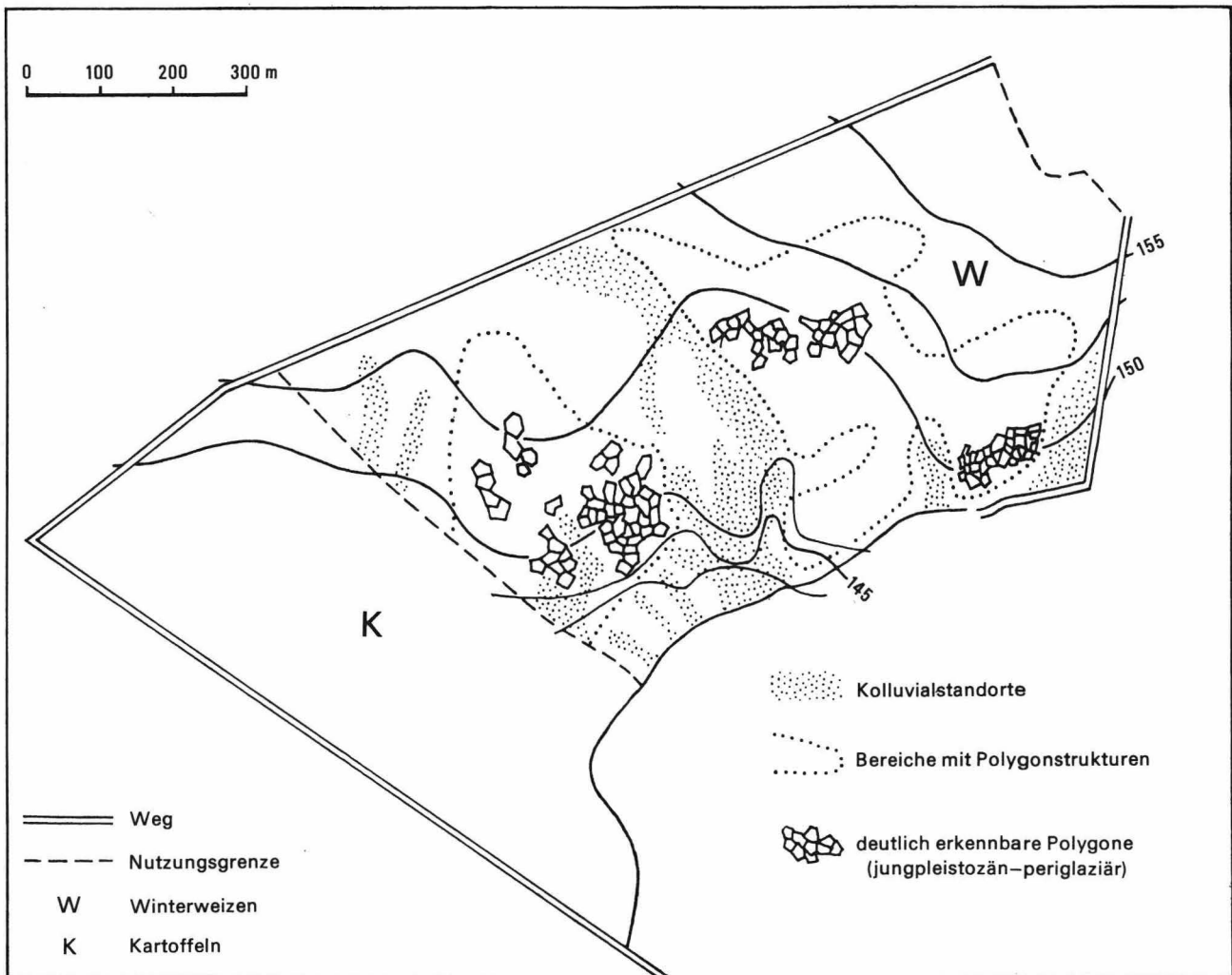


Abbildung 4
 Verbreitung von Polygonstrukturen auf einem Testfeld östlich von Ihlewitz (Kreis Hettstedt) nach Luftbildauswertung

3.2. *Das Luftbildmaterial*

Es standen sowohl multispektrale Aufnahmen als auch großmaßstäbige panchromatische Meßbilder zur Verfügung.

Als besonders geeignet erwiesen sich Multi-spektralaufnahmen. Da sich die Polygonstrukturen über Vegetationsdifferenzierungen abbilden, ist die Wiedergabe im Kanal 4 (640...680 nm) am deutlichsten, da in diesem Spektralbereich durch Entwicklungs- und Vitalitätsdifferenzierungen der Pflanzendecke große Remissionsunterschiede hervorgerufen werden (Tabelle 2; Abbildung 2).

Abbildung 3 zeigt die Niederschlagsmengen im Zeitraum vor der Entstehung der MKF-6-

Aufnahmen von 1978 für zwei Stationen des Gebietes. Im Mai des Jahres fielen durchschnittlich nur 35 % der Niederschlagssumme des langjährigen Mittels (1901...50). Es herrschte zunehmender Feuchtemangel und damit eine starke Beanspruchung der Bodenvorräte. Der Reifeprozess bei Getreide wurde beschleunigt und es traten Trockenschäden auf.

3.3. *Wiedergabe der Polygonstrukturen im Luftbild*

Die Polygonstrukturen konnten bei der Auswertung der Luftbilder nur auf Ackerflächen

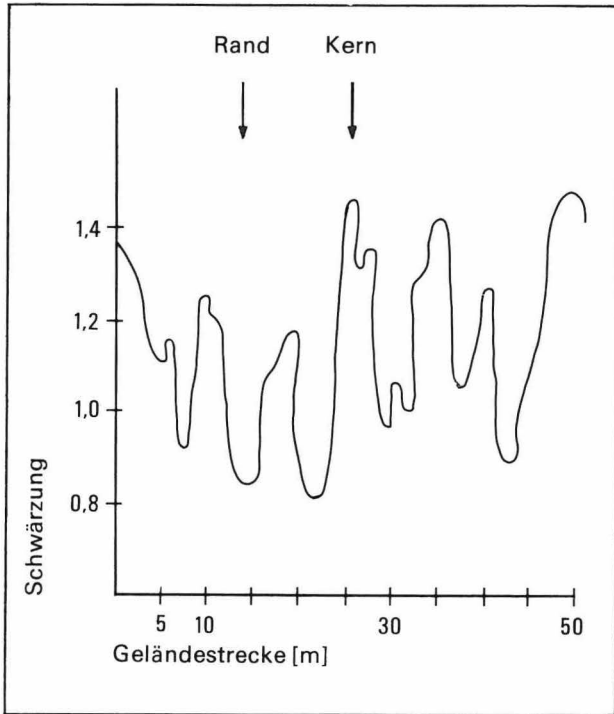


Abbildung 5
Densogramm durch Polygonstrukturen im Testfeld westlich Rumpin nach MKF- 6-Aufnahme, Kanal 4 (Gerät MD-100, Spaltbreite 0,5 mm, Spalthöhe 2mm)

