

Sitzungsberichte

der

königl. bayer. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1870. Band I.

München.

Akademische Buchdruckerei von F. Straub.

1870.

In Commission bei G. Franz.

Herr v. Pettenkofer referirt über eine Abhandlung des Herrn Fr. Pfaff in Erlangen:

„Ueber den Betrag der Verdunstung einer Eiche während der ganzen Vegetationsperiode.“

So wunderbar einfach sich auch im Grossen der Kreislauf des Wassers vom Meere durch die Atmosphäre auf das Land und vom Lande durch die Flüsse zurück ins Meer gestaltet, ebenso merkwürdig mannigfach zeigt er sich, wenn wir namentlich den letzteren Theil desselben etwas näher ins Auge fassen, nur etwas von der Oberfläche in die Tiefe gehen. Die Frage wie verhält sich das atmosphärische Wasser und der Boden zu einander schliesst eine so grosse Menge anderer Fragen in sich, die erst zum kleinsten Theile genau beantwortet werden können, dass jeder Beitrag zur Lösung einer derselben wohl als keine vergebliche oder überflüssige Arbeit sich herausstellen dürfte.

In einer früheren Mittheilung habe ich Versuche mitgetheilt, welche die Absicht hatten einigen Aufschluss über die Frage zu geben, in welcher Weise und Menge dringen die atmosphärischen Niederschläge in den Boden ein, und zwar waren die Versuche in der Art angestellt, dass sie eine bestimmte Bodenart (Sandboden) ohne alle Vegetation in's Auge fassten. In der Natur, wenigstens in den gemässigten Zonen, dürfte es aber kaum irgendwo eine grössere Strecke geben, die nicht mit Pflanzen, niedrigen Culturpflanzen oder Bäumen besetzt wäre, welche beide mit ihren Wurzeln bald mehr, bald weniger tief in den Boden eindringen und demselben Wasser entziehen, das sie theils zum Aufbaue ihres Körpers verwenden, theils in Dampfform an die Atmosphäre abgeben. Der Ernährungs- und Respirationprocess der im

Boden wurzelnden und in der Atmosphäre vegetirenden Pflanzen muss offenbar von dem grössten Einflusse auf das Verhalten des Feuchtigkeitsgehaltes des Bodens sein, wie ja allbekannte Erfahrungen (ich erinnere nur an die Abholzung der Berge) die Wirkung der Vegetation auf die atmosphärischen Niederschläge und Quellenbildung zur Genüge darthun. Das eben angeführte Beispiel wird Jedem, der mit dem Gegenstande etwas vertraut ist, sofort auch wieder in's Gedächtniss zurückrufen, wie grosse Unsicherheit und Uneinigkeit unter den Fachmännern über diesen Punkt herrscht und wie wenig sichere Anhaltspunkte wir haben, um nur zunächst die mancherlei meteorologischen, physikalischen und botanischen Zwischenfragen, die hier in Betracht kommen, zu beantworten. Ohne sich irgendwie vermessen zu wollen, auch nur eine derselben entscheiden zu wollen, glaubt der Verfasser doch auf dem Wege des Versuches einiges zur Lösung derselben beitragen zu können. Die Aufgabe, die er sich stellte und in der weiter unten näher beschriebenen Weise experimentell zu lösen suchte, war die: Wie gross ist die Menge des Wassers, die von einem unserer Laubbäume im Laufe einer ganzen Vegetationsperiode durch Verdunstung in die Atmosphäre gelangt?

