

Zeitschrift: Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel
Herausgeber: Geobotanisches Institut der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel
Band: 49 (1981)

Artikel: Grundwasserstandsmessungen in Streuwiesen des unteren Reusstales
Autor: Egloff, Thomas / Naef, Ernst
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-377715>

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: 08.07.2025

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

Grundwasserstandsmessungen in Streuwiesen des unteren Reusstales

*(Ground water table measurements in straw-meadows [unfertilized wet meadows]
in the lower valley of the Reuss)*

von

Thomas EGLOFF und Ernst NAEF

Inhalt

1. Einleitung	155
2. Methodik	156
3. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse	160
3.1. Verfälschung der Grundwasserstandsmessungen	160
3.2. Parallelmessungen	165
3.3. Vergleich der Limnigraphen- mit den Eisenrohrmessungen	167
3.4. Die Ueberprüfung der Dauerliniengruppen mit der Diskriminanzanalyse	170
3.5. Vergleich der Grundwasserverhältnisse dreier Vegetations- perioden	179
3.6. Grundwasserstand und Evapotranspiration	186
3.7. Entwässerungsmassnahmen im benachbarten Intensivgrünland	189
Zusammenfassung und Folgerungen - Summary and conclusions	191
Literatur	192

1. Einleitung

In der vorliegenden Arbeit greifen wir einige Aspekte unserer Grundwasserbeobachtungen heraus. Der grösste Teil entstammt unseren Diplomarbeiten (EGLOFF 1979, NÄF 1980), die im Rahmen des interdisziplinären Reusstal-Forschungsprojektes der ETH unter Leitung der Herren Professoren Dr. E. LANDOLT und Dr. F. KLÖTZLI ausgeführt wurden. Die weiteren Daten stammen von zwei Limnigraphen, die auf der Untersuchungsfläche von Th.E. standen und vom Herbst 1979 bis Frühjahr 1981 von M. BÜHRER vom Institut für Kulturtechnik der ETH betreut wurden.

In der Diplomarbeit von Th. E. lag das Schwergewicht auf einem Düngungs-experiment, mit dem auf ungestörten Parzellen im Riedinnern die Verhältnisse in der Kontaktzone Fettwiese/Streuwiese (Nährstoffeinschwemmung und -einwehung) simuliert werden sollten. Die Grundwasserstandsmessungen leisteten einen Beitrag zur Differenzierung der einzelnen Vegetations-einheiten.

Die Diplomarbeit von E. N. ist in zwei Teile gegliedert: Zum einen wurden die Nährstoffverhältnisse eines sehr empfindlichen, in seiner Art seltenen Schwingrasens untersucht, zum anderen wurde der Ist-Zustand bezüglich der Vegetation und der Grundwasserverhältnisse eines als Naturschutzgebiet ausgeschiedenen Riedes aufgenommen, in dessen Nähe 1981 mit dem Bau eines Kanals begonnen wurde.

Für die vorliegende Arbeit wurden die Messdaten gegenüber den Diplomarbeiten noch intensiver ausgewertet.

Die Untersuchungsgebiete beider Arbeiten lagen auf Alluvionen im unteren Reusstal. Th. E. arbeitete auf der Lunnerallmend (Gemeinde Obfelden ZH, Koordinaten 673/234 auf der Schweiz. Landeskarte), E. N. etwa 2 km weiter südlich im Schorenschachen (Gemeinde Mühlau AG, Koordinaten 672/232).

Beide Gebiete sind seit Mitte des letzten Jahrhunderts durch einen Damm vor Ueberschwemmungen der Reuss geschützt. Die Vegetation besteht heute aus Pfeifengraswiesen (*Molinion*), Hochstaudenriedern (*Filipendulion*), Grosseggenriedern (*Magnocaricion*) und Kleinseggenriedern (*Caricion davallianae*), alles Pflanzengemeinschaften, für die das Grundwasser einen der entscheidenden Standortsfaktoren darstellt.

Wir möchten an dieser Stelle nochmals all denen herzlich danken, die uns bei unseren Grundwasseruntersuchungen unterstützt haben, insbesondere A. GRÜNIG, dipl. Natw. ETH, für seine Tips und die Mithilfe beim Einpflanzen der Rohre, U. MÜLLER und M. BÜHRER, beide Kultur-Ing. ETH, für die Beratung bei der Versuchsplanung und die Betreuung der Limnigraphen, Dr. W. STAHEL von der Fachgruppe für Statistik der ETH für seine Beratung in statistischen Fragen, sowie Prof. Dr. E. LANDOLT, Prof. Dr. F. KLÖTZLI und besonders Dr. H. KELLER von der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) für ihre Hinweise zur Verbesserung des Manuskriptes.

2. Methodik

Leider fehlen in fast allen Arbeiten, die sich mit dem Grundwasser beschäftigen, genauere Angaben zu Material und Messmethodik. Da sich die von uns angewandte Methode (vgl. BÜHRER 1980a) bewährte, gehen wir etwas ausführlicher auf sie ein.

2.1. Grundwasserstandsmessrohre (Abb. 1)

Aus folgenden Gründen entschieden wir uns, Eisenrohre (Gasrohre von 1 Zoll $\emptyset$) und nicht PVC-Drainagerohre zu verwenden:

- a) PVC-Drainagerohre sind auf ihrer ganzen Länge mit vielen feinen Schlitzfenstern versehen, die gerade in stark tonhaltigen Böden gerne verstopft werden. Wenn sich das Wasser nach stärkeren Niederschlägen staut, besteht zudem die Gefahr des Vollaufens.
- b) Eisenrohre hingegen können den eigenen Bedürfnissen und Vorstellungen entsprechend zugesägt und gelocht werden. Löcher - in unserem Fall von 4 mm Durchmesser - neigen weniger zur Verstopfung als Schlitzfenster mit einer Breite von weniger als 1 mm. Der ungelochte Bereich soll das Vollaufen der Rohre mit Stauwasser verhindern (s. Abb. 1).
- c) In skelettlosen und -armen Böden lassen sie sich mühelos einschlagen, während für Plastikrohre zuerst Löcher gebohrt werden müssen. Das Eisenrohr wird deshalb vom Boden enger umschlossen.

Die Länge der Rohre passten wir den zu erwartenden mittleren Grundwasserständen und Schwankungsbereichen an (nach WILDI und KLÖTZLI 1978). Für trockenere Standorte wählten wir somit längere als für nasse. Die Rohre wurden mit einem ca. 30 kg schweren, über das Rohr stülzbaren Metallkörper, einem sogenannten Rammbar, der auf eine an das Rohr geklemmte Bride fallengelassen wurde, in den Boden getrieben (s. die Darstellung bei BÜHRER 1980a). Ein mit einer Schraubenmuffe mit dem Rohr verbundener Aufsatz von 50 cm Länge erleichtert sowohl das Auffinden der Rohre wie auch das Messen des Grundwasserstandes. Die Aufsätze wurden vor dem herbstlichen Schnitt entfernt.

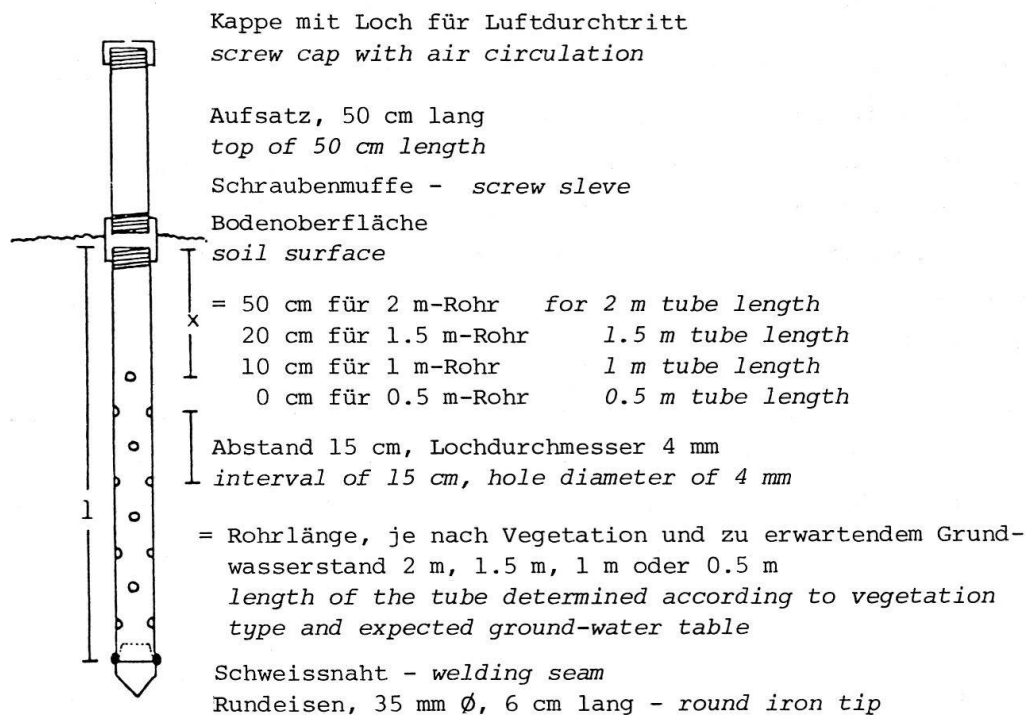


Abb. 1. Grundwasserbeobachtungsrohr (aus NäF 1980).

Tube for the observation of the ground-water table (from NäF 1980).

2.2. Versuchsanlage

Die Verteilung der 24 Versuchsflächen auf der rund 12 ha grossen Lunnerallmend (EGLOFF 1979) erfolgte mit einer stratifizierten Zufallsverteilung, die auf einer pflanzensoziologischen Kartierung basierte. Grundwasserrohre wurden lediglich auf 11 Flächen eingeschlagen. Die 27 Versuchsflächen im Schorenschachen (NÄF 1980), die aufgrund einer pflanzensoziologischen Kartierung, der topographischen Verhältnisse und weiterer Kriterien (z.B. Randzone mit vermutetem Düngungseinfluss vom Intensivgrünland her) bewusst an bestimmte Stellen gesetzt wurden, erhielten alle Grundwassermessrohre. Der Schorenschachen besitzt ebenfalls 12 ha Riedflächen, die jedoch nicht zusammenhängen, sondern von Intensivkulturland durchsetzt sind.

Auf einem Teil der Versuchsflächen schlugen wir in 5 m Abstand zwei verschieden lange Rohre ein. Diese Parallelmessung gibt einen Hinweis auf die Verlässlichkeit der Messwerte. Sie ist überall dort angezeigt, wo der Boden Stauschichten aufweist (s. Kap. 3.1. und 3.2). Sind nur wenige Kenntnisse über den Boden (v.a. Bodentextur) vorhanden, dann empfiehlt es sich, sogar mehr als zwei verschieden lange Rohre pro Versuchsfläche zu versenken.

Die Messungen erfolgten allwöchentlich mit einem elektronischen Prüfsummer, der an ein metallenes Messband angeschlossen war. Stand das Wasser über Flur, so wurde auch ausserhalb des Rohres gemessen. Auf der Lunnerallmend standen zudem zwei, im Schorenschachen ein Limnigraph (Grundwasserschreiber) zur Verfügung.

2.3. Auswertung

Die wöchentlichen Ablesungen der Eisenrohre wurden mit einem Computerplotprogramm von U. Müller (Institut für Kulturtechnik ETH) als Ganglinien aufgezeichnet. Um die Werte für die Dauerlinien, die ebenfalls mit einem Plotprogramm gezeichnet wurden, zu erhalten, wurde bei den Ganglinien in 5 cm - Stufen die Ueberschreitungsdauer gemessen. Den kontinuierlich aufgezeichneten Ganglinien der Limnigraphen, Limnigramme genannt, wurden alle jene Werte entnommen (Ablesezeit: 12 h), die zu Beginn und

am Ende von entscheidenden Grundwasserspiegelveränderungen standen. Sank oder stieg der Grundwasserstand über mehrere Tage hinweg gleichmässig, so wurden lediglich Anfangs- und Endpunkt erfasst. Die auf diese Weise reduzierten Daten der Limnigramme - in der Folge reduzierte Limnigraphen-Ganglinien genannt - der Sommerhalbjahre 1980 und 1981 wurden zur Konstruktion von Dauerlinien in 10 cm-Stufen ausgemessen. Für 1979 wurde keine Dauerlinie gezeichnet, da erst am 8. Juni mit der Messung begonnen wurde. Für die beiden folgenden Jahre wurde aufgrund einiger Charakteristika des untersuchten Vegetationstyps die Zeitperiode 1. April bis 30. September gewählt (Entwicklungsbeginn: später Frühling; Beginn mit Nährstoffrückzug: Anfang September, s. KUHN et al. 1978; Schnitt: ab zweite Hälfte September). Die Beschränkung auf die Dauerlinien der Vegetationsperioden erfolgte aufgrund der Erkenntnisse von NIEMANN (1963, S. 14 und 1973, S. 53).

Auf Vorschlag von W. Stahel (Fachgruppe für Statistik ETH) testeten wir die Dauerliniengruppen mit der Diskriminanzanalyse (s. z.B. WEBER 1980). Der Zweck dieser Analyse besteht darin, verschiedene Gruppen aufgrund mehrerer Merkmale durch Aufstellung von Trennformeln, den sog. Diskriminanzfunktionen zu trennen. Diese ermöglichen zudem die Zuordnung fraglicher Elemente zu einer der Gruppen. Die von anderen Autoren angewandten Tests (t-Test bei NIEMANN 1963; einfache Varianzanalyse bei KLÖTZLI 1969; u-Test von MANN und WHITNEY, ein Rangtest, bei NIEMANN 1973 und GROOTJANS und TEN KLOOSTER 1980) haben alle den Nachteil, dass jeweils nur zwei Gruppen miteinander verglichen werden können und nur ein Merkmal getestet werden kann (entweder die Ueberschreitungsdauer auf einer Tiefenstufe oder die Tiefenstufe bei einer bestimmten Zeitsumme). Kap. 3.4. gibt Auskunft über die von uns gewählten Dauerlinienmerkmale. Es stand uns ein Computerprogramm aus der Programmbibliothek des ETH-Rechenzentrums zur Verfügung (BMDP 1977).

Für die Interpretation der Ergebnisse standen die täglichen und monatlichen Witterungsberichte benachbarter Messstationen der Schweiz. Meteorologischen Anstalt (SMA), die z.T. noch unveröffentlichten Reusspegelstände und Abflussmengen der Station Mühlau der Landeshydrologie (Bundesamt für Umweltschutz), sowie Evapotranspirationswerte der Abteilung Agrarmeteorologie der SMA zur Verfügung.

3. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

3.1. Verfälschung von Grundwasserstandsmessungen

Bei der Messung des Grundwasserstandes mit Messrohren kann es vorkommen, dass der im Rohr gemessene Wert nicht dem tatsächlich im Boden vorhandenen Wasserspiegel entspricht, d.h. wir messen also u.U. nicht diejenigen Verhältnisse, die in der Zusammensetzung der Vegetation zum Ausdruck kommen.

3.1.1. Stauwasser

Wenn die Wasserzufuhr durch Niederschläge die Versickerungskapazität des Bodens übersteigt, kommt es zu einem Stau des Wassers. Dies tritt besonders häufig bei oberflächlich verdichteten Böden auf.