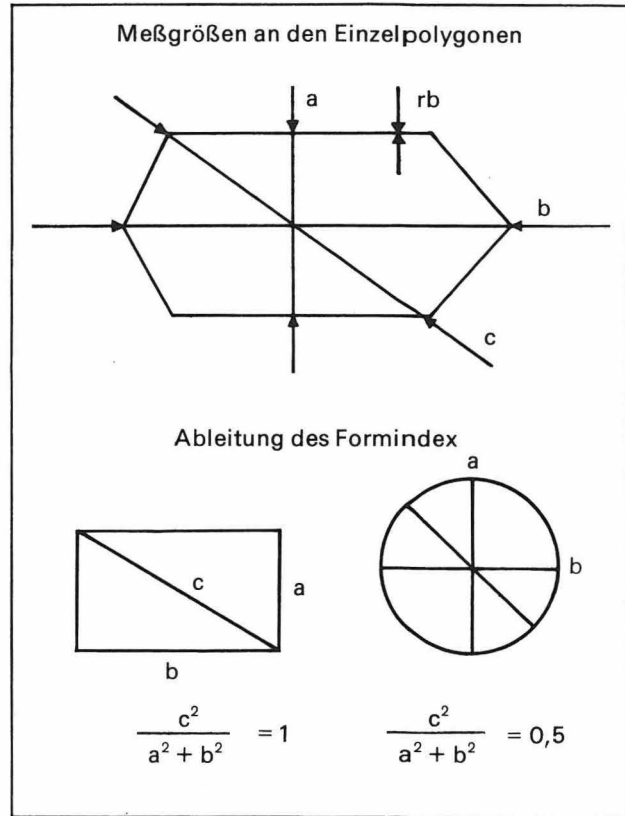


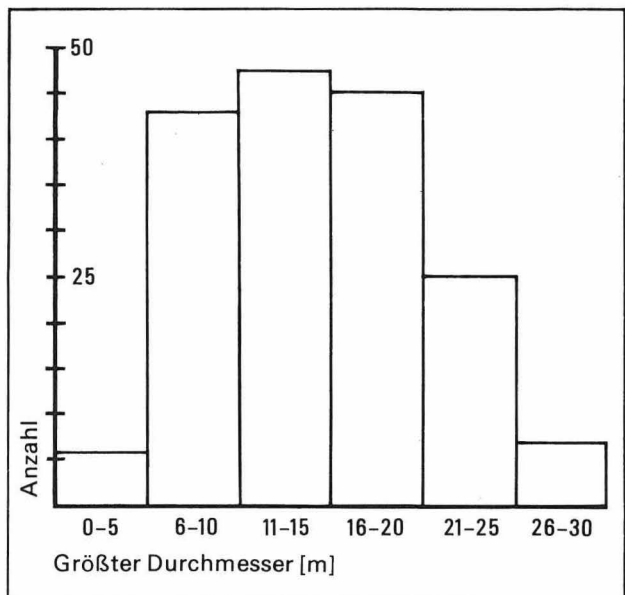
Abbildung 6
Meßgrößen an den Einzelpolygonen und Ableitung des Formindex

festgestellt werden. Ihre Erkennbarkeit wird entscheidend von der Kulturart bestimmt. In den Multispektralaufnahmen vom Juli 1978 traten die Strukturen bei Winterweizen und Sommergerste auf (Photo 1). Bei Kulturartenwechsel zu Hackfrüchten, Erbsen und Mais setzen die Bildmuster abrupt aus, so daß auf eine Nichtwiedergabe geschlossen werden kann (Abbildung 4). Gleiches gilt für abgeerntete und gepflügte Ackerflächen.

Abbildung 7
Absolute Häufigkeit der Größenklassen der größten Durchmesser (b) der Einzelpolygone

Tabelle 3
Densitometrische Schwärzungsmessungen an Polygonstrukturen (MKF-Aufnahme, Kanal 4)

Testfeld	Kulturart	Schwärzung		
		Normalbestand	Rand der Polygone	Kern der Polygone
Volkmaritz	Winterweizen	1,5	1,4...1,5	1,1...1,2
Rumpin	Winterweizen	1,4...1,5	1,1	1,3
Freist	Sommergerste	1,1...1,2		
		a)	1,2	1,1
	b)	1,05	1,25	
Elben	Sommergerste	1,3	1,1	1,25...1,3



Testfeld	3	6	14	15	21	23	alle Testfelder
Anzahl der Messungen	15	11	12	14	20	20	174
Mittelwert \bar{b} (in m)	16	31	18	15	12	12	16
Standardabweichung (in m)	5	22	5	4	5	4	5
Variabilitätskoeffizient (%)	33	71	30	29	40	33	33
Randbreite (in m)	2...3	4...7	2...5	3...5	2...4	3...5	3...5

Maximaler Durchmesser: 74 m (westlich von Freist)

Minimaler Durchmesser: 7 m (westlich von Gnölbzig)

Tabelle 4

Ausgewählte Größenmessungen des größten Durchmessers und der Randbreite

Abbildung 5 zeigt ein Densitogramm durch eine Ackerfläche mit polygonalen Strukturen. Deutlich werden durch die phänologischen Differenzierungen bedingte Remissions- und damit Schwärzungsunterschiede im Luftbild.

Zur Ermittlung von Größe und Form der Polygonstrukturen wurden mit dem Gerät „Interpretoskop“ aus den Luftbildern folgende Meßzahlen von Einzelpolygonen ermittelt:

- größter Durchmesser b
- diagonaler Durchmesser c
- kleinster Durchmesser a
- Randbreite rb

(Abbildungen 6 und 7, Tabelle 4).

Zum Vergleich und zur Einordnung werden in Tabelle 5 einige der Literatur entnommene Größen von Einzelpolygonen in rezenten und pleistozänen Permafrostgebieten angeführt. Die Form der Einzelpolygone ist vorwiegend penta- bis hexagonal mit ungleichmäßiger Seitenlänge (Abbildung 8). Nach KARTE (1979) ist eine solche nichtorthogonale Form für homogene Substrate charakteristisch. Mit Hilfe eines Formindex kann die Annäherung der Form der Polygone an einfache geometrische Figuren gezeigt werden (Tabelle 6).

Es zeichnen sich demnach zwei Grundformen ab. Einerseits treten Polygone mit der

Tabelle 5

Größe periglazialer Polygone

Quelle	Gebiet	Substrat	Durchmesser (m)	Randbreite (m)
a) rezente Bildungen				
TROLL (1944)	Alaska, Taymir		15 20	3
FRENZEL (1959)	nördliche Tundra	Torf, tonig-lehmiges Material	20... 30	0,5...10
FERRIANS	Alaska	feinkörniges Material	30...100	
AKERMAN (1980)	Spitzbergen	grobes, gut dränierendes Material	3... 30	
b) fossile Bildungen				
SVENSSON (1972)	Schonen	Sand über Ton	7... 15	
CHRISTENSEN (1974)	Jütland	Sand und Kies	18... 32	
SVENSSON (1976)	Schleswig-Holstein	Geschiebelehm	2...>30	1...3
SELZER (1936)	Göttingen	Löß über Tonschiefer	20	1,5
ROHDENBURG (1966)	Hessen	Löß	15... 20	> 2
BRÜNING (1966)	Nördliche Lößgrenze	Schiefertone	9... 12	1...3
EISSMANN (1981)	Leipziger Tieflandsbucht	Schotter	8... 35	2
DYLIK (1966)	Warschau		18... 20	
GODZIK (1973)	Region Łódz	Löß	7... 30	
JERSAK (1975)	Südpolen	Löß	10... 20	2...3
MORGAN (1971)	England	Ton	2... 12	0,5...1,5

Testfeld	3	5	6	7	9	10
Durchschnittlicher Index	0,76	0,74	0,91	0,86	0,74	0,99

Testfeld	14	15	16	18	21	23
Durchschnittlicher Index	0,78	0,76	0,79	0,88	0,81	0,83

Tabelle 6
Formindizes für ausgewählte Testflächen

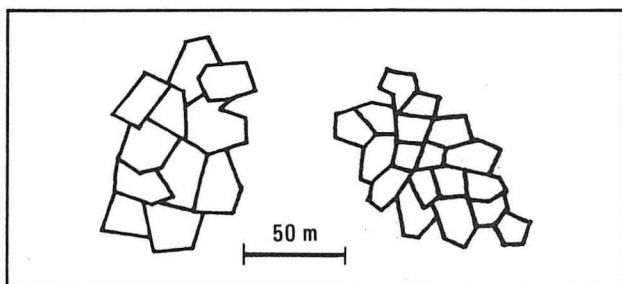
Tendenz zur Gleichseitigkeit (Index < 0,8) auf; zum anderen kommen ungleichseitige Polygone (Index 0,8...1,0) vor.

3.4. *Areale Verbreitung der Polygonstrukturen*

Bei Durchmusterung der vorliegenden Luftbildaufnahmen wurden auf rund 50 Acker schlägen Polygonmuster festgestellt. Ihre areale Verbreitung veranschaulicht Abbildung 1. Wegen des begrenzenden Einflusses der Flächennutzung und der Kulturart bzw. des -zustandes auf die Erkennbarkeit ist nicht die natürliche Gesamtverbreitung erfaßt worden, sondern eine Synthese verschiedener Zeitschnitte der Verteilungsanalyse mit Luftbildern.

Die größten zusammenhängenden Areale treten im Raum Gerbstedt-Ihlewitz-Gnölbzig im Norden sowie zwischen Fienstedt und Derderstedt im Süden des Untersuchungsgebietes auf.

Abbildung 8
Formen von Polygonnetzen
(nach Luftbilddauswertung vergrößert)



Rund 70 % der erfaßten Vorkommen befinden sich in flach- bis mäßiggeneigten Hangpositionen mit Neigungen von 1...3° (38 %) und 3...5° (32 %). Strukturen wurden bei Neigungen bis maximal 8° festgestellt. In völlig ebenen Positionen (0°) treten keine Polygonstrukturen auf. Hier überwiegt vermutlich die ausgleichende Wirkung des mächtigen Humushorizonts, während schon auf schwach geneigten Arealen durch den ständigen Bodenabtrag die im C-Horizont auftretenden Strukturen (siehe 4.1.) ökologisch wirksam werden.