Es ist eine grosse Reihe älterer und neuerer Versuche über die Verdunstung durch die Blätter in der Literatur verzeichnet, die ja in pflanzenphysiologischer Beziehung auch ein so hohes Interesse darbietet, namentlich hat Unger¹⁾ darüber eine Reihe sehr genauer Versuche an verschiedenen Pflanzen angestellt. Doch haben dieselben alle andere Zwecke verfolgt, sind meist mit kleineren Gewächsen vorgenommen worden und immer nur eine kurze Zeit hindurch. Annäherungsweise hat der letztgenannte Botaniker die Verdunstungsmenge eines Buchenwaldes zu bestimmen gesucht. Ich komme

1) Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wissensch. z. Wien. Bd. 44,2.

später darauf noch einmal zurück. So weit mir mit der freundlichen Unterstützung meines Kollegen Kraus die Literatur bekannt geworden ist, habe ich in derselben keine Versuche gefunden, die eine längere Zeit hindurch fortgesetzt wurden und insoferne glaube ich, dass auch für den Botaniker die von mir angestellten, eine ganze Vegetationsperiode eines Baumes umfassenden Untersuchungen nicht ohne Wichtigkeit sein dürften, wie die daraus sich ergebenden Schlüsse wohl allgemeines Interesse in Anspruch nehmen können.

Zu denselben diente eine in meinem Garten 20 Fuss von meinem Hause auf der Südseite desselben stehende kräftige junge Eiche. Die Versuche selbst wurden in folgender Weise angestellt: Es wurde von einem Zweige die Spitze oder ein kleines Seitenästchen desselben mit sämtlichen Blättern abgeschnitten, sofort unter dem Baume in ein kleines, cylindrisches Glasgefäss gebracht, das mit einem Korke verschlossen und sogleich gewogen wurde. Dann wurden die Blätter frei an einem Drahte an der Nordseite des Hauses aufgehängt, genau nach 3 Minuten wieder in das Glasgefäss gebracht und wieder gewogen. Die Gewichts-differenz wurde als Betrag der Verdunstung in 3 Minuten angenommen. Der Flächeninhalt der Blätter wurde dann auf folgende Weise bestimmt, die wenn auch etwas mühsam, jedenfalls sehr genaue Resultate ergibt.²⁾ Es wurde jedes Blatt auf gutes Postpapier gelegt und sein Umriss genau auf demselben nachgezeichnet. Jeder halbe Bogen des Papiere wurde dann für sich gewogen, nachdem sein Flächen-

2) Bei der starken Lappung der Eichenblätter dürfte diese Art auch jedenfalls viel sicherer sein als die von Unger angewandte mittelst einer in Quadrate eingetheilten auf das Blatt gelegten Glastafel durch Zählung der auf das Blatt fallenden Quadrate den Flächeninhalt zu bestimmen. Im Texte von Unger a. a. O. steht 195 Quadratdecimeter, was jedenfalls Centimeter heissen soll.

inhalt durch Messung vorher bestimmt war. Sämmtliche auf einem Halbbogen gezeichneten Blätter wurden dann ausgeschnitten, gewogen und so aus ihrem Gewichte ihr Flächeninhalt berechnet. Nachdem dieser gefunden war, wurde berechnet, wie viel die Verdunstung auf einen Quadratmillimeter des Blattes in 15 Stunden betragen würde, wenn die Verdunstung die 15 Stunden hindurch sich gleich stark erhalten würde, wie zur Zeit des Versuches. Um aber diese Voraussetzung zulässig zu machen, mussten natürlich täglich zu verschiedenen Tagesstunden in gleicher Weise die Beobachtungen gemacht und aus diesen dann das Mittel für jeden einzelnen Tag gezogen werden, selbstverständlich konnte eben, um dieses zu erhalten nur die angegebene Weise der Berechnung, resp. die Reduzirung der Verdunstung auf Quadratmillimeter angewendet werden. Ich habe nur 15 Stunden in Rechnung gezogen, weil sich meine Versuche regelmässig nur auf die 15 Stunden von 6 Uhr Morgens bis 9 Uhr Abends erstreckten und zwar wurden sie mit wenigen Ausnahmen, wenn es mir anderweitige Geschäfte nicht unmöglich machten, um 6 Uhr und 11 Uhr Vormittags, um 4 und 9 Uhr Nachmittags angestellt. Von Anfang September an wurde die erste und letzte Beobachtung auf 7 Uhr Vormittags und 7 Uhr Abends verlegt, vom 1. Oktober an die letztere auf 6 Uhr Abends.

