

**Zeitschrift:** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich  
**Herausgeber:** Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)  
**Band:** 60 (1977)

**Artikel:** Beschreibung exzentrischer Hochmoore mit Hilfe quantitativer Methoden  
**Autor:** Wildi, Otto  
**Kapitel:** 6: Strukturelle Untersuchung der Standortmessungen  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308490>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 01.02.2026

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

## 6. Strukturelle Untersuchung der Standortsmessungen

---

In diesem Abschnitt sollen die verschiedenen Messungen auf ihre Zuverlässigkeit untersucht und nach den wichtigsten Korrelationen gefragt werden.

### 6.1. Vergleich der Wassermessungen

---

Wie schon in Kap. 4 erwähnt, wurden zwei Probeserien zur Auswertung beigezogen (11.6.74 und 7.9.74). Die ganze Analyse beruht also auf ausgesprochenen Momentanwerten. Ausgehend von der Hypothese, dass Werte, die für die jeweiligen Standorte als typisch anzusehen sind, systematisch über das ganze Gebiet schwanken sollten, werden alle Regressionen zwischen den Werten der ersten und der zweiten Entnahme berechnet. Tatsächlich können für einige Messungen sehr hohe, für andere nur unbedeutende Korrelationen festgestellt werden:

| Art der Messung           | Korrelation 1./2. Messung    |
|---------------------------|------------------------------|
| pH                        | 0.94                         |
| [Ca <sup>++</sup> ]       | 0.93                         |
| elektrische Leitfähigkeit | 0.90                         |
| [Mg <sup>++</sup> ]       | 0.37                         |
| [Na <sup>+</sup> ]        | 0.30                         |
| [K <sup>+</sup> ]         | oft unter der Nachweisgrenze |

Alle Korrelationen sind auf dem 1 % - Niveau signifikant von Null verschieden. Alle Regressionen sind auch aufgezeichnet und die Residuen untersucht worden: Der Versuch festzustellen, ob eine Abweichung der Messresultate der beiden Probeentnahmen für eine bestimmte Vegetationseinheit typisch sein könnte, verläuft negativ. Für die weiteren Berechnungen werden aus diesem Grunde stets die Mittelwerte beider Messungen verwendet.

## 6.2. Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung einzelner Standortsfaktoren

---

### 6.2.1. pH in wässriger Lösung und pH in KCl

Wegen besserer Reproduzierbarkeit der Ergebnisse werden pH-Messungen oft in verdünnten Elektrolytlösungen (hier 0.1 n KCl-Lösung) durchgeführt (SCHROEDER 1972). Der Vergleich der Messungen in reinem Wasser und KCl-Lösung ergibt eine Korrelation um 0.93 und keinerlei systematische Abweichungen. Wegen der besseren Vergleichbarkeit mit Literaturangaben werden nur die Messungen im Wasser weiterverwendet.

### 6.2.2. Humosität des Torfes und Aschengehalt

Die von Postsche Humositätsskala (z.B. OVERBECK und SCHNEIDER 1941, S. 327) erlaubt es, den Zersetzungsgrad des Torfes subjektiv zu beurteilen. Es wird angenommen, dass der Glührückstand für dieselbe Eigenschaft ein gutes Mass darstellt. Abb. 17 zeigt die gegeneinander aufgetragenen Ergebnisse: Es besteht ein deutlicher, nicht linearer Zusammenhang zwischen den beiden Größen. Nachteilig wirkt sich aus, dass die von Postsche Skala bei Anmooren kaum mehr brauchbar ist.

Betrachtet man nur die Stufen 1 - 8 der Skala, so kann gut mit einer linearen Regression gerechnet werden. OVERBECK und SCHNEIDER (1941) und OVERBECK (1947) führten den selben Versuch unter Verwendung des Zersetzungsgrades

$$\text{Z.G.} = \frac{\text{Echte Humusstoffe}}{\text{organische Substanz}} \cdot 100$$

durch und kamen zu einem etwas deutlicheren, linearen Zusammenhang. Während mit dem Zersetzungsgrad nur die Umwandlung der organischen Substanz bei der Humifizierung gemessen wird, ist der viel rascher bestimmbare Aschengehalt auch eine Funktion der Zusammensetzung der ursprünglichen Pflanzenmasse, der absorbierten Ionen und des beigemengten Mineralbodens. Der Aschengehalt ist also ein schlechtes Mass für den Zersetzungsgrad und sollte nur als Indikator für den gesamten Anteil organischer Substanzen im Torf betrachtet werden.