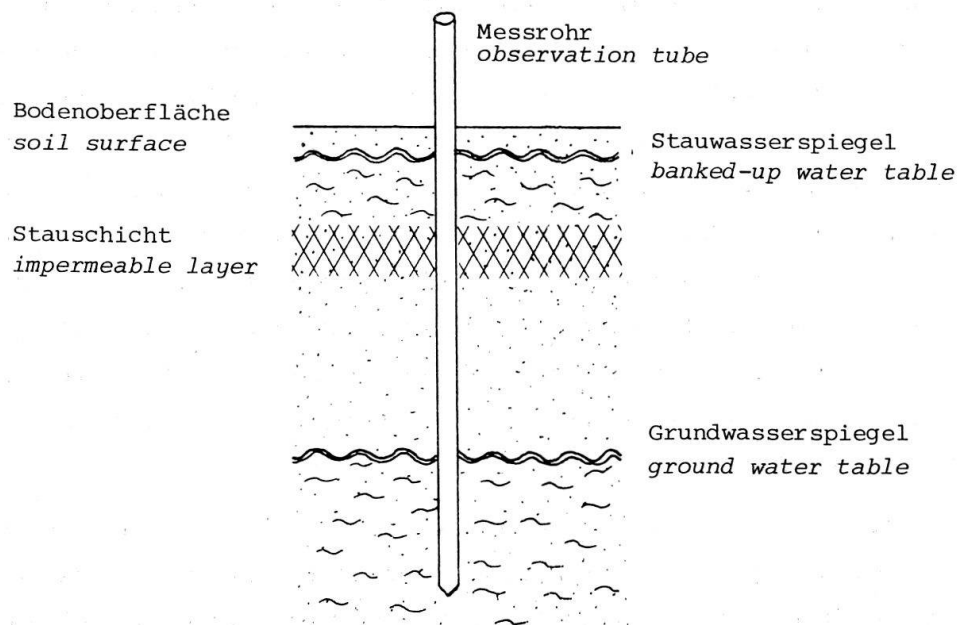


Abb. 2. Grundwasserstandsmessung in Böden mit Stauschichten.

Ground water table measurements in soils with impermeable layers.

Abb. 2 zeigt eine besonders schwierig zu beurteilende Situation: Die Stauschicht befindet sich nicht direkt unter der Bodenoberfläche, sondern etwas tiefer. Je nach der Menge des gestauten Wassers wird der Boden entweder überschwemmt oder nur oberflächlich vernässt. Im letzteren Fall ist es leicht möglich, dass diese Vernässung übersehen wird, weil sie nicht direkt sichtbar ist und sich unter Umständen auch nicht im Messrohr zeigt. Wie in Kap. 2.1. erwähnt wurde, waren nur die 50 cm langen Rohre bis an die Bodenoberfläche gelocht. Entscheidend für den sich bei Stauwasser im Rohr einstellenden Wasserspiegel ist die Lage der obersten Bohrlöcher, resp. die Länge des ungelochten Bereichs. Befinden sich die Löcher a) im Staubereich oder b) inner- oder unterhalb des Staukörpers? Zu a): Das Stauwasser kann entweder das Rohr auffüllen oder durch das Rohr hinunterfliessen und sich in das Grundwasser ergiessen. Je nach dem werden wir den Stau- oder Grundwasserspiegel messen. Zu b): Wenn sich die obersten Löcher nicht im Stauwasserbereich befinden, kann das Stauwasser nicht in das Rohr eindringen und wir messen im Rohr den Grundwasserspiegel. Dies allerdings unter der Voraussetzung, dass die Stauschicht das Rohr eng umschliesst und kein Wasser an der Rohraussenwand hinunterfliessen kann. Wenn wir den genauen Aufbau des Bodens nicht kennen, sind solche Fälle sehr schwierig zu beurteilen. Nur die genaue Untersuchung eines Bodenprofils gäbe die notwendigen Auskünfte über Vorhandensein und Lage von Stauschichten.

Bei Grundwassermessungen im Rahmen pflanzenökologischer Untersuchungen ist es auf jeden Fall wesentlich, den für die Vegetation relevanten Stauwasserstand zu erfassen, von dem nässeertragende Pflanzen "profitieren" können. Abschliessend soll anhand eines Beispiels veranschaulicht werden, dass dies in Frage gestellt ist, wenn wir nur ein Messrohr pro Versuchspunkt besitzen (Abb. 3).

Während langer Zeit ist der Boden neben dem Messrohr überschwemmt. Da das Ueberschwemmungswasser immer höher liegt als der Wasserstand im Rohr, können wir annehmen, dass wir im Rohr das Grundwasser messen. (Ob die Werte aber dem tatsächlich im Boden vorhandenen Grundwasserspiegel entsprechen, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden; s. Kap. 3.1.2.).

Besonders die Beurteilung der Situation in der Zeit, wo der Boden nicht überflutet ist, bereitet Schwierigkeiten: Geben die im Rohr gemessenen

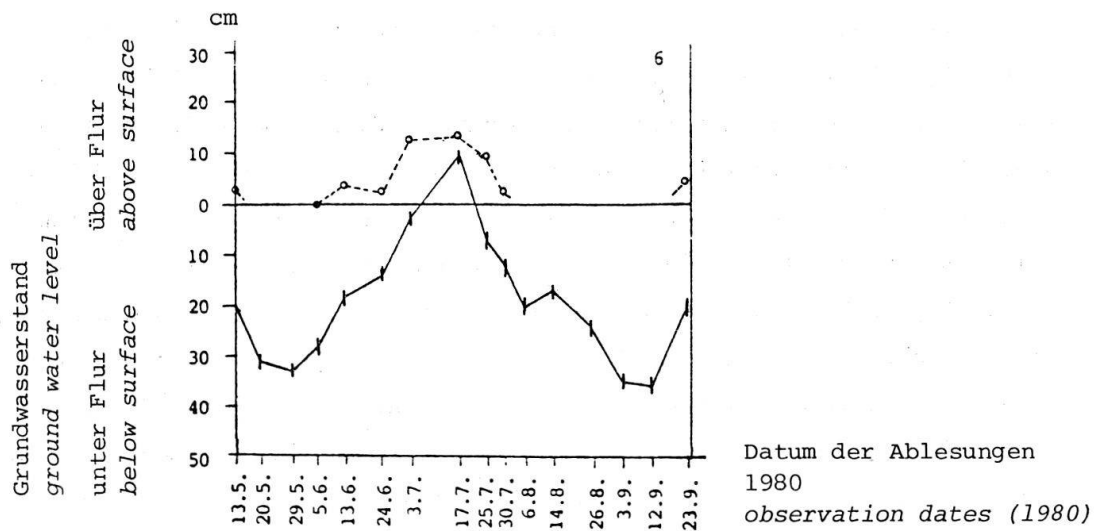
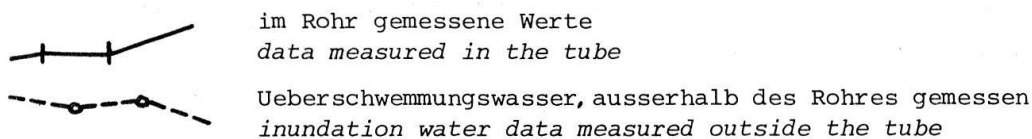


Abb. 3. Ganglinie unter einem Hochstaudenried (aus NÄF 1980).

Ground water hydrograph in a Filipenduletum stand.



Werte tatsächlich den höchsten Stand von Grund- und Stauwasser wieder?
Oder liegt auch hier, wie in Abb. 2 dargestellt, noch Stauwasser in den
obersten Bodenschichten? Wenn dem so ist, werden wir an dieser Stelle
eine die zeitweilige Vernässung des Wurzelraums besser ertragende Pflan-
zengemeinschaft finden als wir es aufgrund der Ganglinie, resp. der
Dauerlinie erwarten würden.

Und eine weitere offene Frage: Da die im Rohr gemessenen Werte offen-
sichtlich nicht die Ganglinie des für die Pflanzen relevanten Wasser-
spiegels angeben, wo verläuft dann diese Ganglinie in Wirklichkeit?

3.1.2. Gespanntes Grundwasser

Wenn Grundwasser sich direkt unter einer schwer durchlässigen Schicht
befindet, kann es bei vermehrter Grundwasserzufuhr schlecht weiter stei-

gen. Man spricht in diesem Fall von gespanntem Grundwasser (EGGELSMANN 1981). Durchstösst ein Messrohr eine solche Schicht, wird ein zu hoher Wert gemessen, weil das gespannte (d.h. unter Druck stehende) Grundwasser von unten durch das Rohr heraufdrückt (Abb. 4). An solchen Stellen können somit trockenere Pflanzengemeinschaften vorkommen als aufgrund der Messwerte zu erwarten wäre. Nur in speziellen Fällen kann gespanntes Grundwasser leicht erkannt werden (Abb. 5): Die Messstelle 24 liegt in einer Flutmulde (*Ranunculo-Caricetum hostianae*, vgl. KLÖTZLI 1969). Während langer Zeit liegt das Wasser im Rohr höher als der Spiegel des Ueberflutungswassers. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf gespanntes Grundwasser, das durch das Rohrnach oben drückt. Beim Ueberflutungswasser handelt es sich also um Stauwasser. Die Messstelle 15 liegt in derselben Vegetationseinheit, jedoch etwa 400 m von der Messstelle 24 entfernt. Inner- und ausserhalb des Rohres werden dieselben Werte gemessen; der Wasserspiegel im Rohr steigt also parallel zum Spiegel des Ueberflutungswassers. Beim Ueberschwemmungswasser handelt es sich somit mit grösster Wahrscheinlichkeit um Grundwasser.

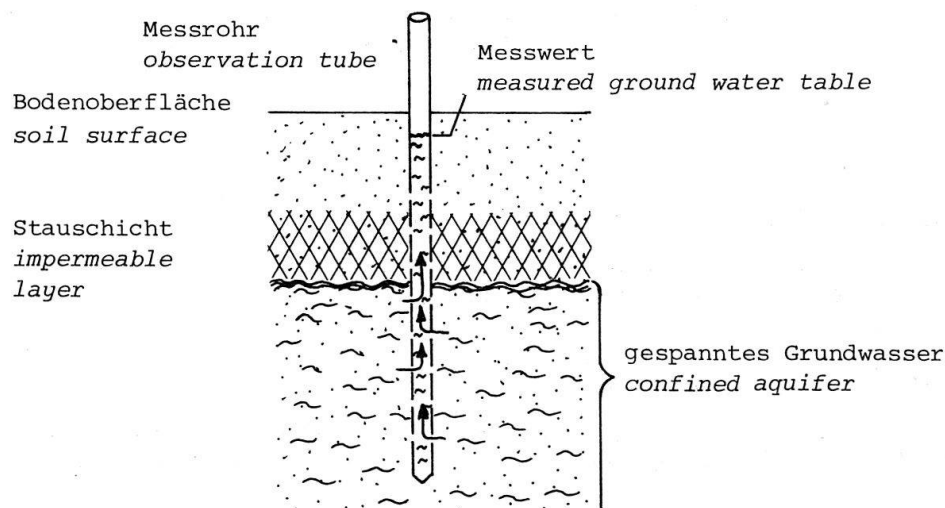


Abb. 4. Verfälschung von Grundwasserstandsmesswerten durch gespanntes Grundwasser.

Falsification of ground water table data through confined aquifer.

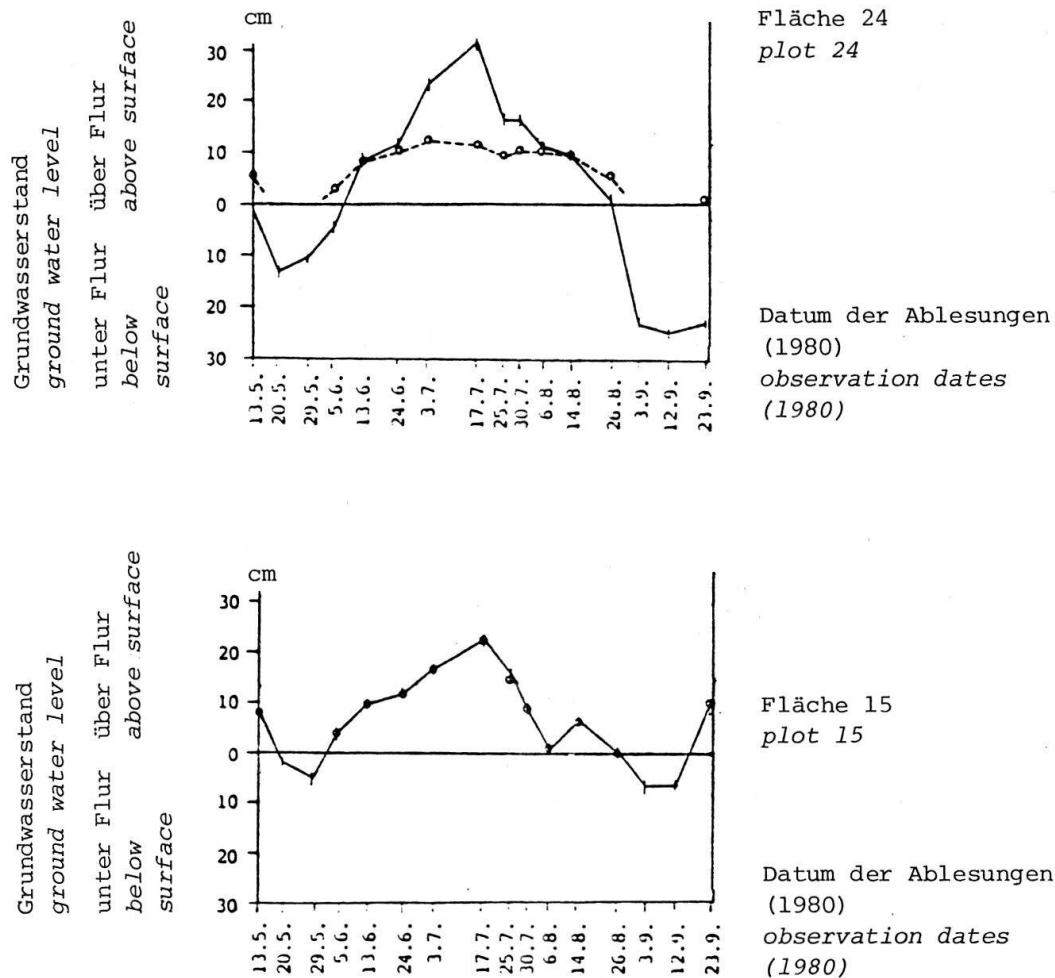
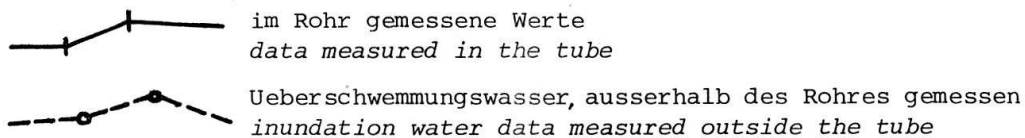


Abb. 5. Ganglinien zweier Flutmulden (aus NäF 1980).

