

# Grundwasserabsenkungen in schluffigen und lehmigen Sandböden

Urs SCHMIDHALTER und Jakob OERTLI, Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich, CH-8315 Lindau

## Einleitung

Die Kenntnis der Höhe des kapillaren Wasseraufstiegs aus dem Grundwasser ist erforderlich für die Optimierung des pflanzlichen Wasserhaushalts, die Gewährleistung eines sparsamen und effektiven Wassereinsatzes bei Beregnung, die Durchführung meliorativer Massnahmen, beispielsweise Drainierungs- und Bewässerungsprojekte, und für die Abschätzung der Auswirkungen von Massnahmen wie Absenkung des Grundwasserspiegels durch Grundwasserentnahme oder Flussregulierung (SCHMIDHALTER und OERTLI 1988).

Die vorliegende Arbeit wurde ausgeführt, um den Einfluss einer Absenkung des Grundwasserspiegels durch Grundwasserentnahme abzuschätzen, wodurch eine Verschlechterung der Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturen resultieren könnte. Für eine Beurteilung, insbesondere Nachweis und Voraussage der Auswirkungen solcher Eingriffe, sind genaue Kenntnisse über den kapillaren Grundwasseraufstieg erforderlich.

Basierend auf dem Darcy-Gesetz, der im Boden vorherrschenden Wasserspannung und der Kenntnis der bodenspezifischen Wasserleitfähigkeit lässt sich für jeden beliebigen Boden die kapillare Aufstiegsrate und -höhe aus dem Grundwasser bestimmen. Die Prinzipien des kapillaren Wasseraufstiegs sind in einer früheren Arbeit beschrieben worden (SCHMIDHALTER und OERTLI 1988).

Die Verfügbarkeit des Wassers für die

## Zusammenfassung

Für eine Beurteilung, insbesondere Nachweis und Voraussage der Auswirkungen von Massnahmen wie Grundwasserabsenkungen, aber auch die Gewährleistung eines effektiven Wassereinsatzes bei der Beregnung, sind genaue Kenntnisse des kapillaren Grundwasseraufstiegs erforderlich. Die Konsequenzen einer Grundwasserabsenkung wurden auf drei Standorten mit schluffigen und lehmigen Sandböden mit verschiedenen Bodenhorizonten untersucht. Die kapillaren Aufstiegsraten wurden für Aufstiegsraten von 0,6-5 mm/Tag bei Grundwassertiefen von 90-150 cm berechnet. Auf den untersuchten Standorten werden Grundwassertiefen von 90 cm als optimal betrachtet. Eine stärkere Abnahme der Wassernachlieferung ergibt sich bei Absenkungen des Grundwasserstandes auf 110-130 cm Bodentiefe. Zwischen 135-160 cm Tiefe, je nach Standort, liefert das Grundwasser keinen nennenswerten Beitrag mehr zur Wasserversorgung der Pflanzen. Die Bedeutung hydraulisch limitierender Bodenhorizonte respektive die Absenkung in diese wird illustriert.

Pflanzen kann durch die Angaben des Wassergehaltes oder besser durch die Wasserspannung, mit der das Bodenwasser festgehalten wird, charakterisiert werden. Die Beziehung zwischen volumetrischem Bodenwassergehalt und der Wasserspannung wird durch eine Desorptionskurve beschrieben. Die Bodenwasserspannung gibt an wie stark das Wasser im Boden festgehalten wird und charakterisiert damit auch seine Pflanzenverfügbarkeit. Je höher die Wasserspannung ist, umso trockener ist der Boden. Die Verfügbarkeit ist in einem Wasserspannungsbereich von 100-300 cm Wassersäule (WS) (ca. 0,1-0,3 bar) optimal, und nimmt dann zunehmend ab, das heisst die Pflanzen leiden unter Wasserstress. Oberhalb 1000 cm WS ist bereits mit deutlichen

Einbussen in der Ertragsleistung zu rechnen, unterhalb von ca. 100 cm WS ist der Boden zu feucht, das heisst die Pflanzen können unter Sauerstoffmangel leiden.

Bei den untersuchten Böden handelt es sich um schluffige und lehmige alluviale Sandböden. RINGER *et al.* (1984) geben an, dass das Ertragsoptimum auf Sandböden (feinkörniger Mittelsand) bei einem Grundwasserspiegel von 0,5-0,9 m unter Geländeoberfläche erreicht wird.

Die Grundwasserdynamik der untersuchten Standorte, die sich in der Nähe von Brigerbad (Wallis) befinden, ist durch Hochwasserstand im Sommer und Niedrigwasserstand im Winter geprägt. Das Rhonetal weist ein ausgeprägtes kontinentales Klima auf.

Dieses führt zu einer defizitären Wasserversorgung der Kulturpflanzen im Sommer. Dieses Defizit wird teilweise durch kapillaren Wasseraufstieg aus dem Grundwasser und teilweise durch Bewässerung gedeckt.

## Material und Methoden

Korngrößenverteilung und Desorptionskurven wurden mit Standardmethoden bestimmt (KLUTE 1986). Die Textur der Feinerde wurde mit der Pipettenmethode bestimmt und die Fraktionierung des Sandes durch Trockensiebung. Die Sandfraktionen wurden in Grobsand (0,5-1,0 und 1,0-2,0 mm), Mittelsand (0,25-0,5 mm), Feinsand (0,1-0,25 mm) und Staubsand (0,05-0,1 mm) unterteilt. Skelettgehalte wurden bei der Beschreibung der Bodenprofile im Felde geschätzt. Für die Untersuchung der Desorptionscharakteristika wurden aus drei respektive vier Bodenhorizonten je 3-4 Bodenzylinder mit einem Volumen von 100 cm<sup>3</sup> entnommen.

