

Anleitung

zur
Ermittlung der Wasserverluste
bei Wiesenbewässerungsanlagen.



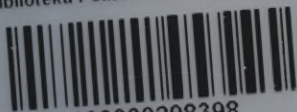
Von
F. Zink,
Fürst Schwarzenbergischer Oberingenieur
in Zitolib.



Prag, 1912.

J. G. Calve, k. u. k. Hof- und Universitäts-Buchhandlung.
Deutsche agrar. Druckerei, Prag.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej

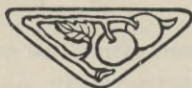


100000298398

Anleitung

zur

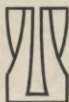
Ermittlung der Wasserverluste
bei Wiesenbewässerungsanlagen.



Von

J. Zinf,

Fürst Schwarzenbergischer Oberingenieur
in Zitolib.



F. Nr. 30160



Prag, 1912.

J. G. Calve, f. u. f. Hof- und Universitäts-Buchhandlung.

Mod. 1

5.44
69

x
2.05



31600

Akt. Nr. 2509/60

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	4
Die gesetzlichen Bestimmungen bei Anlage von Wiesenbewässerungen . .	6
In welcher Art äußert sich der Wasserverlust bei Wiesenbewässerungs- anlagen	8
Bedeutung des Wassers für die Vegetation	9
Wasserbedarf der Pflanzen	11
Wasserverluste durch Versickerung	14
Die Verdunstung	20

Einleitung.

Ein jedes Gesuch der Wiesenbesitzer, welches dahinzielt, Wasser aus öffentlichen Gewässern zur Vermehrung der Wiesen-erträgnisse auf die Wiesen ausleiten zu können, begegnet bei allen unterhalb der Wiese gelegenen Mühlen- und Industrialienbesitzern stets einen nicht geringen Widerstand.

Wieviele wertvolle Meliorationsarbeiten mußten aus dem Grunde zurückgelegt werden, weil der am Bache gelegene Mühlenbesitzer gegen jede Wasserentnahme, mit der Begründung seinen Einspruch erhob, „daß ihm über sämtliches im Bache fließendes Wasser das ausschließliche Verfügungsrecht zusteht“.

Inwieweit der Werksbesitzer durch eine Wiesenbewässerung geschädigt werden könnte, nämlich wie viel von dem auf die Wiesen geleiteten Wasser in Verlust gerät, und hiedurch die Leistungsfähigkeit des Wasserwerkes beeinträchtigt werden könnte, zu bestimmen, entzieht sich einer genauen Berechnung. Hängt ja der Verlust des auf die Wiesen zu Bewässerungszwecken geleiteten Wassers von einer großen Menge von Umständen und Zufälligkeiten ab, welche vornehmlich aus folgenden Einflüssen bestehen: Die Beschaffenheit des Untergrundes, die Menge des aufgeleiteten Wassers, die Lufttemperatur, die Windstärke u. a. m.

In den folgenden Zeilen soll versucht werden die den Wasserverlust bewirkenden äußeren Einwirkungen zu ergründen um den Kollegen eine Anleitung, wie die Anforderungen der Wasserwerksbesitzer auf das richtige Maß gesetzt werden könnten, zu bieten.

In erster Reihe sollen die gesetzlichen Bestimmungen, soweit sie auf die Wasserentnahme Bezug haben, einer Besprechung unterzogen werden.

Gesetzliche Bestimmungen bei Anlage von Wiesenbewässerungen.

Bei der Zuleitung des Wassers in für Privat Zwecke errichtete Leitungen aus einem öffentlichen Gewässer handelt es sich entweder um den Gebrauch dieses Wassers oder um dessen Verbrauch. Der Verbrauch ist nur dort zulässig, wo dieses Wasser nicht wieder in ein öffentliches Gewässer abfließt, sonst ist nur dessen Gebrauch gestattet. Sowohl der Gebrauch, als auch der Verbrauch, wo derselbe überhaupt zulässig ist, wird entweder von der politischen Behörde verliehen, und dann sind hiefür die Bedingungen der hiezu erhaltenen Bewilligung maßgebend für den Bestand, Inhalt und Umfang des verliehenen Rechtes, oder aber sind diese Benützungrechte auf privatrechtliche Weise erworben worden. In diesem letzteren Falle kann von Bedingungen der Bewilligung keine Rede sein, umsomehr kann aber über den Inhalt und Umfang eines solchen Wasserbenützungrechtes Zweifel entstehen.

§ 27 des Gesetzes vom 28. August 1870, LGBl. Nr. 71, über Benützung, Leitung und Abwehr der Gewässer regelt die Rechtsverhältnisse an den aus einem öffentlichen Gewässer gespeisten, für Privat Zwecke errichteten Kanälen, Teiche oder Leitungen und zwar derart, daß für das betreffende Wasserbenützungrecht die bei der erteilten Bewilligung aufgestellten Bedingungen maßgebend sind, und daß im Zweifel die Voraussetzung als Regel zu gelten hat, daß die Bewilligung und Erwerbung auf den Bedarf der Unternehmung beschränkt ist, der Staatsverwaltung die Verfügung über eventuellen Wasserüberschuß zusteht.

Es gehört daher § 27 zu den für die Industrie und Landwirtschaft wertvollsten Bestimmungen des Wasserrechtsgesetzes, weil derselbe es möglich macht, bereits bestehende Wasserrechte ohne besondere Kosten auch für ganz neue, bei der ursprünglichen Herstellung nicht ins Auge gefaßte landwirtschaftliche und industrielle Unternehmungen zu verwerten.

Diese Regelung hat darin ihren Grund, daß die aus einem öffentlichen Gewässer gespeisten — wenn auch für Privatzwecke errichteten — Kanäle, Teiche und Leitungen den Charakter eines öffentlichen Gewässers insolange nicht verlieren, als deren Abfluß sich wieder in ein öffentliches Gewässer ergießt (Erl. vom 18. November 1891, Z. 3694), und daher nicht vom Kanal- oder Teichbesitzer verbraucht werden darf.

