

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

Kapitel: 3: Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

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: 12.01.2026

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

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.

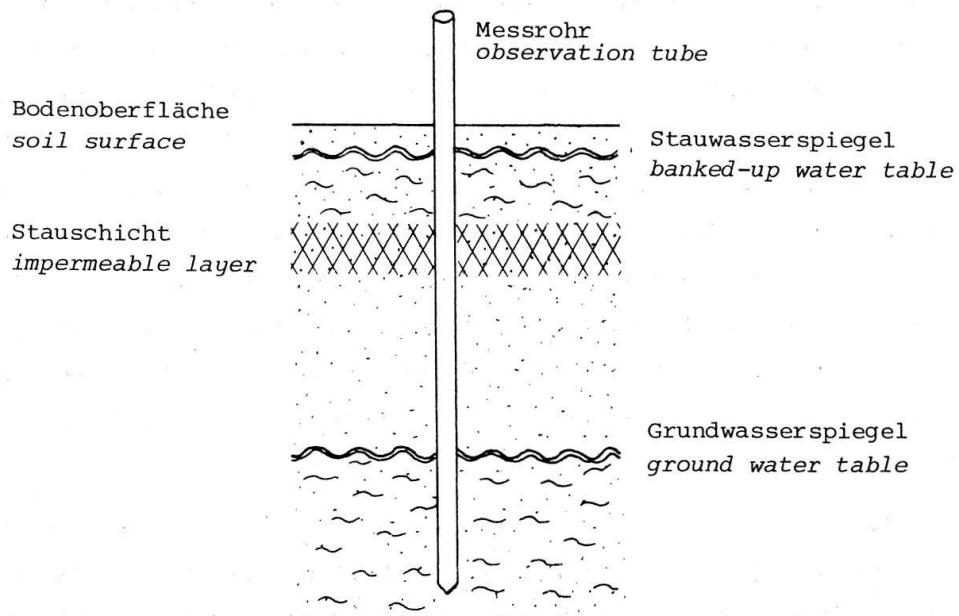


Abb. 2. Grundwasserstandsmessung in Böden mit Stauschichten.

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

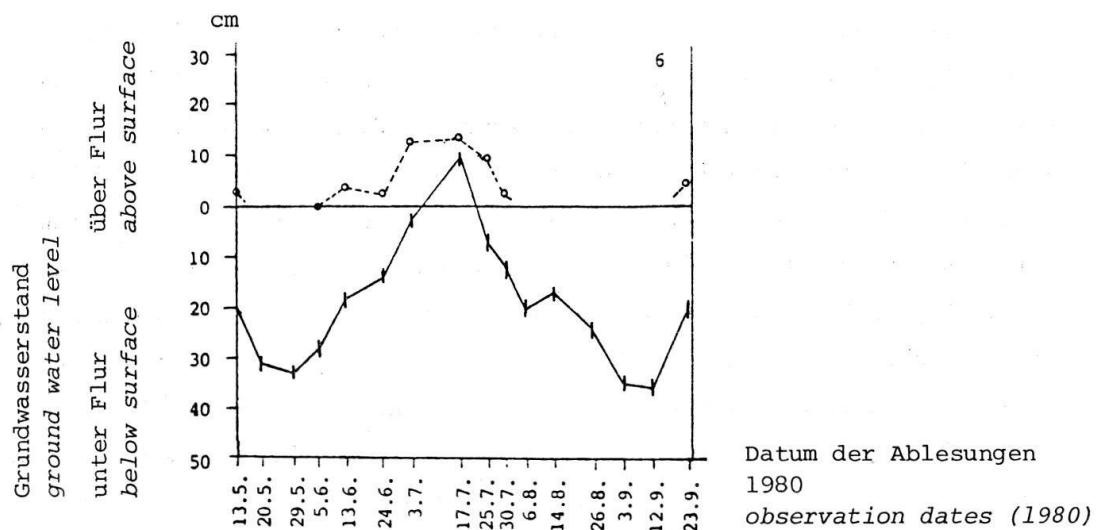
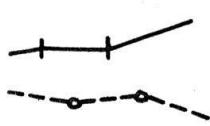


Abb. 3. Ganglinie unter einem Hochstaudenried (aus NÄF 1980).

Ground water hydrograph in a *Filipenduletum* stand.



im Rohr gemessene Werte
data measured in the tube

Ueberschwemmungswasser, ausserhalb des Rohres gemessen
inundation water data measured outside the tube

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 Pflanzengemeinschaft finden als wir es aufgrund der Ganglinie, resp. der Dauerlinie erwarten würden.

Und eine weitere offene Frage: Da die im Rohr gemessenen Werte offensichtlich nicht die Ganglinie des für die Pflanzen relevanten Wasserspiegels 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 Rohr nach 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.

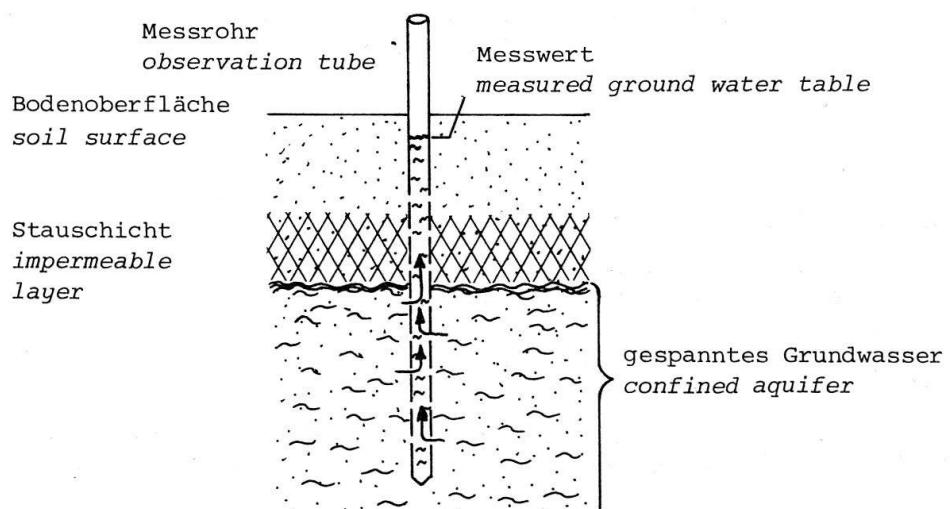


Abb. 4. Verfälschung von Grundwasserstandsmesswerten durch gespanntes Grundwasser.