Die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit,  $k(h)$ -Beziehung, wurde an 44 Zylinderproben mit einem Volumen von je 68,5 cm<sup>3</sup> bestimmt. Zu diesem

Zweck wurden aus repräsentativen Bodenhorizonten vier Zylinderproben entnommen. Der Boden des Standortes 701 wurde in vier verschiedene Horizonte unterteilt (0-16, 16-58, 58-89 und 89-130 cm). Die Horizonttiefen für die Standorte 801 und 14 waren 22-65, 65-85 und 85-120 cm, respektive 0-32, 32-57, 57-97 und 97-110 cm.

Die Bestimmung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit erfolgte mit «one-step» Druckausfluss-Experimenten mittels einer Parameterschätzungsmethode. Für die Berechnung der Parameter wurde das von KOOL und PARKER (1987) entwickelte Computerprogramm SFIT verwendet, welches die Parameter in VAN GENUCHTEN'S (1980) hydraulischem Parametermodell schätzt. Die Übereinstimmung zwischen Schätzung und Messung war mit wenigen Ausnahmen hoch. Den Berechnungen der kapillaren Aufstiegshöhe wurden die Horizontmittelwerte zugrundegelegt.

Basierend auf der Integration der Darcy-Gleichung (SCHMIDHALTER und OERTLI 1988) wurde der kapillare Grundwasseraufstieg unter stationären Bedingungen für verschiedene Grundwassertiefen berechnet. Mit einem in Fortran 77 geschriebenen Computerprogramm konnte der kapillare Wasser-

aufstieg unter Spezifikation der  $k(h)$ -Beziehung für beliebige Mehrschichtprofile berechnet werden (SCHMIDHALTER 1986).

## Wasserversorgung und Grundwasseraufstieg

Zur Wasserversorgung der Pflanzen im Untersuchungsgebiet tragen die Niederschläge bei, das im Boden gespeicherte Wasser und das Grundwasser. Grundwasserabsenkungen verändern den Wasserhaushalt primär durch eine Reduktion der kapillaren Aufstiegshöhe und -höhe, und sekundär – in kleinerem Ausmass – durch eine Reduktion des Kapillarsaums, wodurch die Menge des im Boden gespeicherten Wassers reduziert werden kann.

Die Textur der Standorte 801 und 701 ist in Abbildung 1 angegeben. Weitere Details sind bei den einzelnen Standorten beschrieben. Die Desorptionscharakteristika sind in Abbildung 2 angegeben.

In den Abbildungen 3, 4 und 5 sind die kapillaren Aufstiegshöhen angegeben, die sich bei Fließraten von 0,6, 0,8, 1,5, 3 und 5 mm/Tag ergeben. Die Ergebnisse sind für die drei Standorte