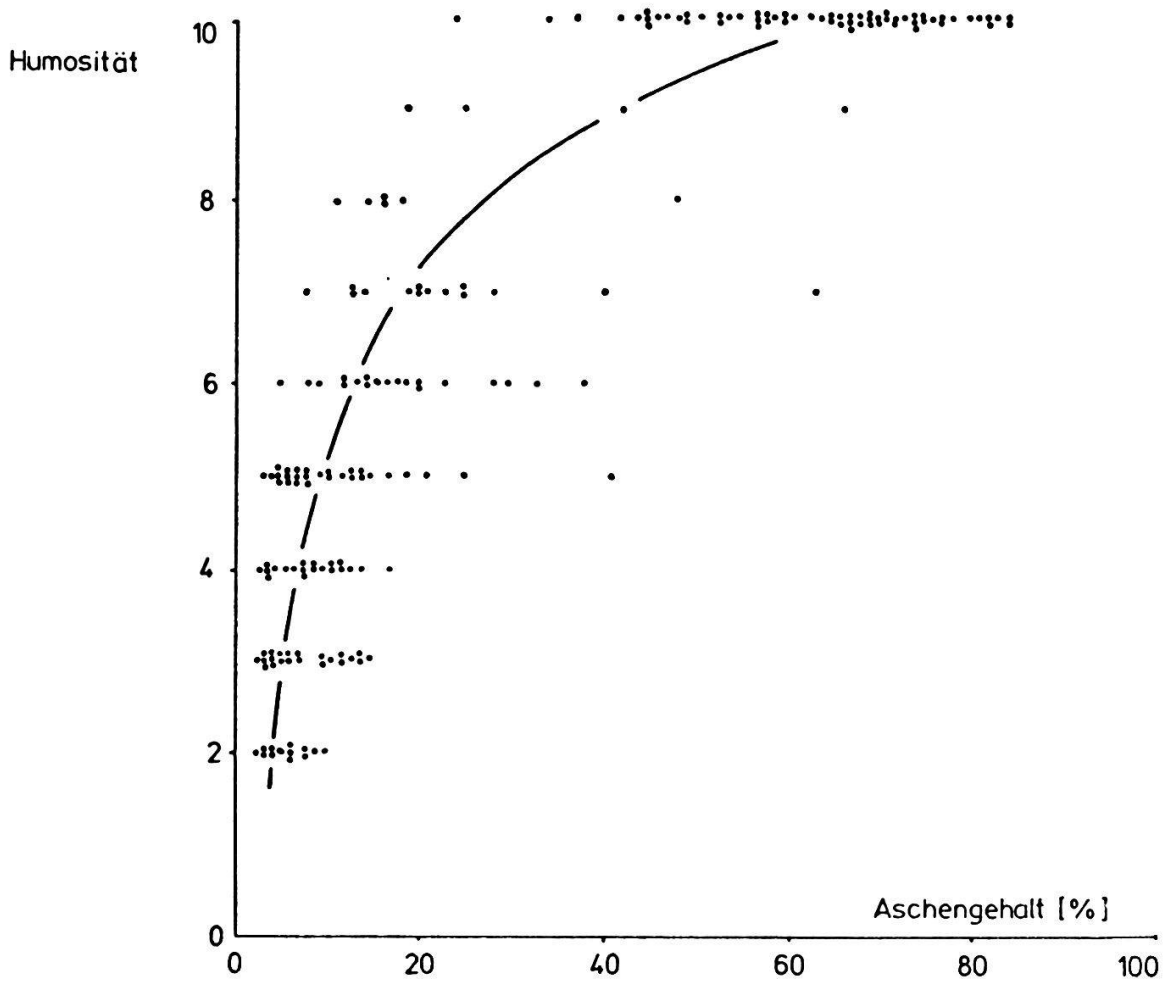


Abb. 17 Vergleich der Humositätsbestimmung nach VON POST (1924), zit. in OVERBECK und SCHNEIDER (1941), und dem Aschengehalt des Torfes

Für die folgenden Untersuchungen wird auf die Verwendung der Humositätsgrade verzichtet und die Aschengehalte werden logarithmisch transformiert.