Die Abbildung 1 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen auftretenden Polygonstrukturen und der Lößverbreitung im untersuchten Gebiet. Die Polygonnetze treten fast ausschließlich auf Lößstandorten auf.

4. Terrestrische Untersuchungen

4.1. *Substrataufbau*

Das Gebiet gehört zum Trockenfaziesbereich der Lößbildung mit einer überwiegend geschlossenen Lößdecke und Lößmächtigkeiten von 3...10 m. Der liegende Teil des Lößprofils besteht verbreitet aus Solifluktuations- und Schwemmlöß, das Hangende bildet äolischer Löß (nach RICHTER u. a. 1970). Einblick in den Substrataufbau geben die Untersuchungen von KUNERT und ALTERMANN (1965, 1970). Danach liegt die mittlere Lößmächtigkeit im Südteil des Gebietes bei 7 m, sie schwankt zwischen 2,5 und 12 m; ähnlich liegen die Verhältnisse im Raum Friedeburg-Belleben. Das Liegende der Lößdecke bilden im Norden saaleglaziale Geschiebemergel und Schmelzwassersande, während im Südteil der Löß verbreitet direkt auf den triassischen Gesteinen lagert (SCHULZ 1962, RUSKE 1964).

Aus der Literatur sind keine horizontalen Substratdifferenzierungen bekannt, die zur Erklärung der Polygonstrukturen herangezogen werden können. Bisher wurden im Untersuchungsgebiet Periglazialstrukturen (Eiskeile, Taschenböden) vorwiegend in sandigen und

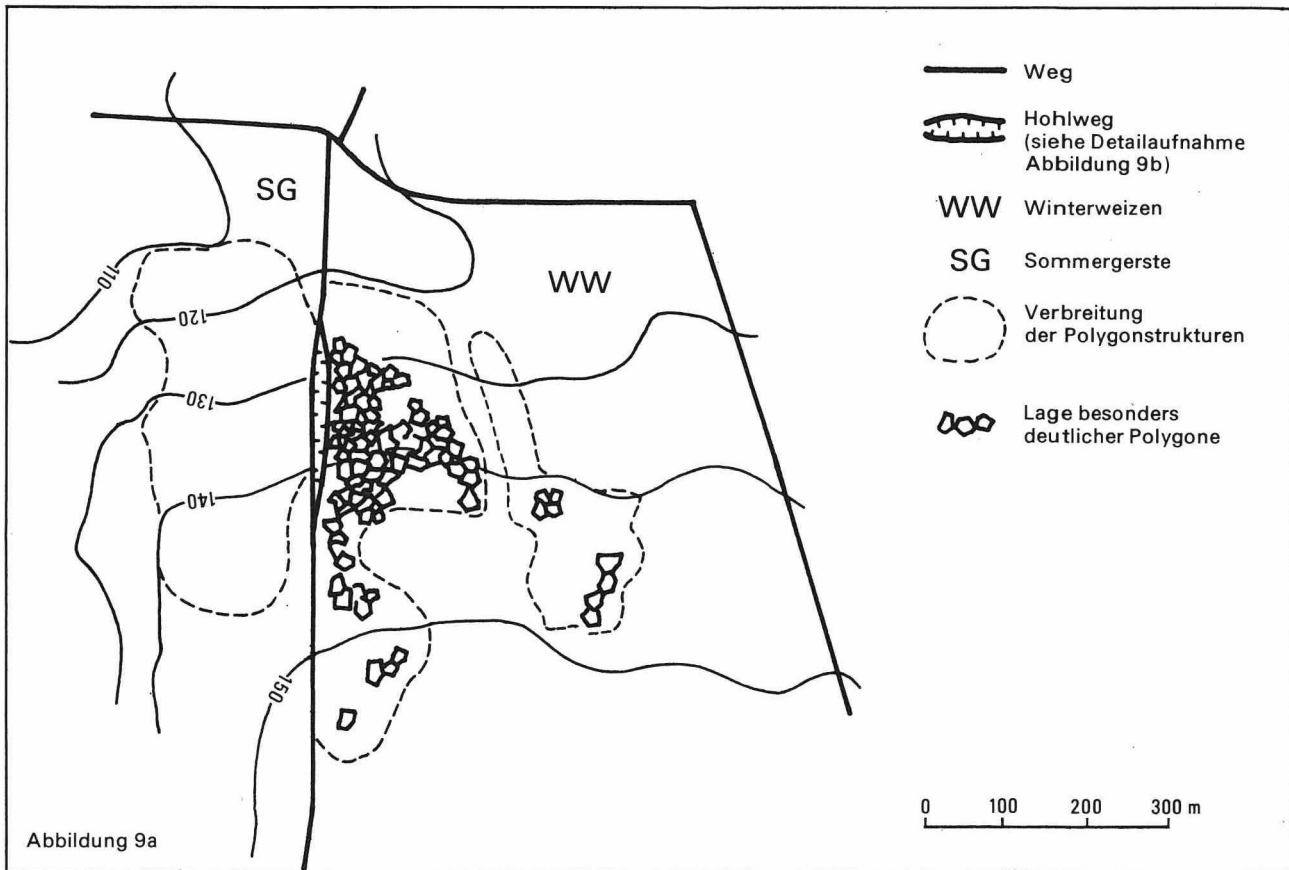


Abbildung 9
a) Verbreitung der Polygonstrukturen auf dem Testfeld westlich von Rumpin (Luftbildauswertung)
b) Geomorphologisch-lithologische Detailaufnahme des Hohlwegsystems westlich von Rumpin

skelettreichen Substraten (Flußschotter, Tertiärsande, Schuttdecken) gefunden (u. a. GALLWITZ 1949, SCHULZ 1962, RUSKE 1964, VILLWOCK 1980). Sie besitzen allerdings viel zu geringe Ausmaße, als daß sie für die Genese und Erklärung der beschriebenen Polygonstrukturen in Betracht kommen könnten.

In einem Hohlwegsystem westlich von Rumpin, das eine Ackerfläche zerschneidet, auf der in Luftbildern Polygonstrukturen festgestellt wurden, bestand im Herbst 1982 die Möglichkeit, deren lithologische Ausprägung aufzunehmen (Abbildung 9a und b). Dabei konnten folgende Befunde ermittelt werden:

1. Die Lößdecke ist horizontal ungleichmäßig ausgebildet. Es treten zwei prinzipielle Ausbildungsformen auf:

A – Löß mit deutlicher Vertikalklüftung, sehr fest, porenreiches Kapillargefüge, viele

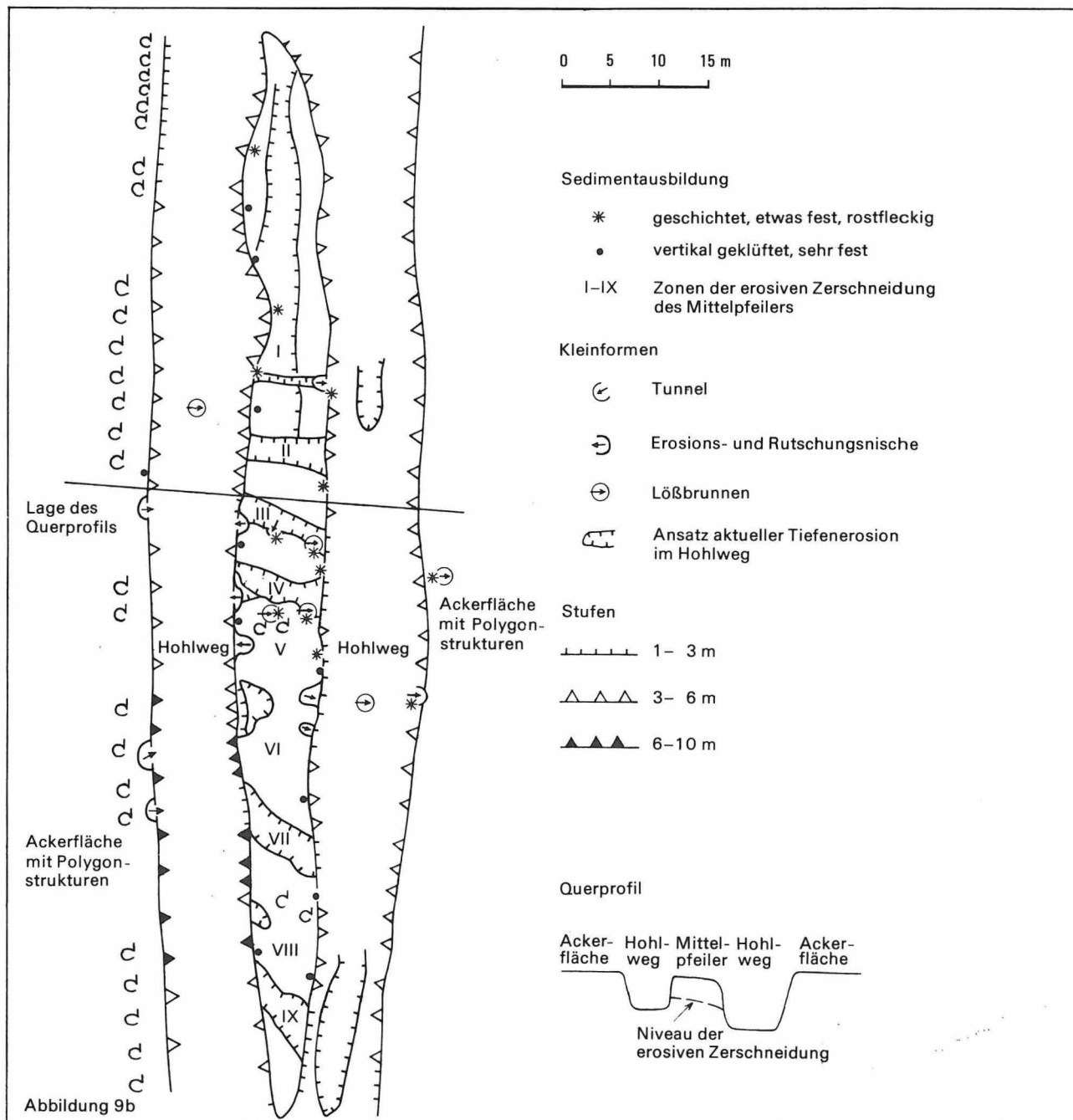
Kalkpseudomyzele, vereinzelt Rostflecken, trocken (Photo 2).