Die M ü h l e n r e c h t e können daher auch auf einer Regulierung, nach § 94 des Wasserrechtsgesetzes, unterzogen werden, derart, daß zwar die aus der erhaltenen Bewilligung oder sonstwie abgeleiteten rechtmäßigen Ansprüche befriedigt werden, der Wasserüberschuß aber anderen verliehen werden kann. Bei Anwendung der für die Wasserteilung im § 94 des Wasserrechtsgesetzes aufgestellten Grundsätze hat die Administrativbehörde stets unter Beachtung auf eventuell vorliegende Übereinkommen und besondere Rechte vorzugehen; insoweit die getroffenen Verfügungen auf derlei besondere Titel sich stützen, kann von den Parteien eine Änderung derselben dadurch herbeigeführt werden, daß sie durch richterlichen Spruch den Inhalt und die Tragweite dieser besonderen Titel feststellen lassen.

Bei der im § 94 geregelten Wasserteilung ist G r u n d s a ß, daß vor allem die r e c h t m ä ß i g e n A n s p r ü c h e in Bezug auf schon (konsensgemäß) bestehende Anlagen sicherzustellen, bezw. bei eintretendem Wassermangel bestehende Übereinkommen oder erworbene besondere Rechte vor allem zu schützen sind; dann erst sollen volkswirtschaftliche Nützlichkeitsrücksichten, ferner wenn noch Zweifel bleibt, Rücksichten der Billigkeit maßgebend sein.

§ 78 bestimmt, daß G e s u c h e um V e r l e i h u n g v o n W a s s e r b e n ü z u n g s r e c h t e n und Bewilligung von Anlagen zur Benützung und Abwehr der Gewässer bei der nach § 76 zuständigen politischen Behörde zu überreichen sind, und müssen, sofern sich nicht das eine oder das andere Erfordernis durch die Natur der Unternehmung oder der nach dem Ermessen der Behörde, bei welcher das Gesuch eingebracht wird, als entbehrlich darstellt, nebst den erläuternden, von einem Sachverständigen entworfenen Plänen und Zeichnungen enthalten:

a) den Zweck und Umfang der Anlage oder Unternehmung mit Angabe des Gewässers, an welchem die Anlage oder Unternehmung ausgeführt werden soll, und der erforderlichen Wassermenge;

b) die Art und Weise der Ausführung auf Grundlage des entworfenen Planes;

c) die Darstellung der davon zu erwartenden Vorteile und der im Falle der Unterlassung zu besorgenden Nachteile;

d) die Angabe der Wasserberechtigten und sonstigen Interessenten, deren Rechte durch die beabsichtigte Unternehmung berührt werden, mit etwaigen Erklärungen;

e) die Angabe der Grundstücke und Wasserwerke, welche abzutreten oder mit Dienstbarkeiten zu belasten wären, und ihre Eigentümer.

Bei genossenschaftlichen Unternehmungen überdies:

f) die Namen derjenigen, welche einer solchen Unternehmung beitreten sollen, bei Entwässerungs- und Bewässerungsanlagen mit Angabe der Größe ihrer beteiligten Grundflächen, bei Schutz- und Regulierungsbauten aber mit Angabe des Wertes des zu schützenden Eigentums;

g) den von einem Sachverständigen beglaubigten Überschlag der Kosten für Herstellung und Erhaltung der Anlage, endlich

h) die Aufzählung der Mittel zur Deckung der erforderlichen Kosten.

In welcher Art und Weise äußert sich der Wasserverlust bei Wiesenbewässerungsanlagen?

Bei Bewässerungsanlagen können wir drei Arten von Wasserverlusten feststellen:

1. Wasserverbrauch der Pflanzen, nämlich jene Wassermengen, welche durch den Vegetationsprozeß beansprucht werden.

2. Versickerung des Rieselwassers in den Untergrund bis zur vollen Sättigung und schließlich

3. die zur Verdunstung gelangenden Wassermengen.

Die unter 1 und 3 namhaft gemachten Wassermengen müssen als tatsächlicher Wasserverbrauch angesehen werden, hingegen kann

das zur Einsickerung gelangende Wasser, sofern nicht als vollständig verbraucht angenommen werden, als bei manchen Bewässerungsanlagen der in den Untergrund gelangende Teil, welcher die volle Sättigung des Bodens bei weitem übersteigt, nicht als Reserve festgehalten wird, sondern durch die Entwässerungsanlagen dem Boden wieder entzogen wird, und in den Wasserlauf zurückgelangt.

Auf der genauen Kenntnis der aufgezählten Arten des Wasserverlustes, fußen sodann diejenigen Berechnungen, welche als Unterlage für die Bestimmung der an die unterhalb gelegenen Werksbesitzer zu zahlende Entschädigung, zu gelten hätten. Je genauer der Wasserbrauch bei der veranschlagten Bewässerungsanlage erhoben wird, um so genauer können auch die gerechten Ansprüche des geschädigten Werksbesitzers befriedigt werden.

Bei der Ermittlung der Wasserverluste ist unbedingt auf die während der Wässerungszeit niedergegangenen atmosphärischen Niederschläge Rücksicht zu nehmen. Je längerer Zeitraum zur Bestimmung der durchschnittlichen Regenmenge während der Vegetationsperiode angenommen wird, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, daß den tatsächlichen Verhältnissen näher gerückt werde, und daß der Wasserverbrauch, entsprechend den örtlichen Verhältnissen, genau ermittelt wird.