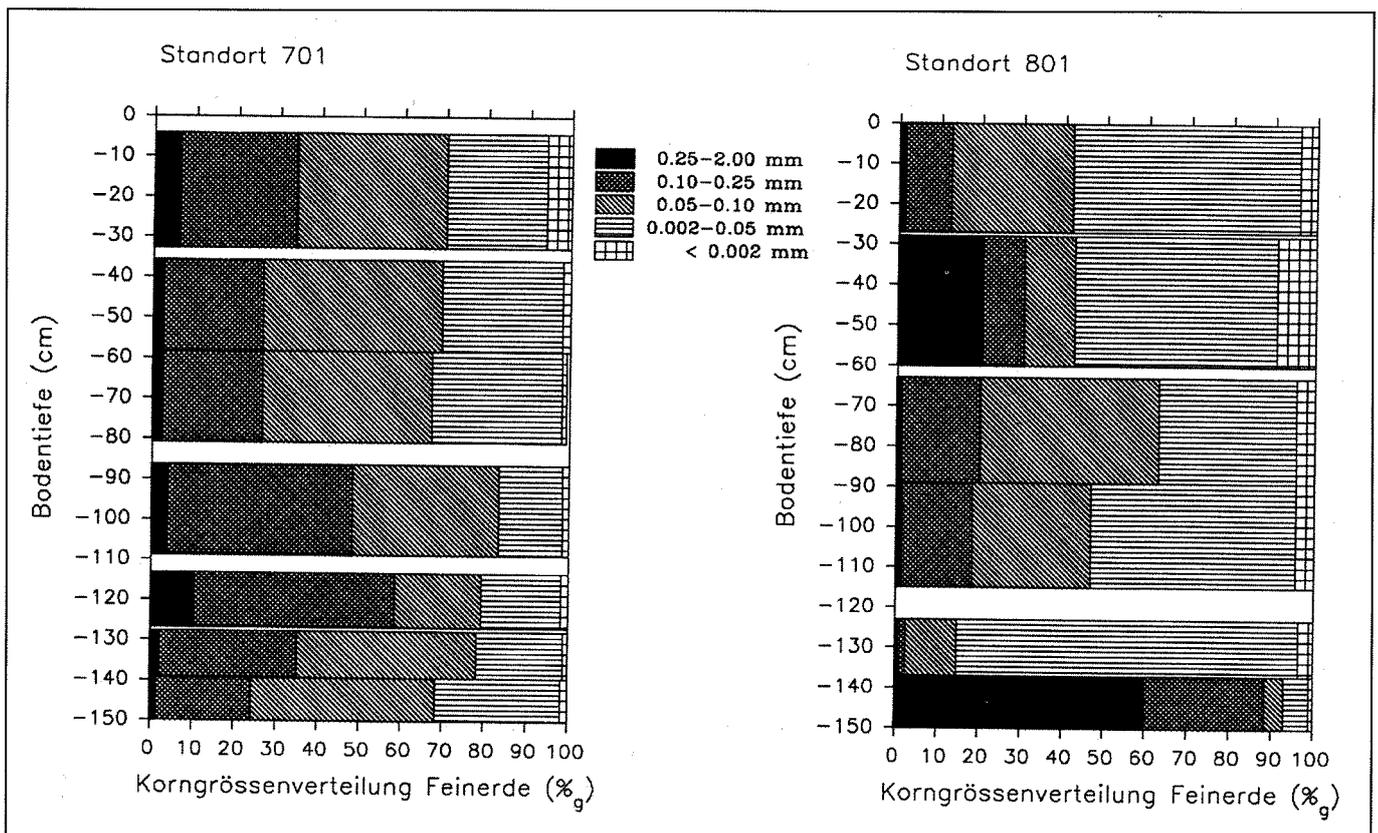


Abb. 1. Korngrößenverteilung der Feinerde für die Standorte 701 und 801. Die Fraktionen sind in Ton (<0,002 mm), Schluff (0,002-0,05 mm), Staubsand (0,05-0,10 mm), Feinsand (0,10-0,25 mm) sowie Grob- und Mittelsand (0,25-2,00 mm) unterteilt.

für Grundwassertiefen zwischen 90-130 cm respektive 90-150 cm angegeben. Mit einer Fließrate von 5 mm/Tag kann die Wasserversorgung der Pflanzen während eines durchschnittlichen Sommertags vollständig durch die Nachlieferung aus dem Grundwasser gedeckt werden. Der Einfluss von Grundwasserabsenkungen zwischen 90-150 cm unter Flur ist aus diesen Abbildungen ersichtlich. Bei höheren Grundwasserständen oberhalb 90 cm Bodentiefe ist auf diesen Standorten mit keinen respektive nur geringen Auswirkungen einer Grundwasserabsenkung zu rechnen.

### Standort 701

Profilbeschreibung: In 30-110 cm Tiefe finden sich deutliche Oxydationsmerkmale mit vereinzelt Reduktionsflecken – Zeichen eines wechselnden Grundwasserstandes. Unterhalb 150 cm unter Flur ist der Boden deutlich reduziert und weist nur noch wenige Oxydationsmerkmale auf. In 200 cm Bodentiefe ist der Boden graublau verfärbt. Der Grundwasserstand befindet sich meistens oberhalb 150 cm unter Flur. Der Hauptwurzelhorizont dieses Standortes findet sich in 0-25 cm Tiefe, Reste von Wurzeln finden sich jedoch noch in 80 cm Tiefe.

Der untersuchte Boden weist ein hohes kapillares Nachlieferungsvermögen auf. Die Konsequenzen, die sich aus der Absenkung des Grundwasserspiegels in 90-130 cm Bodentiefe ergeben, sind relativ klein (Abb. 3). In Abbildung 3 sind kapillare Aufstiegshöhen für Aufstiegsraten von 0,6-5,0 mm/Tag angegeben. Als Triebkraft für den Aufstieg wurden Wasserspannungen von 10-1000 cm WS angenommen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Berechnungen sich nicht wesentlich unterscheiden bei Wasserspannungen im Bereich von 100-1000 cm WS.

Absenkungen von 10-30 cm ergeben bei Fließraten zwischen 0,6-5 mm/Tag relativ kleine Reduktionen in der Aufstiegshöhe. Bei einer Grundwassertiefe von 100 cm müssen die Wurzeln bei einer Fließrate von  $v = 5$  mm/Tag 55 cm tief wachsen respektive 39 cm bei einer Fließrate von 0,6 mm/Tag, um mit den entsprechenden Wassermengen versorgt zu werden. Bei 140 cm Grundwassertiefe betragen diese Tiefen 97,5 cm respektive 56 cm.

Der Boden weist einen hohen Anteil gut verfügbaren Wassers auf (Abb. 2). Bei einer Grundwassertiefe von 100 cm beträgt der Anteil gut verfügbaren Wassers (Wasserspannungsbereich 80 resp. 120 cm WS bis 1400 cm