B – Löß mit \pm deutlicher Horizontalfeinschichtung, Lamellengefüge (2 mm dicke Körper), etwas fest, viele Rost- und Bleichflecke, frisch (Photo 3).

Tabelle 7 zeigt, daß auch in der Korngrößenzusammensetzung deutliche Differenzierungen auftreten, die sich besonders im Feinsand- und Tongehalt äußern.

2. Der Mittelpfeiler zwischen den Hohlwegen (Abbildung 9b und Photo 4) wird in Abständen von 5...20 m erosiv zerschnitten. Diese Zerschneidung wird durch Suffosions- und Lößtunnelerosion ausgelöst und zum Teil durch Wassererosion in früheren Tiefenniveaus der Hohlwege fortgesetzt.

3. Die Ausbildungsform B der Lößdecke ist mit den Zerschneidungszonen gekoppelt; die



Form A bildet die zwischenliegenden Bereiche mit wandartigen Kanten.

4. Der Abstand zwischen den Zerschneidungszonen liegt mit durchschnittlich 11 m in der Größenordnung der Polygondurchmesser auf den benachbarten Ackerflächen (8...15 m); die Breite der Zonen stimmt gut mit den Randbreiten der Polygone überein. Hieraus lassen sich folgende Aussagen ableiten:

a) Die Lößdecke weist makroskopische Strukturunterschiede auf, die im Zusammenhang

mit kryogenen Vorgängen entstanden sind. Die Ausbildungsform B ist postsedimentär verlagert und überprägt worden (? Verglebung). Sie stellt in Auftauphasen solifluidal über dem austauenden Bodeneis in die Eiskeilspalten transportiertes Lößmaterial dar (ROHDENBURG 1966).

b) Die Zerschneidungszonen repräsentieren die Randbereiche der Polygone mit der Substratausbildung B. Diese ist weniger widerständig gegen Suffosion und Wassererosion.

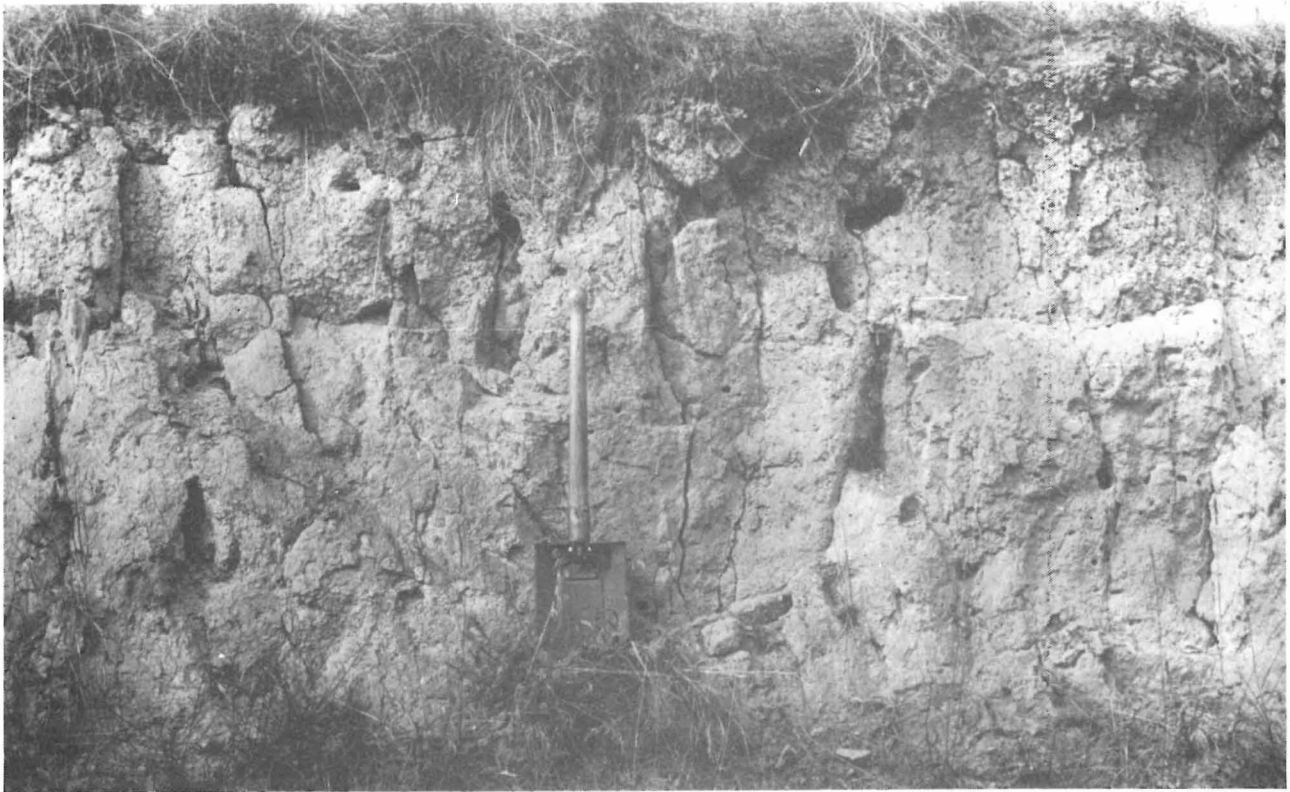
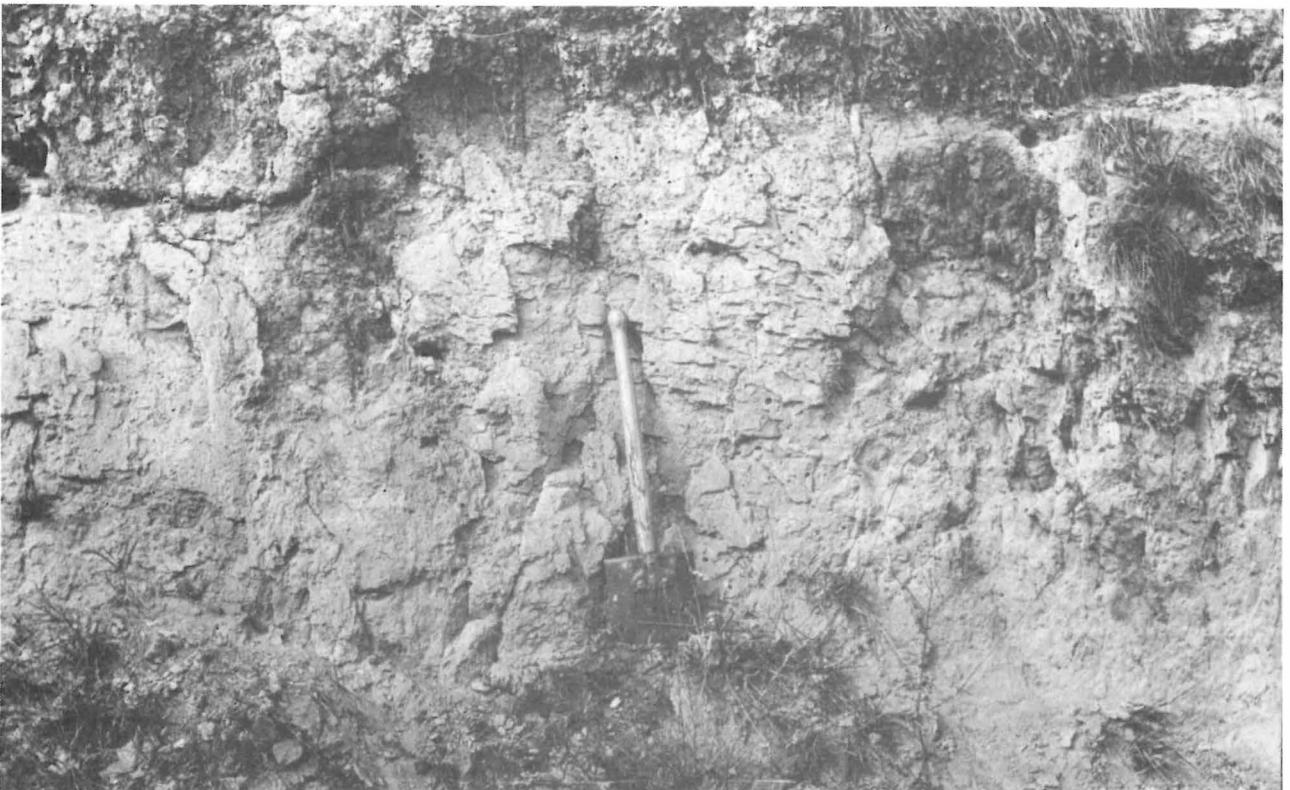