Unregelmässig und viel seltener habe ich übrigens auch zu den verschiedensten Nachtstunden in den verschiedenen Monaten einzelne Beobachtungen angestellt, aus denen ohne Ausnahme hervorging, dass auch des Nachts die Blätter fortwährend ausdünsten, was schon aus physikalischen Gründen zu erwarten war und dass die Differenz zwischen der Verdunstungsmenge des Tages und der Nacht eine geringere sei, als dieselbe aus einem freistehenden Gefäss mit Wasser, was wohl ebenfalls im Voraus sich vermuthen liess. Sie betrug nach einigen Versuchsreihen, die ich in anderer Weise anstellte $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ der Verdunstung bei Tage in gleichen

Zeiten. Da ich jedoch keine ausgedehnten Versuchsreihen über die Verdunstung bei Nacht in der Weise, wie ich sie bei Tage anstellte, vornehmen konnte, und da es mir ohnedies darauf ankam, mehr Minimalwerthe der Gesamtverdunstung zu erhalten, habe ich die bei Nacht eintretende im Folgenden ganz auser Berechnung gelassen. Aus dem letzteren Grunde habe ich auch die Blätter stets an der Nordseite meines Hauses und im Schatten aufgehängt (nur in den längsten Tagen wurden dieselben Morgens um 6 Uhr etwas von der Sonne getroffen), obwohl wie mich vergleichende Versuche lehrten, und auch Unger gefunden hat, der Unterschied ein sehr beträchtlicher ist, wenn man gleichzeitig Blätter in die Sonne und in den Schatten hängt. Im Juli z. B. verhielt sich die Verdunstung einer Blätterparthie die im Schatten hing, zur gleichzeitigen einer anderen von demselben Zweige in der Sonne wie 3 : 10. Noch auf einen anderen Umstand will ich aufmerksam machen, welcher zeigt dass in der angegebenen Art die Versuche anzustellen, Werthe erhalten werden, welche eher unter dem Mittel bleiben, als dasselbe übersteigen. Untersucht man nämlich die Art der Verdunstung eines vom Baume getrennten Zweiges ihrem Betrage nach genauer, so überzeugt man sich sehr leicht, dass dieselbe für gleiche Zeiträume stets geringer wird, d. h. in den ersten 2 Minuten verliert ein Blatt mehr, als in der 3. und 4., in dieser mehr, als in der 5. und 6. u. s. f. Aus diesem Grunde habe ich auch nur 3 Minuten die Verdunstung in meinen Versuchen währen lassen. Man kann sich davon auf der Waage und noch einfacher auf folgende Weise überzeugen, die ich auch anwandte, um die stetige Verdunstung bei Nacht zu erkennen. Füllt man eine enge Glasröhre, an deren einem Ende ein Gummiröhrchen befestigt ist, mit Wasser und steckt rasch einen mit Blättern versehenen Zweig in das Gummiröhrchen, so rückt das Ende der Wassersäule in dem Glasröhrchen immer weiter dem

Zweigende zu, offenbar in Folge der Verdunstung durch die Blätter (wenn auch die Endosmose mitwirkt, so ist doch der Betrag der Wasseraufnahme viel mehr von der Verdunstung abhängig, der einfache Versuch, die Blätter vor und nachher zu wiegen, zeigt dieses sofort). Obwohl hier die Verhältnisse für eine gleichmässige Verdunstung viel günstiger sind, als wenn die Blätter in der Luft aufgehängt werden, so geht sie doch auch hier in einem immer langsamer werdenden Tempo vor sich. Es geht daraus also entschieden hervor, dass ein Blatt am Baume in 3 Minuten etwas mehr Wasser abgeben muss, als wenn es vom Baume genommen ist. Andererseits dürfte aber auch von Niemanden bestritten werden — wenigstens kann ich mich hier auf den Ausspruch kompetenter Beurtheiler physiologischer Vorgänge in der Pflanze berufen — dass wenn auch der Quantität nach eine kleine Aenderung der Verdunstungsverhältnisse in den ersten 3 Minuten eines Zweiges eintritt, wenn er vom Baume genommen ist, doch eine wesentliche Aenderung der Funktion der Blätter in so kurzer Zeit nicht angenommen werden könne, mit anderen Worten, dass man berechtigt sei, aus der Abnahme des Gewichtes eines Blattes, das vom Baume genommen ist, die dasselbe unmittelbar nach der Trennung vom Baume erleidet, zu schliessen, dass es eine Abnahme wenigstens in gleichem Betrage auf dem Baum erlitten haben würde. Dass diese Abnahme des Gewichtes durch die Verdunstung bedingt sei, das bedarf wohl keiner weiteren Begründung.