### 6.3. Einfache und multiple Korrelationen zwischen den Kationengehalten von Wasser und Torf

---

Die Korrelationsmatrix zeigt erste, einfache Zusammenhänge zwischen den Variablen. Mit einem  $r > 0.8$  korrelieren folgende Größen:

|   |        |
|---|--------|
| 1. $[Ca^{++}]$ Wasser mit Basensättigung            | +0.899 |
| 2. pH Wasser mit pH Torf                            | +0.887 |
| 3. pH Wasser mit $[Ca^{++}]$ Wasser                 | +0.875 |
| 4. pH Torf mit Gesamtazidität                       | -0.859 |
| 5. Häufigster Wasserstand mit maximalem Wasserstand | +0.859 |
| 6. pH Torf mit $[Ca^{++}]$ Wasser                   | +0.844 |
| 7. KUK mit Aschengehalt                             | -0.827 |
| 8. pH Torf mit Basensättigung                       | +0.826 |
| 9. pH Wasser mit Basensättigung                     | +0.823 |
| 10. Azidität mit Basensättigung                     | -0.806 |

Von 21 Grössen weisen obige 10 (rund die Hälfte) eine hohe Korrelation auf. Bemerkenswert sind die sehr deutlichen Beziehungen zwischen Wassereigenschaften und Torfeigenschaften, insbesondere, weil die Messwerte nicht nur aus anderen Proben stammen, sondern gar zu andern Zeitpunkten ermittelt wurden. Die auffälligste ist sicher die erste, da sich die  $Ca^{++}$ -Konzentration des Wassers als Massstab für die Klassifikation der Hochmoore eingebürgert hat (DU RIETZ 1954, JENSEN 1961, ELLENBERG 1963, MALMER 1962, GIES 1972 und andere). Offensichtlich wird damit stets ein Symptom der Basensättigung des Torfes gemessen.  $Ca^{++}$  hat ja meist den grössten Anteil an den austauschbaren Ionen. Im weiteren zeigt sich ein deutlicher Block untereinander hoch korrelierender Grössen: pH von Wasser und Torf, Basensättigung, Gesamtazidität und  $Ca^{++}$ -Gehalt des Wassers.

Zusätzlich sind folgende Grössen an Korrelationen  $0.7 < r < 0.8$  beteiligt:

$PO_4-P$

Torfmächtigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit des Moorwassers, die ebenfalls sehr oft zur Charakterisierung von Mooren beigezogen wird, weist als höchsten Korrelationskoeffizienten nur 0.39 auf. Im weiteren kann wegen den Korrelationen vermutet werden, dass alle hier erwähnten Grössen eine gewisse zeitliche Konstanz aufweisen müssen, so dass sie für die Erklärbarkeit der Vegetation bedeutsam sein könnten.

Eine synthetische Darstellung der einfachen Korrelationen gibt die Faktorenanalyse (R-Technik) in 6.4., Abb. 18. Eine Diskussion der Einflüsse, denen einfache Korrelationen unterworfen sind, folgt in Kap. 8.2.1.

Zum Aufsuchen mehrfacher Interaktionen wird die Methode der schrittweisen multiplen Regression verwendet. Im Gegensatz zur normalen multiplen Regressionsanalyse werden nicht alle unabhängigen Variablen gleichzeitig verwendet, sondern schrittweise nur immer die höchstkorrelierende, bzw. diejenige, die den grössten Anteil der Restvarianz erklärt. BAHRENBURG und GIESE (1975) beschreiben das Vorgehen wie folgt:

"Im ersten Schritt wird die unabhängige Variable, die mit Y am höchsten korreliert, als erste Variable  $X_1$  in das Regressionsmodell einbezogen und die lineare Einfachregression von Y nach  $X_1$  berechnet. Im zweiten Schritt werden zunächst die partiellen Korrelationskoeffizienten bzgl. der im 1. Schritt ausgewählten Variablen  $X_1$  zwischen Y und den noch nicht in die Regression aufgenommenen  $X_i$  ( $i \neq 1$ ) berechnet, also die partiellen Korrelationskoeffizienten  $r_{YX_i \cdot X_1}$  ( $i \neq 1$ ). Diejenige Variable mit dem höchsten partiellen Korrelationskoeffizienten wird dann neben  $X_1$  als  $X_2$  in das Regressionsmodell aufgenommen, da sie für den grössten Anteil an durch  $X_1$  noch nicht erklärter Varianz aufkommt."