Falsification of ground water table data through confined aquifer.

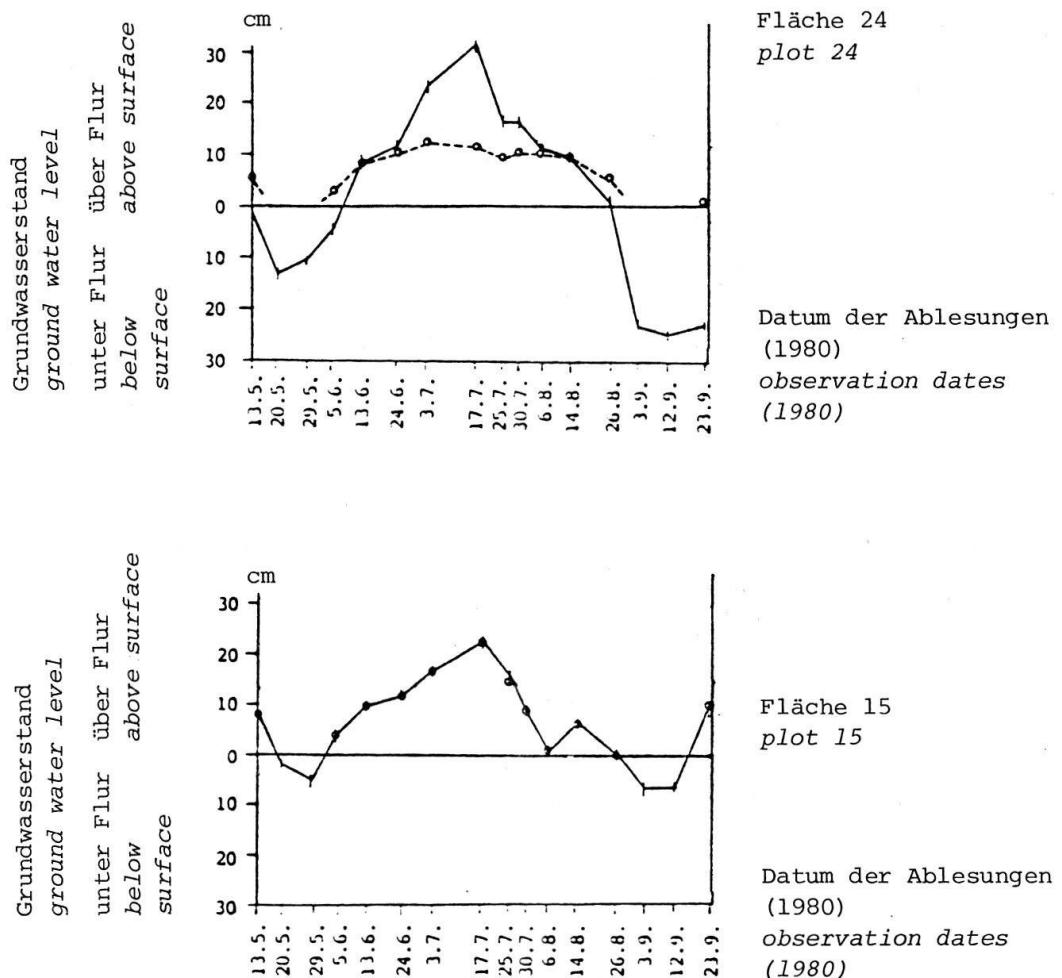
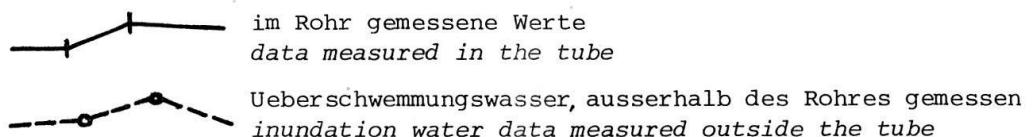


Abb. 5. Ganglinien zweier Flutmulden (aus NÄF 1980).

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 verschiedenen 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

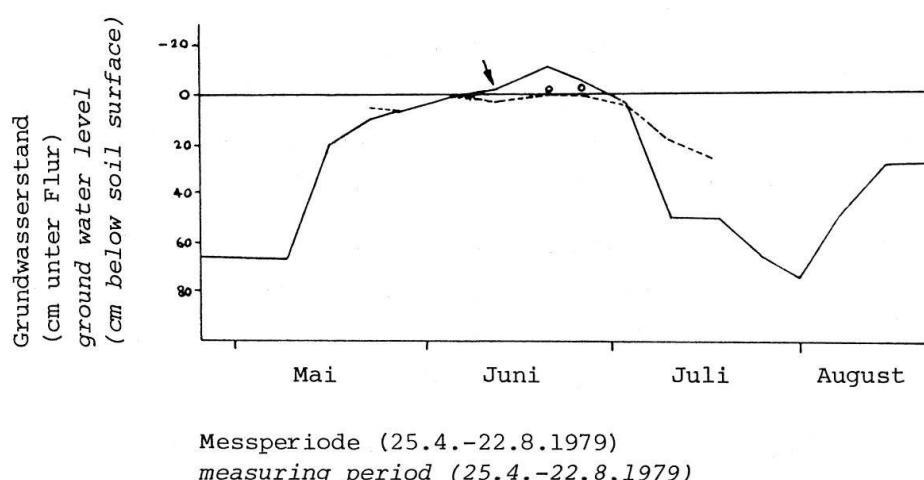
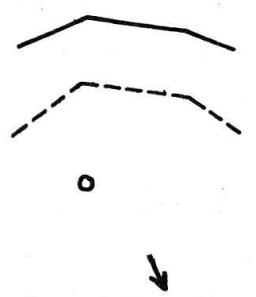


Abb. 6. Parallelmessungen auf Fläche 19 (feuchte Pfeifengraswiese, aus EGLOFF 1979).