Ein Einwand könnte gegen das obige Verfahren erhoben werden, den ich mir auch selbst gemacht habe, von dessen Unbegründetheit oder richtiger nicht in Betracht zu ziehendem Einflusse ich mich aber bald überzeugte. Man könnte nämlich einwenden, dass der Gewichtsverlust, den das Blatt, nachdem es 3 Minuten in der Luft gehangen, nach der zweiten Wiegung zeige, nicht der sei, den es in diesen

3 Minuten erlitten, sondern der, den es in diesen und während der Zeit der ersten Wiegung erfahren habe, wenn letzterer Betrag auch ein sehr geringer sein möge. In der That muss auch während des ersten Wiegens ein wenig Wasserdampf in dem Glase sich ansammeln, dessen Menge nothwendig vollständig mit zu dem Gewichtsverluste des Blattes in den 3 folgenden Minuten gezogen würde, wenn nach dem ersten Wiegen derselbe aus dem Glase sich gänzlich entfernen würde. Beide störenden Momente müssen sich, wenn auch nur in geringem Grade zeigen. Direkte Versuche, ihren Einfluss zu bestimmen, zeigen übrigens, dass sie ganz ausser Acht zu lassen sind, namentlich weil noch ein Umstand hinzukommt, der ihre Störung so gut wie völlig aufhebt.

Nennen wir nämlich das Gewicht des Glases g , das der Blätter wenn sie vom Baum genommen sind b , den Betrag des Wasserdampfes, der sich während der ersten Wiegung im Glase entwickelt d , so gibt uns diese das Gesamtgewicht $P = g + b + d$. Nun wird erstens ein Rest von d in dem nach dem Herausnehmen der Blätter wieder geschlossenen Glase bleiben, wir wollen ihn $\frac{d}{x}$ nennen,

zweitens aber auch während der zweiten Wiegung ebenfalls wieder etwas Wasserdampf im Glase sich entwickeln, nennen wir diese d' und den Verlust der Verdunstung während der 3 Minuten an der Luft l , so gibt uns die 2. Wiegung das

Gesamtgewicht $P' = g + b + \frac{d}{x} + d' - l$ und daraus

finden wir $P - P' = l + d - (d' + \frac{d}{x})$ also um die

Differenz $d - (d' + \frac{d}{x})$ erhalten wir den Gewichtsverlust zu

gross, den wir aus der Subtraction der beiden Wiegunen $P - P'$ finden. Ich habe directe Bestimmungen der fraglichen Grösse vorgenommen und zu diesem Behufe die Blätter