Photo 2
Hohlwegsystem westlich von Rumpin (Oktober 1982). Löß, Ausbildungsform A

Photo 3
Hohlwegsystem westlich von Rumpin (Oktober 1982). Löß, Ausbildungsform B



Fraktionsbereich (mm)	Korngrößenzusammensetzung (in %)							CaCO ₃ - Gehalt (in %)
	2,0 bis 0,6 GS	0,6 bis 0,2 MS	0,2 bis 0,06 FS	0,06 bis 0,02 GZ	0,02 bis 0,006 MZ	0,006 bis 0,002 FZ	< 0,002 T	
	Substratausbildung A	0,3 0,1	0,4 0,8	13,4 11,5	29,6 30,8	35,4 36,7	6,4 5,3	
Substratausbildung B	0,5 0,0	1,2 2,5	3,6 1,9	27,1 38,5	41,0 22,0	9,6 14,5	17,1 20,6	11,85 13,00

Tabelle 7
Analysenwerte des Lößaufschlusses westlich von Rumpin

4.2. *Beobachtungen in der Vegetationsdecke*

Im Juni 1982 wurde auf einigen Testschlägen der Zustand der Vegetationsdecke erkundet (Tabelle 8). Hierbei wurden bei Winterweizen und Sommergerste innerhalb der Nutzfläche Unterschiede in der phänologischen Entwicklung festgestellt. Es traten streifige Areale auf, in denen die Pflanzen bereits in das Stadium der Gelreife eingetreten waren, während benachbarte größere Areale noch grüne, ährentragende Pflanzen aufwiesen (Photo 5).

Photo 4
Hohlwegsystem westlich von Rumpin (Oktober 1982). Zone erosiver Zerschneidung des Mittelpfeilers





Photo 5

Differenzierungen in der Vegetationsdecke (Winterweizen) auf einem Testfeld nördlich von Zickeritz. (Panchromatische Aufnahme 8.7.1982 mit Rotfilter (640...680 nm); Blende 5,6; Belichtungszeit 1/15)

1 grüne Pflanzen mit Ähren

2 Pflanzen im Stadium der Gelbreife

5. Zur Genese der Polygonstrukturen

Folgende Sachverhalte lassen den Schluß auf die periglaziäre Genese der beobachteten Polygonstrukturen zu:

1. Die Form und die Größe der Einzelpolygone sowie die Art und Weise ihrer Vergesellschaftung zu Netzmustern stimmen überein mit in rezenten Gebieten beschriebenen Formen priglaziärer Frostmusterböden (WASHBURN 1981, Tabelle 5) sowie mit im mitteleuropäischen Raum gefundenen Polygonnetzen in Lößablagerungen (KAISER 1960, Tabelle 5b).

2. Die Polygonstrukturen sind in ihrem Vorkommen ausschließlich an die unter periglaziären Bedingungen abgelagerte Lößdecke gebunden. Löß ist aufgrund seiner Korngrößenzusammensetzung und seines Gefüges ein sehr frostempfindliches Substrat (KLENGEL 1968).

Die Genese der periglaziären Polygonnetze (Eiskeilpolygone) als Frostmusterböden ohne Materialsortierung (Texturböden) kann generell in Anlehnung an KARTE (1979), WASHBURN (1981) und EISSMANN (1981) dargestellt werden.

Entstehungsursache ist die durch thermische Kontraktion bei niedrigen Temperaturen im

Tabelle 8
Zustand der Vegetationsdecke

Testfeld	Kulturart	Zustand der Pflanze	Wuchshöhe (m)	Abbildung im terrestrischen Foto mit Filter K 4 (640...680 nm)	Deutung
Zickeritz	Winterweizen	Gelbreife	0,6	hell	Rand des Polygons
		grün	0,9	dunkel	Kern des Polygons
Freist	Sommergerste	Ähre gelb	0,7	hell	Rand des Polygons
		Ähre grün	0,7	dunkel	Kern des Polygons

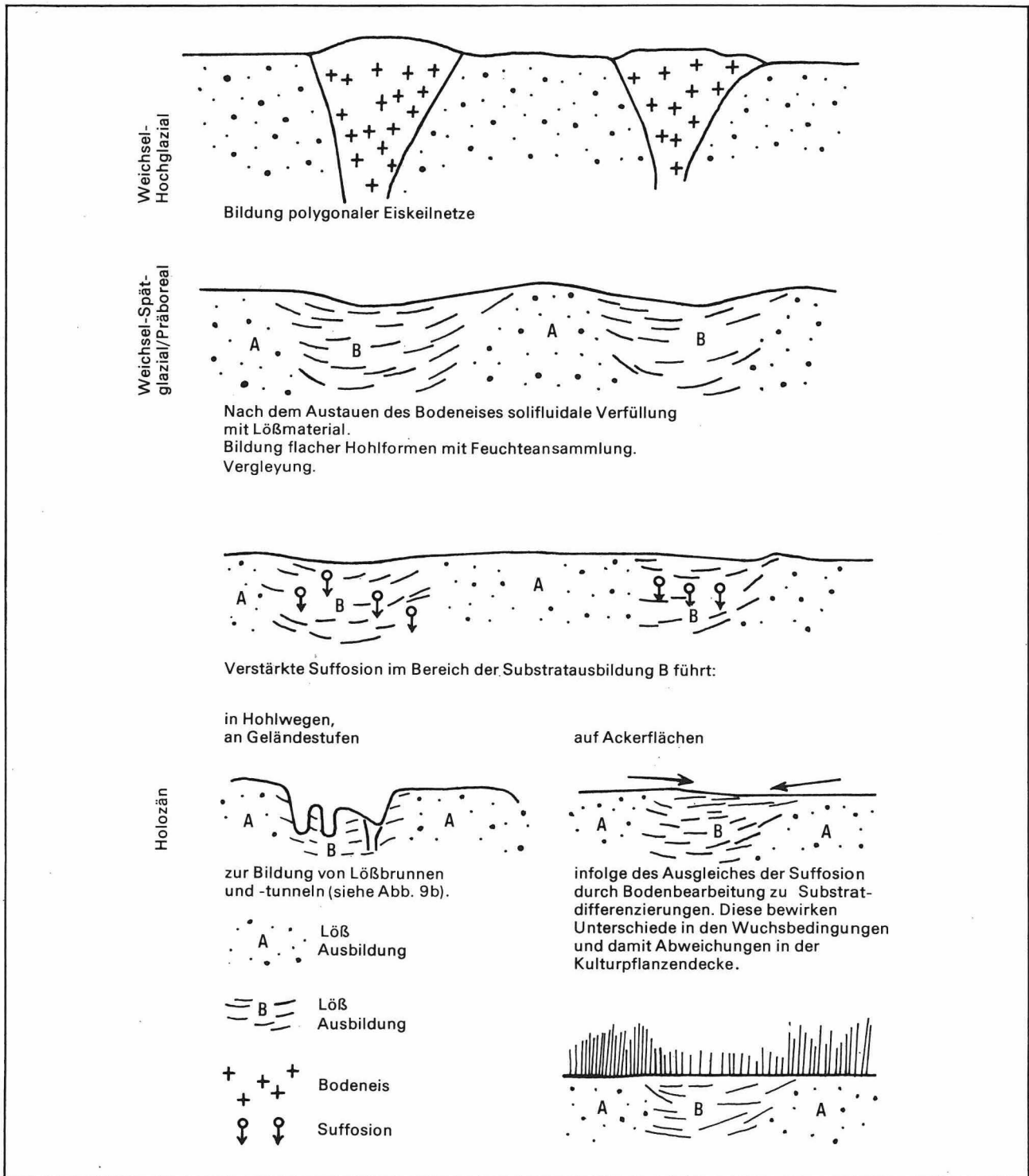


Abbildung 10
 Schema der Entstehungs- und Entwicklungsphasen der Polygonstrukturen im Untersuchungsgebiet