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



Ganglinie im 1.5 m-Rohr
ground water hydrograph in the 1.5 m tube

Ganglinie im 0.5 m-Rohr
ground water hydrograph in the 0.5 m tube

Höhe des Ueberschwemmungswasser
inundation water

(13. Juni): Boden nicht überschwemmt
(13th July): soil surface not inundated

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 Grundwasserspiegel spitzen 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 nässe re 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

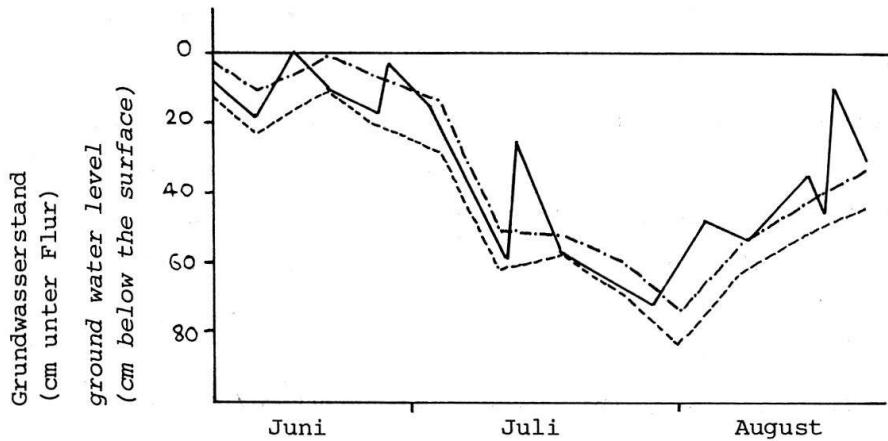


Abb. 7. Vergleich einer reduzierten Limnigraphenlinie mit den Messrohr-ganglinien zweier benachbarter Flächen des gleichen Vegetations-typs. Zeitperiode: 8.6. - 22.8.1979

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 Wasser-nachlieferung in Lehmböden 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:

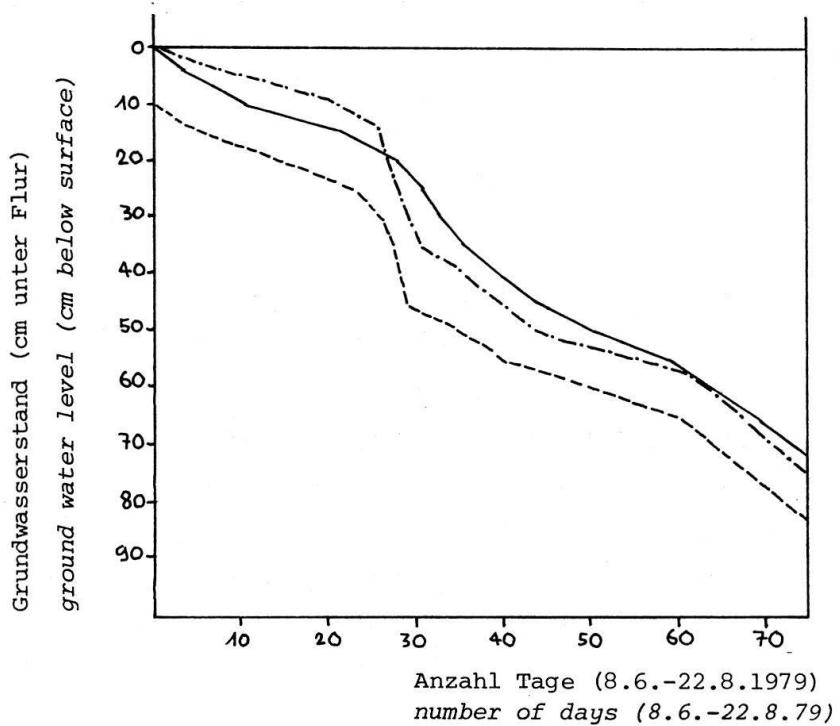


Abb. 8. Dauerlinien zu den Ganglinien der Abb. 7.

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 Gleichungen, 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.

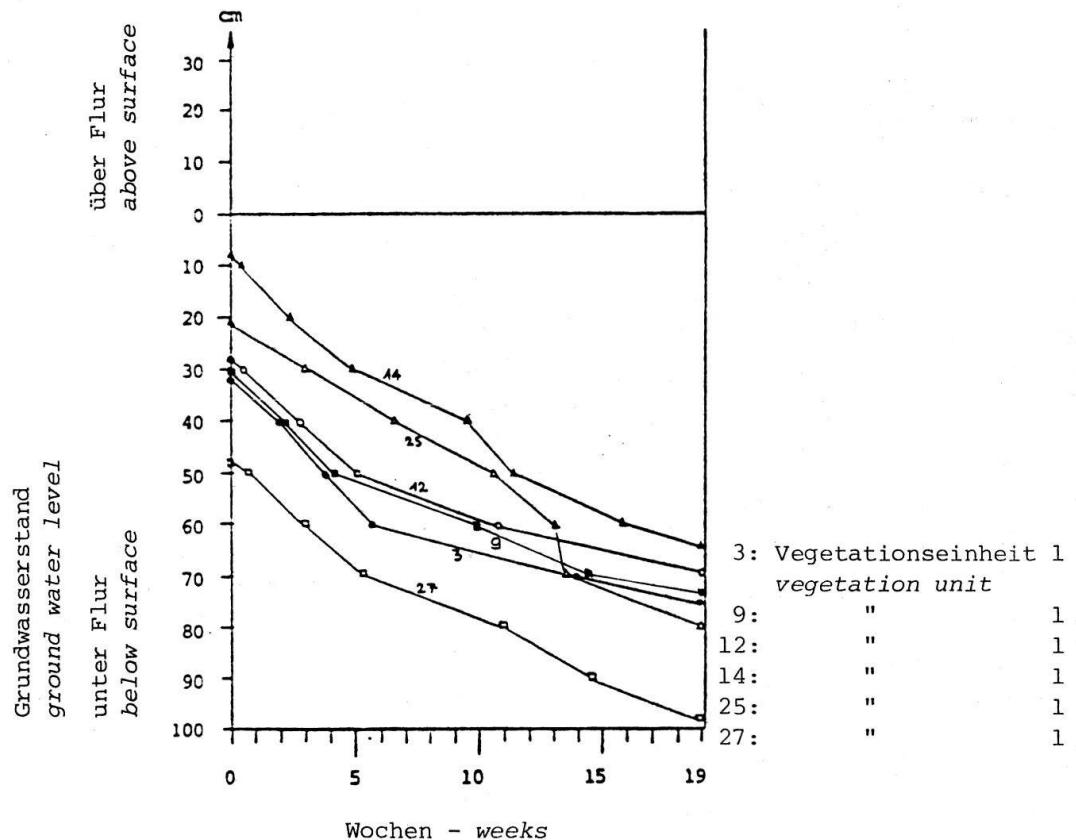


Abb. 9. Dauerliniengruppen (s. auch Tab. 1.)