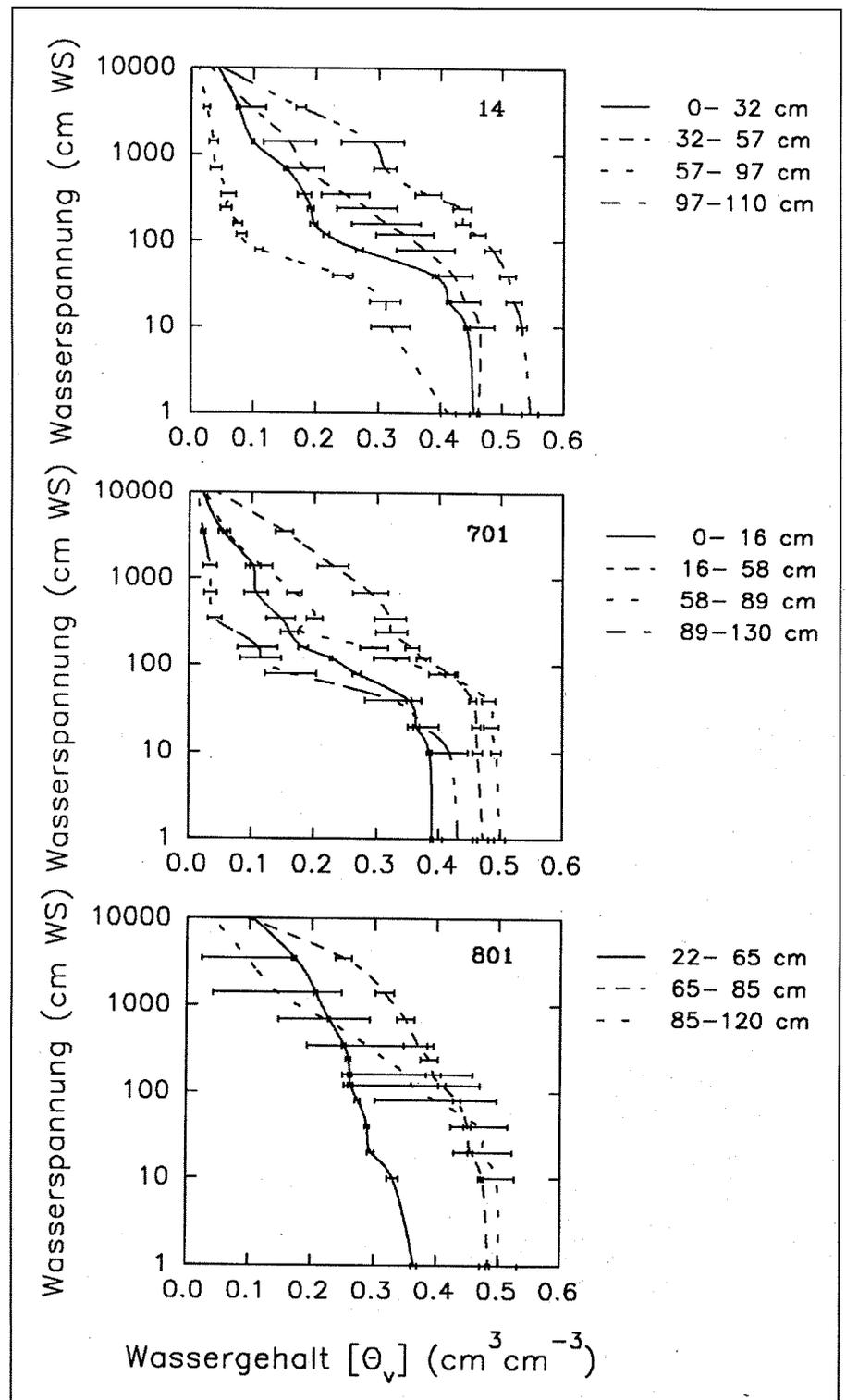


Abb. 2. Desorptionskurven (Beziehung zwischen volumetrischem Wassergehalt und Wasserspannung) für vier respektive drei Horizonttiefen der Standorte 14, 701 und 801.

WS) 26,5 cm in 0-100 cm Bodentiefe. Dieser deckt den Bedarf der Pflanzen, bei einer Evapotranspirationsrate von 5 respektive 4 mm/Tag, während 53 respektive 66 Tagen. Rechnet man noch das Wasser dazu, das zwischen 1400-3500 cm WS gebunden ist, erhöhen sich diese Werte auf 65 respektive 81 Tage.

Erniedrigt man den Grundwasserstand von 100 auf 140 cm, so ergibt sich eine Reduktion der Verfügbarkeit von 13 Tagen (leicht verfügbares Wasser bis 1400 cm WS), respektive von 16 Tagen (verfügbares Wasser bis 3500 cm WS). Die zur Verfügung stehenden Wasserreserven sind somit erheblich und werden ergänzt durch die Nachlieferung

