

Vortrag Dipl.-Phys. R. Wanke, München

"Strömungsspannungen und elektrolytische Leitfähigkeit in einigen Sand- und Moorproben aus der bayerischen Molasse"

Donnerstag, den 30.9.1965

Einleitung

Elektrische Strömungsspannungen sind Prozesse der Elektrokinese. Letztere gliedert man in

A. Feste Phase bewegt, flüssige Phase ruhend

1. Elektrophorese
2. Elektrophoretisches Potential (Dorneffekt oder Sedimentationspotential).

B. Feste Phase ruhend, flüssige Phase bewegt

1. Elektroosmose
2. Strömungsspannung oder Strömungspotential.

Strömungsspannungen treten auf, wenn eine Flüssigkeit mit einer beliebigen Ionenkonzentration durch ein poröses System gepresst wird. Dabei bildet sich in den Kapillaren eine bestimmte Ionenverteilung aus (s. Figur 1).

Nach H. Freundlich (1930) sieht der Potentialverlauf quer zur Kapillarachse wie aus Figur 2 ersichtlich, aus.

Die mathematische Formulierung dieses physikalischen Vorganges wurde 1879 von Helmholtz veröffentlicht. Sie lautet:

$$U = \frac{\epsilon \zeta}{4\pi\sigma\eta} \cdot \frac{\Delta P}{l} \cdot a \quad (1)$$

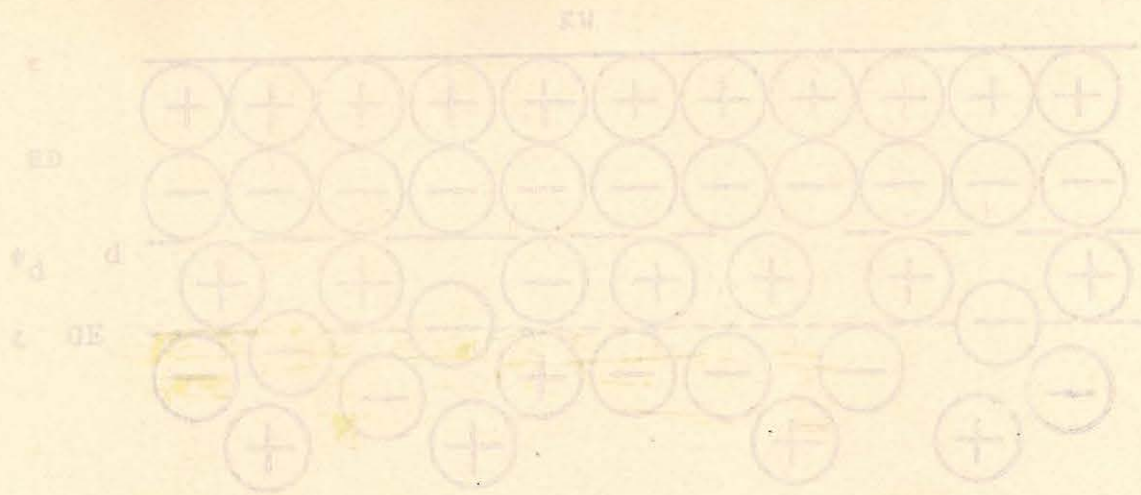
U = Strömungsspannung, ϵ = Dielektrizitätskonstante, σ = elektrolytische Leitfähigkeit, η = Viskosität, ΔP = Druckdifferenz, l = Länge der Probe, a = Elektrodenabstand.

Gemessen wurden U , ϵ , σ und η . Vorgegeben waren ΔP , l und a . Daraus ließ sich das ζ -Potential berechnen.

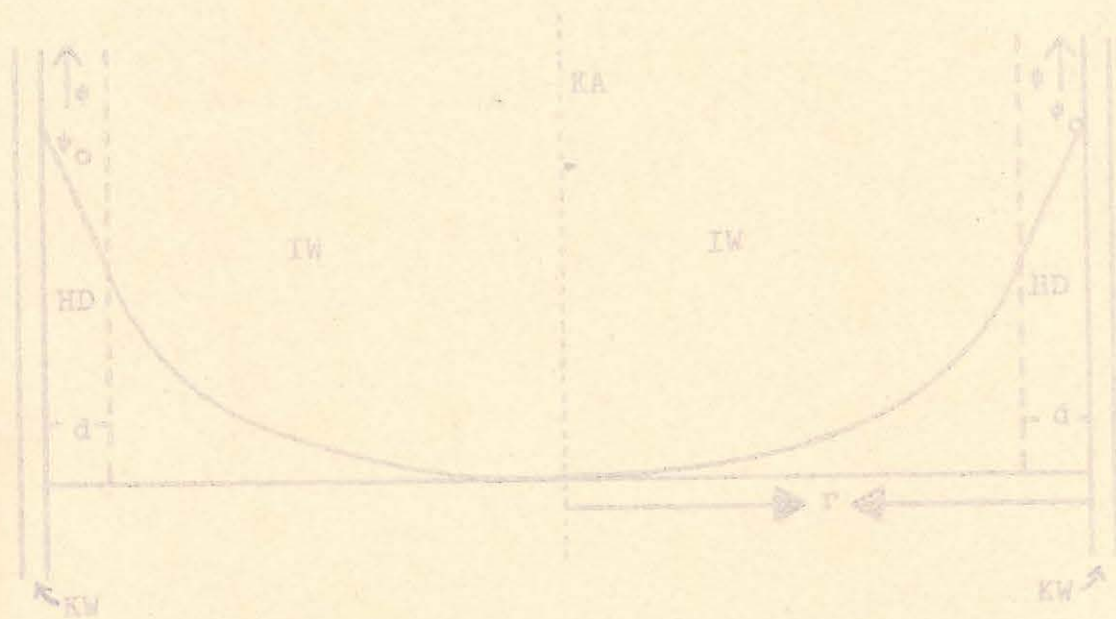
Labormessungen

Die Strömungsspannungen wurden mit 2 Kalomelelektroden abgegriffen. Man erhält eine elektrochemische Kette folgender Art:

Kalomelektrode/KCl/ c_1 / c_2 /KCl/Kalomelektrode



Figur 1: c = Nernstsches Phasengrenzpotential, HD = Helmholtzsche Doppelschicht (mehrere Ionendurchmesser dick), c = Potential der bewegten gegenüber der an der Kapillarwand haftenden Flüssigkeitsschicht, ψ_d = Potential von d gegenüber der Kapillarwand, KW = Kapillarwand.