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-

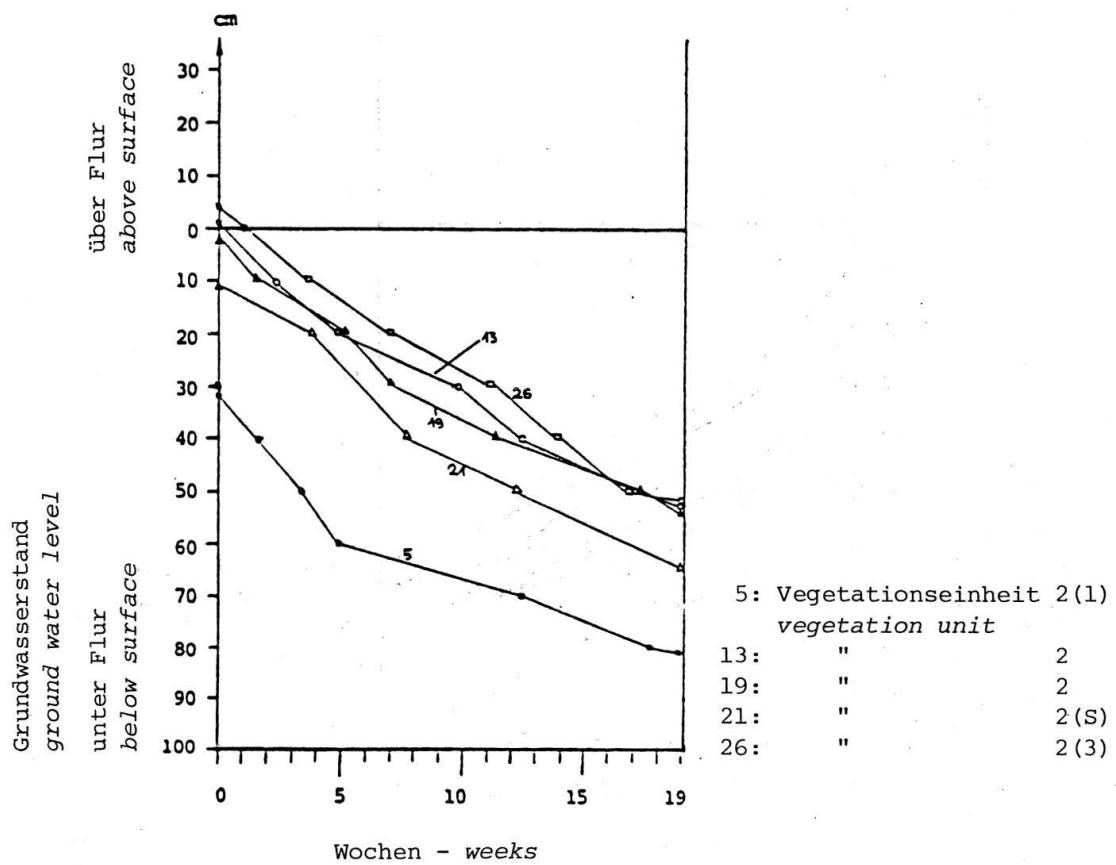


Abb. 10. Dauerlinien (s. auch Tab. 1.).

Groups of duration curves (see table 1)

flutung des Bodens resp. des Wurzelraums) – Merkmale Ueberschreitungsdauer 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 Ueberschreitungsdauer der Bodenoberfläche, auf 50 cm unter Flur und der Maximalstand, nicht berücksichtigt die beiden Merkmale Ueberschreitungsdauer 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 Variablen (Diskriminanzfunktionen) der Abb. 13–16 miteinander vergleicht. (Da