Soll daher der, durch eine im Projekte vorliegende Wiesenbewässerungsanlage, allenfalls entstehende Wasserverlust und dem entsprechend die Einbuße an Wasserkraft eines unterhalb der Anlage befindlichen Betriebes rechnungsmäßig dargetan werden, so sind von dem Kulturtechniker folgende Aufgaben zu lösen:

1. Berechnung jener Wassermengen, welche die Wiesengräser während der Bewässerungszeit zu ihrem Aufbaue verbrauchen.

2. Feststellung des durch Versickerung verbrauchten und des unverbrauchten Wassers.

3. Angabe jener Wassermenge, welche durch Verdunstung verloren geht.

Bedeutung des Wassers für die Vegetation.

Die große Bedeutung des Wassers im Leben der Organismen geht zur Genüge schon daraus hervor, daß es einen

Hauptbestandteil des Pflanzenkörpers bildet. Seine Anwesenheit ist leicht zu erkennen. Wir brauchen nur irgend einen Pflanzenteil, z. B. ein grünes Laubblatt bis 100° C und darüber zu erhitzen, dann sehen wir an den aufsteigenden Dämpfen, daß Wasser ausnahmslos in beträchtlicher Menge vorhanden ist.

In der Tat spielt das Wasser eine äußerst wichtige, ja wesentliche Rolle im Körper der Pflanzen; wir finden, daß eine große Menge Wasser beständig durch den Körper der Pflanzen hindurchgeht, das lediglich die Aufgabe hat, in ihm gelöste Stoffe dorthin zu führen, wo die Pflanzen sie brauchen. Hat dieses „Betriebswasser“ seine Aufgabe erfüllt, dann verläßt es — meist in Form von Dampf oder Dunst — wieder die Pflanze. So enthält jede lebende Pflanze eine überwiegende Menge von freiem Wasser, welches zu ihrem physiologischen Aufbau dient.

Jene Wassermengen, welche zum Aufbau der Pflanzen benötigt werden, sind als *v e r b r a u c h t* anzusehen denn das Wasser, welches die Pflanzen „ausschwitzen“ *) ist viel zu gering, als daß dessen Menge in Rechnung gestellt werden konnte.

Das durch die Blätter zur Verdunstung gelangende Wasser verbleibt in der Atmosphäre, kommt aber als Regen oder Schnee, aber anderswo, wieder zur Erde zurück.

Wir wissen, daß das in die Erde eindringende Wasser nicht vollständig zutage tritt. Ein Teil davon gibt seinen Sauerstoff her zur Assimilation vieler Stoffe in der Erde und hört damit auf, Wasser zu sein. Nach Haas sollen bereits 5% der ursprünglichen Wassermengen in der Erde verloren gehen und aus dem Kreislaufe ausgeschieden werden.

Ein anderer Teil des in den Lebenskreis der Pflanzen tretenden Wassers verliert seine Freiheit, es wird im „*A s s i m i l a t i o n s p r o z e ß*“ an andere Stoffe, insbesondere an den Kohlenstoff gebunden („*Konstitutionswasser*“)**).

Die Produktionsgröße der vegetativen Arbeit einer Pflanze läuft jedoch nicht proportional dem Wassergehalte des Bodens, sie nimmt vielmehr, bei einem Minimum des Wassergehaltes im Boden

*) Kosmos 1912/9, Prof. F. Müller.

***) H. Hellriegel: Beiträge zu der naturwissenschaftlichen Grundlage des Ackerbaues. Braunschweig.

beginnend, mit steigender Wasserzufuhr bis zu einer bestimmten Grenze, dem „Optimum“ des Wassergehaltes zu, um dann mit weiterer Zunahme des Wassergehaltes zu fallen, bis sie endlich bei einer oberen Grenze desselben, dem Maximum — vollends stille steht. Für den Vegetationsfaktor Wasser bestehen also wie für jeden anderen die drei Kardinalpunkte des Minimums, Optimums und Maximums; beim Minimum beginnt die negative Arbeit, beim Optimum wird sie am größten, um von da zu sinken und beim Maximum ganz aufzuhören.

Wasserbedarf der Pflanzen.

Die zur Entwicklung und Aufbau der Wiesengräser erforderlichen Wassermengen sind ganz bedeutend, denn die Wiesengräser enthalten selbst 75—80 Gewichtsprozent an Wasser.

Die Versuche von Hellriegel, Risler u. a. m. haben ergeben, daß zur Produktion von 1 kg Trockensubstanz des Pflanzenkörpers je nach der Art des Gewächses selbst, der klimatischen Verhältnisse, des Düngungszustandes des Bodens usw. ein Wasserverbrauch von ung. 400 kg bei den Wiesengräsern auftritt.

Veranschlagt man die Vegetationsperiode der Wiesengräser zu 180 bis 220 Tagen, so würde sich nach dem oben Gesagten ein Wasserbedarf für diese Zeit von 4000—5000 m³ für 1 Hektar, bezw. 20—25 m³ für einen Tag herausstellen, was eine Regenhöhe von durchschnittlich 2—2,5 mm ergibt.

Aus den zahlreichen Versuchsresultaten Hellriegels*) mögen nur folgende Zahlen hervorgehoben werden:

Bodenfeuchtigkeit	Geerntete Trockensubstanz
80—60%	1,3084 g
60—40%	1,2183 „
40—20%	0,9916 „
20—10%	0,3852 „

Es ist daher ungemein wichtig, daß der Boden nicht bis auf ein für das Gedeihen der Pflanzen verhängnisvolles Maß austrocknet. Durch Versuche wurde nachgewiesen, daß das hydroskopisch gebundene Bodenwasser der Pflanzenwurzel unzugänglich bleibt, trotz-

*) H. Hellriegel: Beiträge zu der naturwissenschaftlichen Grundlage des Ackerbaues, Braunschweig.

dem sich dessen Menge bei einzelnen Bodenarten auf einige Volums-
prozente belaufen kann.