Ground water hydrographs of two *Ranunculo-Caricetum hostianae* (Klötzli 1969) stands, from NäF 1980.



Die genauere Beurteilung der Wasserverhältnisse, die die Vegetation prägen, und somit ein besseres Verständnis für deren Zusammensetzung würde eine Reihe weiterer Untersuchungen erfordern: Analyse der Bodentextur und der Porengrößenanteile zur Lokalisierung von Stauschichten und zur Ab-

schätzung der Höhe des kapillaren Aufstiegs; Betrachtung des Wurzelraums (Mächtigkeit des Hauptwurzelhorizonts; maximale Wurzeltiefe, evtl. differenziert nach dominierenden Pflanzenarten). Interessiert das pflanzenverfügbare Wasser, so sind Tensiometer der geeignetste Zugang.

3.2. Parallelmessungen

Im letzten Kapitel wurde deutlich, dass mit einem Messrohr nicht klar ist, ob Grund-, Stau- oder gar gespanntes Grundwasser gemessen wird, wenn der Boden Staukörper aufweist. Stauwasser beispielsweise kann nur dann eindeutig als solches identifiziert werden, wenn es als Ueberschwemmungswasser sichtbar ist.

Die von uns hier für pflanzensoziologische Fragen angewandte Methode, pro Versuchsfläche mehr als nur ein Rohr einzuschlagen, kommt bei hydrologischen Problemen in der Kulturtechnik und in hydrogeologischen Untersuchungen regelmässig zur Anwendung.

Auf 5 der insgesamt 11 Untersuchungsflächen auf der Lunnerallmend liegt die Differenz zwischen den beiden verschieden langen Rohren mit 0 - 5 cm in einem Bereich, der durch kleine Unterschiede im Bodenaufbau und durch die Ablesungsgenauigkeit erklärt werden kann.

Auf 4 weiteren Flächen wurden im Juli 1979 in den 50 cm langen Rohren bis zu 30 cm höhere Wasserstände gemessen. Ein Beispiel vom 19. Juli: im kurzen 17 cm, im langen Rohr 48 cm unter Flur. Davon scheint in zwei Fällen das Wasser (40 cm unter Flur im kurzen Rohr) unterhalb des gelochten Bereichs liegengeblieben zu sein. (Diese Rohre waren am unteren Ende nicht mit einem Rundeisen versehen sondern zusammengedrückt worden; der Messbereich reicht deshalb nicht bis 50 cm). Bei den anderen beiden Flächen scheint das kürzere Rohr den Stauwasserstand zu messen. Da die Ablesungen nicht nach starken Niederschlägen erfolgten, kann ein mögliches Vollaufen ausgeschlossen werden.

Im vorangehenden Monat Juni übersteigt auf einer Fläche in einer sogenannten Flutmulde der Messwert im längeren Rohr die Höhe des Ueberschwemmungswassers. Der Wasserstand im Rohr wird offenbar von gespanntem Grund-

wasser hochgedrückt (s. vorangehendes Kapitel). Dafür spricht auch die Beobachtung, dass das Wasser Ende Mai 1979 nach Niederschlägen im 1.5 m-Rohr um 15 cm höher stand als im 50 cm-Rohr, wofür das mit dem Grundwasser kommunizierende Reusswasser verantwortlich ist. Das gleiche Phänomen ist in der zweiten Junihälfte auf einer weiteren Fläche festzustellen; Beispiel 21. Juni: ausserhalb und im kurzen Rohr 1 cm, im langen Rohr 12 cm über Flur (s. Abb. 6). Die unterschiedlichen Werte auf derselben Fläche Mitte Juli können damit erklärt werden, dass das kurze Rohr den Stauwasserstand erfasst. Verwenden wir nur lange Rohre, so messen wir also häufig zu trockene Verhältnisse. Eine im Einflussbereich eines Entwässerungsgrabens liegende Fläche zeigt lediglich bei hohen Wasserständen gute

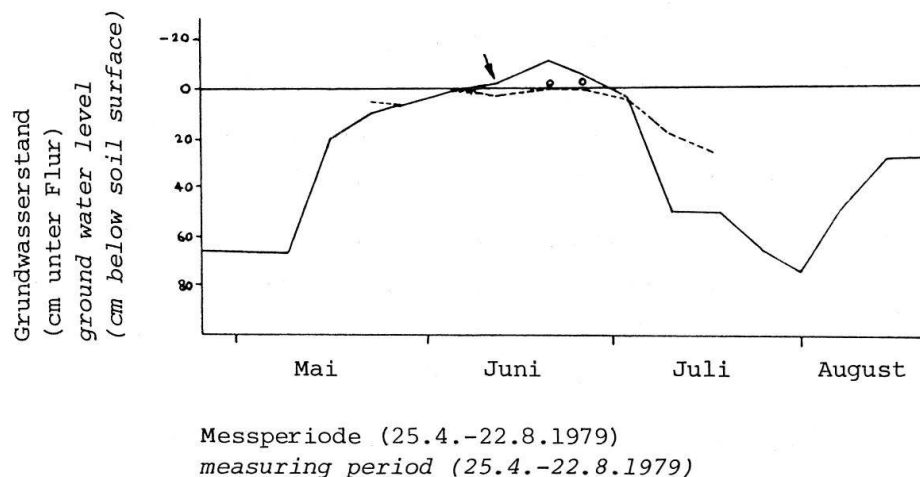
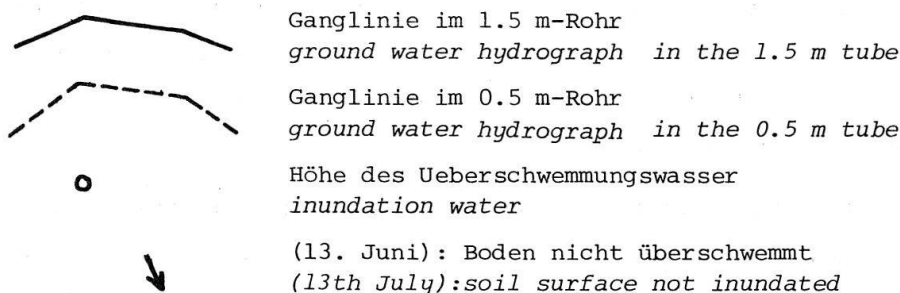


Abb. 6. Parallelmessungen auf Fläche 19 (feuchte Pfeifengraswiese, aus EGLOFF 1979).

Parallel measurements on plot 19 (wet Molinietum, from EGLOFF 1979).



Uebereinstimmung. Bei einer weiteren, ebenfalls im Randbereich liegenden Fläche lässt sich überhaupt keine Uebereinstimmung feststellen: Sie liegt in einem aufgeschütteten Teil der Allmend.

Die Interpretierbarkeit und die Aussagekraft von Grundwasserstandsmessungen würden weiter verbessert, wenn nicht nur verschieden lange Rohre, sondern gleichzeitig auch gleich lange Rohre mit unterschiedlich langen ungelochten Bereichen eingesetzt würden (s. dazu auch Kap. 3.1.).

3.3. Vergleich der Limnigraphen- mit den Eisenrohrmessungen

In unmittelbarer Nähe eines Limnigraphen auf der Lunnerallmend liegen zwei mit Messrohren ausgerüstete Versuchsflächen, die demselben Vegetationstyp angehören. Der Vergleich der Messdaten soll zeigen, wie stark die aus den wöchentlichen Ablesungen gebildeten Gang- und Dauerlinien von den effektiven, durch den Limnigraphen kontinuierlich erfassten Grundwasserverhältnissen abweichen.

Der Vergleich der reduzierten Limnigraphen-Ganglinie (s. Kap. 2.3.) mit den Ganglinien der beiden Messrohre (Abb. 7) zeigt, dass mit den wöchentlichen Ablesungen mehrere deutliche Grundwasserspiegelspitzen nicht erfasst werden. Im allgemeinen verlaufen die Ganglinien jedoch gleichsinnig. Im Juni und Juli rahmen die Messrohr-Ganglinien die Limnigraphen-Ganglinie ein, im August zeigen beide Messrohrablesungen trockenere Verhältnisse. Man vermutet, dass sich dies auch in der Gegenüberstellung der Dauerlinien widerspiegelt: Abb. 8 zeigt, dass die Limnigraphen-Dauerlinie nur in den obersten 15 cm von den Messrohr-Dauerlinien eingerahmt wird. (Diese 15 cm sind etwa mit dem Hauptwurzelraum gleichzusetzen). Gesamthaft zeigt die Limnigraphen-Dauerlinie wie aufgrund des Ganglinienvergleichs erwartet eher nässere Verhältnisse. Ihre Sesselform ist weniger deutlich ausgeprägt.

Die Rohre der Fläche 14 liegen am Rand einer Düngungsfläche (s. EGLOFF 1979), was einen Teil der Differenz zu den beiden anderen Dauerlinien erklären könnte (erhöhter Wasserverbrauch durch die üppigere Vegetation). Nur eine feinere Aufnahme und Auswertung der Vegetation könnte zeigen, ob sich die leicht differierenden Grundwasserverhältnisse in floristischen

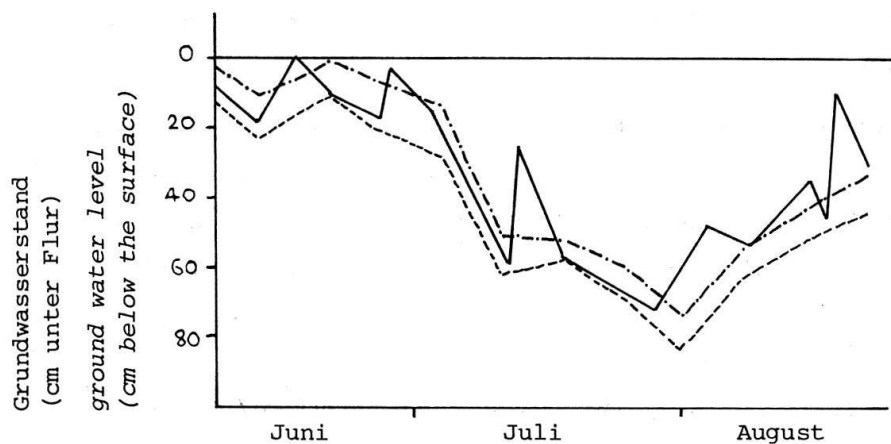


Abb. 7. Vergleich einer reduzierten Limnigraphenlinie mit den Messrohr-ganglinien zweier benachbarter Flächen des gleichen Vegetations-typs. Zeitperiode: 8.6. - 22.8.1979

Comparison of the reduced ground water hydrograph of a water level recorder with two hydrographs of tubes on Molinietum schoenetosum plots. Measuring period: June 8 till August 22, 1979.

————— Limnigraph
 water level recorder
 - - - - - Fläche 11
 plot 11
 - - - - - Fläche 14
 plot 14

Unterschieden niederschlagen. Wesentlich ist dabei lediglich die Ueberflutungsdauer im Wurzelraum, die hier hauptsächlich für die Ausbildung einer bestimmten Pflanzengemeinschaft verantwortlich ist. In der Wasserversorgung bestehen keine Unterschiede: Die Höhe der kapillaren Wassernachlieferung in Lehm Böden ist beträchtlich grösser als der Abstand Wurzelraum - Tiefstand des Grundwasserspiegels (s. Lit.Zit. bei KLÖTZLI 1969, S. 32. - Der Grundwasserspiegel befindet sich auch beim Tiefstand noch im Lehm).

Ob Grundwasserschreiber für Fragestellungen, die den unseren gleich oder ähnlich sind, notwendig sind, können wir mit so wenig Datenmaterial, das zudem nur eine beschränkte Zeitperiode erfasst, nicht entscheiden. Dass Limnigraphen jedoch eine Reihe von Vorteilen bringen, steht ausser Frage:

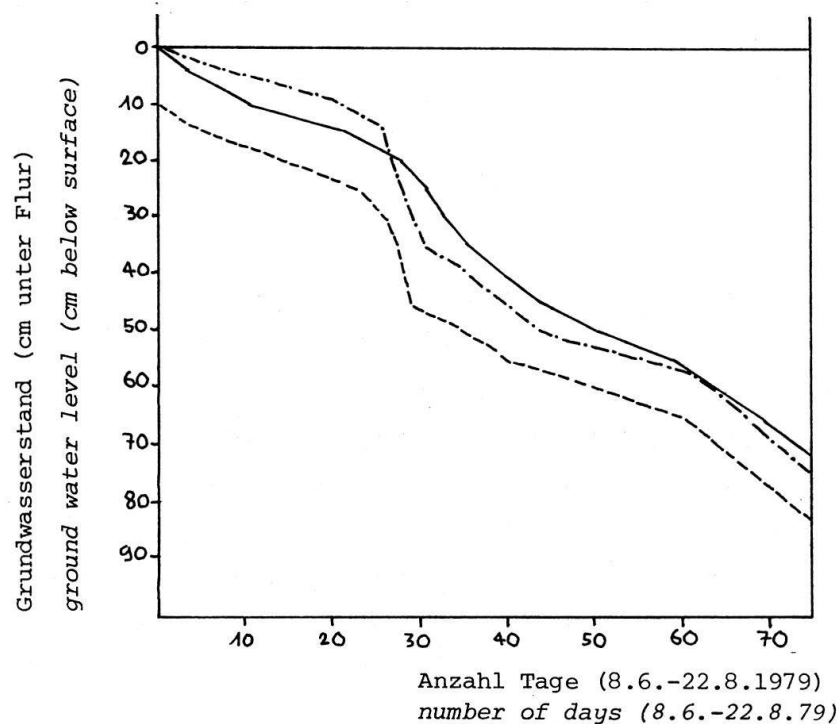


Abb. 8. Dauerlinien zu den Ganglinien der Abb. 7.

Corresponding duration curves to the ground water hydrographs of Fig. 7.

— Limnigraphen
water level recorder

..... Fläche 11
plot 11

----- Fläche 14
plot 14

- Sie ermöglichen die Erfassung der effektiven Tiefst- und Höchststände.
- Die Qualität der Dauerlinien wird verbessert. (Im besprochenen Fall jedoch nicht im - auf unserem Standort - pflanzenökologisch relevanten Bereich des Bodens!).
- Der Zeitaufwand für die Gewinnung der Daten ist bei Verwendung von Monatsstreifen minim.
- Die Daten eines Messrohrnetzes können mit einem Limnigraphen insofern

eine Verbesserung erfahren, als mit Hilfe des letzteren evtl. fehlende Daten der Rohrablesungen interpoliert werden können (vgl. BÜHRER 1979).