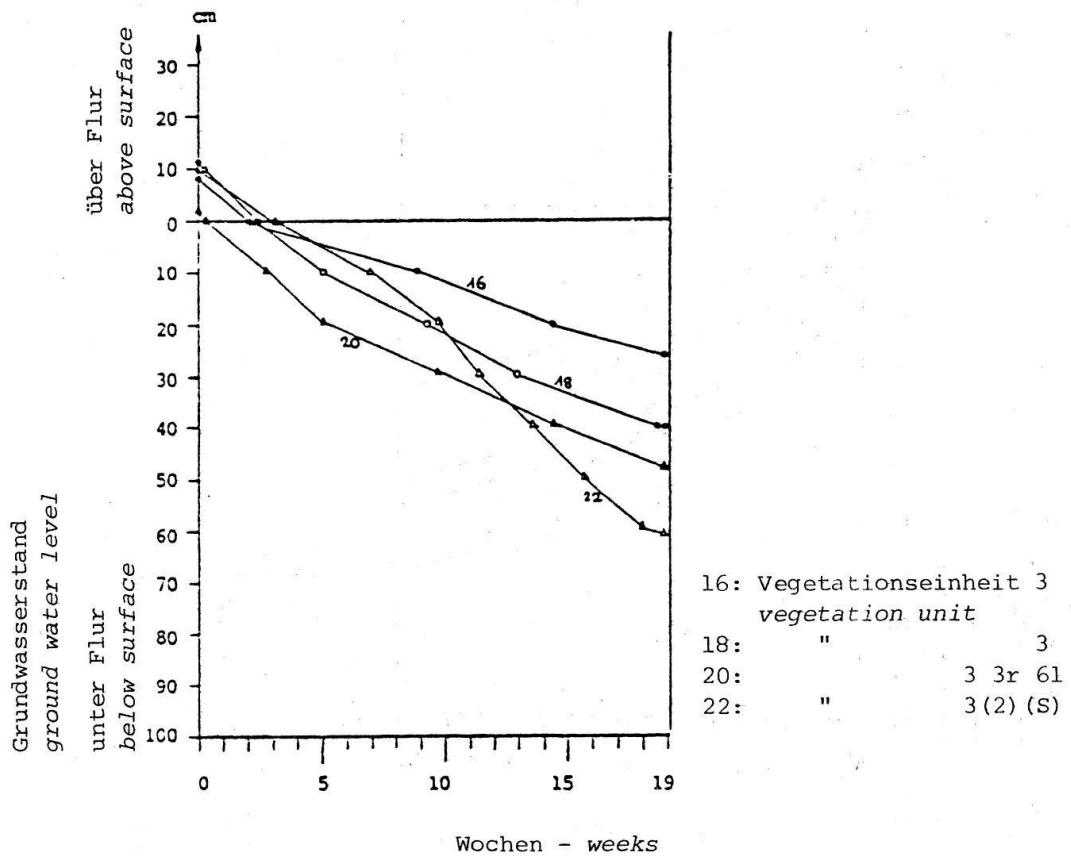


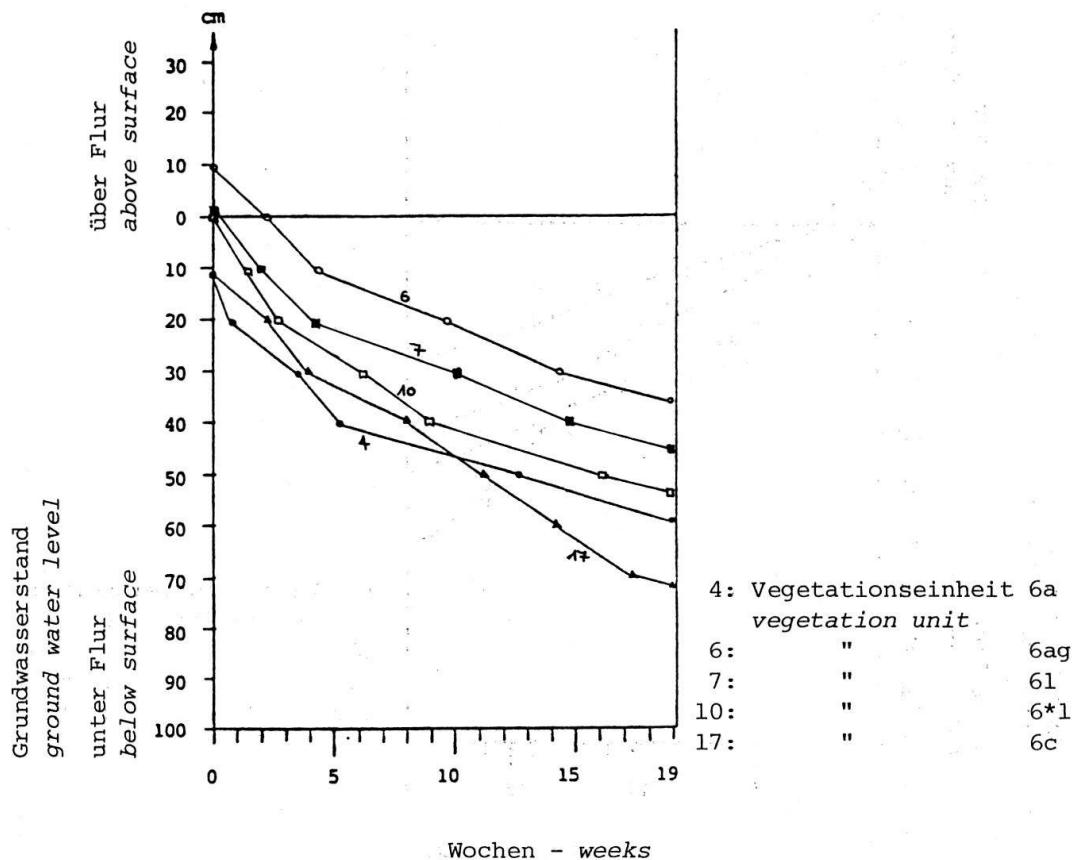
Abb. 11. Dauerlinien (s. auch Tab. 1)

Groups of duration curves (see table 1)

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

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:



- a) Der geringe Datenumfang: So konnten die Gruppen "feucht" und "nass" nur mit jeweils zwei Flächen "geeicht" werden.
- b) Die Nichtberücksichtigung der in Kap. 3.1. besprochenen Fehlerquellen (durch gespanntes Grundwasser verfälschter Grundwasserspiegel, nicht erfasstes Stauwasser).
- c) 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 Vegetations-einheiten 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).

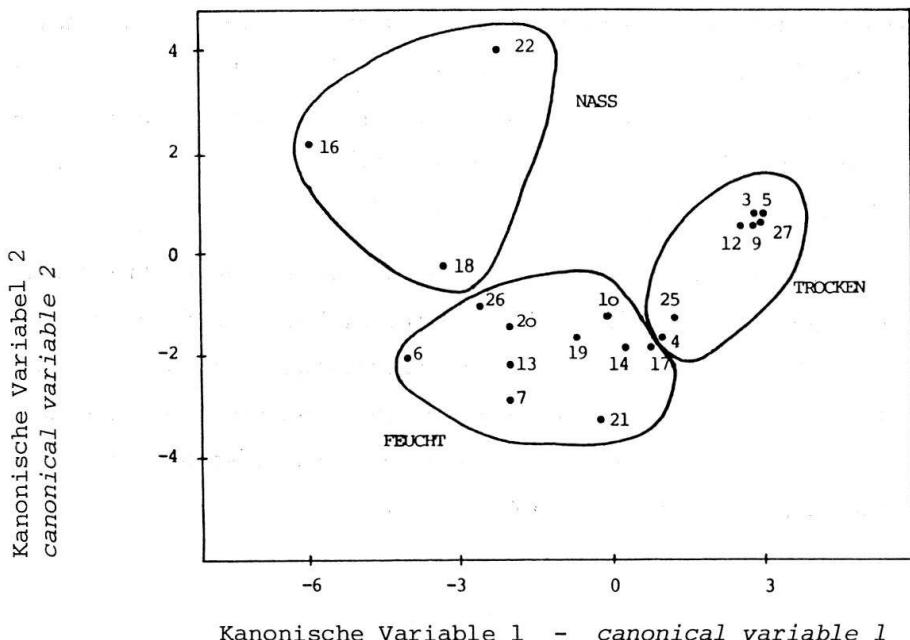
Tab. 1. Erläuterung der in den Abb. 9-12 und in Tab. 2 erwähnten Vegetationseinheiten (nach KLÖTZLI und Mitarbeiter 1972).