Die Wasseraufnahme ist entsprechend dem mehr oder weniger
vorgeschnittenen Baue der Wiesengräser eine verschiedenartige. Gleich
nach dem Erwachen der Natur im Frühjahr beginnt das Wasser in die
einzelnen Organe der Pflanzenwelt, ihren Aufbau fördernd, zu steigen,
erreicht das Maximum kurz vor dem Blütenansatz. Während der
Fruchtreife fällt der Wasserbedarf immer mehr und mehr, bis bei
Eintritt in die winterliche Ruheperiode jede Tätigkeit der Pflanzen-
zellen, hinsichtlich Wasserzuleitung, aufhört.

Friedrich gibt den täglichen Wasserverbrauch im geschlossenen
Pflanzenverbände, vor der Blüte mit 50—80 m³ für 1 Hektar an,
was einem Niederschlage von 5—8 mm für einen Tag gleichkommt.

Selbstverständlich tritt der angegebene Wasserverbrauch tatsäch-
lich ein, falls der Wasservorrat, ob nun durch Regen oder künstliche
Bewässerung hervorgerufen, durch das im Boden enthaltene Wasser
ergänzt werden kann. Wenn daher die Wiesenbewässerung in der
Weise eingeleitet ist, daß während des größten Wasserverbrauches auch
die größte Wassermenge künstlich zugeführt werden kann, so muß bei Be-
rechnung des Wasserverbrauches darauf Rücksicht genommen werden.

Um die Beziehungen zwischen Porenvolumen und nutzbarer
Wassermenge klarer übersehen zu können, werden in nachstehender
Tabelle eine Reihe entsprechen Werte einander gegenübergestellt. *)

**Tabelle über die Größe des nutzbaren Wasservorrates in
einer Bodenschichte von 1 dm Stärke.**

Porenvolumen in Volumenproz.	30·0	35·0	40·0	45·0	50·0		
„ „ Liter für 1 m ²							
„ „ Bodenfläche .	30·0	35·0	40·0	45·0	50·0		
„ „ m ³ für 1 ha							
„ „ Bodenfläche . .	300·0	350·0	400·0	450·0	500·0		
Nutzbares Wasser- quantum bei der Verminderung des Wassergehaltes von 75 auf 25 Volumen- prozent	in Liter pro 1 m ²	Bodenfläche	15·0	17·5	20·0	22·5	25·0
		Bodenfläche	150·0	175·0	200·0	225·0	250·0
	in m ³ pro 1 ha	Bodenfläche	150·0	175·0	200·0	225·0	250·0
		Bodenfläche	150·0	175·0	200·0	225·0	250·0

*) Friedrich, Kulturtechnischer Wasserbau.

Bei einem täglichen Wasserbedarfe	ergibt dies eine Reserve
von:	für Tage:
1·0 mm = 10 m ³ pro Hektar . .	15·0 17·5 20·0 22·5 25·0
2·5 " = 25 " " " . .	6·0 7·0 8·0 9·0 10·0
5·0 " = 50 " " " . .	3·0 3·5 4·0 4·5 5·0
7·5 " = 75 " " " . .	2·0 2·3 2·6 3·0 3·3
10·0 " = 100 " " " . .	1·5 1·75 2·0 2·2 2·5

Es wird nun leicht sein, in einem besonderen Falle auf Grund der Erhebungen über den Aufbau des Bodenprofils des zu bewässernden Grundstückes, und der klimatischen Verhältnisse festzustellen, und nach Abschlag der Niederschlagsmenge jene Wassermenge zu ermitteln, welche zum Aufbau der Pflanzen erforderlich sein wird, nämlich jene, welche durch die Wiesenbewässerung verbraucht wird.

Bei Berechnung des verbrauchten Wassers ist zu berücksichtigen, ob sich um eine anfeuchtende oder um eine düngende Bewässerung handelt und ob man es mit einem leichten (sandigen) mittelschweren, oder schweren Boden zu tun hat.

Friedrich gibt für die Verhältnisse Mitteleuropa inbezug auf die verschiedenen Bodenarten folgende Zahl von Bewässerungen und Wassermenge als ausreichend an:

a) Für leichte Böden: 4—6 Wässerungen mit je 1200 bis 1500 m³, Wasser für 1 ha, das sind 4800 bis 9000 m³ für ein Jahr.

b) Für mittelschwere Böden: 3—5 Wässerungen mit je 1200 bis 1500 m³, Wasser für ein Hektar, das sind 3600 bis 7500 m³ in einem Jahre.

c) Für schwere Böden: 2—3 Wässerungen mit je 1500 bis 2000 m³ Wasser für ein Hektar, das sind 3000 bis 6000 m³ in einem Jahre.

Ökonomierat Heuschmidt in Bayreuth gibt auf Grund seiner langjährigen Erfahrungen über die Bewässerungsanlagen in Oberfranken nachstehende Angaben über den Wasserbedarf zur Anfeuchtung während der Zeit von Mitte Mai bis Mitte August:

a) Bei schweren Lehmböden: eine zweimalige Anfeuchtung von je 0·14 m, zusammen also eine Stauhöhe pro Jahr von h = 0·28 m, das sind 2800 m³ pro Hektar und Jahr.

b) Bei mittleren Lehmböden: eine dreimalige Anfeuchtung von je 0·15 bis 0·16 m, zusammen $h = 0·45-0·50$ m, das sind 4500 bis 5000 m³.

c) Bei leichtem, sandigem Lehm und lehmigen Sandböden: eine 4 bis 5malige Anfeuchtung mit je 0·17—0·20 m, zusammen $h = 0·68-1·0$ m, das sind 6800—10.000 m³ pro Hektar und Jahr.

Vielerorts wird ein ununterbrochener Zulauf von 1 sl. pro Hektar während der ganzen Wachstumszeit (183 Tage) gefordert, was einer Wassermenge von 15.800 m³ entspricht. Diese Wassermenge ist jedoch bei weiten größer als der Gesamtwasserbedarf der Pflanzen während der Vegetationsperiode, und könnte, falls daran festgehalten werden sollte, dem Wachstum der Pflanzen eher schaden als nützen.