selbst 6 Minuten in dem Glase gelassen. Das Glas war vorher gewogen, es wurde, nachdem die Blätter rasch herausgenommen waren und das Glas wieder geschlossen war, wieder gewogen. Es zeigt sich, dass die Differenz noch nicht einmal $\frac{1}{2}$ Milligramme betrug.³⁾ Selbst ein höherer Betrag würde an der Annahme, dass die Gewichts-differenz zwischen erster und zweiter Wiegung in der That dem Verluste, den die Blätter in 3 Minuten durch Verdunstung an der Luft erleiden, nichts ändern, um so weniger, wenn man bedenkt, dass aus den oben angegebenen Gründen die Verdunstung der Blätter am Baume einen etwas höheren Betrag ergeben muss, als wenn sie vom Baume losgelöst verdunsteten. Ich habe bereits erwähnt, dass die von mir erhaltenen Werthe wohl als Minimalwerthe bezeichnet werden dürfen; aus dem Grunde, solche zu erhalten, habe ich alle Blätter von der Nordseite des Baumes genommen und bei den Berechnungen der Gesamtzahl aller Blätter am Baume und ihres Gesamtflächeninhaltes ebenfalls nur die Nordseite des Baumes zu Grunde gelegt.

Diese beiden Zahlen zu finden, verfuhr ich auf folgende Weise: Zunächst bestimmte ich das Volumen der Blätterkrone des Baumes, was insoferne leichter war, als der Baum freistehend eine sehr regelmässige Krone entwickelt hatte. Durch senkrecht gestellte Stäbe wurde zuerst der Umfang derselben auf dem Boden bestimmt und aus 13 Radien der Flächeninhalt dieser ziemlich regelmässigen fast kreisförmigen Ellipse. Aus dieser die 298,3 Q.-F. betrug und der Höhe der Krone = 20 Fuss, wurde nach der Formel für ein Ellipsoid das Volumen berechnet und zu 3953 Kubikfuss gefunden. Um nun auch die Zahl der Blätter zu bestimmen, wurden alle Blätter einer grösseren Anzahl von Kubikfussen

3) Sie kann selbst negativ werden, da ja das spez. Gewicht des Wasserdampfes geringer ist, als das der atmosphärischen Luft.

von sehr schwach bis zu sehr stark belaubten Stellen gezählt. Zu diesem Behufe liess ich 2 würfelähnliche Hohlräume herstellen, aber nur von Stäbchen, welche gleichsam die Kanten eines Würfels darstellten. Der kleinere hatte $\frac{3}{4}$ Fuss im Lichten, der grössere 3 Fuss. Nun wurde zunächst das kleinere Hohlmaas an 4 der blattärmsten Stellen des Baumes nahe am Stamme aufgehängt, dann an 4 von mittlerer Belaubung und an eben so vielen von reicher, an der äussern Seite des Baumes, und sämtliche in dem Hohlraum sich befindenden Blätter gezählt und aus diesen das Mittel für die 3 Arten gewonnen. Für die Berechnung wurde nun in folgender Weise verfahren. Das Ellipsoid der Blätterkrone hatte $9\frac{1}{2}$ und 10 Fuss Durchmesser und 20 Fuss Höhe. Ich nahm nun an, dass der innerste Theil dieses Ellipsoides von 4 und 5 Fuss Durchmesser und 9 Fuss Höhe ganz blattleer sei, was übrigens nicht der Fall war, dass dann über diesem sich ein Ellipsoid von 7—8 Fuss Durchmesser und 17 Fuss Höhe (vom Mittelpunkt aus gerechnet, also mit Abzug des ebengenannten blattleeren eine Schale von 3 Fuss Dicke in horizontaler und 8 Fuss Dicke in senkrechter Richtung) von mittlerer Belaubung, und dass die dann noch übrig bleibende Hülle von 2, $2\frac{1}{2}$ und 3 Fuss in den 3 Dimensionen von reicher Belaubung sei. Unter dieser Voraussetzung ergab sich als die Gesamtzahl aller Blätter 721,592. Zur Kontrolle dieser Berechnung wurde nun das grössere Hohlmaas von 27 Kubikfuss Inhalt ebenfalls an der Nordseite des Baumes mit seiner innern Seite 3 Fuss vom Stamm entfernt aufgehängt und zwar so, dass alle Zweige in unveränderter Lage blieben, was dadurch leicht zu erreichen war, dass die oberen horizontalen Leisten abnehmbar gemacht waren und erst, als die Zweige in dem Hohlraum sich befanden, aufgesetzt wurden. Es wurden nun alle in dem Hohlraum sich befindenden Zweige und Blätter abgeschnitten und letztere gezählt. Diese Zählung, die

etwas unter dem Mittel bleiben musste, weil der Hohlraum kaum in die blätterreiche Zone hineinreichte, zu Grunde gelegt, ergab 620464 Blätter, so dass man in runder Zahl 700,000 Blätter als die richtige wird annehmen dürfen, und das um so mehr, als ich die Zählung nach den heftigen Stürmen vom September vornahm, welche dem auf dem Berge freistehenden Baume manches Blatt entführt hatten.