*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



Kanonische Variable 1 - canonical variable 1

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 | |
| * 9 | 1 | T | T | T | T | |
| * 12 | 1 | T | T | T | F | |
| * 25 | 1 | T | F1 ⁴⁾ | T | F1 ⁴⁾ | 2(1) |
| * 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/61 | 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

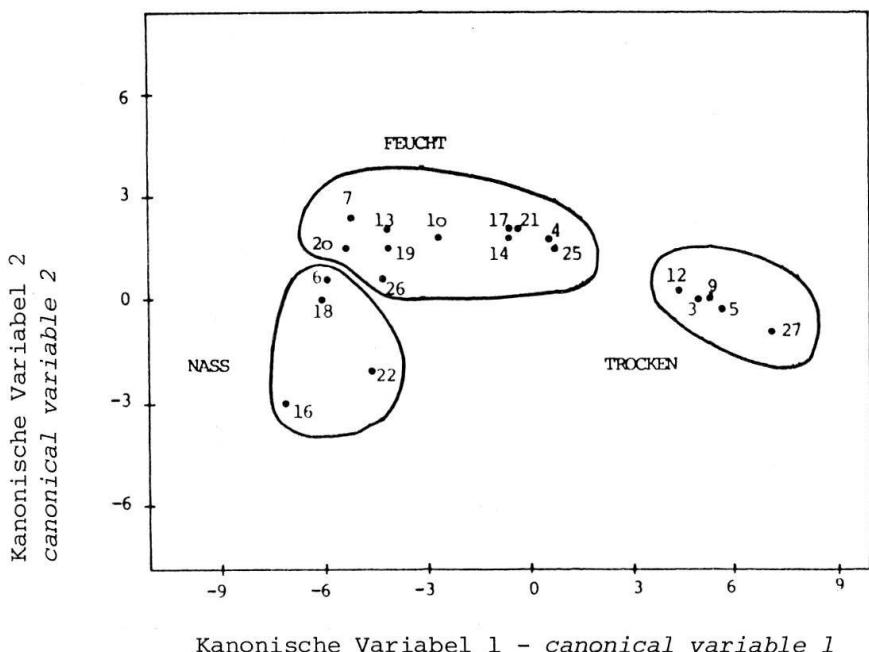


Abb. 14. Diskriminanzanalyse Nr. 2.

(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.

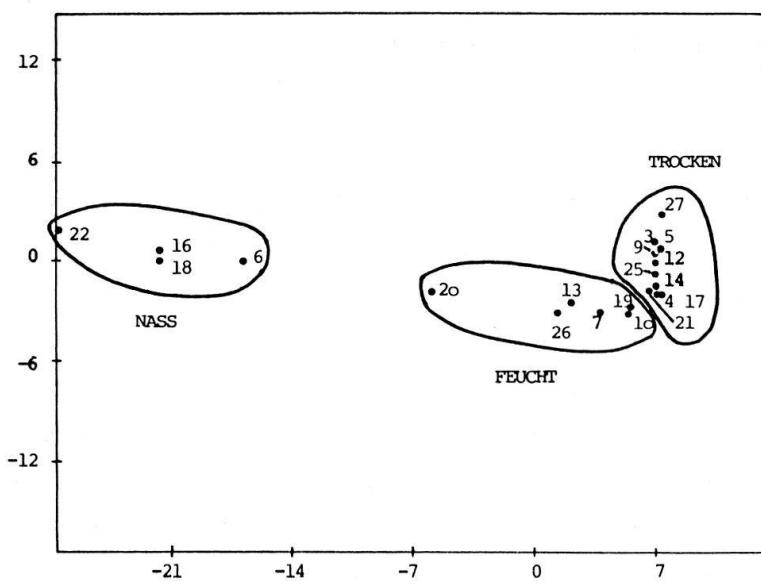
Abb. 16. Diskriminanzanalyse Nr. 4. (s.S. 179).

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.

Kanonische Variabel 2
canonical variable 2



Kanonische Variabel 1 - canonical variable 1

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.

Kanonische Variabel 2
canonical variable 2

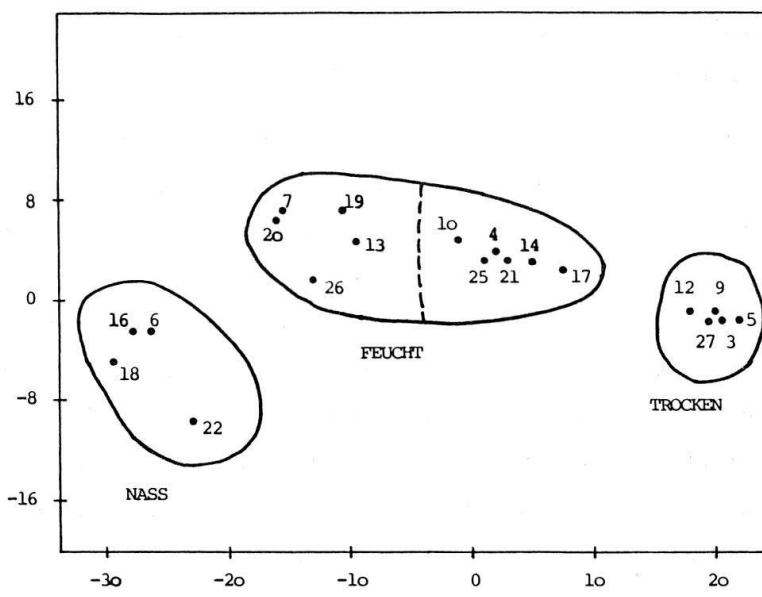


Abb. 16.

Kanonische Variabel 1 - canonical variable 1

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 einsetzen, 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 nässer 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 nässer. 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 stand.

Aus dem Vergleich der Ganglinien der Sommerhalbjahre 1980 und 1981 (Abb. 17) lässt sich nur vermuten, dass 1980 nässer 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 Niederschägen 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.