Wasserverluste durch Versickerung.

Für die Lösung der Frage: Wie viel von dem künstlich aufgeleiteten Wasser in den Boden einsickert?, ist die Kenntnis des Wassergehaltes im Boden im Vergleiche zu dem Porenvolumen von großer Wichtigkeit, in der Voraussetzung, daß die Wasservorräte der Volumeneinheit nicht größer sind, als jenes Maß, welches der Pflanzenentwicklung abträglich wäre.

Ein andauernder Wassergehalt des Bodens, der seiner vollen Wasserkapazität entspricht, schädigt unter allen Umständen das Gedeihen der Kulturpflanzen, und kann die Fruchtbarkeit des reichsten Bodens vollends vernichten. Andererseits beginnen die Pflanzen bereits Not zu leiden, wenn der Wassergehalt des Bodens unter ein gewisses Maß sinkt.

Als Optimum des Wassergehaltes wird von verschiedenen Forschern ein Intervall von etwa 50—55% des Porenvolumen angesehen. Dasselbe würde sonach für einen Boden mit 40% Porenvolumen einer Wasserfüllung von 20—25% des Gesamtvolumens entsprechen, während unter den gleichen Umständen das zulässige Maximum mit 30—35% das möglichst nicht zu unterschreitende Minimum mit 10% des Gesamtvolumens anzunehmen wäre.

Nach einer kräftigen Bewässerung wird die obere Schichte des Bodens von dem aufgeleiteten Wasser durchnäßt, das heißt, alle

Bodenzwischenräume füllen sich mit Wasser; das überschüssige Wasser wird aber sofort von den unteren und relativ trockenen Schichten aufgenommen. Es fließt vorerst eine Welle schnell durch den Boden, die die bequemen Wege: Risse, Löcher u. a. m. benützt, und deshalb von den löslichen Stoffen wenig aufnimmt; erst einige Tage später folgt eine zweite Welle, die sich durch die engeren Hohlräume bewegt, mit dem Boden in innigere Berührung kommt und reichliche Mengen von löslichen Salzen aufnimmt und wegführt. Die oberen durchnähten Schichten geben das ganze überschüssige Wasser an die unteren Schichten ab, und behalten nur jene Wassermengen, die wir als die absolute Wasserkapazität bezeichnen wollen.*)

Unter *Wasserkapazität* verstehen wir jene Wassermenge, welche der Boden eine längere Zeit hindurch in sich zurückhalten imstande ist. Eine und dieselbe Bodenart in der Natur kann, bei Ausschließung aller äußeren Einflüsse durch eine längere Zeit nur eine bestimmte Wassermenge in sich zurückhalten, das heißt, ihre Wasserkapazität kann nur durch eine einzige mathematisch absolute Größe ausgedrückt werden.

Falls wir bei der Bestimmung des im Boden zurückgehaltenen Wassers auch noch andere Resultate erhalten, Daten, die die Bezeichnung der „vollen“ Kapazität tragen, so sind dies Werte, die aus anderen Einflüssen resultieren, wie dem hydraulischen Druck in Verbindung mit der Erdschwere, mit Rücksicht auf die durch Bewegung des Wassers im Boden erzeugten Reibung, oder es sind Resultate anderer physikalischen Eigenschaften des Bodens. Die Resultierende der Einflüsse dieser Kräfte ist das relative Ausfüllen selbst der nichtkapillaren Zwischenräume des Bodens mit Wasser, d. h. die volle Wasserkapazität ist die um jene Wassermenge, die in den nichtkapillaren Zwischenräumen relativ enthalten bleibt, vergrößerte absolute Kapazität.

Der Inhalt der Bodenzwischenräume, genannt die *Porosität* des Bodens, ist für die Wasseraufnahme von großer Wichtigkeit. Je poröser ein Boden, um so lockerer und für Wasser und Luft durchlässiger ist derselbe und deshalb für die Pflanzenproduktion nützlicher.

*) Kopecky: Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Prag 1904.

Der Inhalt der Poren im Boden wird durch die Differenz zwischen der Größe des wirklichen und des scheinbaren spezifischen Gewichtes angegeben. Wenn z. B. 1 cm³ Boden keine Poren enthalten würde, so müßte sein Gewicht dem wirklichen spezifischen Gewichte = 2.48 g gleichkommen. Nach der bei 100° C vorgenommenen Austrocknung wiegt 1 cm³ desselben Bodens bloß 1.285 g, das scheinbare spezifische Gewicht. Die Differenz beider in Prozenten ausgedrückt = 48.18% gibt das Volumen der Bodenzwischenräume (Porosität) an.

Bei Bestimmung des durch Bewässerung aufgenommenen Wassers muß auf die Beschaffenheit und die Porosität des Bodens Rücksicht genommen werden. Die Menge des von der Wiese aufgenommenen Bewässerungswassers kann daher durch eine Zahlenangabe über die Wasserkapazität, in Prozenten des Volumens, angegeben werden.

R a m a n n ermittelte für Diluvialsand in natürlicher Lagerung 37—58% Porenvolumens, für Lehm an 45%, für Ton 52%, für Moorboden 84%.