kontinentalen Dauerfrostboden ablaufende Frostspaltung der Oberfläche. Bei rhythmischer Wiederholung entstehen sich verbreiternde Keilspalten, die mit Bodeneis verfüllt sind (Eiskeile). Sie bilden weitverzweigte Netzsysteme. Nach dem Abtauen des Eiskerns

kommt es zur solifluidalen Verfüllung der Keile mit hangenden Substraten. Solche Strukturen entstehen bevorzugt in ton- und schluffreichen, schlecht dränenen und damit frostempfindlichen Lockersubstraten. Als klimatische Bedingungen werden eine Jahresmittel-

temperatur von $-8...-4^{\circ}\text{C}$ und eine Niederschlagsmenge von $50...500\text{ mm}$ angegeben. Die Bildungsdauer der aktiven Strukturen liegt zwischen mehreren Jahrhunderten bis Jahrtausenden. Eiskeilpolygonnetze gelten nach DYLIK (1966), KAISER (1960), TROLL (1944), WASHBURN (1973) u. a. als eindeutig identifizierbare sichere Dauerfrostbodenzeugen.

Im frostempfindlichen Substrat Löß ist die Anreicherung von Bodeneis und damit die Bildung von Texturböden begünstigt. In der Literatur werden eine Vielzahl von Eiskeilpseudomorphosen aus Lößaufschlüssen in Mitteleuropa beschrieben, eine direkte flächenhafte Kartierung ist aber bisher nicht bekannt. So fanden SELZER (1936), ROHDENBURG (1966) in Hessen und Niedersachsen, LIEBEROTH (1963) in Sachsen, JERSAK (1975) in der VR Polen und VELIČKO (1975) im europäischen Teil der UdSSR mehrere Generationen fossiler Eiskeile unterschiedlicher Größe. Teilweise erfolgt aus dem Aufschluß eine Rekonstruktion von Netzmustern. Als Füllmaterial der Keilstrukturen wird vorwiegend solifluidal verlagter Löß angegeben.

Abbildung 10 stellt als Synthese von Literaturaussagen und Geländebefunden die Entstehung und Weiterentwicklung der im Untersuchungsgebiet aufgefundenen Polygonstrukturen dar. Dabei wird eine Phase der aktiven Frostbodenbildung von der holozänen, teilweise anthropogen beeinflussten Weiterbildung zu Reliktformen unterschieden.

Da die Aufschlußsituation eine direkte Datierung der Polygonstrukturen mit paläopedologischen oder sedimentologischen Befunden nicht zuläßt, wird versucht, über Analogie-

schlüsse aus Untersuchungen in anderen, ähnlich ausgestatteten Lößgebieten die stratigraphische Position bzw. die Bildungszeit der Strukturen zu deuten.

Die Entstehung des äolischen Lösses im Untersuchungsgebiet wird in das weichselglaziale Kältemaximum (Weichsel-Hochglazial) gestellt (u. a. KUNERT und ALTERMANN 1965, EISSMANN 1981, RUSKE 1964). So kommt für die Bildung der im Löß auftretenden Strukturen nur das Weichsel-Hochglazial ($40000...16000$ Jahre vor heute) in Frage, in dem im Untersuchungsraum letztmals die notwendigen Bildungsbedingungen auftraten.

ROHDENBURG (1966) beschreibt aus Niedersachsen und Nordhessen in der dritten Kältephase des Jungglazials (wj 3) Eiskeilnetze mit ähnlichen Größen wie im Untersuchungsgebiet. Die Maschenweite der anderen Keilhori-zonte ist weitaus geringer. VELIČKO (1975) gibt für Osteuropa in der zweiten Hauptphase der Valdai-(Weichsel-) Kaltzeit ($25000...10000$ Jahre vor heute) in Lößablagerungen Frostpolygone mit Durchmessern von $20...30\text{ m}$ an (Postpaudorf-Präalleröd). In den polnischen Lößgebieten treten nach JERSAK (1975) Polygonnetze mit $10...20\text{ m}$ Durchmesser in der Phase der jüngeren Lößbildung im Jungweichselglazial auf. LIEBEROTH (1963) erwähnt aus dem jüngeren Löß relativ seltene, aber tiefreichende Eiskeile.

Es kann festgestellt werden, daß Polygon- bzw. Eiskeilstrukturen im weichselglazialen Löß in der im Untersuchungsgebiet festgestellten Größenordnung in den benachbarten Gebieten ausschließlich in ihrer Altersstellung der zweiten Hälfte des Hochglazials (jünger als

Tabelle 9
Porenverhältnisse in unterschiedlich strukturiertem Löß (nach ROHDENBURG und MEYER 1966)

	Gesamtporenvolumen (in %)	Porenbereiche (Bindungsdruck)				
		grob < 2	langsam dränend 2...2,7	mittel 2,7...3 3...3,7 > 3,7		
Löß, natürlich gelagert	43	11	15	4	14	8
Löß, geknetet	32	1	4	4	15	9

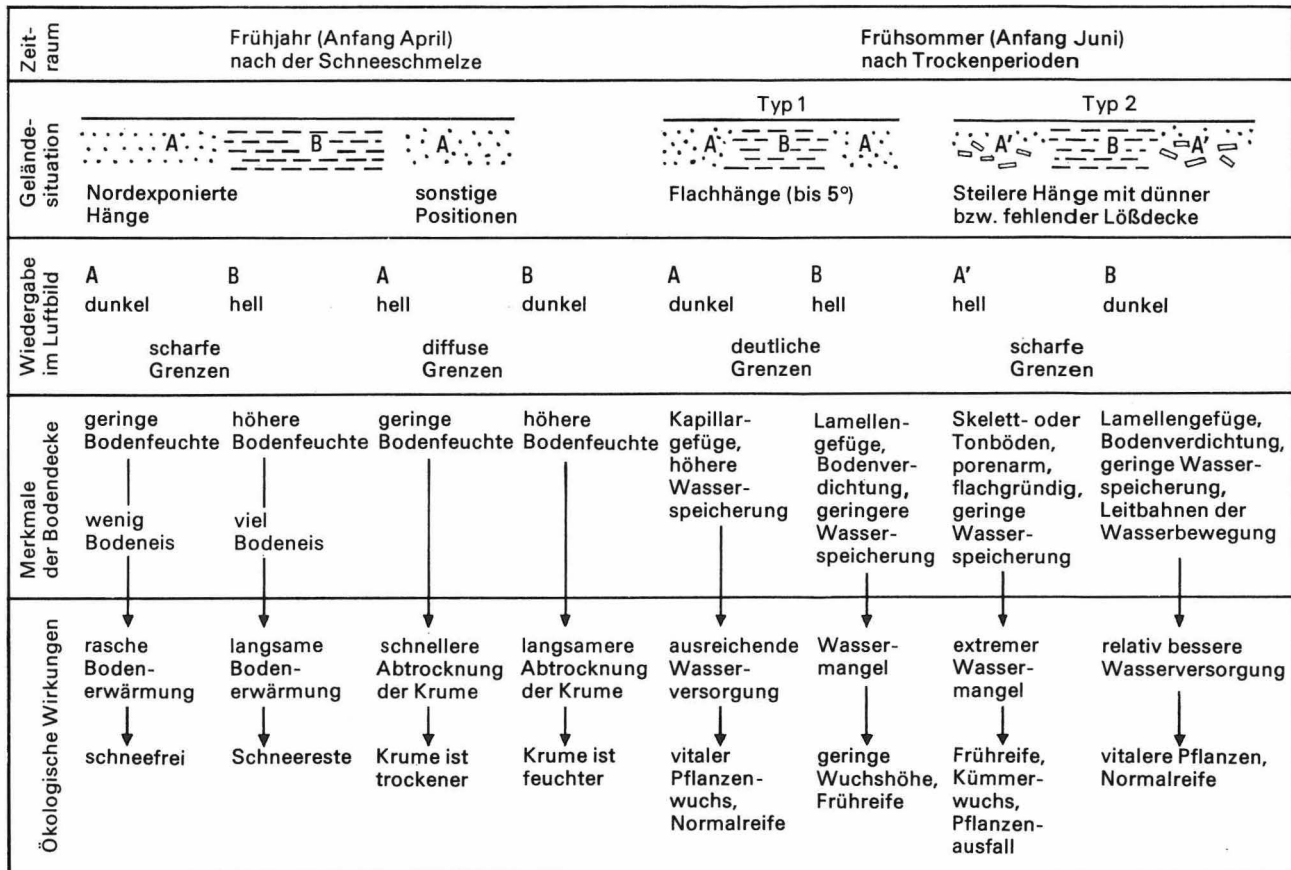


Abbildung 11
Wirkung der Polygonstrukturen auf die natürliche Standortausstattung

Paudorf-Interstadial) zugeordnet werden. Auch KARTE (1981) bezeichnet diese Phase als Hauptzeitraum der Eiskeilpolygonbildung.