Mit der Analyse werden also die besten Korrelationen einer Abhängigen Y mit einer Auswahl von Unabhängigen  $X_1, \dots, X_k$  aus einer Gesamtheit von n Unabhängigen gesucht ( $n \geq k$ ). Dabei wird angenommen, dass in der höchst korrelierenden Kombination von k Grössen aus X stets die beste Kombination von k-1 Grössen aus X enthalten ist. Dies trifft natürlich nicht immer zu. Trotz dieser Einschränkung kann das Verfahren als "hypothesenbildend" betrachtet werden.

Es werden 21 Analysen durchgeführt, wobei jede der 21 Messungen einmal als abhängige Variable eingesetzt wird. Nur die höchsten Korrelationen werden diskutiert. Auf die Angabe der Regressionskoeffizienten wird verzichtet, in den meisten Fällen auch auf den zusätzlichen Anteil erklärter Varianz bei Einführung einer neuen Variablen.

pH des Torfes = f(pH des Wassers, Gesamtazidität des Torfes),  $r = 0.94$ . Das Resultat deutet darauf hin, dass der schwer interpretierbare pH-Wert des Torfes ein Symptom der  $H^+$ -Ionenkonzentration des Wassers, aber auch der Summe der absorbierten  $H^+$ -Ionen des Torfes darstellt. Wegen der Austauschvorgänge

sind wohl beide Grössen für das Pflanzenwachstum wesentlich. Es verwundert daher nicht, dass zwischen dem pH des Torfes und der Vegetation meist hohe Korrelationen gefunden werden.

pH des Wassers =  $f(\text{pH des Torfes, Ca}^{++}\text{-Gehalt des Wassers, Leitfähigkeit des Wassers})$ ,  $r = 0.93$ . Nebst den Wasserstoffionen der Torf-Wassersuspension beeinflussen auch die andern Kationen leicht den pH des Wassers. Diese Zusammenhänge bestätigen allgemeingültige Vorstellungen.

Aschengehalt des Torfes =  $f(\text{KUK, elektrische Leitfähigkeit des Wassers})$ ,  $r = 0.86$ . Die Leitfähigkeit trägt 5 % zur erklärten Varianz bei. Folgende Hypothese wird zur Diskussion gestellt: Die Leitfähigkeit des Wassers, eine gut messbare Grösse, steigt mit zunehmender Kationenkonzentration. Letztere korreliert hoch mit der Basensättigung des Torfes (und auch mit  $\text{Ca}^{++}$  des Wassers). Die Messung der abtauschbaren Basen ist mit einem Fehler behaftet, da mit Ammoniumacetat als Abtauschmittel insbesondere zweiwertige Kationen nur teilweise erfasst werden. Das führt zu einer Verschlechterung der Korrelation zwischen Aschengehalt und KUK, die aber durch Berücksichtigung der Leitfähigkeit korrigiert wird.

$\text{PO}_4\text{-P}$  =  $f(\text{KUK, pH des Torfes, Mg}^{++}\text{ des Torfes, elektrische Leitfähigkeit des Wassers})$ ,  $r = 0.86$ . Das Phänomen, dass Phosphat ausschliesslich im Moorzentrum nachweisbar ist, dürfte damit zusammenhängen, dass ausserhalb desselben mit der verwendeten Methode nicht nachweisbare Chelate vorliegen (BACH, mdl.). Die hohe Korrelation ist aber wegen der Vielzahl der beteiligten Messgrössen nicht ohne weiteres interpretierbar. Die  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration wird im folgenden als ausgesprochenes Symptom verschiedener Ursachen betrachtet.

Wasserstände: Häufigster Wasserstand =  $f(\text{tiefstem Wasserstand, höchstem Wasserstand})$ ,  $r = 0.96$ . Für den höchsten Wasserstand als Abhängige ergibt sich ein  $r$  von 0.94, bei Verwendung des tiefsten ein solches von 0.90. Das Resultat zeigt, dass zwei Angaben zur Charakterisierung der Grundwasserverhältnisse genügen. Durch die Berechnungsmethode in 4.5.3. ist durch zwei Angaben die Streuung der Wasserstände festgelegt, die Asymmetrie der Kurve ist fest. Da die einfachen Korrelationen zwischen den drei Grössen  $r = 0.86$  nie überschreiten, lässt sich sagen, dass in einigen wenigen Fällen bei gleichem häufigstem Wasserstand deutlich unterschiedliche Schwankungsbreiten vorliegen müssen.