Die experimentellen Versuche von Sch ü b l e r ergaben :

Material	Der Boden nahm Wasser bis zu seiner Sättigung auf in Prozenten	
	nach Gewicht	nach Volumen
Quarzsand	25	50
Kalksand	29	58
Reiner Ton	70	87
Ton mit 45% Sand	40	68
„ „ 24% „	50	73
„ „ 10% „	61	82
Kohlensaurer Kalk	85	81
Gartenerde	89	82
Ackererde	52	74
Schiefriger Mergel	34	66

Nach M e i s t e r absorbierten (nach Volumen gerechnet) :

Tonboden	50·0 ⁰ / ₀	Kreideboden	49·5 ⁰ / ₀
Lehmboden	60·1 ⁰ / ₀	Gipsboden	52·4 ⁰ / ₀
Humus	70·3 ⁰ / ₀	Sandbod. m. 82 ⁰ / ₀ Sand	45·4 ⁰ / ₀
Torf	63·7 ⁰ / ₀	„ „ 64 ⁰ / ₀ „	65·2 ⁰ / ₀
Gartenerde	69·0 ⁰ / ₀	Quarzsandboden	46·4 ⁰ / ₀
Kalkboden	54·9 ⁰ / ₀		

Die Größe der Wasserkapazität selbst wechselt bei den in eine Kategorie zu zählenden Bodengattungen oft beträchtlich. In den meisten Fällen wird man sich daher nicht mit allgemeinen Daten begnügen können, sondern wird es notwendig sein für jeden speziellen Fall eigene Untersuchungen anzustellen.

Was die unmittelbare Verwendbarkeit der experimentell im Laboratorium gefundenen Resultate anbelangt, so ist zu berücksichtigen, daß im allgemeinen diese Zahlen größer sein werden, als bei dem dichteren Boden im gewachsenen Zustand.

Im allgemeinen ist in feinkörnigen Böden der Porenraum größer, als in solchen von grobkörniger Beschaffenheit. In dem äußerst feinkörnigen Ton haben die Porenkanäle natürlich ebenfalls außerordentlich geringe Durchmesser, sodaß sich das Wasser darin nur ganz langsam fortbewegen kann, und deshalb wird die Wasserleitung und die Luftbewegung hauptsächlich bedingt nicht durch die Größe des Porenraumes, sondern durch die Art der Verteilung desselben in feinerer oder gröberer Kapillaren, welche wieder durch die Größe der Körner, die den Boden bilden, bedingt wird.

Die Versickerungsverluste sind doppelter Art und zwar:

1. bestehen in dem Verluste in den Zuleitungsgräben, bevor das Wasser überhaupt zur Verwendung gelangt,

2. sodann auf der Wässerungswiese selbst, indem ein großer Teil des Wassers versickert und vom Boden festgehalten wird.

Die erstere Art des Verlustes, welche abhängig ist von der Länge und dem Gefälle des Zuleitungsgrabens, sodann von der Menge des durchgeleiteten Wassers und schließlich von der Bodenbeschaffenheit, läßt sich, sofern die Wässerung bereits eingeleitet ist, aus der Differenz des im Zuleiter geführten Wassers und zwar am Anfange, bei der Schöpfstelle und am Ende des Grabens, bei Überleitung

auf die Wiese, berechnen. In dem auf diese Weise ermittelten Wasserverluste ist überdies noch die Größe der Wasserverdunstung mitinbegriffen, deren Größe in dem nächsten Kapitel besprochen werden soll. Besteht jedoch die Wiesenbewässerung noch nicht, so ist die Porosität des Bodens, aus welchem der Zuleitungsgraben hergestellt worden ist, festzustellen und darnach der Verlust an Wasser zu berechnen.

Friedrich hat im Kulturtechnischen Wasserbau, Seite 410, den Versuch unternommen, den Versickerungsverlust durch eine mathematische Formel zum Ausdruck, wie folgt, zu bringen:

Für die Berechnung der pro Quadratmeter versickernden Wassermenge (in Litern in einer Stunde) diene die bekannte Formel:

$$\Delta q = a + b \cdot t$$

Für t ist die mittlere Grabentiefe (in Metern) einzusetzen. Die Koeffizienten ergeben sich aus nachstehender Tabelle (nach Versuchen der Kgl. Kanalkommission in Münster dem Taschenbuche „Hütte“ entnommen):

Beschaffenheit der Bodenschichte	a	b				
		Für eine Schichtstärke in Metern von				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
Sand, 0.1—0.8 mm Korngröße	36.0	131.0	75.0	50.0	32.0	16.0
„ 0.1—0.3 „ „	11.0	13.0	11.0	9.5	8.6	8.0
„ mit Spuren von Lehm	1.8	10.0	7.1	3.1	1.7	1.2
Mergel, feucht eingestampft	0.004	0.015	0.011	0.008	0.006	0.005
Lehm „ „	0.0018	0.006	0.005	0.003	0.003	0.002

Bezeichnet B_m die mittlere Grabenbreite, so ergibt sich für die Wasserverluste in Litern in einer Stunde:

$$\Delta q = \frac{100}{3600} B_m (a + bt) = 0.028 B_m (a + bt).$$

In Prozenten der Wasserführung (= $1000 B_m \cdot t \cdot v$) ergibt dies:

$$\Delta q \% = 0.0028 \cdot \left(\frac{a}{t} + b \right) \frac{1}{v}.$$

Beispiel für einen Graben von 1 m Sohlenbreite, 0.6 m Wassertiefe, $1\frac{1}{2}$ füziger Böschung und einer mittleren Geschwin-

digkeit von 0·5 m/Sek., sonach einer mittleren Breite $B_m = 1·9$ m und einer Wasserführung von 570 sl., wird

a) für den Fall, daß der Graben in Sand eingeschnitten sei ($a = 36$, $b = 131$):

$$\Delta q = 0·028 \cdot 1·9 (36 + 131 \cdot 0·6) = 6 \text{ sl.},$$

$$\Delta q \text{ ‰} = 0·0028 \left(\frac{36}{0·6} + 131 \right) \frac{1}{0·5} = 1·1 \text{ ‰} \text{ der Wasserführung.}$$

Dieser Graben würde also pro Kilometer einen Verlust von rund 10 ‰ seiner anfänglichen Wasserführung aufweisen;

b) für den Fall, daß der Graben bereits etwas verschlammte wäre ($a = 18$, $b = 10$):

$$\Delta q = 0·413 \text{ sl.}$$

$$\Delta q \text{ ‰} = 0·07 \text{ ‰} \text{ der Wasserführung;}$$

c) für den Fall, daß der Graben in Lehm eingeschnitten oder die Grabenwandungen bis in beträchtliche Tiefe hinein stark verschlemmt wären ($a = 0·002$, $b = 0·006$):

$$\Delta q = 0·0015 \text{ sl.},$$

$$\Delta q \text{ ‰} = 0·000 05 \text{ ‰} \text{ der Wasserführung.}$$

Alle Berechnungen beziehen sich auf 100 m Grabenlänge.