Figur 2: HD = Helmholtzsche Doppelschicht, ψ_0 = Potential an der Kapillarwand, r = Kapillarradius, IW = Gouy - Chapman oder Debye - Hückelsche Ionenwolke, KW = Kapillarwand, d = Dicke der Helmholtzschen Doppelschicht, KA = Kapillarachse.

$c_{1,2}$ = Ionenkonzentrationen.

Gemessen wurde der Potentialsprung von c_1 nach c_2 mit einer Kompensationschaltung (s. Figuren 3 und 4).

Auswertung

Die Auswertung bestand im Wesentlichen darin, die Gültigkeit der Gleichung (1) für Sand- und Moorproben zu prüfen. U soll demnach eine lineare Funktion des Druckgradienten sein (s. Figuren 5-8).

Bei Sandproben fand man die Linearität der Gleichung (1) weniger gut bestätigt. Als Ursache dafür wird das lockere Korngefüge der Sandprobe angegeben. (Nicht die Turbulenz der Strömung: Ph. E. Boquet, C. M. Slipevich und D. F. Bohr 1956) (s. Figuren 9 und 10).

Die Messung der übrigen Parameter der Gl. (1) soll nun kurz beschrieben werden.

a. Viskosität

Die dynamische Viskosität wurde mit einem Ostwaldschen Viskosimeter der Firma Schott und Gen. als Funktion der Temperatur gemessen (s. Figur 11). Beachtlich sind die Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit.

b. Elektrolytische Leitfähigkeit σ

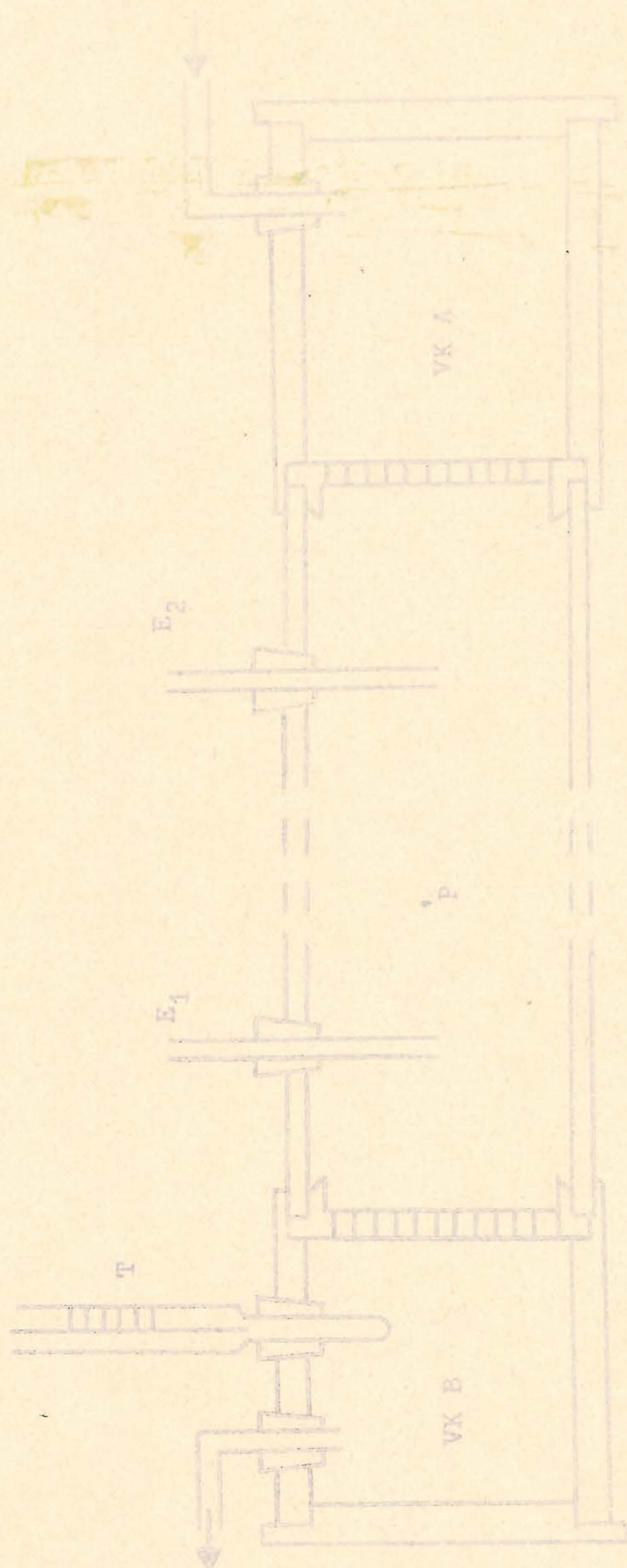
σ wurde mit einer Leitfähigkeitsmeßzelle der Wissenschaftlich-Technischen Werkstätten Weilheim (WTW) in Verbindung mit einem Pontavi und Summer (1400 Hz) bestimmt.