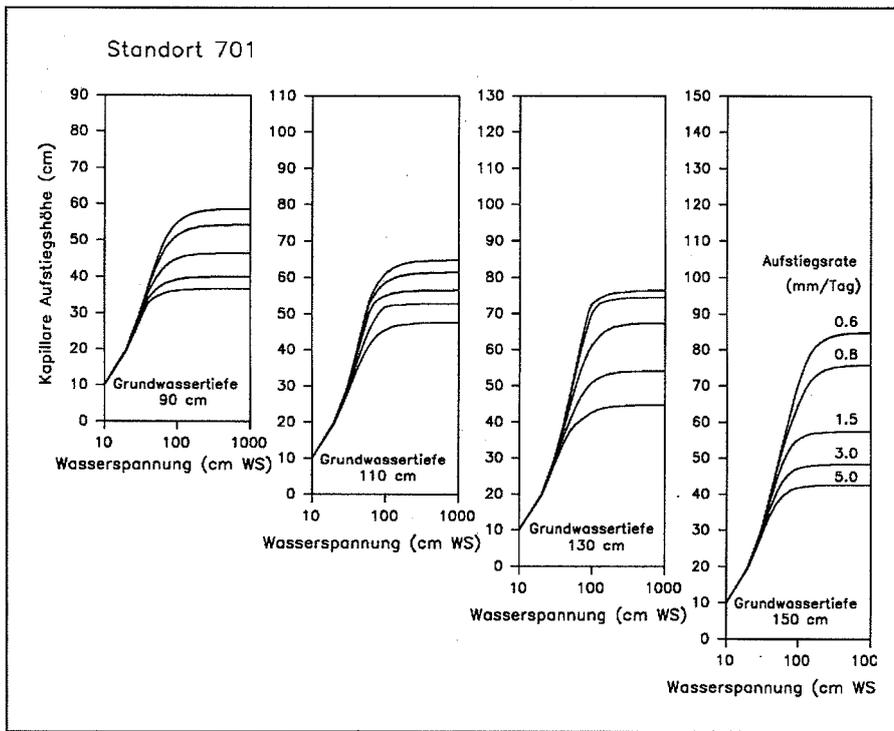


Abb. 3. Standort 701: Kapillare Aufstiegshöhen für Aufstiegsraten von 0,6-0,5 mm/Tag bei Grundwassertiefen von 90-150 cm. Der kapillare Grundwasseraufstieg wurde für Wasserspannungen berechnet, die zwischen 10-1000 cm Wassersäule variieren.

aus dem Grundwasser respektive den Beitrag der Niederschläge. Die Wasserversorgung ist somit gewährleistet und es kann mit einer genügenden Wasserversorgung auch bei Berücksichtigung eines kleineren Wurzelraums gerechnet werden. Beim untersuchten Standort handelt es

sich um einen günstigen Standort sowohl bezüglich der Wasserspeicherung wie auch bezüglich der Wassernachlieferung aus dem Grundwasser. Es ergeben sich keine Probleme bei einer Reduktion der Grundwassertiefe um 10-30 cm in 0-100 cm Bodentiefe. Die Folgen einer Grundwasserabsenkung

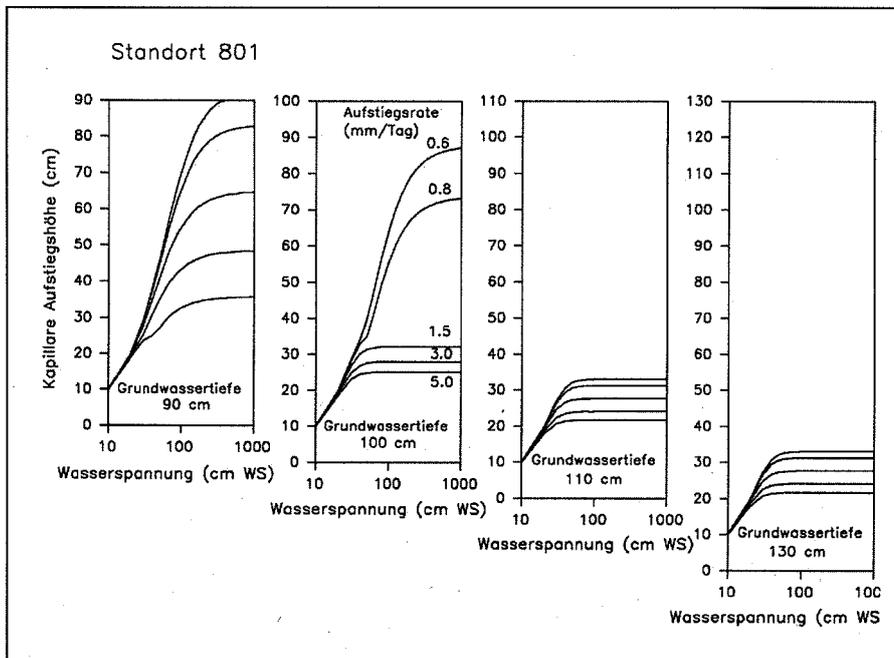


Abb. 4. Standort 801: Kapillare Aufstiegshöhen für Aufstiegsraten von 0,6-0,5 mm/Tag bei Grundwassertiefen von 90-130 cm. Der kapillare Grundwasseraufstieg wurde für Wasserspannungen berechnet, die zwischen 10-1000 cm Wassersäule variieren.

von 10-20 cm bei Grundwassertiefen von 90-130 cm sind ebenfalls klein. Bei Grundwasserabsenkungen auf 130-150 cm Bodentiefe erfolgt eine mässige bis mittlere Reduktion der Wassernachlieferung. Bei gleichbleibender Wasserversorgung müssten die Pflanzen 10 cm tiefer mit ihren Wurzeln wachsen.