Torfmächtigkeit =  $f(\text{KUK, Aschengehalt, minimaler Wasserstand})$ ,  $r = 0.82$ .

Die Torfmächtigkeit hängt weitgehend von der Torfzersetzung ab, so dass "gute" Torfe, d.h. Torfe mit hoher KUK notwendigerweise bei hoher Mächtigkeit auftreten müssen. Falls der aerobe Abbau den anaeroben übertrifft, müssen Standorte mit gelegentlich sehr tiefen Wasserständen weniger Torf aufweisen.

Neigung der Oberfläche =  $f(\text{Aschengehalt des Torfes, maximaler Wasserstand})$ ,  $r = 0.73$ . Es sei insbesondere darauf hingewiesen, dass für den Wasserstand der bis heute nie zuverlässig gemessene horizontale Wasserfluss mitverantwortlich ist (VERRY 1975).

Kalziumgehalt des Wassers =  $f(\text{Basensättigung, pH des Wassers})$ ,  $r = 0.93$ .

Auf den Zusammenhang von Basensättigung und Kalziumgehalt des Wassers wurde in 6.3. hingewiesen. Die Verbesserung der Korrelation mit dem Einbezug des pH in die Regression dürfte darauf zurückzuführen sein, dass das Gleichgewicht  $\text{Ca}^{++}$  im Wasser  $\rightleftharpoons$   $\text{Ca}^{++}$  im Torf von der Wasserstoffionenkonzentration beeinflusst wird.

Die restlichen Korrelationen werden hier nicht diskutiert. Bemerkenswert ist aber, dass auch die schlechteste der 21 Analysen noch ein signifikant von Null verschiedenes  $r$  von 0.40 ergibt, ein Phänomen, das in Kap. 8.2.1. diskutiert wird.

#### 6.4. Beurteilung der Messungen auf Grund der Absolutwerte der Faktorenladungen

Um zu einer synthetischen Darstellung der einfachen Korrelationen zu kommen, wird eine Faktorenanalyse (R-Technik) durchgeführt. Die daraus resultierende direkte Ordination zeigt Abb. 18. Man erkennt leicht, dass sich die ersten drei Faktoren einfach interpretieren lassen: Faktor 1 gibt die Bedeutung der Messungen für Informationen über das Säuren/Basen-Verhältnis wieder. Faktor 2 zeigt das Verhältnis zur "Torfqualität", die vor allem mit der Umtauschkapazität gemessen wird. Dass diese "Torfqualität" auch eine schwache Ladung auf dem ersten Faktor aufweist, demonstriert, dass sie mit den Säuren/Basen-Verhältnissen korreliert ist. Dagegen zeigt die elektrische Leitfähigkeit wenig Zusammenhang mit den übrigen Faktoren. Sie ist durch eine extrem hohe Ladung auf dem 3. Faktor charakterisiert. Wie zu erwarten war, weisen hier die Ionengehalte des Wassers, mit Ausnahme der Wasserstoffionen, eben-