c. Dielektrizitätskonstante ϵ

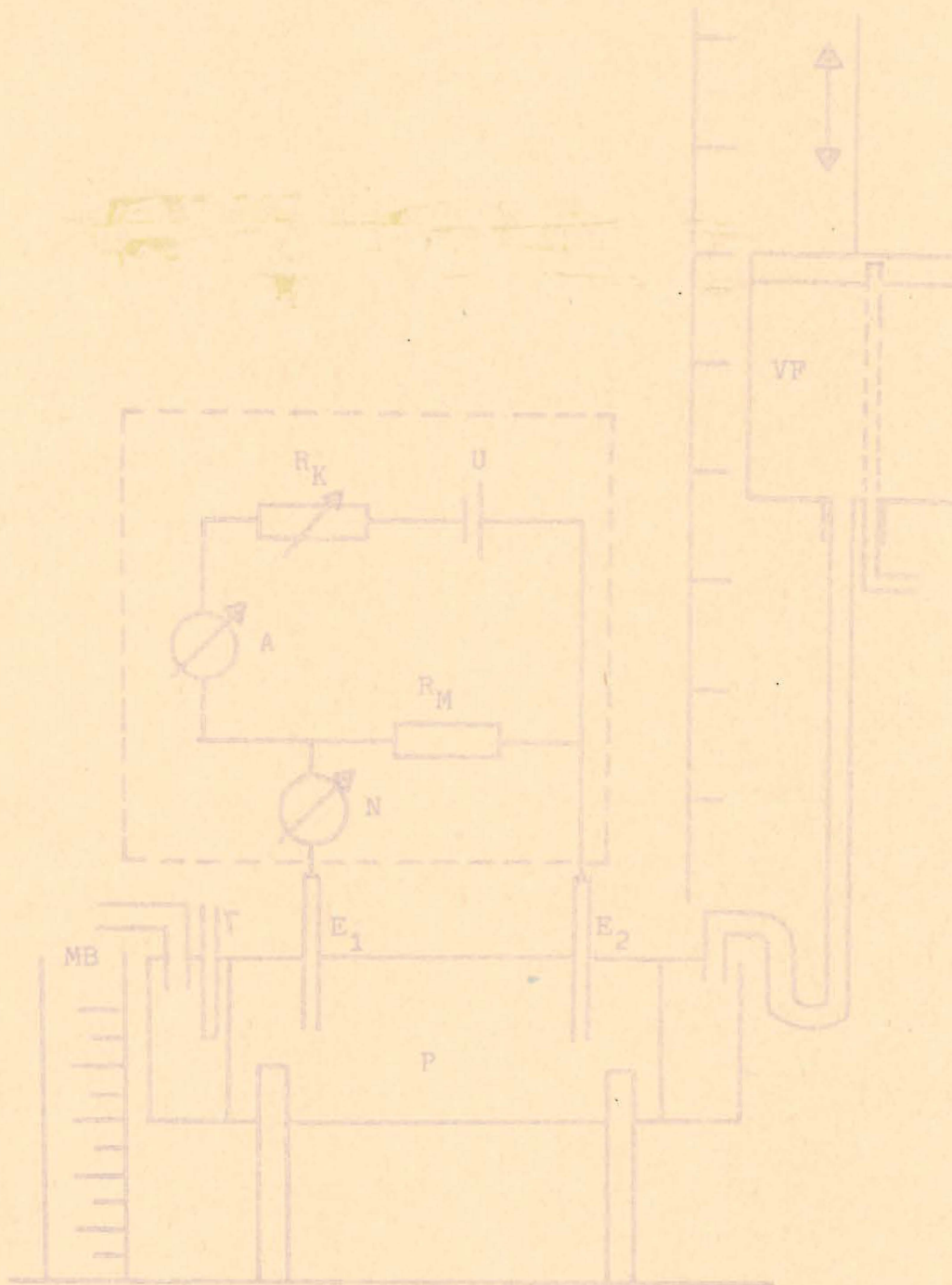
ϵ wurde mit einer Schwingkreisordnung gemessen. Sie bestand aus einem Meßsender, Zylinderkondensator ($450 \cdot 10^{-12}$ (F)), einer Spule ($0,8 \cdot 10^{-8}$ (H)), einem Gleichrichter und einem μ -Amperemeter als Indikator.

Die Wasserdurchlässigkeit der Moor- und Sandproben.

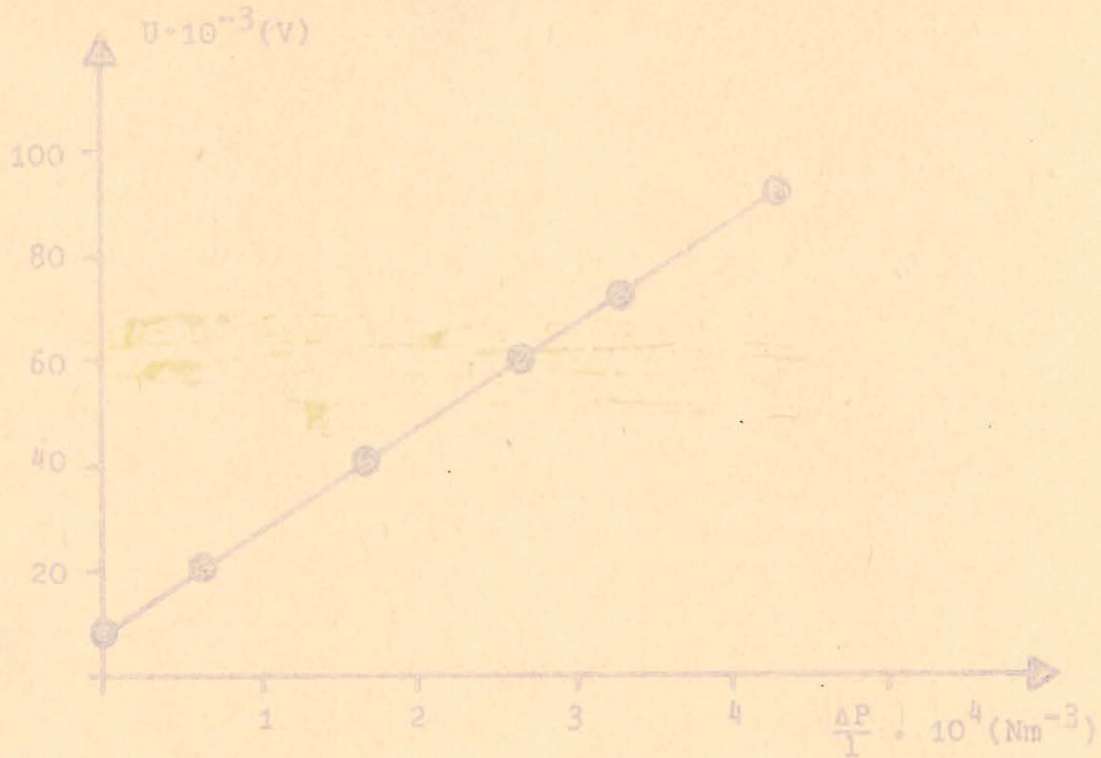
In Anbetracht der unterschiedlichen Werte der Strömungsspannung wurden die Proben auf ihre Wasserdurchlässigkeit hin untersucht. Es ergaben sich folgende Werte:



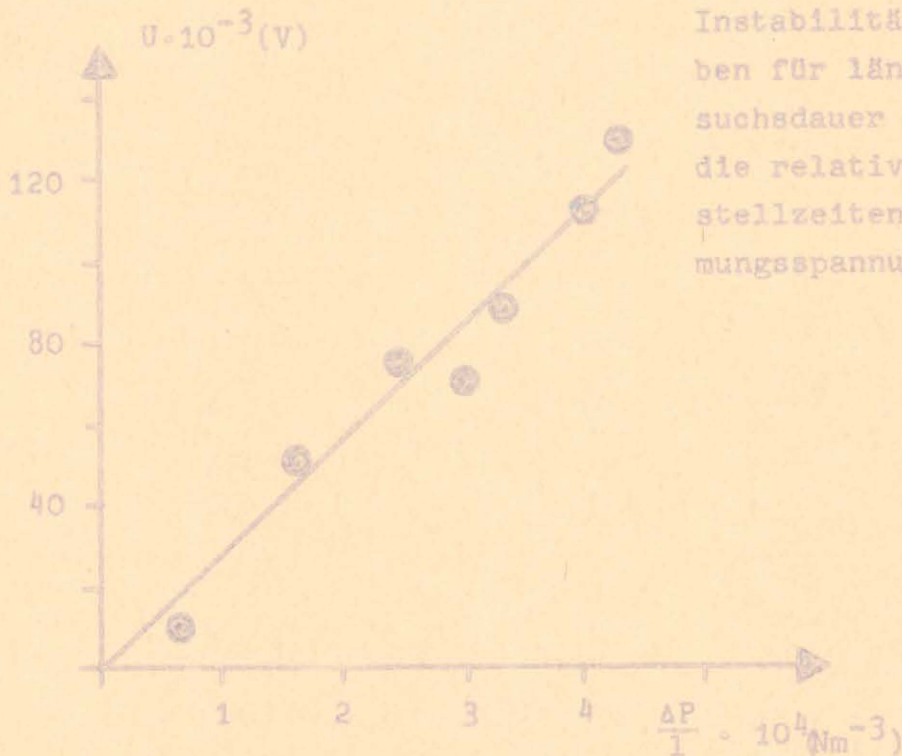
Figur 3: Probebehälter, T = Thermometer, E₁, E₂ = Kalomelelektroden, VK A, VK B = Vorkammer
A bzw. B, P = Probebehälter (30 cm lang, Durchmesser 5,8 cm).



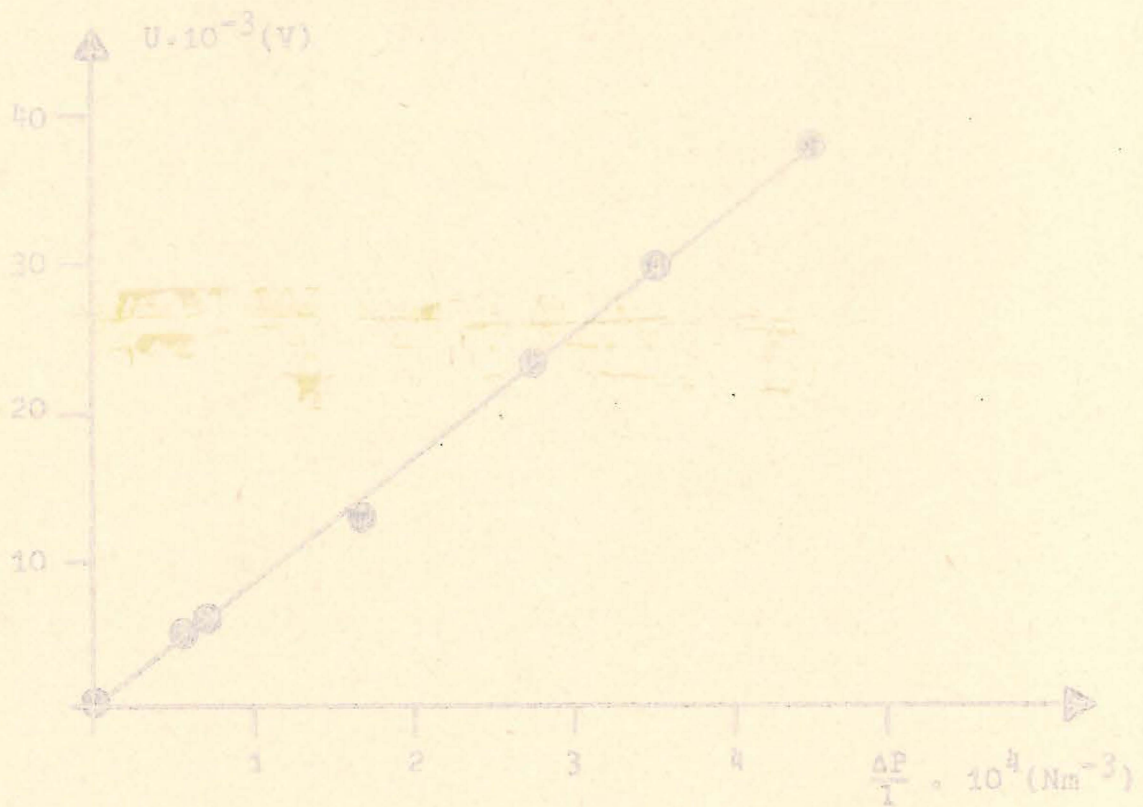
Figur 4: Schematischer Aufbau der Versuchsanordnung zur Messung von Strömungsspannungen. VF - Versuchsflüssigkeit, U = Kompensationsspannung, R_K = Kompensationswiderstand, N = Nullinstrument, T = Thermometer, R_M = Messwiderstand, A = Ampere-meter, MB = Messbecher.



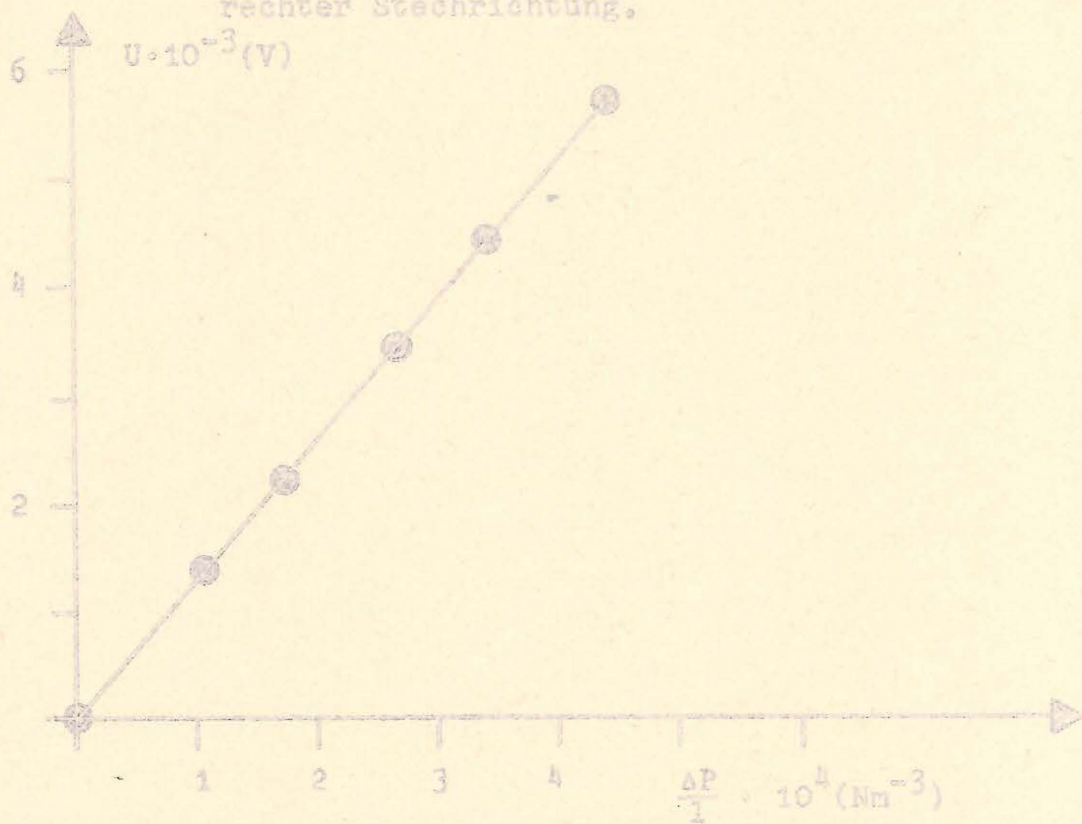
Figur 5: Druckabhängigkeit der Strömungsspannung einer Moorprobe aus 50 cm Tiefe, gestochen in senkrechter Richtung. Die kleine Anzahl der Meßpunkte ist durch die Instabilität der Proben für längere Versuchsdauer und durch die relativ langen Einstellzeiten der Strömungsspannungen bedingt.