### Standort 801

Profilbeschreibung: In 0-27 cm Tiefe findet sich ein schluffig-staubsandiger/feinsandiger, humoser, hellbrauner Horizont. In 27-62 cm Tiefe folgt ein grauschwarzer Horizont mit sandig-kiesiger Textur. Die Sandfraktion weist Fraktionen vom Staubsand bis Grobsand auf. In diesem Horizont finden sich 3-50 mm grobes Kies und Steine. Diesem Horizont folgt in 62-89 cm Tiefe ein sandiger(-schluffiger) Horizont, in dem die Staubsandfraktion überwiegt. Dieser Horizont weist eine hirschbraune/graue Farbe auf. Der Horizont in 89-120 cm Tiefe ist rostbraun/graublau marmoriert, was auf wechselnde Grundwasserstände hindeutet. In 120-135 cm Tiefe folgt ein dunkelgrauer, schluffreicher Horizont mit Oxydationsflecken. An diesen schliesst ein grob-mittelsandiger Horizont bis 150 cm Tiefe an, der mässig oxydiert ist. Diesem folgt bis 155 cm Tiefe ein mittelsandiger-grobsandiger Horizont. In 155-170 cm Tiefe findet sich ein grobsandiger, Kiese- und Schotter enthaltender, Horizont. Die Wurzeln reichen bis in 85 cm Tiefe. Die Hauptwurzelzone liegt in 22-65 cm Tiefe. Reste organischen Materials, um die herum sich Reduktionserscheinungen zeigen, finden sich in 85-120 cm Tiefe. Der untersuchte Boden weist bei Grundwassertiefen von 90 cm und weniger unter Flur ein hohes Nachlieferungsvermögen von Wasser aus dem Grundwasser auf. Eine Absenkung auf 100 cm bewirkt eine Reduktion der kapillaren Nachlieferungsrate (Abb. 4). Die Nachlieferung ist jedoch noch genügend gross, um die Pflanzen ausreichend mit Wasser zu versorgen. Eine Absenkung auf 110 cm Tiefe ergibt insbesondere bei niedrigen Fliebsraten von  $v = 0,6$  respektive  $0,8$  mm/Tag einen deutlichen Rückgang in der Aufstiegshöhe. Limitierend ist die hydraulische Leitfähigkeit der Schicht 22-65 cm. In dieser erfolgt ein sehr rascher Rückgang der Leitfähigkeit bei Wasserspannungen, die höher sind als 20-30 cm.

Eine Absenkung um 10 cm auf 120 cm Tiefe ergibt bei allen Fliebsraten eine Erniedrigung der kapillaren Aufstiegs-

höhe um ca. 10 cm. Die kapillare Aufstiegshöhe ist bei einer Grundwassertiefe von 120 cm relativ klein und beträgt bei Fliessraten von 0,6-5 mm/Tag 22-33 cm. Dies bedingt, dass die Wurzeln bis in eine Tiefe von 100 cm Tiefe wachsen müssen, um das Grundwasser nutzen zu können. Eine Absenkung bis auf 135 cm Tiefe hat relativ wenig Konsequenzen, da die in dieser Tiefe vorhandene schluffreiche Schicht genügend Wasser in den darüberliegenden Horizont zu liefern vermag. Eine Absenkung in den grob-mittelsandigen Horizont, in 135-145 cm Tiefe, respektive noch tiefer hat zur Folge, dass die kapillare Aufstiegshöhe zu gering ist, dass das Grundwasser einen nennenswerten Beitrag zur Wasserversorgung der Pflanzen leisten kann. Mit grösseren Folgen ist auf diesem Boden somit bei Absenkungen über die Tiefe von 140 cm zu rechnen. Zum Zeitpunkt der Profilbeschreibung, bei Niedrigwasserstand im November, lag die Grundwassertiefe bei 161 cm. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei dieser Tiefe das Grundwasser keinen Beitrag zur Wasserversorgung der Pflanzen leistet.

Die Berechnung der leicht verfügbaren Wassermenge (120-1400 cm WS) ergibt für eine Bodentiefe von 0-100 cm eine Menge von 16,3 cm (Abb. 2). Berücksichtigt man zusätzlich das bis 3500 cm WS gespeicherte Wasser, ergeben sich 21,6 cm Wasser. Diese Mengen reichen bei einer Evapotranspiration von 4 mm/Tag für 41 respektive 54 Tage, beziehungsweise bei 5 mm Evapotranspiration pro Tag, für 33 respektive 43 Tage. Eine Absenkung des Grundwassers ändert wenig an der verfügbaren Wassermenge, da dieser Boden einen hohen Schluffanteil aufweist. In einem niederschlagsarmen Sommer ergibt sich für diesen Standort bei tiefen Grundwasserständen (> 135 cm) ein eindeutiger Bedarf für eine Zusatzbewässerung. Die Vegetation wird auf diesem wie auch auf allen andern untersuchten Standorten jedoch durch den im Sommer herrschenden Grundwasserhochstand begünstigt. Bei tiefem Grundwasserstand im Winterhalbjahr ist der Wasserbedarf klein und kann weitgehend durch das im Boden gespeicherte Wasser beziehungsweise durch Niederschläge gedeckt werden. Bei hohem Grundwasserstand (< 90 cm) ergeben sich keine negativen Auswirkungen bei Absenkungen des Grundwassers und 10 cm. Unter durchschnittlichen klimatischen Bedingungen sollte auf diesem Standort bei Grundwasserabsenkungen von 10 cm und Grundwassertiefen von 90-130 cm