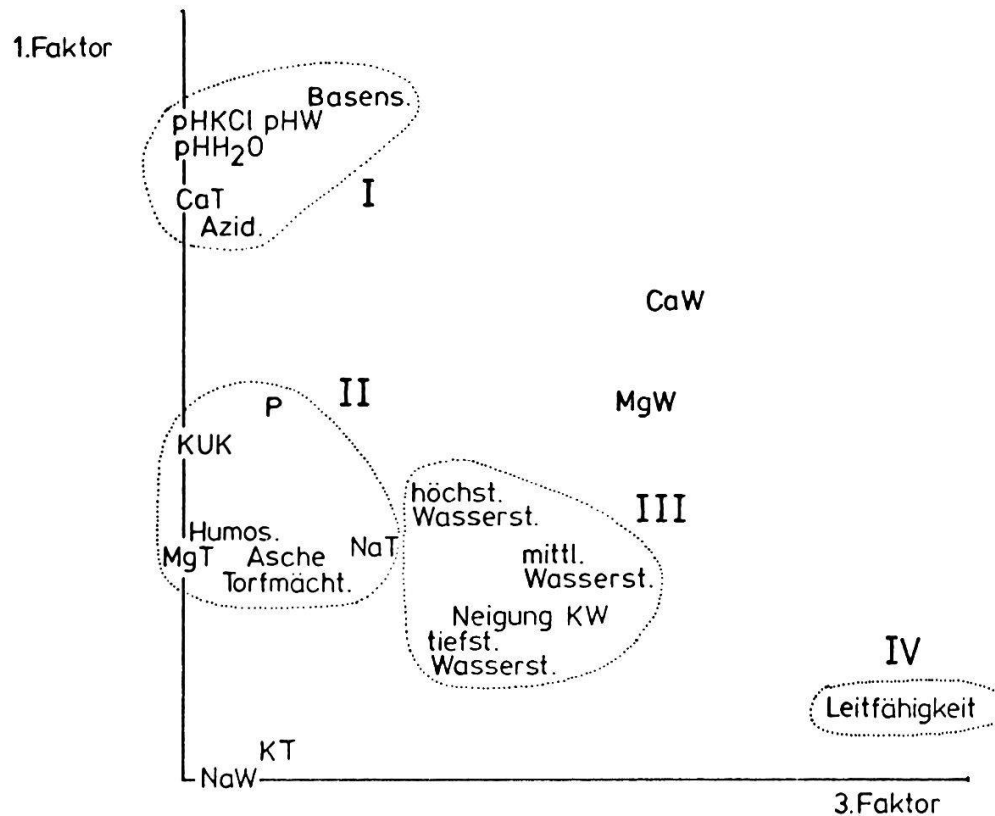
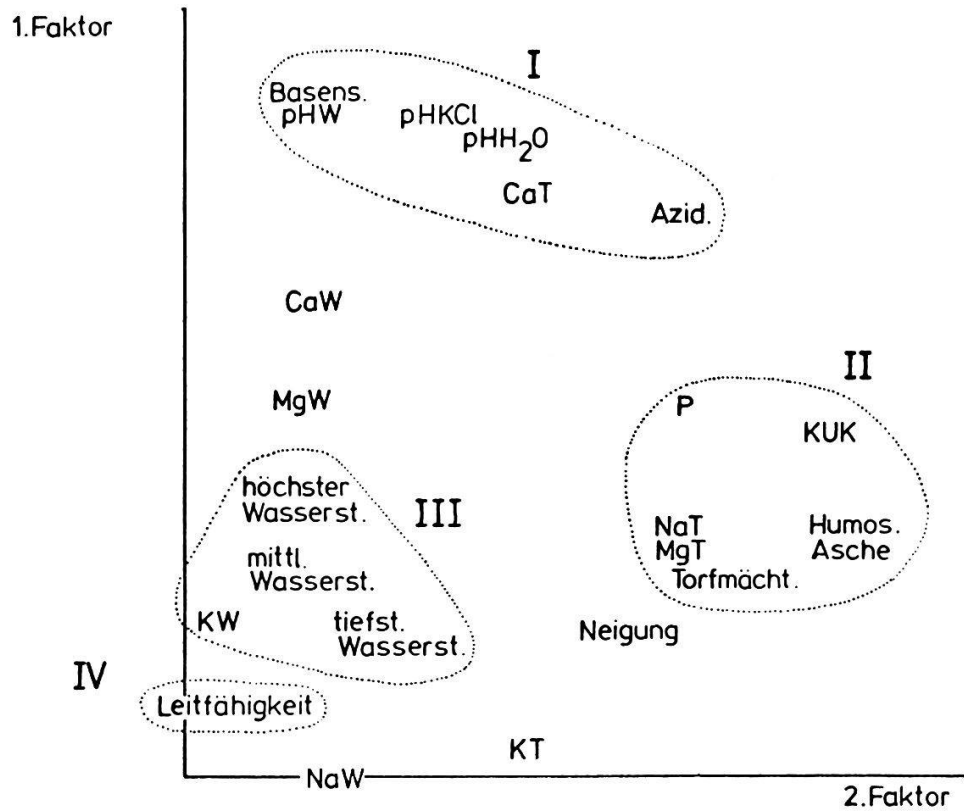


Abb. 18 Ordination der Standortsmessungen (Faktorenanalyse). W: Messungen in Wasser, T: Messungen in Torf. pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>: pH des Torfes in Wasser  
Die in Kap. 6.4. diskutierten Gruppen I - IV sind punktiert umrandet.

falls eine relativ deutliche Ladung auf. Der schwache Zusammenhang der elektrischen Leitfähigkeit mit dem Wasserstand ist vor allem auf die tiefen Wasserstände und hohen Ionenkonzentrationen der Flachmoore zurückzuführen.