3.4. Die Ueberprüfung der Dauerliniengruppen mit der Diskriminanzanalyse

Ziel der folgenden Analyse ist erstens die Ueberprüfung der mit pflanzensoziologischen Methoden (Vegetationsaufnahmen, Kartierungsschlüssel) gebildeten Gruppen der Versuchsflächen mit deren Grundwasser-Dauerlinien, zweitens die Zuteilung von Flächen, die sich aufgrund ihrer Vegetation nicht eindeutig einordnen liessen. Die hier verwendete Diskriminanzanalyse (BMDP 1977) geht schrittweise vor, d.h. sie beginnt mit demjenigen Merkmal, das die Gruppen am besten trennt. Wenn ein weiteres Merkmal keine signifikant bessere Trennung ergibt, wird die Analyse abgebrochen. Als Dauerlinienmerkmale verwenden wir die Ueberschreitungsdauer auf verschiedenen Stufen unter Flur. Der Computer sucht für die drei Gruppen, die wir vorgeben, eine Trennungsebene, die er mit zwei Geradengleichungen, Diskriminanzfunktionen oder kanonische Variablen genannt, charakterisiert. Diese bestimmen die Zuteilung der einzelnen Elemente. Sie bilden die beiden Achsen der geographischen Darstellung der Trennung.

Den Dauerlinien von NÄF (1980, s. Legenden zu den Abb. 9-12) wurden für die Bildung der drei Gruppen (Tab. 2) nur diejenigen entnommen, die sich aufgrund ihrer Vegetationsaufnahme eindeutig zu einer Einheit von KLÖTZLI (1969) zuordnen liessen und deren Dauerlinie nicht mit denen einer anderen Dauerliniengruppe überlappt (Tab. 3).

Mischbestände (Flächen 5, 20, 22, 26; s. Abb. 10, 11), gestörte Flächen (z.B. ehemalige Aecker; 20, 21, 22; Abb. 10, 11) und Bestände mit Dauerlinien, die ein anderes Dauerlinienbündel tangieren (14, 21; Abb. 9, 10), sollen in einem zweiten Schritt einer der drei Gruppen (Tab. 2) zugewiesen werden. Gleich soll mit den Dauerlinien der Hochstaudenriedparzellen (Abb. 12) verfahren werden, von denen NÄF (1980) sagt, dass sie mit den Dauerlinien derjenigen Vegetationseinheiten übereinstimmen, aus denen der jetzige Hochstaudenbestand hervorgegangen ist. Die Daten von KLÖTZLI (1969) und EGLOFF (1979) können wegen der unterschiedlichen Messperioden nicht einbezogen werden.

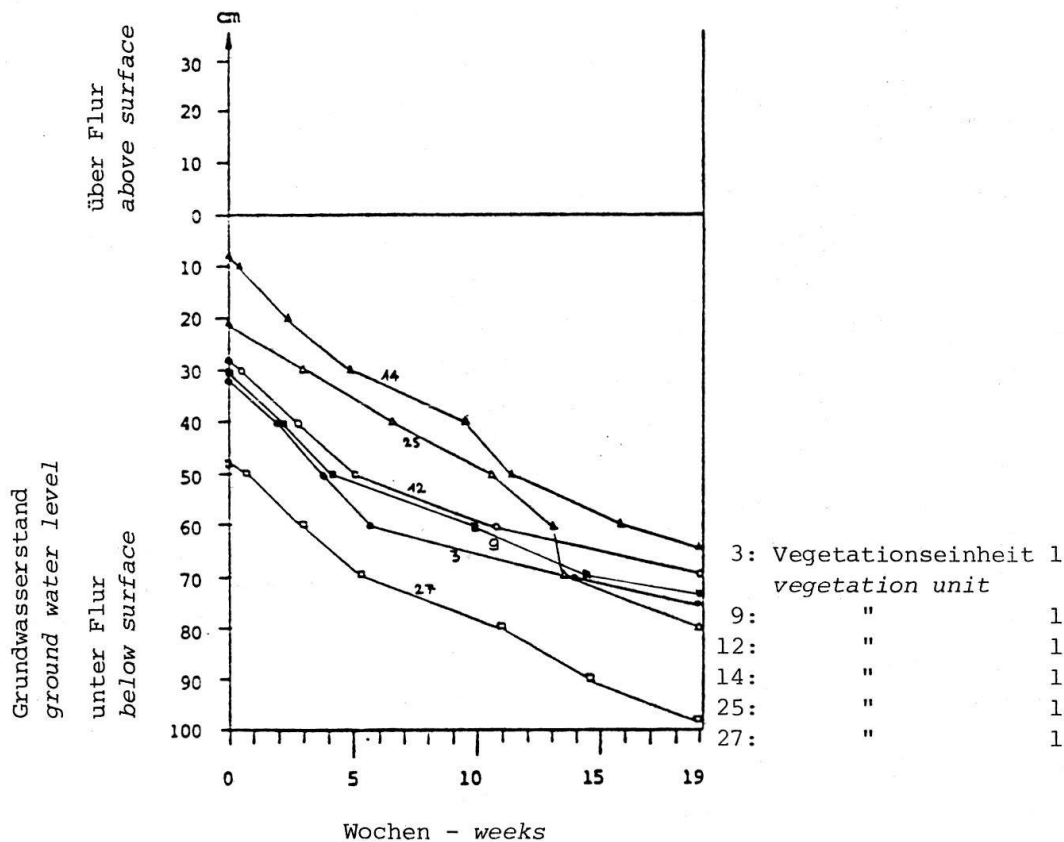


Abb. 9. Dauerliniengruppen (s. auch Tab. 1.)

Groups of duration curves (see table 1)

Die Verwendung der drei Merkmale Ueberschreitungsdauer auf 10, 30 und 50 cm unter Flur ergab bei Einbezug der Fläche 25 in die Gruppe 1 eine schlechte, zwischen den Gruppen "trocken" und "feucht" sogar eine willkürliche Trennung (Abb. 13); es wurden nacheinander die beiden Merkmale Ueberschreitungsdauer auf 30 und 10 cm berücksichtigt. Wurde die Dauerlinie der Fläche 25 (Abb. 9) in die Gruppe der zuzuordnenden Flächen umgeteilt, werden nacheinander die Merkmale Ueberschreitungsdauer auf 50 und 30 cm gewählt.

Abb. 14 zeigt, dass die Gruppen "trocken" und "feucht" nun klar getrennt werden, wobei die letztere in zwei Untergruppen zerfällt. In einem weiteren Versuch (Abb. 15) wurden die drei - ökologisch relevanteren (Ueber-

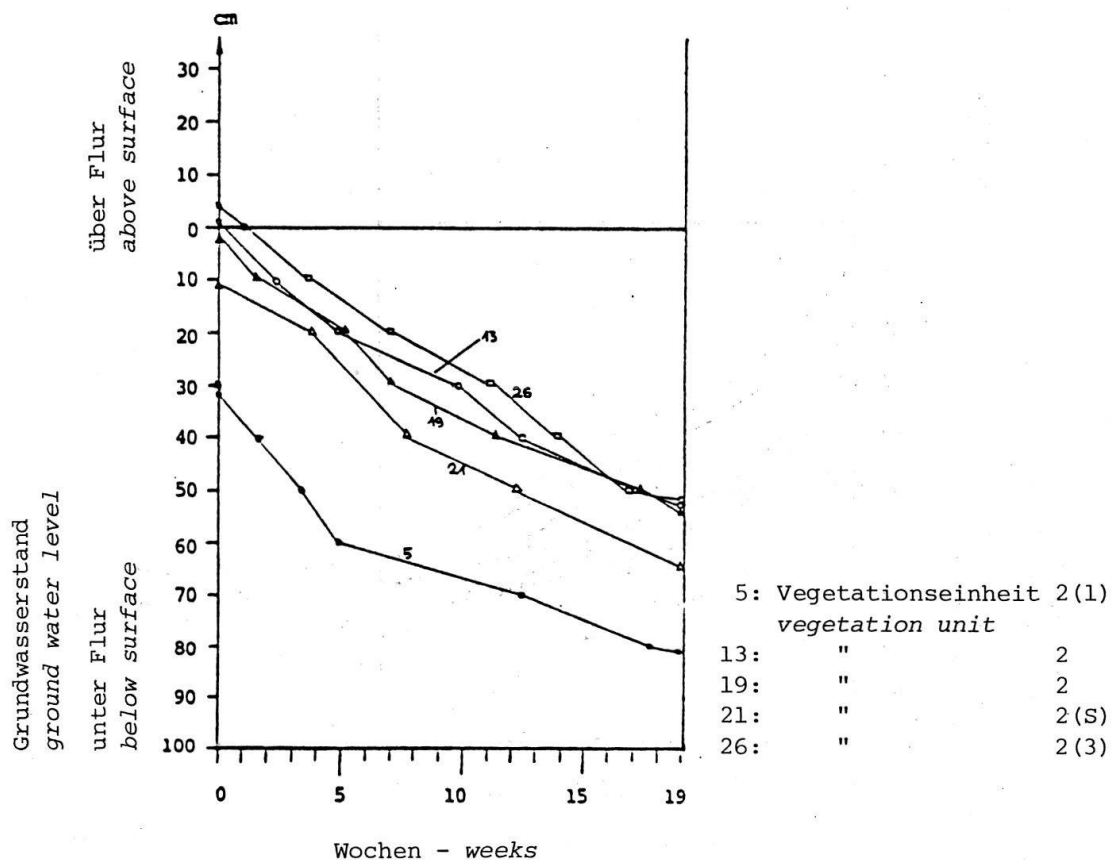


Abb. 10. Dauerlinien (s. auch Tab. 1.).

Groups of duration curves (see table 1)

flutung des Bodens resp. des Wurzelraums) - Merkmale Ueberschreitungs-
dauer auf Terrainhöhe, 10 cm unter Flur und der Höchststand eingegeben,
was zu einer deutlichen Trennung der Gruppen "feucht" und "nass" führte.
Nun lag es nahe, beide Merkmalsgruppen zu kombinieren: Berücksichtigt
wurden die Merkmale Ueberschreitungs-
dauer der Bodenoberfläche, auf 50 cm
unter Flur und der Maximalstand, nicht berücksichtigt die beiden Merkmale
Ueberschreitungs-
dauer auf 10 und 30 cm. Im Gegensatz zum dritten Versuch
(Abb. 15) wurde die Fläche 25 nicht in die vorgegebene Gruppe "trocken"
genommen. Abb. 16 zeigt eine deutliche Trennung zwischen sämtlichen drei
Gruppen. Sie ist noch besser, wenn man die Werte der kanonischen Varia-
blen (Diskriminanzfunktionen) der Abb. 13-16 miteinander vergleicht. (Da

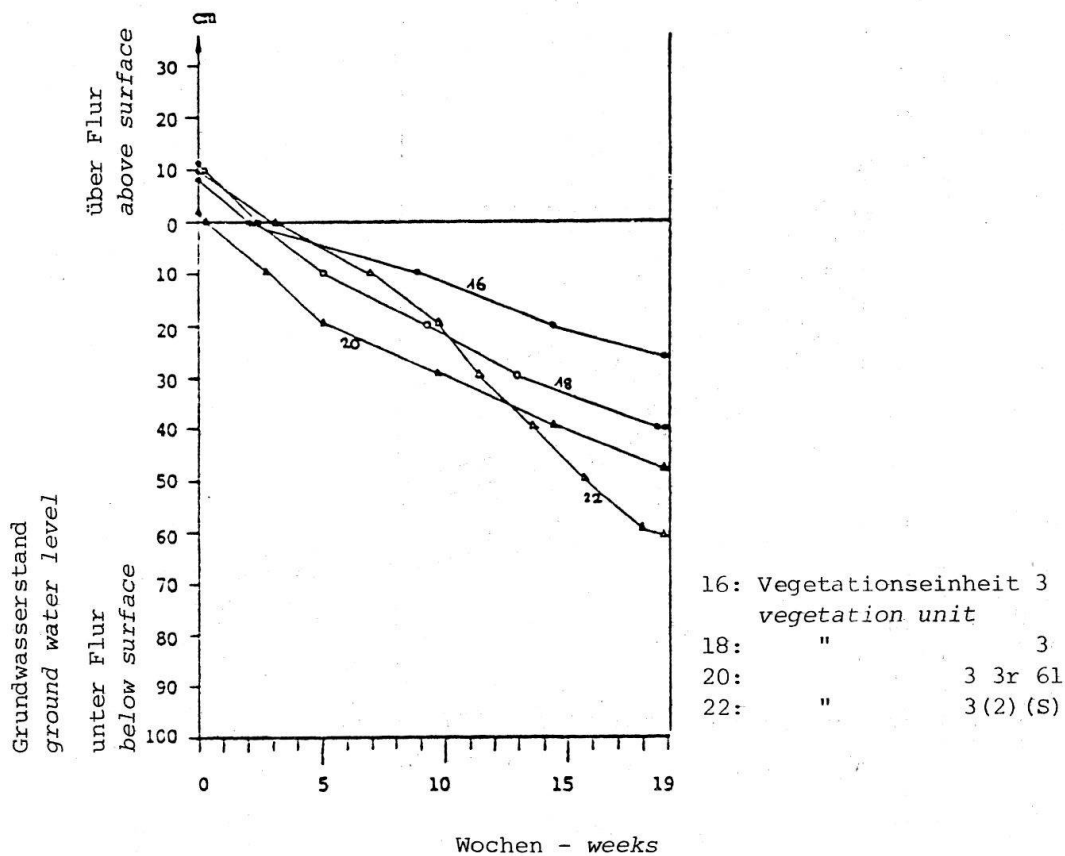


Abb. 11. Dauerlinien (s. auch Tab. 1)

Groups of duration curves (see table 1)

der Computerplot immer gleich gross ist, besitzen die vier Abbildungen verschiedene Massstäbe).

In Kolonne 4 der Tabelle 3 ist die aufgrund der Analysenergebnisse (vor allem des vierten Versuchs) vorzunehmende Zuteilung der Untersuchungsflächen zu den Vegetationseinheiten nach Tabelle 1 angegeben. Sämtliche Flächen, die bei den ersten drei Analysen zwischen den Gruppen "trocken" und "feucht" schwanken (s. Tab. 3, Kolonne 3), bilden in Abbildung 16 eine eigene Untergruppe, die sich deutlich von den beiden "Eichflächen" 13 und 19 absetzt.