Wenden wir die Formel

$$\Delta q = a + b \cdot t,$$

in gleicher Weise für die Wasserverluste bei Wiesen an, wobei beispielsweise 100 m² als Einheit angenommen werden, wobei für t die mittlere Höhe des Rieselwassers mit 0·01 m und für $B_m = 100$ m² einzusetzen wären.

Der Wasserverlust in einer Stunde unter den obigen Annahmen beträgt sodann:

$$\Delta q = \frac{100}{3600} \cdot B_m (a + b \cdot t) = 0·028 \cdot B_m \cdot (a + b \cdot t).$$

Nehmen wir eine Wiese von 100 m² Fläche, 0·01 m die Höhe des Rieselwassers, welches mit einer Geschwindigkeit von 0·2 m (oder 200 sl. auf die ganze Fläche) über die Bewässerungsfläche fließt, an, so wird für den Fall als der Untergrund der Wiese auf die Tiefe von 0·40 m aus einem Sandboden von 0·1—0·8 mm Korngröße besteht, wobei $a = 36$ und $b = 75$ groß sind.

$$\Delta q = 0·028 \cdot 100 \cdot (36 + 75 \cdot 0·1) = 102 \text{ sl.},$$

woraus zu entnehmen ist, daß mehr als die Hälfte des auf= geleiteten Wassers in den Untergrund versickert.

Die streng mathematisch gültige Gleichung für Wasser= verluste müßte lauten:

$$\Delta q = \int_L^0 dl \cdot 0.028 (a + b \cdot t) \cdot Bm$$

Dieselbe wird dadurch direkt integrierbar, daß sowohl t wie auch Bm als Funktionen der variablen Wasserführung einzusetzen wären. Da dies in integrierbarer Form undurchführbar ist, muß die Integration durch die vorgeschlagene sektionsweise Auswertung der Gleichung ersetzt werden.

Die Verdunstung.

Die Verdunstung des auf die Wiesen zu Bewässerungs= zwecken geleiteten Wassers erfolgt in z w e i f a c h e r Richtung; einmal durch die Pflanzen selbst, das anderemal verdunstet das in einer dünnen Schichte über die Wiesen fließende Wasser.

Dadurch, daß die Pflanzen die Blätter in der Luft mit großer Oberfläche ausbreiten, welche in dem Innern der Pflanze durch die Spaltöffnungen in Verbindung steht, tritt eine bedeutende Verdunstung des Wassers, zunächst aus den der Oberfläche nahe gelegenen Zellen ein, und indem diese den Transpirationsverlust von den hinter ihnen und weiter abwärts gelegenen Zellen zu decken suchen, entsteht in der Pflanze eine Wasserströmung nach den äußersten Seilen von der Wurzel her. Die letztere muß daher aus ihrer Umgebung, dem Boden, stets soviel Wasser aufnehmen, als durch die Blätter oder andere durch Spaltöffnungen versehene Organe verdunstet, damit die Gewebe vollsaftig bleiben und die physiologischen Vorgänge in der Pflanze vor sich gehen können. Die zum Ersatz der Verdunstung erforderlichen Wassermengen hat der Boden herzugeben, außer welchem kein Medium vorhanden ist, durch welches die atmosphärischen Niederschläge den Pflanzen zugänglich werden.

Die Pflanzen sind für ihren Bedarf auf das Wasser des Bodens ausschließlich angewiesen.

Die Verdunstung des auf der Rieselwiese in einer dünnen Schichte ausgebreiteten Wassers ist von zahlreichen, teilweise noch gar nicht aufgeklärten Vorgängen abhängig. Die Verdunstung findet zu allen Jahreszeiten statt. Sie ist größer bei trockener als bei feuchter, ebenso größer bei bewegter als bei unbewegter Luft.

Da die Oberfläche der verdampfenden Flüssigkeit um so öfter mit neuer Luft in Verbindung kommt, je kleiner sie ist, so folgt daraus, daß kleinere Verdunstungsflächen, unter sonst gleichen Umständen, höhere Werte ergeben, als große. Die Verdunstungshöhe des Wasserspiegels auf Kanälen, Flüssen, Bewässerungsgräben usw. kann als durchweg größer angenommen werden, als diejenige auf ausgedehnten Flächen, weil jeder die Richtung derselben kreuzende Wind in rascher Folge stets neue Luftmengen mit der Oberfläche des Wassers in Verbindung setzt.

Der englische Gelehrte Dalton hat folgende Gleichung zur Berechnung der Dunstmenge, welche von der freien luftbewährten Wasserfläche aufsteigen, aufgestellt.

$$V = 0.06 \cdot a \cdot F \cdot (C_1 - C_2) \cdot \frac{760}{B} \cdot \text{Kilogramm in einer Stunde.}$$

Hiebei bedeutet:

F = Wasserfläche in Quadratmetern,

B = Barometerstand der Luft in Millimetern.

C₁ = Größte Dampfspannung bei der Temperatur des verdunsteten Wassers in Millimetern.

C₂ = Dampfspannung der über dem Wasser in der Luft schon vorhandenen Dämpfe in Millimetern.

a = Erfahrungskoeffizient, welcher für

ruhige Luft a = 0.55,

mäßig bewegte Luft = 0.71,

stark „ „ = 0.86 gefunden wurde.

Die mittelst dieser Gleichung sich ergebenden Werte der Verdunstungshöhen stimmen mit den durch Beobachtung gefundenen ziemlich überein.