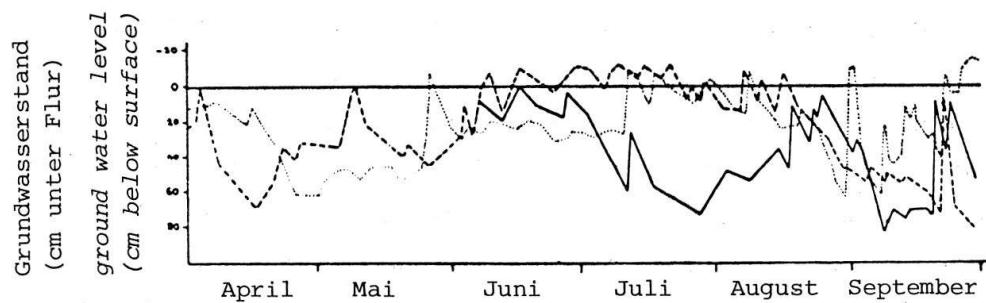
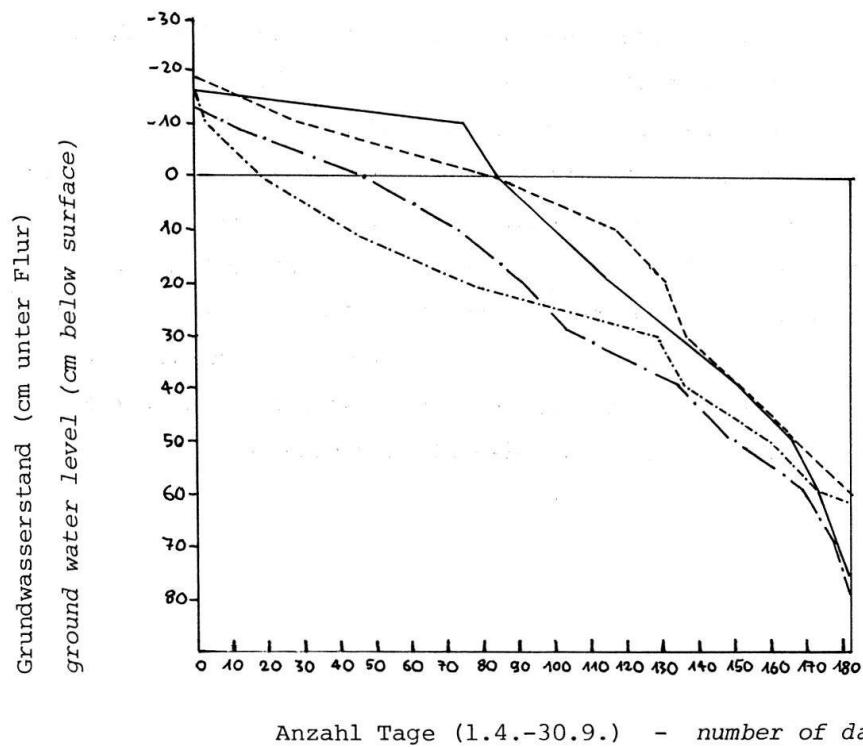


Abb. 17. Ganglinienverlauf der Vegetationsperioden 1979 (—), 1980 (---) und 1981 (....)

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



Anzahl Tage (1.4.-30.9.) — number of days

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) | 1981 Summe (mm) | % 1 | 1980 Mittel (°C) | 1981 Mittel (°C) | Abw. 1 | 1981 Mittel Abw. (°C) | 1980 Summe (h) | 1981 Summe (h) | % 3 | | |
| April | 101 | 114 | 40 | 45 | 7,1 | -1,0 | 9,9 | +1,9 | 106 | 75 | 110 | 77 |
| Mai | 85 | 73 | 92 | 80 | 11,4 | -1,4 | 12,5 | -0,3 | 105 | 72 | 140 | 96 |
| Juni | 140 | 89 | 112 | 71 | 14,6 | -1,1 | 16,2 | +0,5 | 106 | 82 | 137 | 106 |
| Juli | 131 | 84 | 251 | 161 | 15,5 | -1,9 | 16,6 | -0,8 | 112 | 66 | 145 | 86 |
| August | 69 | 46 | 75 | 50 | 18,4 | +1,7 | 17,8 | +1,1 | 165 | 99 | 202 | 121 |
| September | 67 | 61 | 203 | 187 | 15,0 | +1,9 | 14,3 | +1,2 | 184 | 127 | 76 | 52 |
| Sommer-semester | 593 | 77 | 773 | 100 | 13,7 | -0,6 | 14,6 | +0,3 | 778 | 70 | 810 | 73 |
| Beurteilung ² | sehr trocken | | | 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 ($m^3 \cdot s^{-1}$) | | 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 |

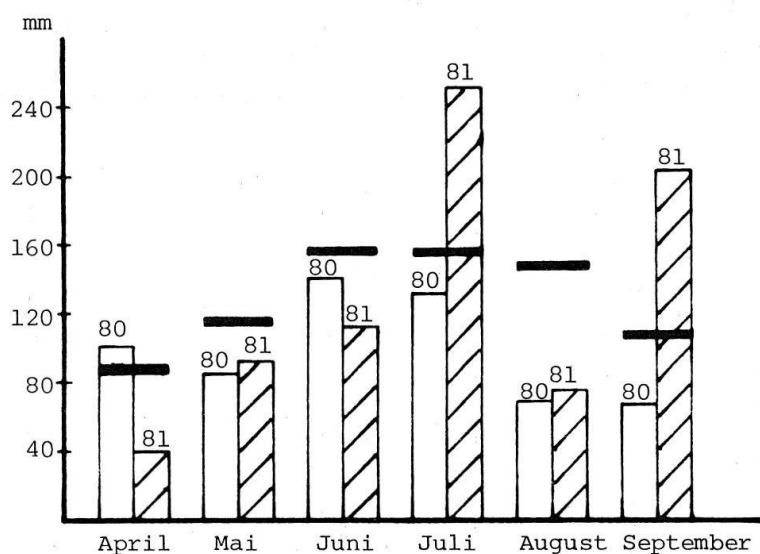


Abb. 19. Gegenüberstellung der Niederschlagssummen von Luzern der Vegetationsperioden 1980 und 1981.
Die horizontalen Balken markieren die langjährigen Monatsmittel.
Comparison of total precipitation during the vegetation periods of 1980 and 1981 in Lucerne.
The horizontal lines indicate the monthly precipitation for many years.