Die Beobachtungen, die ich nun tabellarisch mittheile, umfassen den Zeitraum vom 18. Mai, an welchem Tage die Blätter vollkommen entwickelt waren, bis zum 24. Oktober also 160 Tage. Nach diesem Tage war zwar noch ein grosser Theil der Blätter grün, doch sehr viele schon gelb. Die Verdunstung dauerte jedenfalls noch fort bis in die Mitte November⁴⁾, ebenso hat sie auch wenigstens 14 Tage vor dem 18. Mai schon begonnen. Auch aus diesem Grunde sind die von mir berechneten Werthe für die gesammte Vegetationsperiode Minimalwerthe.

Ich habe in der Tabelle nicht alle Einzelbeobachtungen angegeben, sondern nur die aus denselben berechneten Mittelwerthe für jeden einzelnen Tag. Die Columne *A* enthält den Gesammtflächeninhalt der sämmtlichen an diesem Tage untersuchten Blätter, *B* den Mittelwerth der Verdunstung für diesen Tag resp. 15 Stunden auf einen Quadratmillimeter in Millimetern oder, was dasselbe ist, in Milligrammen. Die absolute Menge kann daraus leicht berechnen, wen es interessirt, die leergelassenen Tage war es mir nicht möglich zu beobachten.

4) Am 4. November Nachmittags 4 Uhr betrug sie an einer Parthie Blätter von 10106 Q.-m. Flächeninhalt noch 0,296 mm.

Mai			Juni			Juli		
	A.	B.		A.	B.		A.	B.
			1	30408	0,395	1	29214	0,632
			2	34442	0,245	2	31178	1,097
			3	34698	0,625	3	26440	0,755
			4	40480	0,281	4	19955	0,669
			5	28789	0,428	5	40000	0,637
			6	21452	0,305	6	24810	0,620
			7	23457	0,889	7	27500	0,824
			8	26340	0,062	8	38045	0,357
			9	39475	0,353	9	26910	0,593
			10	30052	0,517	10	33850	0,657
			11	38816	0,377	11	51281	0,419
			12	30760	0,673	12	33690	0,347
			13			13	27750	0,541
			14	26260	0,576	14	30450	0,411
			15	25190	0,091	15	30887	0,470
			16	38691	0,350	16	26720	0,468
			17	34477	0,304	17	23015	0,197
18	69404	0,285	18	26110	0,854	18	31550	0,356
19	58039	0,256	19	37683	0,414	19	28220	0,512
20	54209	0,451	20	25325	0,765	20	42775	0,450
21	49553	0,331	21	27113	0,625	21	18610	0,853
22	39513	0,362	22	33012	0,270	22	31740	0,716
23	45320	0,375	23	16524	0,492	23	41410	0,740
24	46204	0,285	24	32270	0,705	24	7515	0,598
25	40570	0,616	25	28610	0,952	25		
26	38658	0,428	26	30955	0,464	26	23700	0,537
27	50514	0,333	27	25980	0,984	27	24460	0,656
28	42536	0,374	28	27110	0,546	28	33295	0,452
29	38741	0,675	29	31720	0,663	29	27595	0,523
30	34320	0,401	30	25417	0,254	30	24650	0,542
31	30329	0,253				31	28640	0,477
	Monats- mittel	0,387		Monats- mittel	0,533		Monats- mittel	0,570