Die Ordination (Abb. 18) lässt erkennen, dass man etwa vier Gruppen von Messgrößen unterscheiden kann:

Gruppe I, Säuren-Basen, umfassend alle pH-Werte, Basensättigung und Kalziumgehalt des Torfes. Wie schon in 6.3. beschrieben, sind die pH-Werte von Wasser und Torf eng miteinander verknüpft.

Gruppe II, Torf, umfassend Humosität und Aschengehalt, Torfmächtigkeit, KUK, P,  $\text{Na}^+$  und  $\text{Mg}^{++}$ -Gehalt des Torfes. Die beiden letzteren weisen, zusammen mit dem  $\text{K}^+$ -Gehalt des Torfes, eine sehr niedrige Summe der Faktorenladungen (Kommunalität) auf, sind aber mit mehreren Größen leicht korreliert ( $r \hat{=} 0.6$ ). Die ganze Gruppe kann als Ausdruck der Summe der Säurenanteile und der Basenanteile verstanden werden, was der Definition der KUK entspricht. Natürlich korreliert der Aschengehalt gut mit der KUK ( $r = 0.83$ ). Torfmächtigkeit und Torfqualitätsgrößen sind ebenfalls korreliert ( $r \hat{=} 0.77$ ). Die Frage der Ursache der Torfbildung führt zum Vergleich mit der Neigung. Leider steht nur diejenige der Oberfläche, nicht jene des undurchlässigen Untergrundes zur Verfügung. Neigung und Aschengehalt korrelieren mit  $r = 0.62$  schwach. Die multiple Korrelation Neigung = f (Aschengehalt, max. Wasserstand) ergibt aber, wie früher erwähnt, ein  $r$  von 0.73, womit auch gleich der leichte Zusammenhang zwischen der "Torfgruppe" und der "Wasserstandsgruppe" gezeigt werden kann.

Gruppe III, Wasserstände. Höchster und mittlerer Wasserstand korrelieren hoch ( $r = 0.86$ ), während der tiefste Wasserstand ein unabhängigeres Verhalten zeigt ( $r$  (mittl. Wasserstand/min. Wasserstand) = 0.63). Auf den Zusammenhang der Gruppe mit der Neigung der Oberfläche wurde schon hingewiesen. Ebenfalls in der Gruppe enthalten ist der schwer messbare  $\text{K}^+$ -Gehalt des Wassers. Alle Messungen der Gruppe weisen niedrige Kommunalitäten (Summen der Faktorenladungen) auf, so dass interne Zusammenhänge unsicher sind.

Gruppe IV, Leitfähigkeit. Sie hat ein eigenständiges Verhalten, korreliert nur mit den Wasserständen leicht und muss deshalb separat betrachtet werden. Schon weiter oben wurde bemerkt, dass sie sich sehr gut mit dem totalen Salzgehalt des Wassers erklären lässt. Dieser ist in keiner andern Messung enthalten.

Die multiple Korrelation elektrische Leitfähigkeit = f (min. Wasserstand, P,  $\text{Ca}^{++}$ -Gehalt des Wassers) ergibt ein r von 0.66.

Der Kalzium- und der Magnesiumgehalt des Wassers lassen sich keiner der vier beschriebenen Gruppen zuordnen. Ganz allgemein ist zu bemerken, dass die hier angewandte Interpretation nicht direkt auf ursächliche Zusammenhänge in der Natur schliessen lässt. Dagegen weiss man nun mit Sicherheit, dass Messgrössen, die ganz verschiedene Faktoren hoch laden (z.B. pH und die elektrische Leitfähigkeit) annähernd unabhängig sind und also unterschiedliche Informationen enthalten.