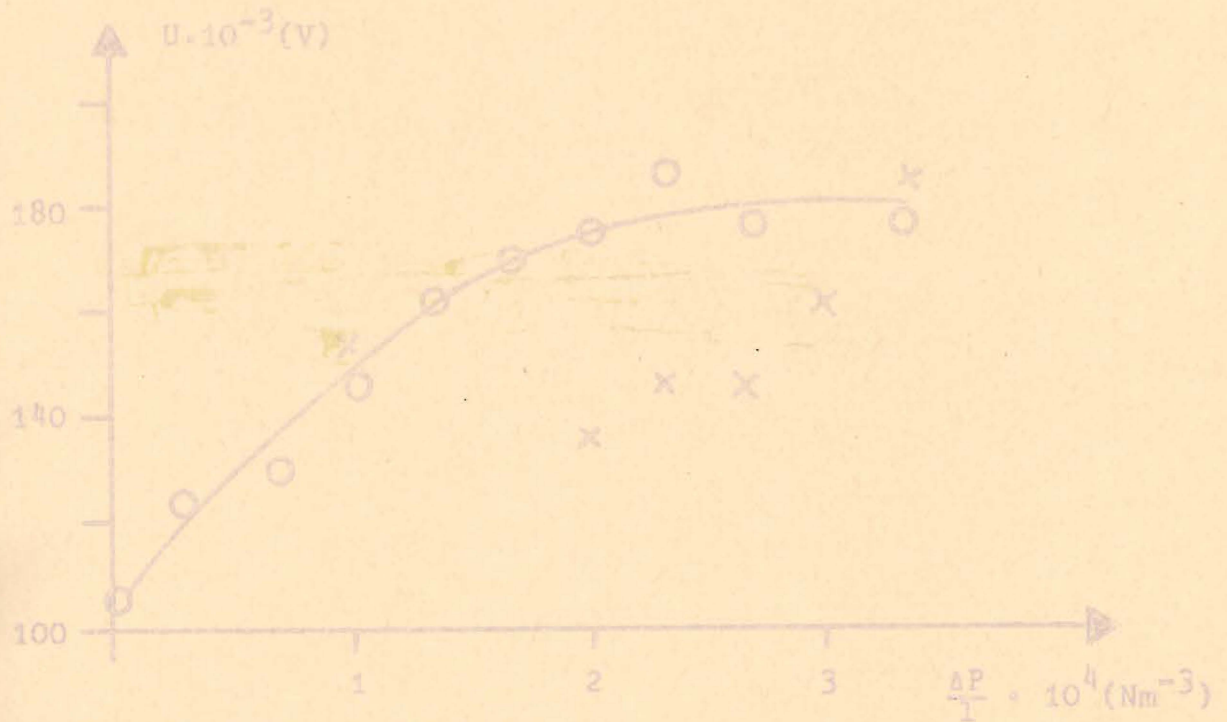
Figur 6: Druckabhängigkeit der Strömungsspannung einer Moorprobe aus 50 cm Tiefe, gestochen in waagrechtlicher Richtung.



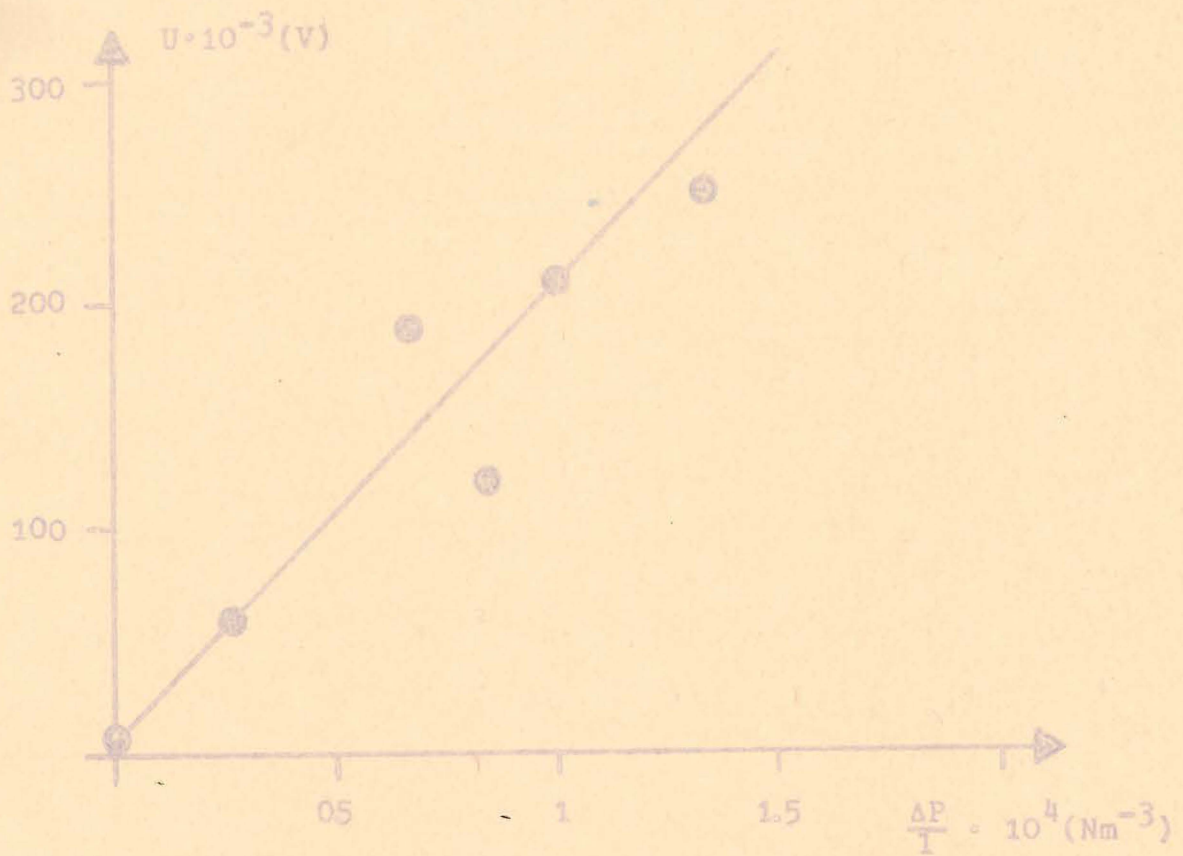
Figur 7: Druckabhängigkeit der Strömungsspannung einer Moorprobe aus 100 cm Tiefe, gestochen in senkrechter Stechrichtung.