August	A.	B.	Septbr.	A.	B.	Oktober	A.	B.
1	12605	0,492	1	35104	0,286	1	35670	0,495
2	19693	0,668	2	29890	0,372	2	50637	0,401
3	33230	0,311	3	29200	0,337	3	16855	0,880
4	23620	0,546	4	34438	0,474	4	33845	0,353
5	30145	0,701	5	29660	0,464	5	30675	0,450
6	31545	0,542	6	20170	0,360	6	29962	0,445
7	14062	0,640	7	37760	0,306	7	37943	0,339
8			8	30835	0,439	8	47590	0,403
9			9	31740	0,201	9	45210	0,623
10			10	28400	0,510	10	42360	0,318
11			11	35634	0,379	11	24000	0,343
12			12	28173	0,295	12	41560	0,511
13			13	25761	0,248	13	34150	0,586
14			14	25916	0,323	14	26810	0,606
15			15	26767	0,329	15	21120	0,439
16			16	36992	0,279	16	48020	0,630
17			17	34253	0,263	17	25350	0,633
18			18	28854	0,519	18	44630	0,368
19			19	26934	0,321	19	45010	0,211
20			20	40282	0,267	20	39370	0,377
21			21	33326	0,332	21	23510	0,367
22			22	34643	0,339	22	24950	0,290
23			23	35325	0,551	23	23740	0,163
24			24	43254	0,295	24	27230	0,232
25			25	49863	0,227			
26			26	41630	0,456			
27			27	38832	0,299			
28	33539	0,322	28	36972	0,284			
29	21850	0,340	29	38394	0,651			
30	37035	0,341	30	30510	0,476			
31	24810	0,444						
	Monats- mittel	0,431		Monats- mittel	0,362		Monats- mittel	0,436

Ich knüpfe an diese Zahlen einige Bemerkungen. Zunächst die, dass dieselben ziemlich genau übereinstimmen mit den von Unger⁵⁾ und Anderen erhaltenen Werthen, so weit eine Vergleichung möglich ist. Ich habe zugleich mit den Versuchen über die Verdunstung der Blätter solche über die einer freien Wasserfläche angestellt und jedesmal mit der aus den Blättern die letztere bestimmt. Das Gefäss stand ebenfalls auf der Nordseite meines Hauses genau an derselben Stelle, an welcher die Blätter aufgehängt wurden. Im Durchschnitt fand ich jedoch das Verhältniss der Verdunstung aus dem freien Gefässe zu der von den Blättern als ein höheres; nach Unger gibt die freie Wasserfläche ungefähr eine 3 mal so hohe Wasserschicht ab, zuweilen eine 5—6 fache. Nach meinen Versuchen wechselt das Verhältniss sehr nach den Monaten und dem Wetter, im Mai zwischen 4 und 13, im Juni zwischen 1,5 bis 8,5, im Oktober zwischen 1,0 bis 5. Die Schwankungen in der Verdunstung des Wassers aus dem Gefässe sind beträchtlich grösser als die der Transpirationsgrösse der Blätter, was wohl ebenfalls im Voraus zu erwarten war.

Auch in Beziehung auf die Menge des verdunsteten Wassers findet sich insoferne eine Uebereinstimmung, als die Werthe, welche ich für die Eiche erhalten habe, mit solchen übereinstimmen, welche Unger für andere Gewächse gefunden hat. Aus seinen an einer grossen Anzahl von Blattpflanzen gemachten Versuchen ergibt sich, dass die verschiedenen Pflanzen sehr verschiedene Werthe ergeben. Nach seinen Angaben habe ich berechnet, wie sich die Verdunstung auf 1 Q.-Millimeter der Blattfläche verhalte und daraus gefunden, dass er erhielt

5) Unger. Sitzungsber. der Akademie der Wissensch. zu Wien. Bd. 44 p. 181 und 327.