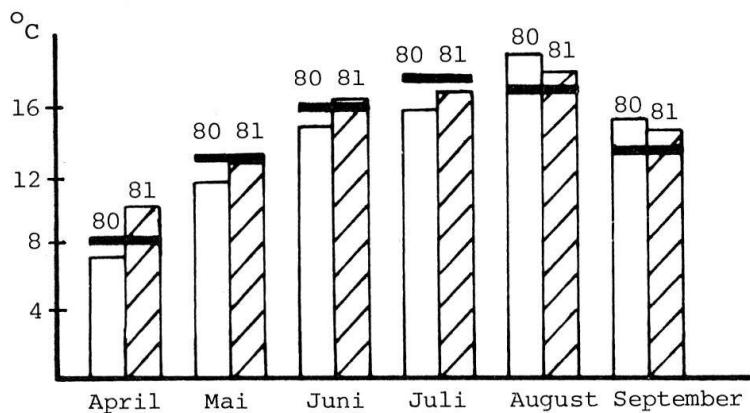


Abb. 20. Gegenüberstellung der monatlichen Temperaturmittel der Vegetationsperioden 1980 und 1981 in Luzern.

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.

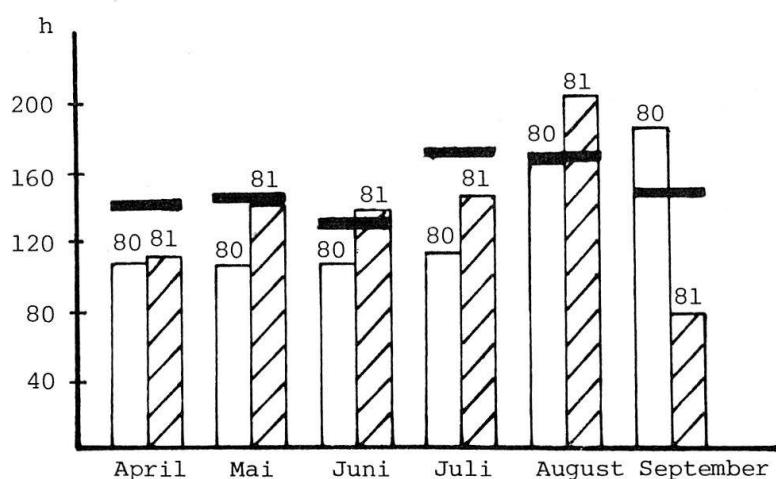


Abb. 21. Gegenüberstellung der Sonnenscheindauer während der Vegetationsperioden 1980 und 1981 in Luzern.

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. Grundwassersstand 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 Limnigrammen festgestellte Grundwasserbewegungen tatsächlich der Transpiration zugeschrieben werden können.

An besonders schönen Tagen (s. die Angaben zu den Wetterverhältnissen in Tab. 6) ist auf den Limnigrammen 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

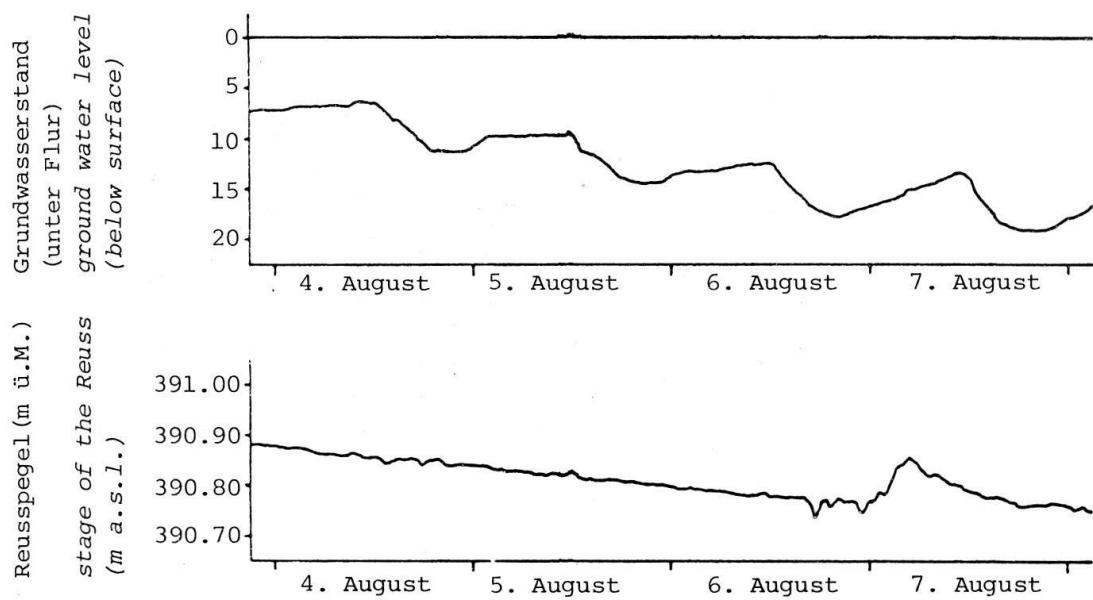


Abb. 22. Limnigramm und Reusspegel vom 4.8.-7.8.1981

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: O = 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 | 13h | 19h | 7h | 13h | 19h | | |
| 4.8. | 17 | 26 | 26 | ○ | O | O | 12,3 | 962,1 |
| 5.8. | 18 | 27 | 27 | O | O | O | 12,6 | 956,3 |
| 6.8. | 19 | 27 | 27 | ● | O | ○ | 12,0 | 951,1 |
| 7.8. | 18 | 24 | 24 | ● | O | ○ | 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 |
| Reusspegelstand (cm unter 391 m ü.M.) | | | | | Schwankungen des Pegelstandes | | | |
| 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 Limnogrammausschnitt 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 (\cong 2,6 mbar). Da sich jedoch nach MEISSNER (1953) bei hochanstehendem Grundwasser keine nennenswerte 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 Grundwassersenkung (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 gröserer 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 Klein-schwankungen 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). GROOT-JANS 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 Lehmlinse 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 Gesamtmeio-

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.