Figur 8: Druckabhängigkeit der Strömungsspannung einer Moorprobe aus 100 cm Tiefe, gestochen in waagrechter Stechrichtung.



Figur 9: Druckabhängigkeit der Strömungsspannung in der Sandprobe 1.



Figur 10: Druckabhängigkeit der Strömungsspannung in der Sandprobe 3.



Figur 11: Viskosität der Bodenlösungen als Funktion der Temperatur 1a = Moorwasser aus 50 cm Tiefe einmal filtriert, 1b = Moorwasser aus 50 cm Tiefe zweimal filtriert, 2a = Moorwasser aus 100 cm Tiefe einmal filtriert, 2b = Moorwasser aus 100 cm Tiefe zweimal filtriert, 3a = Regenwasser einmal filtriert, SW = Sandwasser, DW = destilliertes Wasser.

Tabelle 1

Durchlässigkeit

$$k = \frac{q}{F \cdot \frac{h}{l} \cdot t}$$

Wasserdurchlässigkeit von Sandproben (Massenhausen)

h (cm)	t (sec)	q (cm ³)	v* (cm ³ ·sec ⁻¹)	k (cm·sec ⁻¹)·10 ⁻² oder k (m·sec ⁻¹)·10 ⁻⁴
20	60	14	0,233	1,32
30	168	48	0,286	1,08
40	60	24	0,400	1,13
50	60	38	0,634	1,44
60	60	36	0,600	1,13
70	114	78	0,685	1,10
80	60	49	0,815	1,15
100	45	54	1,200	1,36

Wasserdurchlässigkeit von Moorproben (Bernau)

Probe	h (cm)	t (sec)	q (cm ³)	v* (cm ³ ·sec ⁻¹)	k (cm·sec ⁻¹)·10 ⁻³ k (m·sec ⁻¹)·10 ⁻⁵ oder
50-w	25	60	14	0,233	1,49
50-s	25	120	52	0,433	2,78
100-w	40	120	53	0,440	1,78
100-s	25	120	50	0,415	2,55

Tabelle 2

Zusammenstellung gemessener und berechneter Werte

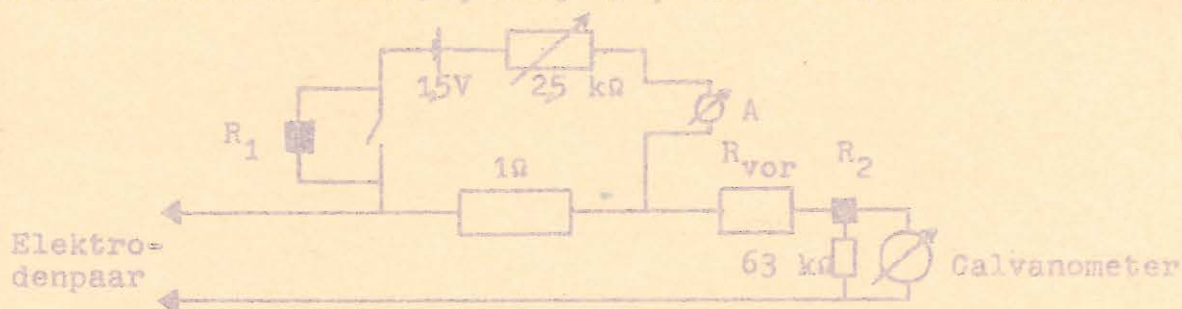
	Moorprobe (Bernau) aus 50 cm Tiefe	Moorprobe (Bernau) aus 100 cm Tiefe	Sandprobe aus Massenbauen
elektrolytische Leitfähigkeit der Versuchsflüssigkeit $\sigma_{\text{gem.}}$ [$\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$]	$2 \cdot 10^{-2}$	$0,6 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$
dynamische Viskosität $\eta_{\text{gem.}}$ [$\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$]	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-3}$	$1,09 \cdot 10^{-3}$
Steigung der Geraden $U = f(\Delta P)$	Probe aus waagr. Stechr. $\text{tg } \alpha$ [$\text{N}^{-1} \cdot \text{m}^2 \text{ V}$]	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$30 \cdot 10^{-7}$
	Probe aus senkr. Stechr. $\text{tg } \alpha$ [$\text{N}^{-1} \cdot \text{m}^2 \text{ V}$]	$8,5 \cdot 10^{-7}$	$210 \cdot 10^{-7}$
$\epsilon_{\text{rgem.}}$	100	90	96
$\epsilon_{\text{ber.}}$ [$\frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A} \cdot \text{s}}$]	Probe aus waagr. Stechr.	$6 \cdot 10^{-3}$	Mittelwert
	Probe aus senkr. Stechr.	$39 \cdot 10^{-3}$	$1800 \cdot 10^{-3}$

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß elektrische Strömungsspannungen in Moor- und Sandproben auftreten und sich im wesentlichen gemäß den bekannten Gesetzmäßigkeiten verhalten.