In ähnlicher Weise wie für Versickerungen gibt Friedrich auch die Verluste zufolge Verdunstungen auf bestimmte Dimensionen — hier die Wasserspiegelbreite B₀ und etwa wieder 100 m

Grabenlänge — mittelst einer Formel an. Für eine tägliche Verdunstungshöhe e mm ergibt sich:

$$\Delta q, = \frac{100 e B_0}{86\,400} = 0\cdot0011 e B_0 \text{ sl.},$$

$$\Delta q, \% = 0\cdot0011 \cdot \frac{e}{t \cdot v} \cdot \frac{B_0}{B_m} \% \text{ der Wasserführung.}$$

Die Schweizer Meteorologische Anstalt in Zürich hat die langandauernden Trocken- und Hitzeperioden des vergangenen Sommers benutzt, um für den Züricher See und den nordöstlich davon gelegenen kleineren Greifen-See die Werte der Verdunstung möglichst sicher zu bestimmen. Der Direktor der Anstalt, Herr Maurer-Zürich, berichtet darüber in der Meteorologischen Zeitschrift 1911, Heft 12.

Durch Messung der sichtbaren Zu- und Abflüsse in der Zeit vom 10. August bis 20. September, als die kleineren Zuflüsse schon am Vertrocknen waren, und durch Vergleichung mit dem Pegelstande des Sees, wurde die auf der Seefläche wirklich verdunstete Wassermenge ermittelt.

Die Fläche des Züricher-See betrug in dieser Zeit 87·7 km², und es bewirkte ein Kubikmeter sekundlicher Mehrabfluß ein Sinken des Wasserstandes um 1 mm im Tag. Die gefallene Regenmenge wurde auf sechs um den See herumliegenden Stationen gemessen, deren Messungsergebnisse mit verschiedenen Gewichten in die Rechnung eingeführt wurden.

Die Resultate für die Zeit vom 31. Juli bis 20. September 1911 sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

		Greifen-See: mittl. Verdunstungs- höhe im Tag mm	Oberfl. Temperatur °C
31. Juli bis	5. August	5·6	(26·0)
6. Aug. "	10. "	5·4	25·0
11. " "	15. "	5·2	24·5
16. " "	20. "	4·7	24·0
21. " "	25. "	4·3	24·0
26. " "	30. "	3·5	23·3
31. " "	4. Sept.	3·4	23·5
5. Sept. "	9. "	4·5	24·5
10. " "	14. "	3·6	24·0
15. " "	20. "	0·9	(12·0)

		Züricher-See:	Oberfl.
		mittl. Verdunstungs-	Temperatur
		höhe im Tag mm	°C
31. Juli bis	5. August	5.3	26.5
6. Aug. "	10. "	5.5	25.4
11. " "	15. "	4.8	24.9
16. " "	20. "	4.6	23.9

		mittl. Verdunstungs-	Oberfl.
		höhe im Tag mm	Temperatur
		°C	
21. Aug. bis	25. Aug.	3.8	23.8
26. " "	30. "	4.0	23.7
31. " "	4. Sept.	3.7	23.3
5. Sept. "	9. "	4.0	24.7
10. " "	14. "	3.0	23.8
15. " "	20. "	1.7	20.9

Für den Greifen-See ergibt sich für den Monat August eine Gesamtverdunstung von 145 mm oder 4.7 mm für einen Tag, für den Züricher-See 143 mm im Monat und 4.6 mm für einen Tag. Auf ein Hektar übertragen beträgt die Verdunstung 46 m³ und 47 m³.

Für die erste Hälfte des September (1.—15.), die auch noch völlig heiteres, trockenes und sehr warmes Wetter hatte, erhält man die Verdunstungshöhe für den Greifen-See zu 57.5 mm und für den Züricher-See 62 mm, nimmt man die zweite Hälfte des Juli noch dazu, in welcher die Verdunstungshöhe beider Seen 93 mm betrug, so ergibt sich für die heißeste und trockenste Zeit im Sommer 1911 (16. Juli bis 15. September = 62 Tage) die verdunstete Wassermenge zu 300 mm oder 4.8 mm im Tag für jeden der beiden Seen. Dabei war die Temperatur im August um 3.9°, und in der ersten Hälfte des September um 5° Celsius zu hoch, während große Trockenheit der Luft bei reichlicher Bewegung derselben vorhanden war, sodaß die erhaltenen Werte wohl als die höchsten angesehen werden dürfen, die unter unseren Verhältnissen für die Verdunstung freier Wasserflächen erreicht werden können. Wenn man annehmen wollte, daß infolge der noch bestehenden Unsicherheit der Wassermessungskurven bei anderen Pegelständen, die Verdunstungsmenge des Züricher-See noch um 10% höher sein könnte

als die Rechnung ergibt, so bleiben diese Werte trotz der abnormen Witterung, auf einer bescheidenen Stufe gegenüber sehr vielen in der Praxis verwerteten Werte.

Den **Gesamtverlust**, welcher bei Bewässerungsanlagen hinsichtlich des Wasserverbrauches entstehen kann, gibt Heuschmidt mit 30 bis 50%, Baurat Heß mit 35—37%, wobei 20—22% auf die Einsickerung, und 10—15% auf die Verdunstung gerechnet werden, an.

Immerhin ist jedoch daraus zu entnehmen, daß **nicht** sämtliches Wasser bei Wiesenbewässerungsanlagen verloren geht, sondern bloß ein Teil, welcher von der Art der Bewässerungsmethode, von der Menge des zur Verfügung stehenden Wassers, dessen Temperatur, von der Temperatur der Luft, von der Luftströmung, von der Durchlässigkeit des Untergrundes und seiner Beschaffenheit u. a. m. abhängig ist, verbraucht wird.



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

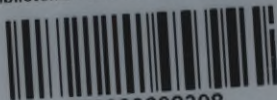


L. inv.

31600

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298398