Mögliche Fehlerquellen sind aus folgenden Gründen nicht auszuschliessen:

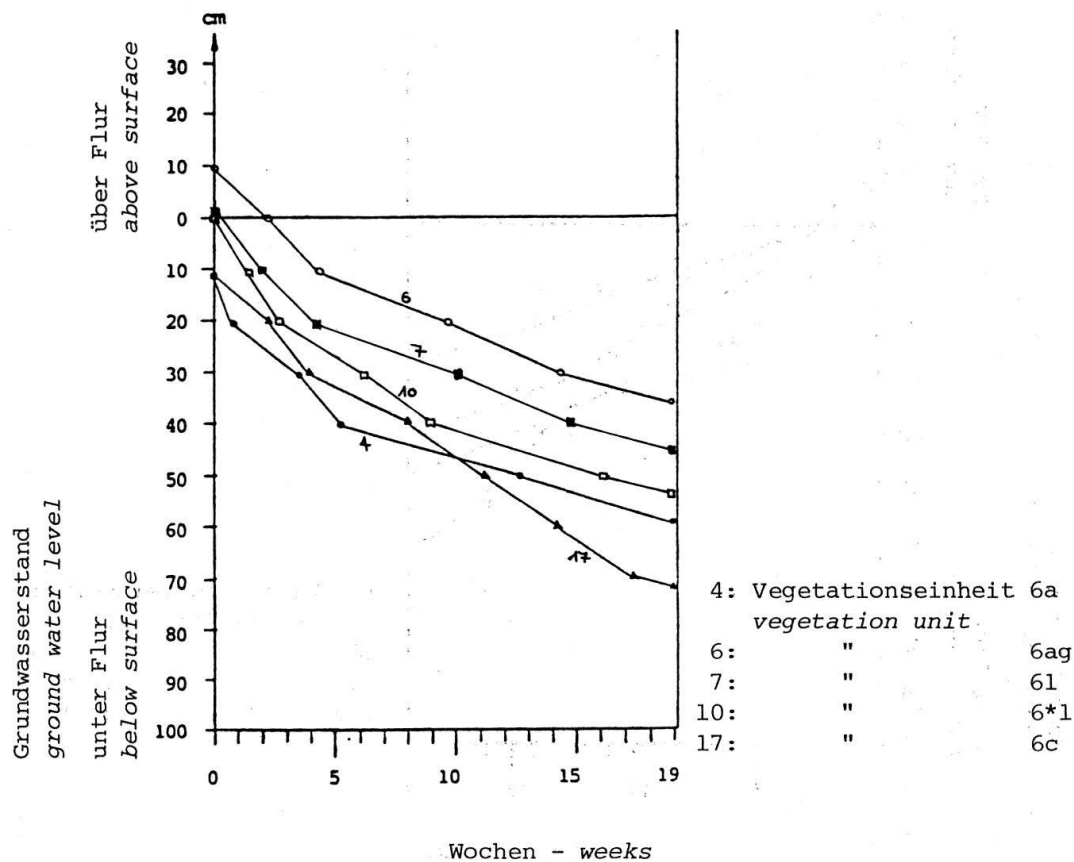


Abb. 12. Dauerlinien (s. auch Tab. 1)

Groups of duration curves (see table 1)

- Der geringe Datenumfang: So konnten die Gruppen "feucht" und "nass" nur mit jeweils zwei Flächen "geeicht" werden.
- Die Nichtberücksichtigung der in Kap. 3.1. besprochenen Fehlerquellen (durch gespanntes Grundwasser verfälschter Grundwasserspiegel, nicht erfasstes Stauwasser).
- Zu wenig Kenntnisse über den Grad der Homogenität des Bodenaufbaus im Untersuchungsgebiet. Unterschiede in der Tiefe des Grundwasserspiegelverlaufs brauchen sich bei unterschiedlichen Bodentexturen, die sich in unterschiedlich hohen Kapillarsäumen äussern, nicht in der Zusammensetzung der Vegetation zu zeigen (vgl. KLÖTZLI 1969, S. 31-33).

Abschliessend sei der besondere Vorzug der Diskriminanzanalyse nochmals betont: Sie ermöglicht es, Flächen, deren Vegetation sich nicht klassieren lässt, aufgrund ihrer Grundwasserverhältnisse bestimmten Vegetationseinheiten zuzuordnen, immer unter der Voraussetzung, dass gleiche oder zumindest sehr ähnliche Bodenverhältnisse vorliegen.

Nicht eindeutig einer Vegetationseinheit zuzuordnende Flächen trägt der Kartierer als sogenannte Mosaikbestände zweier Einheiten auf seine Karte ein. Es wäre zu überlegen, ob solche Uebergangsbestände im Kartierungsschlüssel, der auf sogenannten homogenen Beständen aufbaut, nicht eine eigene Nummer erhalten sollten, es sei denn, man scheut sich nicht, häufig "Zebrabestände" (z.B. 2[1] einzutragen).

Tab. 1. Erläuterung der in den Abb. 9-12 und in Tab. 2 erwähnten Vegetationseinheiten (nach KLÖTZLI und Mitarbeiter 1972).

List of the vegetation units mentioned in figs 9-12 and table 2 (after KLÖTZLI and collaborators 1972)

Nr.	Bezeichnung der Subassoziation, resp. Variante
1	<i>Stachyo-Molinietum caricetosum tomentosae</i>
2	<i>Stachyo-Molinietum typicum</i>
3	<i>Stachyo-Molinietum caricetosum hostianae</i>
3r	<i>Ranunculo-Caricetum hostianae</i>
6a	<i>Valeriano-Filipenduletum</i> , Ausbildung mit <i>Carex acutiformis</i>
6ag	<i>Valeriano-Filipenduletum</i> , Ausbildung mit <i>Carex acutiformis</i> und <i>C. gracilis</i>
6c	<i>Valeriano-Filipenduletum</i> , Ausbildung mit <i>C. acutiformis</i> , reich an <i>Cirsium oleraceum</i>
6l	<i>Valeriano-Filipenduletum</i> , Ausbildung mit <i>Molinia litoralis</i>
6*1	<i>Valeriano-Filipenduletum</i> , Ausbildung mit <i>Molinia litoralis</i> , reich an <i>Filipendula ulmaria</i> und <i>Phragmites communis</i>

S = Störung
disturbance

2(1), 2(3) = Misch- oder "Mosaik"-bestände
mixed or "mosaic" vegetation stands

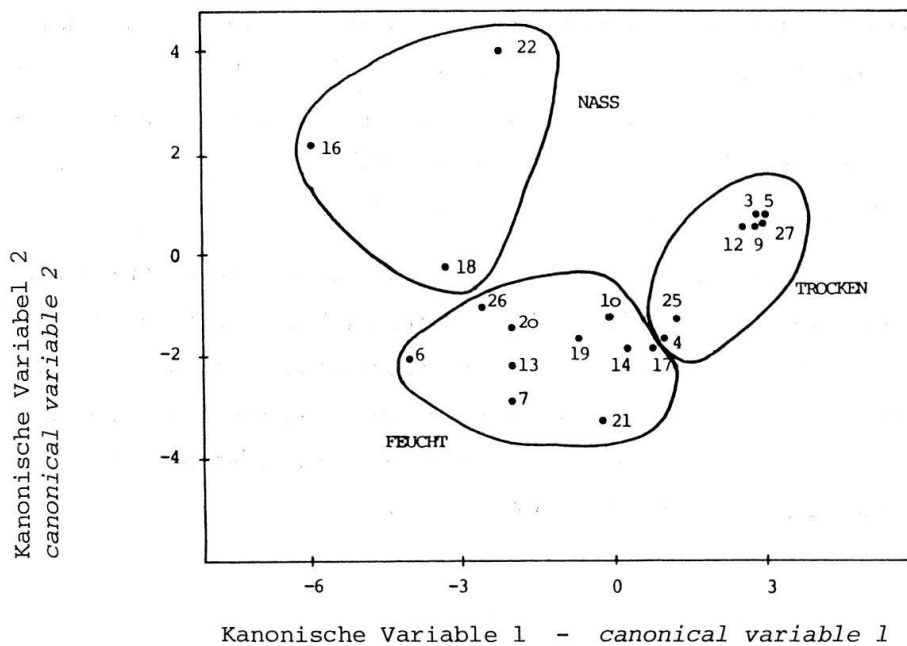


Abb. 13. Diskriminanzanalyse Nr. 1.

Eingegebene Dauerlinienmerkmale: Ueberschreitungsdauer von 10, 30 und 50 cm unter Flur. Vom Programm schrittweise berücksichtigte Merkmale: 30, 10. Anzahl Untersuchungsflächen in den drei Gruppen: "trocken": 7, feucht: 10, nass: 3. Die Nummern in der Abb. bezeichnen die Untersuchungsflächen (s. Abb. 9-12).

Discriminant analysis No. 1.

Duration curve characteristics fed into the computer: crossed grand water table levels: 10, 30 and 50 cm below surface. Stepwise considered characteristics: 50, 10. Number of experimental plots in the three groups: "dry": 5, "humid": 11, "wet": 4. (see table 3, col. 3). The numbers in the figure represent the experimental plots (see figs 9-12).

Tab. 2. Dauerliniengruppen von Pfeifengraswiesen für die Diskriminanzanalyse

Duration curve groups of Molinietum stands for discriminant analysis

Vegetationseinheit Nr. (s. Tab. 1)	Gruppenname in der Diskriminanzanalyse	Berücksichtigte Untersuchungsflächen
1 trockene Pfeifengraswiese	trocken	3, 9, 12, z.T. 25, 27 (Abb. 9)
2 typische "	feucht	13, 19 (Abb. 10)
3 nasse "	nass	16, 18 (Abb. 11)

Tab. 3. Resultat der Diskriminanzanalysen von Dauerlinienmerkmalen.

Results of the discriminant analysis of the duration curve characteristics.

Fläche Nr.	Vegetations- einheit 1)	Diskriminanzanalyse Nr. 3)				Vegetations- einheit 2)
		1	2	3	4	
* 3	1	T	T	T	T	2 (1)
* 9	1	T	T	T	T	
*12	1	T	T	T	F	
*25	1	T	F14)	T	F14)	
*27	1	T	T	T	T	
*13	2	F	F (2)	F	F (2)	
*19	2	F	F (2)	F	F (2)	
*16	3	N	N	N	N	
*18	3	N	N	N	N	
5	2 (1)	T	T	T	T	1
14	1	F	F1	T	F1	2 (1)
20	3/3r/6l	F	F2	F	F2	2
21	2 (S)	F	F1	T	F1	2 (1)
22	3 (2) (S)	N	N	N	N	3
26	2 (3)	F	F2	F	F2	2
4	6a	T	F1	T	F1	2 (1) **
6	6ag	F	N	N	N	3 **
7	6l	F	F2	F	F2	2 **
10	6*1	F	F2	F	F1	2 (1) **
17	6c	F	F1	T	F1	2 (1) **

1) Zuteilung aufgrund der Vegetationsaufnahme, leicht verändert nach NÄF 1980; s. Tab. 1.

Classification according to the vegetation units, slightly modified after NÄF 1980; see table 1.

2) Zuteilung aufgrund der Diskriminanzanalyse.

Classification according to the discriminant analysis.

3) Zuteilung zu den drei Gruppen: T = trocken, F = feucht, F1 = feucht, trockene Untergruppe, F2 = feucht, typische Untergruppe, N = nass; s. Tab. 2.

Classification into three groups: T = dry, F = humid, F1 = humid, dry subgroup, F2 = humid, typical subgroup, N = wet; see table 2.

4) Nicht mit der Gruppe "trocken" vorgegeben, erst im zweiten Schritt zugeteilt.

Not belonging to the "calibrating group", classified afterwards.

* "Eichflächen" - "calibrating group"

** Einheit der ursprünglichen Vegetation - unit of the original vegetation

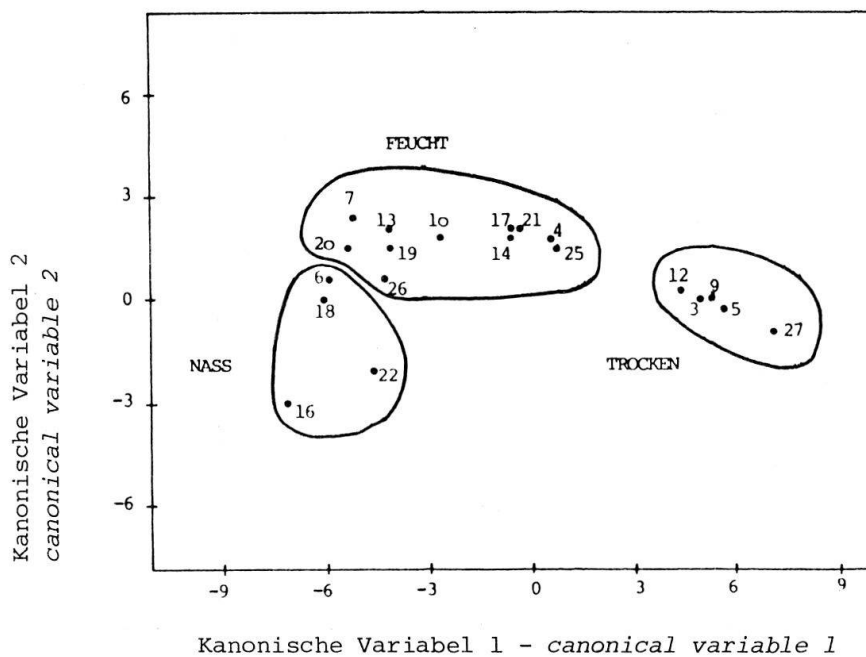


Abb. 14. Diskriminanzanalyse Nr. 2.

(Gruppe 1 ohne Fläche 25, s. Tab. 4).

Eingegebene Dauerlinienmerkmale: Ueberschreitungsdauer von 10, 30 und 50 cm unter Flur. Vom Programm schrittweise berücksichtigte Merkmale 50, 10. Anzahl Untersuchungsflächen in den drei Gruppen: "trocken": 5, "feucht": 11, "nass": 4.

Discriminant analysis No. 2.

(group 1 without plot 25, see table 4).

Duration curve characteristics fed into the computer: crossed water table levels: 10, 30 and 50 cm below surface. Stepwise considered characteristics: 50, 10. Number of experimental plots in the three groups: "dry": 5, "humid": 11, "wet": 4.

Abb. 16. Diskriminanzanalyse Nr. 4. (s.S. 179).

Eingegebene Dauerlinienmerkmale: Ueberschreitungsdauer von 10, 30 und 50 cm, Ueberflutungsdauer der Bodenoberfläche, Höchststand. Vom Programm schrittweise berücksichtigte Merkmale: 0.50, Maximalstand. Anzahl Untersuchungsflächen in den drei Gruppen: "trocken": 5, "feucht": 11, "nass": 4.

Discriminant analysis No. 4. (see page 179).

Duration curve characteristics fed into the computer: crossed water table levels: 10, 30 and 50 cm, transgression duration of the surface, top level. Stepwise considered characteristics: 0.5, top level. Number of experimental plots in the three groups: "dry": 5, "humid": 11, "wet": 4.

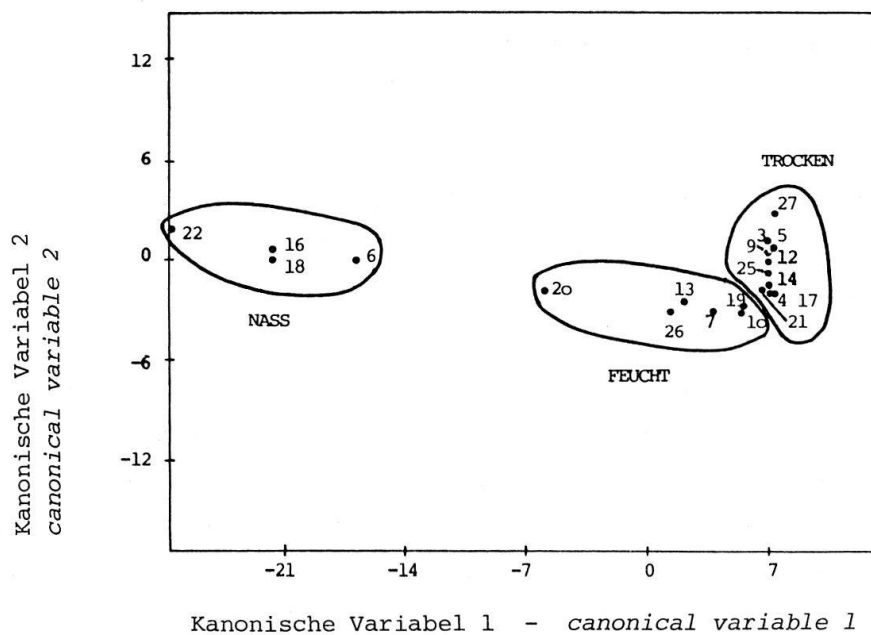


Abb. 15. Diskriminanzanalyse Nr. 3.