Feldmessungen

In den südlichen Chiemseemooren wird zur Zeit Torf *in situ* auf sein elektrisches Verhalten untersucht. Neben Widerstandsmessungen interessiert vor allem die Richtung und die Größe von Strömungspotentialdifferenzen in Abhängigkeit des hydrostatischen Druckes. Während die Widerstandsmessungen (Einzelmessungen) mit einer Wenner-Anordnung bzw. einem Wennerstab (Ingold) durchgeführt werden, wird das Strömungspotential zur Zeit auf 5 demnächst auf 12 Spuren registriert (s. Figuren 12-14). Die Elektrodenpaare wurden auf sehr verschiedenen Strecken zwischen 2 etwa 10 m von einander entfernten Gräben eingebaut. Der Wasserstand der Gräben besitzt eine Höhendifferenz von etwa 0,6 m. 172 regelmäßig beobachtete Piezometerrohre geben Aufschluß über die Verhältnisse des hydrostatischen Druckes in 50, 100, 150, 200 cm unter Gelände.



Temperaturmessung

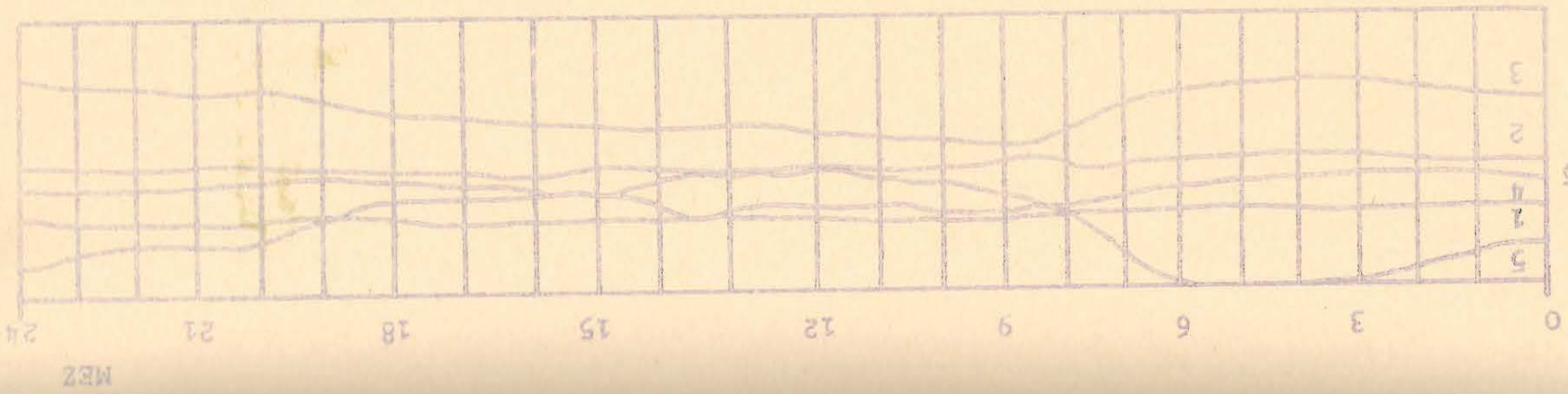
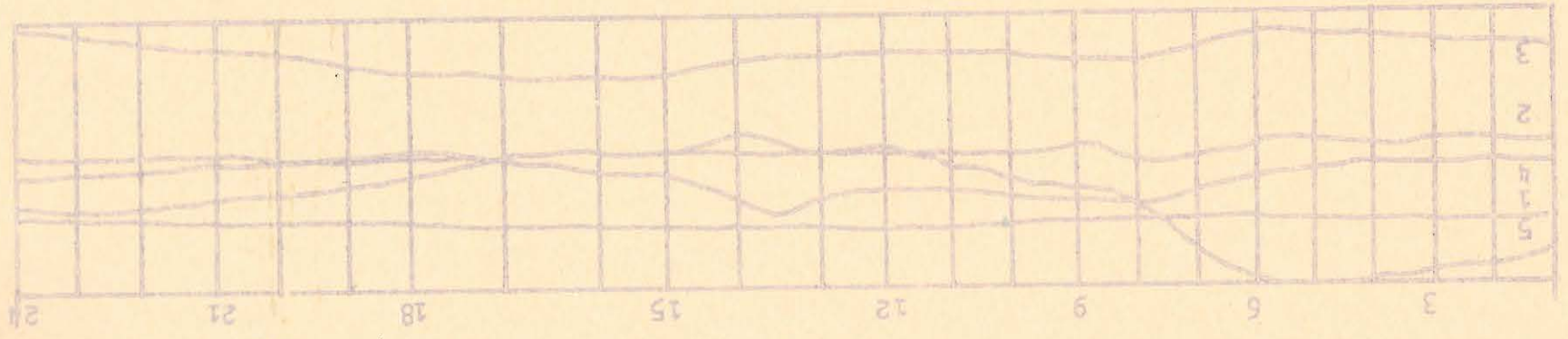
z (cm)	0	50	100	150	200
T (°C)	18	14	12	10	9

Diese Werte wurden mit einem Widerstandsthermometer bestimmt. Aus wiederholten Messungen ergab sich, daß diese Temperaturwerte im Moor Monate lang konstant blieben.