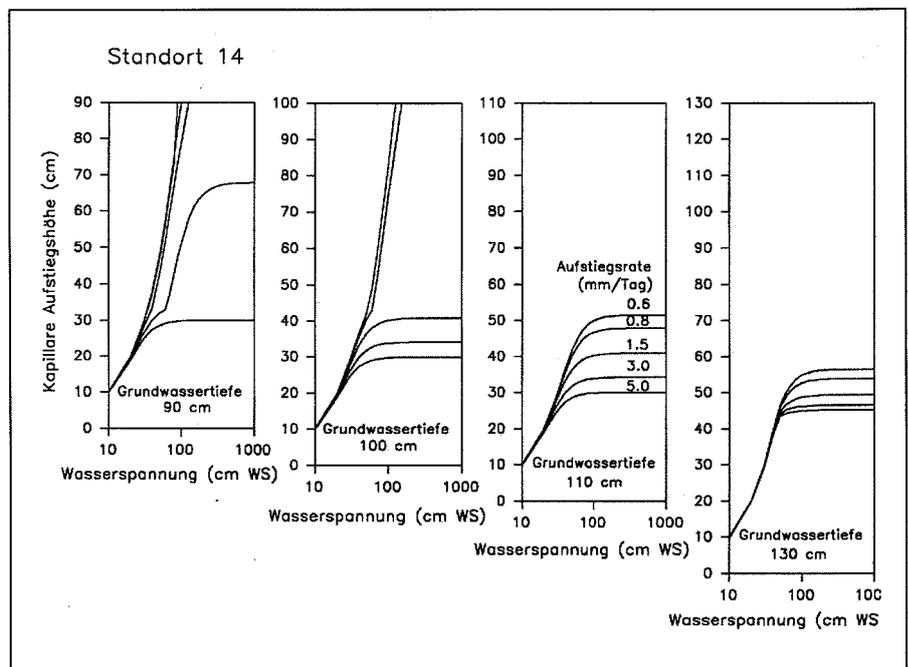


Abb. 5. Standort 14: Kapillare Aufstiegshöhen für Aufstiegsraten von 0,6-0,5 mm/Tag bei Grundwassertiefen von 90-130 cm. Der kapillare Grundwasseraufstieg wurde für Wasserspannungen berechnet, die zwischen 10-1000 cm Wassersäule variieren.

kein wesentlicher negativer Effekt eintreten. In trockenen Jahren und bei tiefen Grundwasserständen (> 130 cm) sollte keine weitere Grundwasserabsenkung erfolgen respektive diese durch eine Zusatzbewässerung kompensiert werden.

#### Standort 14

Profilbeschreibung: Der  $A_n$ -Horizont, der eine bräunlich-schwarze Farbe aufweist, reicht bis in 32 cm Tiefe. In 32-57 cm Tiefe folgt eine oxydierte, staub-/mittelsandige Schicht, an die eine schwach oxydierte fein-/mittelsandige Schicht, in 57-97 cm Tiefe, anschliesst. In dieser finden sich noch deutlich Reste von Baumwurzeln. In 97-110 cm Tiefe folgt eine feinsandige, oxydierte Schicht, an die eine feinsandige(-mittelsandige), schwach reduzierte Schicht bis 126 cm anschliesst. Zur Zeit der Profilaufnahme, bei Grundwassertiefenstand im November, war der Grundwasserstand in 120 cm Tiefe. Der Hauptwurzelschicht der vorgängigen Kultur ist aufgrund der verbliebenen Reste in 60-100 cm Tiefe anzunehmen. Demgegenüber reichen die Wurzeln der aktuellen Maiskultur nur bis in ca. 40 cm Tiefe. In der Tiefe zwischen 126-220 cm findet sich eine staubsandige, leicht schluffige Schicht, die stark reduziert ist. Dies deutet darauf hin, dass der Grundwasserstand meistens über diesen Tiefen liegt. Die an der Hauptprofilwand des Bodens beobach-

tete staubsandige-feinsandige Schicht reicht an den Seitenwänden des Profils bis in 80 cm Tiefe respektive sogar noch tiefer. Es ist erkennbar, dass an diesem Standort durch eine frühere, tiefgründige Bodenbearbeitung der zweite und dritte Horizont in variablem Ausmass gemischt wurden. Hydraulisch wird dieser Standort durch die feinsandig-mittelsandige Schicht im dritten Horizont geprägt. Dessen gesättigte hydraulische Leitfähigkeit ist sehr hoch. Im ungesättigten Zustand geht sie sehr rasch und stark zurück. Dies ist auch aufgrund der Desorptionskurven erkennbar (Abb. 2). Dieser Boden entwässert sich bereits bei niedrigen Wasseranspannungen. Bei einer Absenkung des Grundwassers von 100 auf 110 cm ergibt sich ein deutlicher Rückgang bei niedrigen Fliessraten (Abb. 5). Stärkere Reduktionen der kapillaren Aufstiegsraten, bei Fliessraten von 3 respektive 1,5 mm/Tag, ergeben sich auch bei einer Grundwasserabsenkung von 90 auf 100 cm. Bei weiteren Grundwasserabsenkungen auf 120-140 cm unter Flur werden die kapillaren Aufstiegsraten nicht wesentlich verändert beziehungsweise sie steigen bei höheren Fliessraten, bedingt durch die bessere hydraulische Leitfähigkeit der untersten Schicht, sogar leicht an.

Der untersuchte Standort ist bei einem tiefen Grundwasserstand bewässerungsbedürftig. Das leicht verfügbare Wasser (120-1400 cm WS), das in 0-100 cm Bodentiefe gespeichert ist,

reicht bei einer täglichen Evapotranspiration von 4 respektive 5 mm/Tag während 26 respektive 20 Tagen. Berücksichtigt man zusätzlich, das zwischen 1400-3500 cm WS gespeicherte Wasser, erhöhen sich diese Werte um 8 respektive 6 Tage. Die zur Verfügung stehende Wassermenge ist niedriger anzunehmen, da der effektive Wurzelraum eher kleiner ist. Bei einer Grundwassertiefe von 140 cm werden 1,5-5 mm/Tag bis in 90-95 cm unter Flur nachgeliefert. Kleinere Raten werden nur unwesentlich höher geliefert. Die Wurzeln müssten somit bis in diese Tiefe wachsen, um das Grundwasser ausnutzen zu können. Dies ist bei einjährigen Kulturen erst in einem späteren Vegetationszeitpunkt der Fall. Die Wasserversorgung der Pflanzen wird durch den sommerlichen Grundwasserhochstand begünstigt. Bei Absenkungen über 140 cm unter Flur ist der Beitrag des Grundwassers zur Wasserversorgung der Pflanzen klein. Absenkungen über diese Tiefe sollten vermieden werden.