Eingegebene Dauerlinienmerkmale: Ueberschreitungsdauer von 10 cm unter Flur, Ueberflutungsdauer der Bodenoberfläche, Höchststand. Vom Programm schrittweise berücksichtigte Merkmale: 0, Maximalstand, 10. Anzahl Untersuchungsflächen in den drei Gruppen: "trocken": 10, "feucht": 6, "nass": 4.

Discriminant analysis No. 3.

Duration curve characteristics fed into the computer: crossed water table levels: 10 cm below surface, transgression duration of the surface, top level. Stepwise considered characteristics: 0, top level, 10. Number of experimental plots in the three groups: "dry": 10, "humid": 6, "wet": 4.

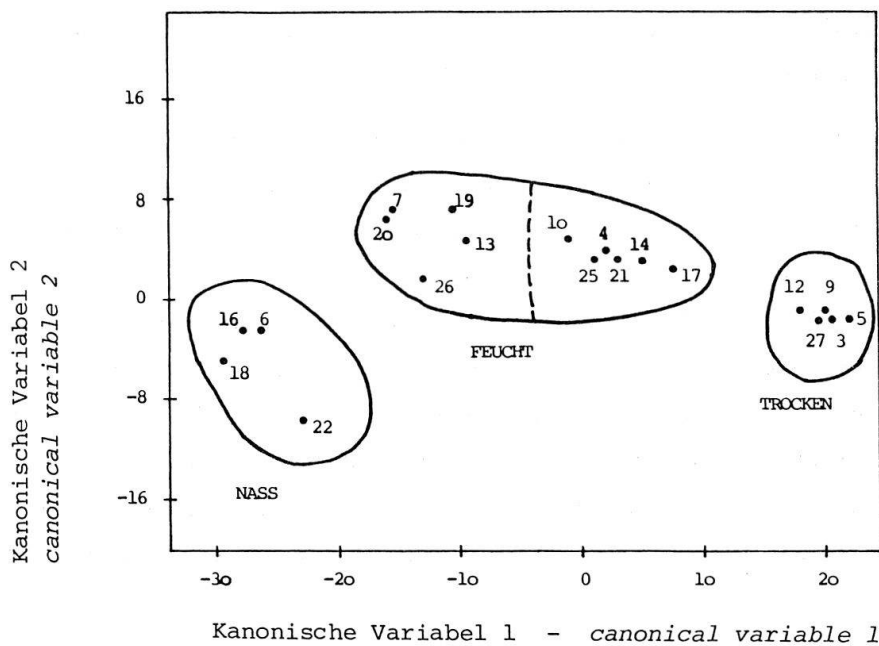


Abb. 16.

3.5. Vergleich der Grundwasserverhältnisse dreier Vegetationsperioden

Da von der Lunnerallmend die Limnigramme dreier Vegetationsperioden vorliegen, besteht die Möglichkeit, den Verlauf der Ganglinien (Niveau, Anstieg, Absinken) und die Form der Dauerlinien zu vergleichen. Die Gegenüberstellung der reduzierten Limnigraphen-Ganglinien (Abb. 17) zeigt z.B., dass die Ganglinie der Vegetationsperiode 1979 in den Monaten Juli und August deutlich tiefer liegt, während sich 1980 und 1981 in derselben Zeit nur geringfügig unterscheiden. Da die Messungen 1979 erst im Juni einsetzten, werden in der Folge lediglich die Jahre 1980 und 1981 miteinander verglichen: Deutliche Unterschiede liegen in den Monaten April-Juni und September vor. Der April beispielsweise ist 1981 nasser als 1980. Nasse Böden erwärmen sich langsamer, da sie eine grössere Wärmekapazität besitzen (s. dazu auch KLÖTZLI 1969, S. 32). Die Grundwasserverhältnisse im Frühling üben somit einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklungsgeschwindigkeit der Vegetation aus. (Wenn wir von "nass" reden, beziehen wir uns immer auf die gesamte Niederschlagsmenge, die sich in der Höhe des Grundwasserspiegels ausdrückt und nicht auf die Verteilung der Niederschläge, die grössere Anzahl von Regentagen). Der September ist ebenfalls 1981 nasser. Die Wasserverhältnisse im Herbst bestimmen den Zeitpunkt des herbstlichen Streueschnitts. Die Bauern, die die Streuwiese der Lunnerallmend bewirtschaften, beginnen sonst in der zweiten Septemberhälfte mit dem Mähen, 1981 konnten sie erst im November damit beginnen, da auch im Oktober das Grundwasser noch hoch anstand.

Aus dem Vergleich der Ganglinien der Sommerhalbjahre 1980 und 1981 (Abb. 17) lässt sich nur vermuten, dass 1980 nasser war. Zieht man die Dauerlinien (Abb. 18) heran, dann zeigt sich, dass die Ueberschreitungsdauer 1980 im oberen Bereich tatsächlich länger ist, beim Limnigraphen B über Flur, beim Limnigraphen A noch in der Tiefe von 25 cm unter Flur. (Eine mögliche unterschiedlich starke vertikale Perkolation infolge im Profil differierender Bodentexturen kann ausgeschlossen werden, da wir erst unterhalb des tiefsten Grundwasserstandes auf Sand stossen. Da das Grundwasser der Alluvionen mit dem Reusswasser kommuniziert, also beständig gespeist wird, kann die vertikale Perkolation vernachlässigt werden).

Die Niederschlagssummen der Station Luzern* (Tab. 4, Kol. 1; Abb. 19) jedoch zeigen das Gegenteil: 1981 fielen viel mehr Niederschläge; die sehr niederschlagsreichen Monate Juli und September haben entscheidend zum "Vorsprung" beigetragen. Beim Vergleich der Ganglinien hingegen erscheint der Juli 1981 etwas trockener. Das Mehr von 80 mm Niederschlägen äussert sich nur unwesentlich in der mittleren Abflussmenge und im mittleren Pegelstand der Reuss (Tab. 5, Kol. 1 und 2). Dies überrascht jedoch nicht mehr, wenn man den täglichen Wetterberichten entnimmt, dass in der Zeit vom Abend des 17. Juli bis zum Morgen des 19. Juli allein 82.5 mm Niederschläge fielen. Der Grund dafür, dass der Juli 1980 aufgrund des Ganglinienverlaufs (Abb. 17) etwas nasser erscheint, liegt an der geringeren mittleren Temperatur (Tab. 4, Kol. 2; Abb. 20), die sich auch aus der kürzeren Sonnenscheindauer ablesen lässt (Tab. 4, Kol. 3; Abb. 21) und sich in einer gegenüber dem Juli 1981 geringeren Evapotranspiration ausdrückt (Tab. 5, Kol. 3 und 4). Dasselbe lässt sich noch besser am Monat Mai zeigen: Der Grundwasserspiegel ist 1980 deutlich höher, mittlere Abflussmenge und mittlerer Pegelstand ebenfalls (Tab. 5), obwohl 1980 7 mm weniger Niederschläge fielen (Tab. 4, Kol. 1; Abb. 19). Der Mai ist 1980 jedoch viel kühler (Tab. 4, Kol. 2; Abb. 20), die Sonnenscheindauer liegt deutlich unter dem langjährigen Mittel (Tab. 4, Kol. 3; Abb. 21) und die potentielle Evapotranspiration ist 1980 geringer (Tab. 5, Kol. 3). Nur die gemessene Verdunstung (Tab. 5, Kol. 4) will seltsamerweise nicht ins Bild passen. Diese Angaben zeigen klar, dass es nicht genügt, bei der Besprechung von Grundwasserdaten nur die Niederschlagsmengen heranzuziehen, wie dies oft geschieht.

* Wir gehen von der Annahme aus, dass hauptsächlich der Reusswasserstand für den Grundwasserspiegel unserer Alluvionen verantwortlich ist und die Wirkungen der lokalen Niederschläge und der Hangzuflüsse überdeckt. Deswegen benutzen wir die Wetterdaten einer weiter oben am Reusslauf gelegenen Messstation.

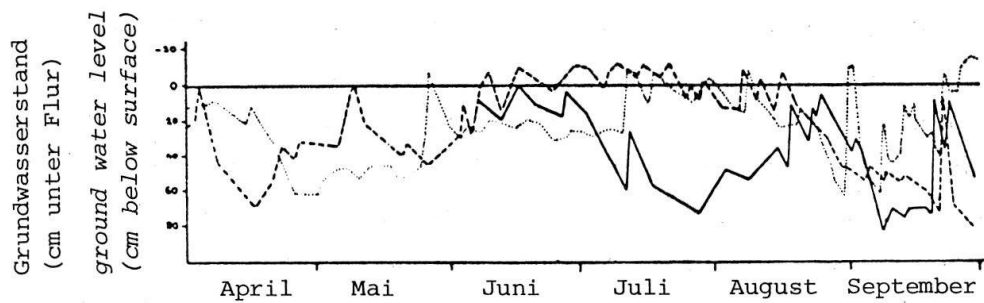


Abb. 17. Ganglinienverlauf der Vegetationsperioden 1979 (—), 1980 (----) und 1981 (.....)

Ground water hydrographs of the vegetation periods (—), 1980 (----) and 1981 (.....).

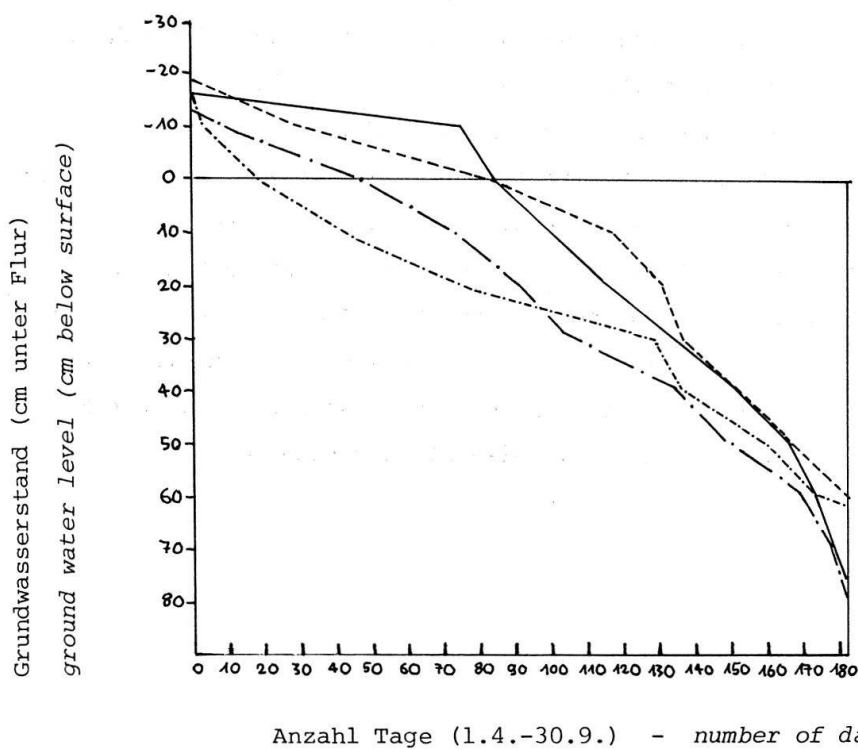


Abb. 18. Vergleich der Dauerlinien zweier Vegetationsperioden.

Comparison of the duration curves of two vegetation periods.

— Limnigraph A 1980 — Limnigraph B 1980
 - - - - - Limnigraph A 1981 - - - - - Limnigraph B 1981

Tab. 4. Klimadaten von Luzern für die Jahre 1980 und 1981 (aus den monatlichen Witterungsberichten der Schweiz. Meteorolog. Anstalt Zürich; (s. auch Abb. 19-21).

1 bezogen auf das Mittel von 1901-1960

2 nach UTTINGER (1966), resp. SCHÜEPP (1967)

3 bezogen auf das Mittel 1931-1960 (s. SCHÜEPP 1962)

Climatical data of the years 1980 and 1981 for Lucerne (see also figs 19-21)

1 referred to the mean from 1901 to 1960

2 after UTTINGER (1966) resp. SCHÜEPP (1967)

3 referred to the mean from 1931 to 1960 (see SCHÜEPP 1962)

Monat	Niederschläge		Temperatur		Sonnenscheindauer		
	1980 Summe (mm)	1 % 1981 Summe (mm)	1980 Mittel Abw. (°C)	1981 Mittel Abw. (°C)	1980 Summe (h)	1980 % 3	1981 Summe (h) % 3
April	101	114	7,1	-1,0	106	75	110 77
Mai	85	73	11,4	-1,4	105	72	140 96
Juni	140	89	14,6	-1,1	106	82	137 106
Juli	131	84	15,5	-1,9	112	66	145 86
August	69	46	18,4	+1,7	165	99	202 121
September	67	61	15,0	+1,9	184	127	76 52
Sommer- semester	593	77	13,7	-0,6	778	70	810 73
Beurteilung ²	sehr trocken	normal	normal, evtl. etwas zu kalt	normal, evtl. etwas zu warm			

Tab. 5. Mittlere monatliche Abflussmengen und Pegelstände der Reuss (Station Mühlau-Hünenberg der Landeshydrologie), potentielle Evapotranspiration von Luzern (aus dem Agrarmeteorologischen Bulletin der SMA, berechnet nach PRIMAULT 1981) und Verdunstung von Zürich (gemessen mit der Wild'schen Verdunstungswaage).

Mean monthly values of stream flow and stage of the Reuss (Station Mühlau-Hünenberg of the Landeshydrologie), potential evapotranspiration of Lucerne (from the agrimeteorological bulletin of the SMA, calculated after PRIMAULT 1981) and evaporation of Zurich (measured with the evaporation balance after Wild).

Monat	mittlere Abflussmenge ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		mittlerer Pegelstand bezogen auf 390 m ü.M.		Potentielle Evapotranspiration (mm)		Verdunstung einer offenen Wasserfläche	
	1980	1981	1980	1981	1980	1981	1980	1981
April	127	182	+0,09	+0,43	28	29	44	61
Mai	171	148	+0,38	+0,23	36	40	64	60
Juni	253	212	+0,84	+0,63	34	49	57	74
Juli	272	278	+0,95	+0,96	37	43	59	62
August	218	207	+0,65	+0,58	47	54	71	73
September	107	170	+0,94	+0,33	31	12	51	31

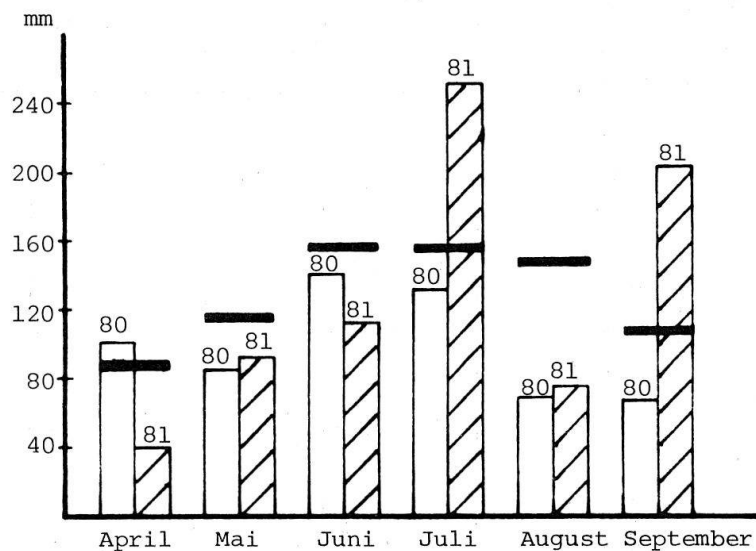


Abb. 19. Gegenüberstellung der Niederschlagssummen von Luzern der Vegetationsperioden 1980 und 1981.