6. Zur ökologischen Wirksamkeit der Polygonstrukturen in landwirtschaftlichen Nutzflächen

Mit dem Nachweis der Polygonstrukturen konnte eine sehr kleinräumige innere Differenzierung der Bodendecke und damit der Standortbedingungen auf den bisher als sehr homogen angesehenen Löß-Schwarzerde-Standorten beschrieben werden. Die regelhafte horizontale Substratdifferenzierung zwischen äolischem Löß (Ausbildungsform A) und umgelagertem Löß (Ausbildungsform B) bewirkt nach ersten Beobachtungen vor allem Unterschiede in den Bodenwasserverhältnissen der Lößstand-

orte. Ursache sind durch die Bodenstruktur hervorgerufene Abweichungen im Bodenwasserhaushalt der Ausbildungsform B. Der hier dicht lagernde, hohlraumarme Löß neigt zur Wechselfeuchtigkeit, d. h. bei trockenen Witterungsverhältnissen erfolgt infolge erhöhter kapillarer Leitfähigkeit eine erhöhte Austrocknung; in Nässeperioden tritt, verursacht durch den Mangel an größeren luftführenden Hohlräumen, ein extremer Luftmangel bei gleichzeitigem Wasserüberschuß auf. Demgegenüber ist der Wasserhaushalt der Ausbildungsform A, bewirkt durch höhere Gesamtporosität und günstigere Porengrößenverteilung, ausgeglichener; die Verdunstung ist herabgesetzt und die Wasserspeicherung größer (nach FIEDLER und REISSIG 1964).

Abweichende Verhältnisse treten auf einigen Standorten mit geringmächtiger oder vollständig erodierter Lößdecke auf. Hier bewirken die noch ungünstigere Bodenstruktur und die dadurch bedingten schlechteren Wasserverhält-

Schlag	Gesamtschlagfläche (in ha)	Polygonstrukturen			Frühsommer-Situation	
		Anzahl	Fläche (in ha)	Anteil (in %)	Typ 1	Typ 2
Zellewitz	50	2	21	42	13	8
Thaldorf	31	3	8	26	4	4
Reidewitz	115	4	55	48	46	9
Rumpin	80	1	20	25	20	–
Schochwitz	170	5	86	51	83	3
Dederstedt	80	3	49	61	49	–
Strenznaundorf	36	1	25	81	29	–

Tabelle 10
Flächenanteil von Polygonstrukturen an der Gesamtschlagfläche

nisse in den Nachbarbereichen der Strukturen eine relative Umkehr des ökologischen Kontrastes. Abbildung 11 zeigt einen Überblick über die im Untersuchungsgebiet festgestellten Formen der ökologischen Differenzierung, die durch Polygonstrukturen bedingt sind. Eine Quantifizierung der ökologischen Wirksamkeit der Strukturen muß noch ausstehenden Gelände- und Laborversuchen vorbehalten bleiben.

Die beschriebene ökologischen Wirkungen können bei der flächenhaften Verbreitung der Polygonstrukturen Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung haben. Das kleinräumig wechselnde Abschmelzen des Schnees und die differenzierte Krümmenabtrocknung im zeitigen Frühjahr können zur Behinderung der Bodenbearbeitung führen. Die im Frühsommer an die Polygonstrukturen gebundenen Reifeunterschiede erschweren eine termingerechte Ernte auf dem Gesamtschlag und können zu Ertrags- und Bergungsverlusten führen. Die Wirksamkeit der durch Polygonstrukturen hervorgerufenen Abweichungen in den standörtlichen Bedingungen für den Ackerbau ist abhängig vom Flächenanteil der Strukturen an der Gesamtfläche des Schlags. Tabelle 10 zeigt, daß auf einigen Schlägen der Anteil der Areale mit Polygonstrukturen erheblich ist.

Literatur

- AKERMAN, J.:
Studies on periglacial geomorphology in West Spitzbergen. – In: Medd. fran Lunds universitets, Geogr. Inst. – Lund 89 (1980).
- ALTERMANN, M., und J. MAUTSCHKE:
Zur Kenntnis und Verbreitung der Böden der Umgebung von Halle. – In: Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde. – Berlin 16 (1972), S. 871...886.
- ARNBERG, W.:
Multispectral reflectance measurements and Signature analysis. In: Stockholms Universitet, Naturgeografiska Institutionen; Forskningsrapport – 45 (1981).
- BRÜNING, H.:
Vorkommen und Entwicklungsrhythmus oberpleistozäner Periglazial-Erscheinungen und ihr Wert für die pleistozäne Hangformung. – Bad Godesberg, 1966. – (Forsch. dt. Landeskunde; 156).
- CHRISTENSEN, L.:
Crop-marks revealing large-scale patterned ground structures in cultivated areas, southwestern Jutland. – In: Boreas. – Oslo 3 (1974), S. 153...180.
- DYLIK, J.:
Problems of ice-wedge structure and frost-fissure polygons. – In: Biul. Peryglacjalny. – Łódź 15 (1966) S. 241...291.
- EISSMANN, L.:
Periglaziäre Prozesse und Permafroststrukturen aus sechs Kaltzeiten des Quartärs. – In: Altenburger Naturwiss. Forschungen. – Altenburg 1 (1981), S. 1...171.
- FERRIANS, J. u. a.:
Permafrost and related engineering problems in Alaska. – In: Professional paper / U.S. Geol. Survey. – Washington 678 (1972).
- FIEDLER, H.-J., und H. REISSIG:
Lehrbuch der Bodenkunde. – Jena, 1964.
- FRENZEL, B.:
Die Vegetations- und Landschaftszonen Nord-Eurasiens während der letzten Eiszeit und während der postglazialen Wärmezeit, Teil 1: Allgemeine Grundlagen. – Mainz, 1960. – (Abh. math.-naturwiss. Kl. Akad. Wiss. Lit. Mainz; 13).