## Schlussfolgerungen

Auf den untersuchten Standorten werden Grundwassertiefen von 90 cm unter Flur und höher als optimal für die Wasserversorgung der Pflanzen betrachtet; dies stimmt mit Angaben von RENGIER *et al.* (1984) überein. Die Versorgung mit Grundwasser kann je nach Standort auch noch bei 110 cm unter Flur optimal sein, eine stärkere Abnahme in der Wassernachlieferung ergibt sich bei 110-130 cm. Kein nennenswerter Beitrag erfolgt je nach Standort in Tiefen von 135-160 cm. Für die Beurteilung des kapillaren Wasseraufstiegs ist neben der Kenntnis der Textur der Feinerde auch die Kenntnis des Skelettanteils erforderlich. Auf dem Standort 801 ergibt sich durch das Vorhandensein eines mittel-/grob sandigen Anteils von ca. 20%, der zudem we-

sentliche Grobskelettanteile aufweist, ein wesentlicher Rückgang des kapillaren Aufstiegs, die in diesem Fall wenig durch die Schichtdicke beeinflusst wird. In mehrschichtigen Böden lassen sich durch Kenntnis der Desorptionscharakteristika der Bodenhorizonte hydraulisch limitierende Schichten abschätzen. Dies wird durch die bei tiefen Wasserspannungen rasch entwässernden Horizonte in 57-97 cm Tiefe (Standort 14) und 22-65 cm Tiefe (Standort 801) illustriert. Diese Horizonte beeinflussen wesentlich das kapillare Aufstiegsvermögen. Die Kenntnis der Desorptionscharakteristika ist viel einfacher zu ermitteln als die Bestimmung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit. Es ist wünschenswert, mehr und bessere Kenntnisse der Zusammenhänge zwischen der Textur und der hydraulischen Leitfähigkeit zu ermitteln.

### Summary

#### Effects of lowering the groundwater level in silty and loamy multi-layered sand soil

The height and rate of capillary rise from groundwater must be known to predict the effects of lowering groundwater levels and the resulting consequences for the plants' water supply. Based on the integration of Darcy's law and the measurement of the unsaturated hydraulic conductivity the effects of lowering the groundwater level were investigated in three silty and loamy multi-layered sand soils. The height of capillary rise was calculated for rates of 0.6-5 mm/day and groundwater depths varying between 90 to 150 cm. Groundwater depths of 90 cm revealed to be optimal for plant growth on these sites. Lowering the groundwater level to 110-130 cm depth markedly decreased the water supply. At groundwater depths of 135-160 cm there was no further contribution to the plants' water supply. The significance of hydraulically limiting soil layers in multi-layered soil profiles is illustrated.

## Literatur

- KLUTE A., Editor, 1986. Methods of soil analysis. Part 1 - Physical and mineralogical analysis. Second edition. ASSA, SSSA, Inc. Publisher. Agronomy 9.
- KOOL J. B. and PARKER J. C., 1987. Estimating soil hydraulic properties from transient flow experiments: SFIT user's guide. Soil and Environmental Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- RENGIER M., STREBEL O. und SPONAGEL H., 1984. Einfluss von Grundwasserabsenkungen auf den Pflanzenertrag landwirtschaftlich genutzter Flächen. *Wasser und Boden* 36, 10, 499-502.
- SCHMIDHALTER U., 1986. Bodenversalzung im Unterwallis. Ursachen, Mechanismen und Meliorationsmassnahmen. Diss. Nr. 8052, ETH Zürich, 271 S.
- SCHMIDHALTER U. und OERTLI J. J., 1988. Grundwasseraufstieg. *Landwirtschaft Schweiz* 1 (7), 405-410.
- VAN GENUCHTEN M. TH., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 892-898.

### Résumé

#### L'abaissement du niveau de la nappe phréatique en sol limono- et silto-sableux

Si l'on désire prévoir l'effet de l'abaissement du niveau de la nappe phréatique sur l'approvisionnement hydrique de la végétation, la hauteur et le taux de remontée capillaire doivent être connus. L'effet de l'abaissement du niveau de la nappe phréatique a été étudié dans trois sols stratifiés limono- et silto-sableux. La hauteur de la remontée a été calculée pour des taux de 0,6-5 mm/jour et des profondeurs de la nappe de 90 à 150 cm. Les calculs sont basés sur la mesure de la conductivité hydraulique en milieu non saturé et sur l'intégration de la loi de Darcy. Pour les trois sites, la profondeur de 90 cm s'est révélée être optimale pour la croissance des plantes. Lors de l'abaissement du niveau de la nappe phréatique à des profondeurs de 110 à 130 cm, l'approvisionnement en eau diminue significativement et cesse pour des profondeurs de 135 à 160 cm. La présence de couches limitant le transfert d'eau dans ces sols stratifiés est mise en lumière.