Die horizontalen Balken markieren die langjährigen Monatsmittel.

Comparison of total precipitation during the vegetation periods of 1980 and 1981 in Lucerne.

The horizontal lines indicate the monthly precipitation for many years.

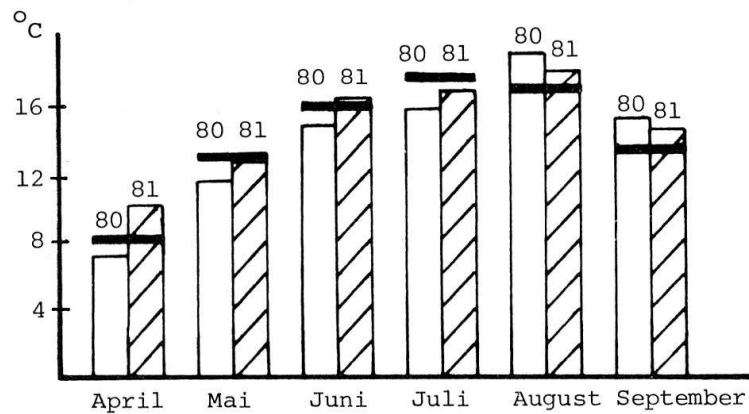


Abb. 20. Gegenüberstellung der monatlichen Temperaturmittel der Vegetationsperioden 1980 und 1981 in Luzern.
Die horizontalen Balken markieren die langjährigen Monatsmittel.
Comparison of the mean monthly temperature during the vegetation periods of 1980 and 1981 in Lucerne.
The horizontal lines indicate the monthly mean for many years.

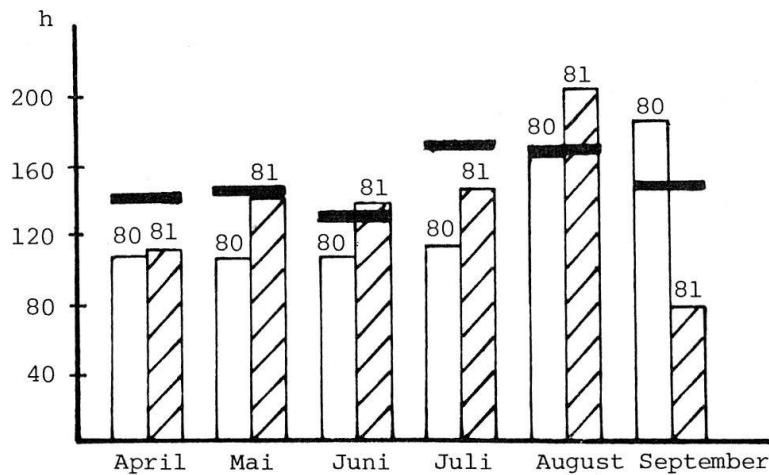


Abb. 21. Gegenüberstellung der Sonnenscheindauer während der Vegetationsperioden 1980 und 1981 in Luzern.
Die horizontalen Balken markieren die langjährigen Monatsmittel.
Comparison of the total hours of sunshine during the vegetation periods of 1980 and 1981 in Lucerne.
The horizontal lines indicate the monthly mean for many years.

3.6. Grundwasserstand und Evapotranspiration

Im vorangehenden Kapitel konnte gezeigt werden, dass die Evapotranspiration einen Einfluss auf die Höhe des Grundwasserspiegels hat. Auch KLAPP (1954) u.a. haben festgestellt, dass eine durch Düngung erzeugte grössere Pflanzenmasse durch ihren höheren Wasserverbrauch (Transpiration) ihren Standort etwas trockener machen kann. Man spricht in diesem Zusammenhang von Meliorationsdüngung und biologischer Entwässerung. Im folgenden soll untersucht werden, ob bestimmte auf unseren Linnigrammen festgestellte Grundwasserbewegungen tatsächlich der Transpiration zugeschrieben werden können.

An besonders schönen Tagen (s. die Angaben zu den Wetterverhältnissen in Tab. 6) ist auf den Linnigrammen ein Absinken des Grundwasserspiegels um teilweise mehr als 5 cm festzustellen, das vor Mittag einsetzt und bis in den Abend hinein dauert (Abb. 22 oben, Tab. 7). In den Nachtstunden steigt der Spiegel wieder an, jedoch nicht auf den Ausgangswert zurück, da der

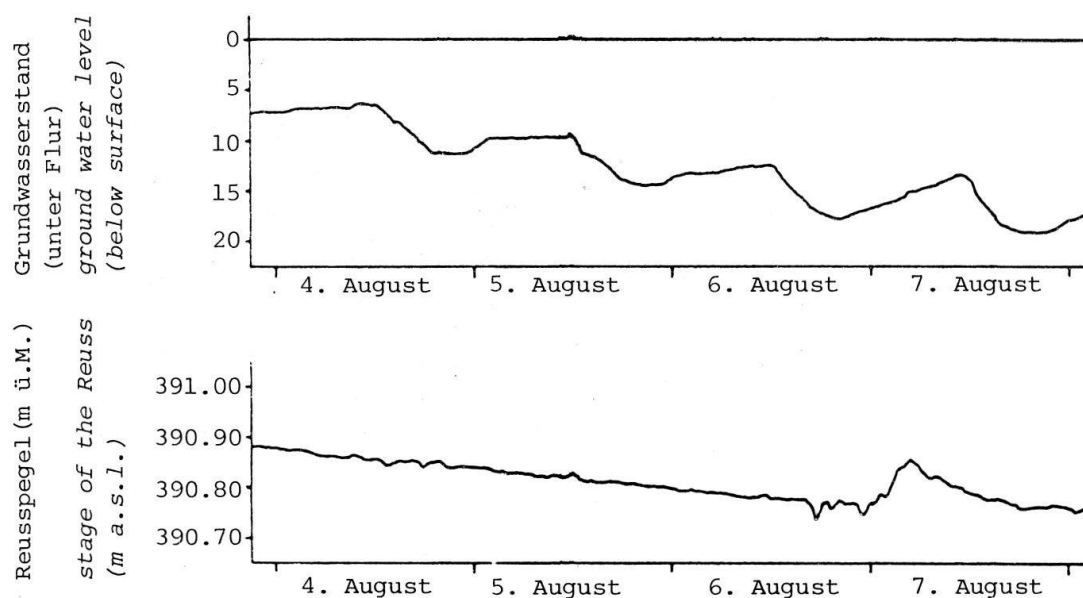


Abb. 22. Linnigramm und Reusspegel vom 4.8.-7.8.1981

Ground water hydrograph and stage of the Reuss from August 4th to August 7th, 1981.

Tab. 6. Wetterverhältnisse an sonnigen Tagen im August 1981.

Angaben aus den täglichen Wetterberichten der Schweiz. Meteorol. Anstalt, Station Zürich SMA (mittlerer Barometerstand: 950 mbar). In der Nacht vom 6. auf den 7. August 1981 fielen 0,6 mm Niederschlag.

Weather conditions on sunny days in August 1981.

Dates from the daily weather reports of the Swiss meteorological institute, station Zurich SMA (mean barometer reading: 950 mbar). In the night of the 6th to the 7th of August, 1981, 0,6 mm of precipitation was measured.

Bewölkung: 0 = hell, ☉ = leicht bewölkt, ☁ = bewölkt,
clouding : clear slightly clouded clouded

● = stark bewölkt, ● = bedeckt
heavily clouded overcast

Datum	Temperatur (°C)			Bewölkung			Sonnenschein- dauer (h)	Luftdruck (mbar) 7h
	7h	13h	19h	7h	13h	19h		
4.8.	17	26	26	☉	0	0	12,3	962,1
5.8.	18	27	27	0	0	0	12,6	956,3
6.8.	19	27	27	☁	0	☉	12,0	951,1
7.8.	18	24	24	●	0	☉	7,0	951,3

Tab. 7. Grundwasser- und Reusspegelbewegungen an sonnigen Augusttagen im Jahr 1981.

Movements of the ground water level and the stages of the Reuss on sunny days in August 1981.

Datum	Grundwasserstand (cm unter Flur)				Schwankungen des Grundwasserstandes			
	11h	14h	17h	19h	11-14h	14-17h	17-20h	11-20h
4.8.	7,0	8,5	10,0	11,5	-1,5	-1,5	-1,5	-4,5
5.8.	10,0	12,0	13,5	14,5	-2,0	-1,5	-1,0	-4,5
6.8.	13,0	15,5	17,0	18,0	-2,5	-1,5	-1,0	-5,0
7.8.	14,0	17,5	19,0	19,5	-3,5	-1,5	-0,5	-5,5
Datum	Reusspegelstand (cm unter 391 m ü.M.)				Schwankungen des Pegelstandes			
	11h	14h	17h	19h	11-14h	14-17h	17-20h	11-20h
4.8.	14,0	14,5	15,0	15,5	-0,5	-0,5	-0,5	-1,5
5.8.	18,0	18,5	18,5	19,0	-0,5	0	-0,5	-1,0
6.8.	22,0	22,0	24,5	23,5	0	-2,5	+1,0	-1,5
7.8.	20,5	21,5	22,5	23,0	-1,0	-1,0	-0,5	-2,5

Pegelstand des Reusswassers, das hauptsächlich für die Speisung des Grundwassers verantwortlich ist, kontinuierlich sinkt (Abb. 22 unten). Wenn sich einige schöne Tage folgen, entsteht auf dem Limnigramm ein treppenartiges Bild. Die Vermutung liegt nahe, dass es sich um die Auswirkung einer starken Evapotranspiration handelt. Doch auch die Reusspegelstände (Abb. 22 unten, Tab. 7) und die Luftdruckverhältnisse müssen betrachtet werden: Wie u.a. VAN EIMERN (1950) und MEISSNER (1953) festhielten, führen Luftdruckveränderungen zu kleinen Grundwasserspiegelschwankungen. Als Beispiel diene der Limnigrammausschnitt vom 6.-8. August 1981 des in rund 190 m Abstand von der Reuss auf der Lunnerallmend aufgestellten Limnigraphen (Abb. 22 oben, Tab. 7). Eine mögliche Wasserabgabe der Reuss im Laufe des Nachmittags ist fraglich, da der Wasserstand der Reuss auch nachts kontinuierlich sinkt, der Grundwasserspiegel jedoch wieder ansteigt. Es kann angenommen werden, dass letzterer abends, je nach Abstand von der Reuss unterschiedlich deutlich, tiefer liegt. Da die Versuchsflächen der Lunnerallmend nicht nivelliert wurden, kann diese Annahme nicht überprüft werden.

Der Einfluss von Luftdruckschwankungen ist vernachlässigbar: Alle drei Stunden in der ca. 6 km nördlich der Lunnerallmend gelegenen Klimamessstation des Geographischen Institutes der ETH registrierte Luftdruckwerte schwanken an schönen Tagen im Juli 1979, an denen die Limnigramme dasselbe Phänomen zeigen (EGLOFF 1979), um maximal 2 mm HG ($\approx$ 2,6 mbar). Da sich jedoch nach MEISSNER (1953) bei hochanstehendem Grundwasser keine nennenswerten Druckdifferenz ausbilden kann, wird sich in unserem Fall die Luftdruckzunahme nur sehr gering auf den Wasserspiegel auswirken.

Da auch die Evaporation auf vegetationsbedecktem Boden als gering bezeichnet und die Sickerung vernachlässigt (s. Kap. 3.5.) werden kann, bleibt als wesentliche Ursache des treppenartigen Bildes der Abb. 22 nur noch die Transpiration der Vegetation übrig: RYCHNOVSKA et al. (1977) geben für Feuchtwiesen Tagestranspirationssummen von 5,0 bis 10,5 mm an, PISEK und CARTELLIERI (1941) 15,5 mm für Nasswiesen. Die stärkste Grundwasser-senkung (Tab. 7) an den hier betrachteten Tagen fällt mit dem höchsten Sonnenstand, d.h. der stärksten Einstrahlung zusammen. KAUSCH (1957) findet beim Vergleich von Tagesgängen für Tage mit grösserer Einstrahlung und stärkerer Evaporation ebenfalls deutliche Pegelschwankungen. Für diese

beiden Faktoren ergibt sich bei seinen Untersuchungen im Gegensatz zum Tagesverlauf des Luftdrucks eine gute Uebereinstimmung mit den Kleinschwankungen des Grundwassers. "Es ist deshalb sicher, dass der Faktor Transpiration die übrigen Faktoren, die nicht ausgeschlossen sind, wirksam überlagert" (KAUSCH 1957, S. 437).

Wie stark äussert sich nun eine angenommene Tagestranspirationssumme von 1,5 cm im Sinken des Grundwasserspiegels? Das Porenvolumen der lehmigen Mineralböden im Reusstal beträgt nach BOLLER-ELMER (1977) 50-60% des Totalvolumens des natürlich gelagerten Bodens, so dass wir auf eine Grundwasserabsenkung von rund 3 cm kämen. Berücksichtigt man zudem den Anteil der Feinporen, die in Gleyböden bis mehr als die Hälfte des Porenvolumens ausmachen (s. RICHARD 1978) und deren Wasser von den Pflanzen nicht verwertet werden kann, dann können wir den Betrag, den die Transpiration zur Absenkung des Grundwasserspiegels beiträgt, weiter erhöhen.

Vergleicht man die Tagestranspirationssummen von Feuchtwiesen oder Röhrichten (BURIAN 1973) mit der Verdunstung von offenen Wasserflächen (maximale Tagessumme im August 1981, gemessen von der SMA: 3,7 mm), dann wird klar, welche Bedeutung solche Vegetationsformen für die Luftfeuchtigkeitsverhältnisse ihrer Umgebung besitzen (s. auch LANDOLT 1974).

3.7. Die Auswirkungen von Entwässerungsmassnahmen im benachbarten Intensivgrünland

Es gibt eine Reihe von Arbeiten, die sich mit der Wirkung von Eingriffen in den Gebietswasserhaushalt auf die Vegetation befassen, doch erfolgt die Vergleichsvegetationsaufnahme, resp. die Vergleichskartierung in den meisten Fällen erst mehrere Jahre nach dem Eingriff (z.B. HUNDT 1975, KUHN et al. 1978, SMEETS et al. 1980). Zudem handelt es sich fast ausschliesslich um Intensivgrünland (eine Ausnahme: ELLENBERG 1952). GROOTJANS und TEN KLOOSTER (1980) sind die einzigen uns bekannten Autoren, die sich in den letzten Jahren mit der Wirkung von Grundwasserabsenkungen auf die Vegetation und deren Reaktion (Ausmass und Geschwindigkeit) befassten (Dauerquadratbeobachtungen in einer feuchten Pfeifengraswiese).