- FRIEDEMANN, J.-D., u. a. :
Observations on Icelandic polygon surfaces on palsa areas. Photointerpretation and field studies. — In: *Geografiska Annaler*. — Stockholm. — 53 A (1971), S. 115...145.
- GALLWITZ, H. :
Eiskeile und glaziale Sedimentation. — Berlin, 1949. — (Geologica; 2).
- GODZIK, J. S. :
Geneza i pozycja stratygraficzna struktur peryglacjalnych w Srodkowy Polsce. In: *Acta Geogr. Lodziana*. — Łódź 31 (1973), S. 104...117.
- JAKOB, J. A., und J. LAMP :
Fossile Frostpolygonmuster auf Luftbildern Mittelholsteins und ihre bodenkundliche Bedeutung. — In: *Meyniana*. — Kiel 32 (1980), S. 129...134.
- JERSAK, J. :
Frost fissures in Loess deposits. — In: *Biul. Peryglacjalny*. — Łódź 24 (1975), S. 245...258.
- KAISER, K. H. :
Klimazeugen des periglazialen Dauerfrostbodens in Mittel- und Westeuropa. — In: *Eiszeitalter und Gegenwart*. — Öhringen/Württ. 11 (1960), S. 121...141.
- KARTE, J. :
Räumliche Abgrenzung und regionale Differenzierung des Periglaziärs. — Paderborn, 1979. — (Bochumer Geogr. Arbeiten; 35).
—: Zur Rekonstruktion des weichselglazialen Dauerfrostbodens im westlichen Mitteleuropa. — In: *Bochumer Geogr. Arbeiten*; 40. — Paderborn, 1981, S. 54...71.
- KLENGEL, K. J. :
Frost und Baugrund. — Berlin, 1968.
- KUGLER, H., und E. MÜCKE :
Geomorphologische Skizze des Halleschen Raumes. — *Wiss. Beiträge Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg*. — (1979) 45 (Q 5), S. 62...71.
- KUNERT, R., und M. ALTERMANN :
Das Pleistozän zwischen Saale und Wipper. — In: *Geologie*. — Berlin 14 (1965), S. 520...553. *Nachträge in: Geologie*. — Berlin 19 (1970), S. 1205...1208.
- LIEBEROTH, I. :
Lößsedimentation und Bodenbildung während des Pleistozäns in Sachsen. — In: *Geologie* — Berlin 12 (1963), S. 149...187.
- MORGAN, A. V. :
Polygonal patterned ground of late weichselian age in the area north and west of Wolverhampton, England. — In: *Geografiska Annaler*. — Stockholm 53 A (1971), S. 146...156.
- RICHTER, H., u. a. (Hrsg.):
Periglazial-Löß-Paläolithikum im Jungpleistozän der DDR. — Gotha/Leipzig, 1970. — (Peterm. Geogr. Mitt. — Erg. — H. 244).
- ROHDENBURG, H. :
Eiskeilhorizonte in südniedersächsischen und nordhessischen Lößprofilen. — In: *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* — Göttingen 5 (1966), S. 137...170.
- ROHDENBURG, H., und B. MEYER :
Zur Feinstratigraphie und Paläopedologie des Jungpleistozäns nach Untersuchungen in südniedersächsischen und nordhessischen Lößprofilen. — In: *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.* — Göttingen 5 (1966), S. 1...137.
- RUSKE, R. :
Das Pleistozän zwischen Halle (Saale), Bernburg und Dessau. — In: *Geologie*. — Berlin 13 (1964), S. 570...597.
- SCHULZ, W. :
Gliederung des Pleistozäns in der Umgebung von Halle (Saale). — *Geologie. Beiheft 36*. — Berlin, 1962.
- SELZER, G. :
Diluviale Lößkeile und Lößkeilnetze aus der Umgebung Göttingens. — In: *Geolog. Rundschau*. — Stuttgart 27 (1936), S. 275...293.
- SHOTTON, F. W. :
Large Scale patterned ground in the valley of the Worcester Avon (Great Britain). — In: *Geolog. Magazin*. — Cambridge 92 (1960), S. 404...408.
- SVENSSON, H. :
The use of stress situations in vegetation for detecting ground conditions on aerial photographs. — In: *Photogrammetria*. — Amsterdam 28 (1972), S. 75...87.
—: Distribution and chronology of relict polygon patterns on the Laholm plain, the Swedish west coast. — In: *Lund Studies in Geography, Ser. A*. — Lund 54 (1974).
—: Relict ice-wedge polygons, revealed on aerial photographs from Kaltenkirchen, northern Germany. — In: *Geogr. Tidsskrift*. — Kopenhagen 75 (1976), S. 8...12.
- Troll, C. :
Strukturböden, Solifluktion und Frostklimare der Erde. — In: *Geolog. Rundschau*. — Stuttgart 34 (1944), S. 546...672.
- VELIČKO, A. A. :
Paragenesis of a cryogenetic (periglacial) zone. — In: *Biul. Peryglacjalny*. — Łódź 24 (1975), S. 89...110.

VILLWOCK, G.:

Untersuchungen zur Relief- und Landschafts-
genese und zur aktuellen Naturraumstruktur
im Bereich des Saaletales zwischen Halle
und Salzmünde. — Halle: Diplomarbeit, 1980.

WASHBURN, A. L.:

Eriglacial processes and environments.
— London, 1973.

—: Periglaziale Forschung in Revue. — In: Geol.
Rundschau. — Stuttgart 70 (1981), S. 664...690.

WEICKMANN, L.:

Beobachtungen von Strukturböden während
der Polarfahrt des „Grafen Zeppelin“. — In:
Ber. u. Verh. Sächs. Akad. Wiss., math.-
phys. Kl. — Leipzig 84 (1932), S. 121...122.

Besprechungen

WAGENBRETH, O. und W. STEINER

Geologische Streifzüge.

Landschaft und Erdgeschichte zwischen
Kap Arkona und Fichtelberg.

204 Seiten, 65 Farbphotos, 16 Schwarz-
weißphotos, 117 geologische Blockbilder.
Deutscher Verlag
für Grundstoffindustrie: Leipzig, 1982.

Wahrlich ein schönes und preiswertes Buch, zu dem man den Autoren und dem Verlag in jeder Hinsicht gratulieren kann. Nachdem 1981 im Brockhaus Verlag Leipzig von H. HEYNERT ein Buch „Zwischen Ostsee und Erzgebirge — Landschaften unserer Heimat und ihre Pflanzen“ erschienen war, das sich mit der Pflanzenwelt beschäftigte, liegt nun ein eindrucksvoller, hervorragend ausgestatteter Band über die geologische Entwicklung einzelner Landschaften vor. Besonderer Wert wird dabei auf die Verbindung zwischen der Landschaft und der geologischen Entwicklung des Untergrundes gelegt. Die Auswahl der behandelten Gebiete ist anzuerkennen, auch wenn, wie die Verfasser selbst sagen, manche Räume nicht behandelt werden konnten. Der Versuch, einzelne Gebiete unter geologischen Gesichtspunkten auszuwählen und diese in Wort und Bild darzustellen, ist durchaus gelungen. Ganz besonders sei aber hervorgehoben, daß immer auf die Verbindung von Text, Bild und Blockbildern Wert gelegt wird. Gerade die zahlreichen, teilweise farbigen Blockbilder erlauben es auch dem Laien und Heimatforscher, dem Ober-
schüler und Urlauber, sich ein Bild von den geologischen Verhältnissen zu machen, da im Gegensatz zu

Schnitten und Profilen hier die dritte Dimension ausgezeichnet zur Darstellung kommt. Das ist bisher noch nirgends so klar versucht worden. Die Photos, speziell die farbigen, sind ausgezeichnet gelungen.

Nach einer kurzen Einleitung über Erdgeschichte und Landschaftsbild sowie Mensch folgt ein Überblick über Gesteinsbildung, physikalisch-geologische und erdgeschichtliche Vorgänge. Dann wird ein Überblick über das Gesamtgebiet der DDR gegeben, bevor im Hauptteil des Buches Bau und Bildungsgeschichte der Landschaften der DDR erörtert werden. Behandelt werden das Tiefland im Norden, die Ostseeküste, der Flechtinger Höhenzug und das nördliche Harzvorland, der Harz, das östliche und südliche Harzvorland, das Thüringer Becken, Thüringer Wald und Südthüringen, das Thüringisch-Vogtländische Schiefergebirge, das Erzgebirge, das Granulitgebirge und das Erzgebirgische Becken, Nordwestsachsen, die Elbtalzone, Ober- und Niederlausitz. Es ist müßig, auf Einzelheiten einzugehen und kleinliche Kritik zu üben. Fehler lassen sich in einem solchen Buch nicht vermeiden. Das Schlußkapitel bespricht den geologischen Bau und die geologische Zukunft Europas. Der Versuch, das (überholte) STILLESCHES Modell des Anbaus mit plattentektonischen Vorstellungen zu verbinden, erscheint nicht ganz gelungen. Ein weiteres Kapitel zeigt die Landschaft Mitteleuropas in der Geschichte der Geologie. Erfreulich ist, daß im Anhang die geologischen Museen und größeren geologischen Abteilungen in den Museen der DDR angeführt werden, so daß es allen Lesern des Buches möglich ist, vor Antritt einer Fahrt oder Reise sich entsprechend zu informieren. Ein Quellen- und Literaturverzeichnis sowie Sachwörter- und Ortsverzeichnis beschließen den schönen Band.

Zu wünschen wäre ein Eingehen auf die Mineral- und Heilquellen in einer neuen Auflage, zumal Tausende Bürger alljährlich als Kurpatienten die staatlich anerkannten Bäder besuchen und Interesse am Entstehen und Regime der Quellen haben. So wird z. B. nicht auf das Staatsbad Elster eingegangen; Bad Brambach wird nicht einmal erwähnt u. a. m., obwohl auf die mineralischen Rohstoffe an den entsprechenden Stellen mehrfach hingewiesen wird. Die Wässer gehören diesbezüglich nicht an die letzte Stelle.

Beide Autoren haben sich bemüht, möglichst allgemeinverständlich und anschaulich zu schreiben und überflüssige Einzelheiten wegzulassen. Trotzdem stellt die Lektüre des Werkes gewisse Anforderungen an den Leser, deren Bewältigung aber durch die hervorragenden Abbildungen möglich ist.

R. HOHL