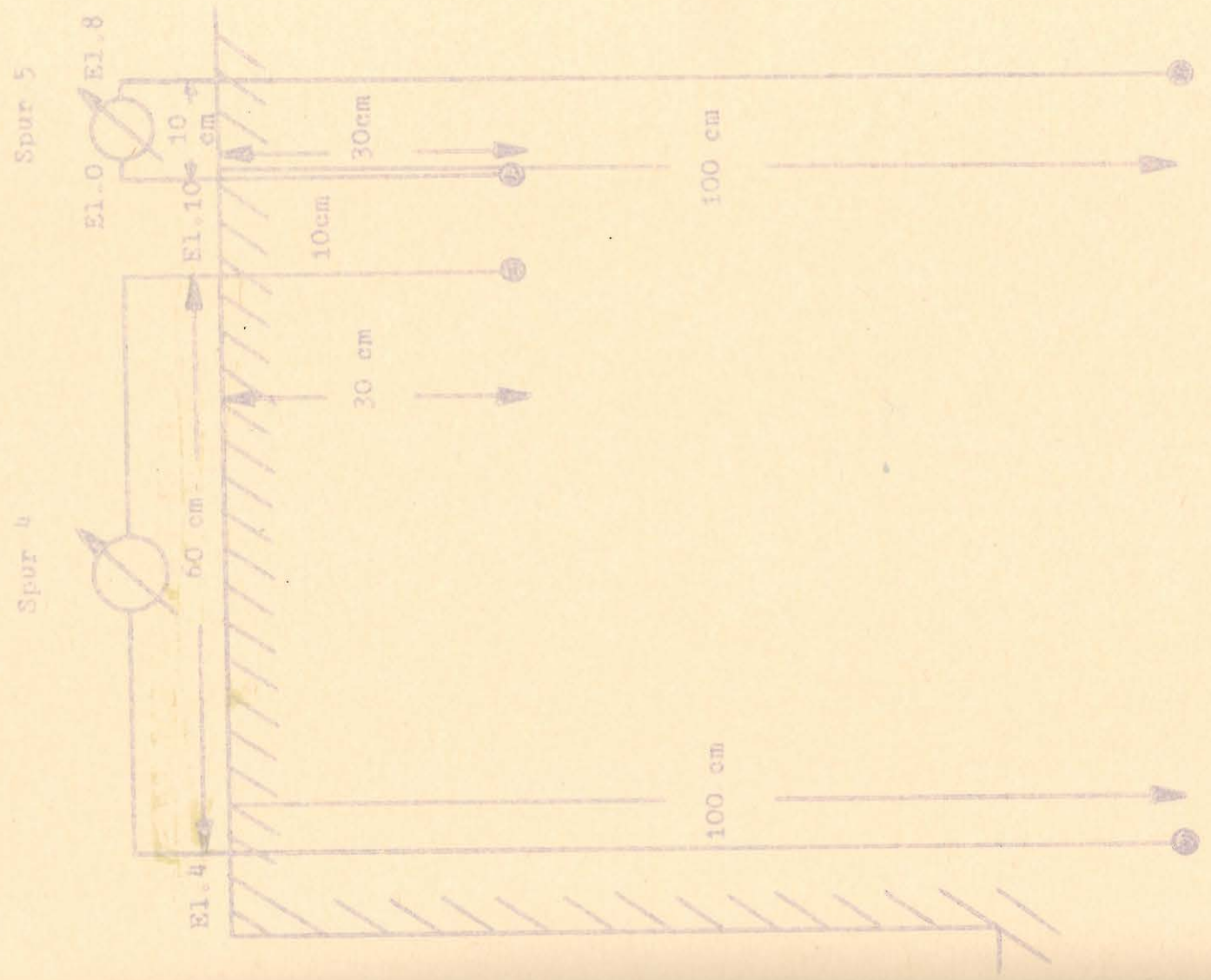
Das Ziel der Untersuchung ist, mit Hilfe der Strömungsspannung die Wasserbewegung in einem geologischen Körper zu bestimmen.

(Impfen und Anfärben im Moor funktionieren nicht.)

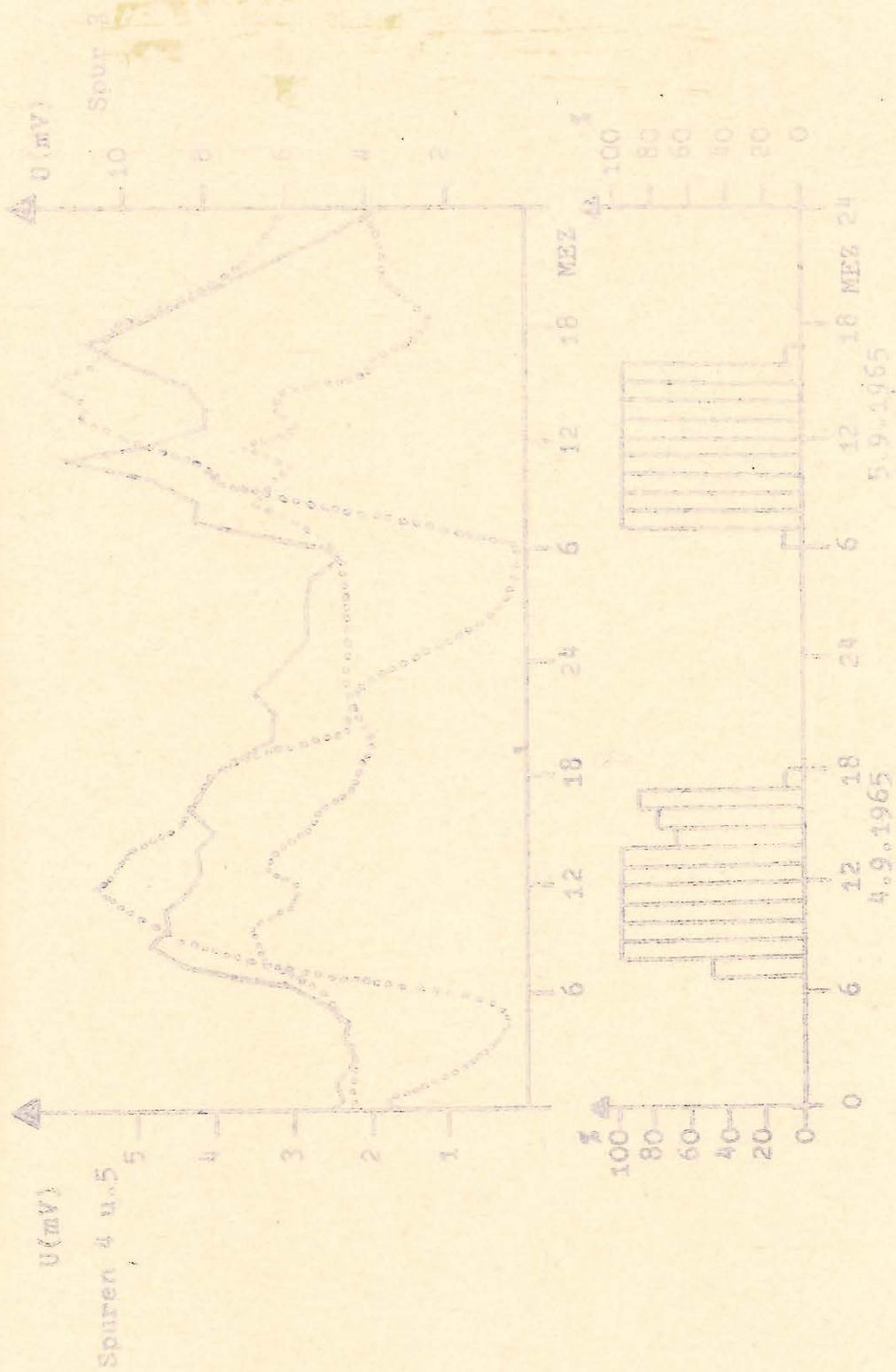
Figure 12: Regelstrategie



17



Figur 13: Elektrodenanordnung für die Spuren 4 und 5.



Figur 14: Auswertung der Registrierung und Sonnenscheindauer.