Im Reusstal besteht die Möglichkeit, die Geschwindigkeit der Wirkung der im

Rahmen des Sanierungsprojektes gebauten Kanäle auf die Vegetationszusammensetzung zu verfolgen. Im Jahre 1981 wurde ein stellenweise nur ca. 100 m vom Westrand des Schorenschachens entfernter 2 m eingetiefter Kanal gebaut, dessen Sohle in den hochanstehenden Schotter hineinreicht (s. GRUBINGER et al. 1979). Es leuchtet unmittelbar ein, dass das Anschneiden von Sand- und Kiesschichten die Reichweite der Entwässerung beträchtlich erhöht. NÄF (1980) konnte mit Vegetationsaufnahmen und Grundwasserstandsbeobachtungen den Zustand vor dem Kanalbau genau erfassen. Ein Teil seiner Flächen wird weiter überwacht. Da der Kanal auf Wunsch der Vertreter des Naturschutzes eine Betonauskleidung erhielt, dürfte nicht dasselbe geschehen wie 4 km nördlich: Ein im Abstand von ca. 100 m am Naturschutzgebiet Siebeneichen vorbeiführender Kanal, der ebenfalls Gebietsentwässerung und Hochwasserableitung zur Aufgabe hat und zu diesem Zweck bis auf rund 3 m eingesenkt ist, senkte den Grundwasserstand erheblich (an gewissen Stellen besteht der Boden schon ab 20 cm aus Sand- und Kiesschichten). "Die Ueberlegungen zum Schutze des NSG Siebeneichen finden zu spät statt", schreiben MÜLLER und BÜHRER (1980) in ihrem Gutachten. Um wenigstens die Senken wieder zu vernässen, wird vorgeschlagen, entweder kleinräumig mit Lehmschlägen oder Folien abzudichten oder Oberflächenwasser, das nährstoffarm sein müsste, zuzuführen. LANDOLT (mündl.) fände es sinnvoller, auf Rettungsmassnahmen zu verzichten und die Entwicklung zu alluvialen Halbtrockenrasen (*Mesobromion alluviale*) anzustreben. Nach KLÖTZLI (mündl.) zeigten sich beispielsweise an Stellen, wo auf eine wenig mächtige Humus-, resp. Torfschicht direkt Sand- und Kiesschichten folgen, schon in der ersten Vegetationsperiode (der Kanalbau erfolgte im Frühjahr) Veränderungen in der Vegetation (s. auch KLÖTZLI 1980). Eine 1980, zwei Jahre nach dem Kanalbau, durchgeführte Kartierung konnte auch über der vom Kanal angeschnittenen Lehmrinne Veränderungen gegenüber der Kartierung von 1972 feststellen.

BÜHRER (1980b) fände es sinnvoller, sich bei der Ausscheidung von Naturschutzgebieten primär nach deren optimaler Schutzmöglichkeit, d.h. in diesem Fall der Erhaltung des Bodenwasserhaushalts zu richten und erst in zweiter Linie nach deren biologischem Wert. Wenn man die Grundwasserabsenkung im NSG Siebeneichen berücksichtigt, ist das sicher ein durchaus berechtigter, realistischer Vorschlag. Wir finden jedoch, dass ernstgemeinte Naturschutzbestrebungen im Rahmen einer grossräumigen Gesamtmelio-

ration, wie sie die Reusstalsanierung darstellt, sich darin äussern müssten, Flächen mit hohem biologischen Wert als Vorrangflächen für den Naturschutz auszuscheiden, was einschliesst, dass Massnahmen in ihrer Umgebung sich keinesfalls nachteilig auf das Schutzgebiet auswirken dürften.

Zusammenfassung und Folgerungen

Die Arbeit bespricht einige Erkenntnisse, die bei Grundwasserstandsbeobachtungen in alluvialen Feuchtwiesen des unteren Reusstals gewonnen wurden.

- Im methodischen Teil wird der Vorteil von *Eisenrohren* für Grundwasserstandsmessungen herausgestellt (z.B. Zuschneiden und Lochen gemäss den jeweiligen Anforderungen).
- Auf schwerdurchlässigen Böden kann mit einem Rohr oft nicht bestimmt werden, ob Grundwasser, Stauwasser oder gar aufgestiegenes gespanntes Grundwasser gemessen wird (Kap. 3.1.). Deshalb wird der Einsatz von mindestens zwei *Rohren verschiedener Länge* vorgeschlagen (Kap. 3.2.). Weiter wird auf die Vorteile des Einsatzes von *Grundwasserschreibern* hingewiesen (z.B. Ergänzung der Messrohrdaten, Kap. 3.3.).
- Die statistische *Ueberprüfung der Dauerliniengruppen* erfolgte mit einer *Diskriminanzanalyse*, mit der es möglich ist, gleichzeitig mehrere Merkmale und mehr als zwei Dauerlinienbündel zu testen (Kap. 3.4.). Beispielsweise erlauben die Diskriminanzfunktionen die Klassierung gestörter Vegetationsbestände, die sich mit dem Kartierungsschlüssel nicht richtig einordnen lassen.
- Der *Vergleich der Grundwasserverhältnisse zweier Vegetationsperioden* in Kap. 3.5. zeigt, dass zwischen Niederschlag und Grundwasserstand nicht immer eindeutige Beziehungen bestehen. Es erweist sich als notwendig, auch die Temperatur- und Verdunstungsverhältnisse zur Interpretation heranzuziehen, da das niederschlagsärmere Jahr aufgrund der Gang- und Dauerlinien als nasser erscheint.
- Im Kap. 3.6. wird nachgewiesen, dass hauptsächlich die *Transpiration* für die an schönen Tagen zu beobachtenden deutlichen Grundwasserspiegelsenkungen verantwortlich ist.
- *Grundwasserabsenkungen* in der unmittelbaren Umgebung von Feuchtstandortsschutzgebieten können zu sofortigen Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung führen, wenn die Kanäle Sand- und/oder Kiesschichten anschneiden (Kap. 3.7.).

Summary and conclusions

The present study deals with some examinations of ground water level measurements in alluvial wet meadows in the lower valley of the Reuss.

- In the methodical part (chapter 1), the advantages of iron tubes for ground water level measurements are shown (e.g. cutting and perforating according to the specific requirements).
- On soils with low permeability, the differences between ground water, perched water or confined aquifers cannot be clearly determined with only one iron tube. We therefore suggest to use of at least two tubes of different lengths (chap. 3.2.) and of water level recorders (supplementary to the data of the iron tubes, chap. 3.3.).
- The statistical verification of the duration curve groups was carried out using the discriminant analysis, which allows one to determine several characteristics and more than two duration curve bunches simultaneously. The discriminant functions allow the classification of disturbed vegetation sites, which cannot be classified by their floristical composition (chap. 3.4.).
- In chap. 3.5. the comparative study of the ground water conditions of two vegetation periods shows that there is no definite relationship between precipitation and ground water level. Temperature and evaporation conditions also have to be taken into account as the years that were poor in precipitation seem to have additional precipitation according to ground water hydrographs and the duration curves.
- Transpiration is mainly responsible for the lowering of the water level observed on clear and warm days (chap. 3.6.).
- Drainage ditches near wetland protection zones can lead to immediate changes in the vegetation when they reach sandy and gravelly soil layers (chap. 3.7.).

Literatur

- BMDP, 1977: Biomedical computer program, P-series, eds.: DIXON W.J. et al., Univ. of California Press, Berkeley. 880 S.
- BOLLER-ELMER K., 1977: Stickstoff-Düngungseinflüsse von Intensiv-Grünland auf Streu- und Moorwiesen. Veröff.Geobot.Inst.ETH, Stiftung Rübel, 63, 103 S.
- BÜHRER M., 1979: Auswirkungen der Kanäle auf den Bodenwasserhaushalt der umliegenden Landwirtschafts- und Naturschutzgebiete. 3. Zwischenbericht, Reusstalforschung ETH Zürich, 217-227.
- 1980a: Auswirkungen der Kanäle auf den Bodenwasserhaushalt der umliegenden Landwirtschafts- und Naturschutzgebiete. Schweiz.Ing. u.Arch. 98(14), 322-324.
 - 1980b: Bodenwasserhaushalt, Analyse eines Einzelergebnisses. 4. Zwischenbericht, Reusstalforschung ETH Zürich, 70-73.
- BURIAN K., 1973: *Phragmites communis* Trin im Röhricht des Neusiedlersees. In: ELLENBERG H. (Hrsg.), Ökosystemforschung. Springer, Berlin. 61-78.
- EGGELSMANN R., 1981: Dränanleitung. 2. Aufl. Parey, Hamburg/Paris. 288 S.
- EGLOFF Th., 1979: Pflegemassnahmen und Sukzessionen in Schutzgebieten feuchter Standorte am Beispiel Reusstal. Diplomarbeit. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, 192 S. (Manuskript).

- ELLENBERG H., 1952: Auswirkung der Grundwassersenkung auf die Wiesengesellschaften (am Seitenkanal westlich von Braunschweig). *Angew. Pflanzensoz.* 6, 46 S. (+ 2 Karten).
- VAN EIMERN J., 1950: Meteorologisch bedingte Kleinschwankungen des Grundwasserstandes. *Ann. Meteorologie* 3, 215-223.
- GROOTJANS A.P. und TEN KLOOSTERS W.Ph., 1980: Changes of ground water regime in wet meadows. *Acta Bot. Neerl.* 29(5/6), 541-554.
- GRUBINGER H., MÜLLER U. und BÜHRER M., 1979: Stellungnahme zum Kanal A6, Abschnitt Süd. Gutachten Inst.f.Kulturtechnik ETH Zürich. 20 S. + Anhang.
- HUNDT R., 1975: Bestands- und Standortsveränderungen des Grünlandes in einem Rückhaltebecken als Folge des periodisches Wasseranstaus. *Arch.Naturschutz u. Landschaftsforschung*, Berlin 15, 171-197.
- KAUSCH W., 1957: Die Transpiration als Ursache für tägliche Grundwasserschwankungen. *Ber.Dt.Bot.Ges.* 70, 436-444.
- KLAPP E., 1954: Erträge von Pflanzengesellschaften in Beziehung zu Grundwasser und Nährstoffversorgung. *Angew.Pflanzensoziologie* 8, 137-148.
- KLÖTZLI F., 1969: Die Grundwasserbeziehungen der Streu- und Moorwiesen im nördlichen Schweizer Mittelland. *Beitr.Geobot.Landesaufn.Schweiz* 52, 296.
- 1980: Naturschutz im Reusstal, Fragen aus ökologischer Sicht. *Schweiz.Ing.u.Arch.* 98(14), 312-318.
 - BOLLIGER P., MAURER R., MEYER M., ROTH Ch., VOSER M.-L. und WULLSCHLEGER R., 1972: Pflanzensoziologische Kartierung der aargauischen Reussebene im Massstab 1:5000. *Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel.* (Manuskript).
- KUHN U., LEUPI E., OBERHOLZER H.-R. und TSCHÜTSCHER B., 1978: Naturwissenschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung von Naturschutz- und Erholungsgebieten. Diplomarbeit. *Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel*, 236 S. + Anhang (Manuskript).
- LANDOLT E., 1974: Rolle einzelner Landschaftselemente für den Landschaftshaushalt. In: LEIBUNDGUT H. (Hrsg.), *Landschaftsschutz und Umweltpflege*. Huber, Frauenfeld/Stuttgart, 40-53.
- MEISSNER R., 1953: Der Einfluss von Luftdruckschwankungen auf den Grundwasserstand. *Z.Geophysik (Sonderbd.)*, 1953, 161-180.
- MÜLLER U. und BÜHRER M., 1980: Reusstalmelioration, Erhaltung des Naturschutzgebietes Siebeneichen. Gutachten Inst.f.Kulturtechnik ETH Zürich, 7 S.
- NÄF E., 1980: Zur Entstehung und Erhaltung von Mooren und Streuwiesen im Reusstal. Diplomarbeit. *Geobot.Inst.ETH,Stiftung Rübel*, 134 S. (Manuskript).
- NIEMANN E., 1963: Beziehungen zwischen Vegetation und Grundwasser, ein Beitrag zur Präzisierung des ökologischen Zeigerwerts von Pflanzen und Pflanzengesellschaften. *Arch.f.Naturschutz und Landschaftsforschung* 3, 1-35.
- 1973: Grundwasser und Vegetationsgefüge, Grundwasser-Dauerlinien-Koinzidenzmethode und Dauerlinien-Variabilitätsdiagramm im Rahmen ökologischer Untersuchungen an grundwasserbeeinflussten Vegetationseinheiten. *Nova Acta Leopoldina* 38 (Suppl. 6), 172 S.
- PISEK A. und CARTELLIERI E., 1941: Der Wasserverbrauch einiger Pflanzenvereine. *Jb.wiss.Bot.* 90, 255-291.

- PRIMAULT B., 1981: Extension de la validité de la formule suisse de calcul de l'évapotranspiration. Arb.ber.Schweiz.Meteorol.Zentralanstalt 103. 8 S.
- RICHARD F., 1978: Bodenkundlich-pflanzensoziologische Exkursionen. Lehrveranstaltung der ETH Zürich. Exkursionsunterlagen.
- RYCHNOVSKA M., ULEHLOVA B., JAKRLOVA J. und TESAROVA M., 1977: Biomass budget and energy flow in alluvial meadow ecosystems. XIIIth Internat.Grassland Congress Leipzig, Akademie Berlin, 473-475.
- SCHÜEPP M., 1962: Klimatologie der Schweiz I, Sonnenscheindauer I 1. Beih. Ann.Schweiz.Meteorol.Zentralanstalt, I 1-I 63.
- 1967: Klimatologie der Schweiz I, Lufttemperatur C 3/4, Beih. Ann. Schweiz.Meteorol.Zentralanstalt, C 63-C 106.
- SMEETS A.J.A.M., WERGER M.J.A. und TEVONDEREN M.A.J., 1980: Vegetation changes in a moist grassland under altered conditions. Biological conservation 18, 123-142.
- UTTINGER H., 1966: Klimatologie der Schweiz I, Niederschlag E 4. Beih. Ann. Schweiz.Meteorol.Zentralanstalt, E 125-E 170.
- WEBER E., 1980: Grundriss der biologischen Statistik. 8. Aufl. Stuttgart, 652 S.
- WILDI O. und KLÖTZLI F., 1978: Seeufervegetation, Moor- und Streuwiesen; Geobotanische Bestandesaufnahmen. Ber.Schwyz.Nat.forsch.Ges. 7, 64 S. + Karten

Adresse der Autoren: Thomas EGLOFF, dipl.Natw.ETH
 Ernst Näf, dipl.Natw.ETH
 Geobotanisches Institut ETH
 Stiftung Rübel
 Zürichbergstr. 38
 CH-8044 Zürich