am 27. Nov. 1850 bei	<i>Saxifraga ligulata</i>	0,148 mm.
„ 29. Nov.	<i>Hydrangea hortensis</i>	0,439 „
„ 8—9. Juni	<i>Digitalis purpurea</i>	0,677 „
„ 2—3. Juli	„ „	0,167 „
„ 25. Aug.	<i>Helianth. annuus</i>	1,712 „

Ein Zweig von *Fag. silvatica* mit 47 Blättern ergab nach einer 3 tägigen Untersuchung im Mittel 0,158 mm. Die letztere Beobachtung gibt jedenfalls einen zu niedrigen Betrag. Sie wurde nämlich in der Art gemacht, dass der abgeschnittene Zweig in ein Gefäss mit Wasser gesteckt wurde. Er ergab in 3 Tagen 37,5 Grm. Wasserverlust. Ich habe schon weiter oben erwähnt, dass dieses Verfahren nur für kurze Zeit ein richtiges Resultat geben kann, indem sehr bald die Verdunstung immer geringer wird, ein aus dem dreitägigen Verluste bestimmtes Mittel bleibt nach meinen ähnlichen Versuchen weit unter dem wahren; schon nach 2 Stunden zeigt sich bei dieser Art die Verdunstung zu bestimmen eine Differenz in deren Betrag und zwar eine Abnahme derselben.

Ich komme nun zu dem wichtigsten Punkte meiner Untersuchungen um dessentwillen ich sie hauptsächlich anstellte, nämlich zur Beantwortung der Frage, wie gross ist nun die Menge des durch einen solchen Baum verdunsteten Wassers und wie verhält sie sich zu der Menge der atmosphärischen Niederschläge?

Legen wir die von mir gefundenen Zahlenwerthe für die Blattzahl des Baumes, die Verdunstungsgrösse und den Flächeninhalt der Blätter⁶⁾ zu Grunde, so erhalten wir folgende Zahlenwerthe für die Gesamtverdunstung der einzelnen Monate:

6) Der mittlere Flächeninhalt eines Blattes bestimmt aus den 500 ersten und 500 letzten Blättern ergab sich zu 2325 Q.-Millimeter,

Mai 14 Tage	883,812	Kilogramme
Juni	26023,7	„
Juli	28757,9	„
August	21745,1	„
September	17674,6	„
Oktober	17023,1	„

Wie verhält sich nun diese Menge zu der Menge der atmosphärischen Niederschläge? Hier wäre zu einer sicheren Vergleichung nothwendig zu wissen, wie weit sich in horizontaler Richtung die Wurzeln des Baumes erstrecken. Ich habe angenommen, dass die Wurzeln über denselben Flächenraum sich verbreiten, den die Zweige einnehmen. Bei einem Walde versteht sich diese Annahme wohl von selbst, bei einem einzeln stehenden Baume ist ein Weitergreifen wohl denkbar. Für den vorliegenden Fall glaube ich jedoch auch diese Annahme machen zu dürfen, einmal habe ich wenigstens bei einem ziemlich tiefen Graben, der zur Grundlegung eines Gebäudes 10 Fuss von den Zweigspitzen des Baumes angelegt wurde, nichts von solchen Wurzeln bemerkt. Dazu kommt noch, dass der Baum in der Entfaltung seiner Krone zwar nicht durch andere gehemmt ist, dass aber unter dem Dache derselben eine dichte Hecke, allerlei Büsche und so, dass sie sich mit den Zweigen sehr nahe kamen auch andere Bäume, Acacien und dergl. stehen, die jedenfalls zum Theil im Boden mit ihm in der Wasseraufnahme concurriren. Es wird also auch die Annahme sein Wurzelgebiet nicht zu sehr beschränken, dass es denselben Flächenraum wie die Basis seiner Blätterkrone oder genauer die Projection derselben auf den Erdboden einnehme, dieses aber unbeeinträchtigt von anderen Gewächsen. Nehmen wir dieses an und berechnen wir die obige Wassermenge in der Art, dass wir sie auf den Flächenraum des Wurzelgebietes gleich dem der Blätterkrone, die wir zu 298,3 Q.-Fuss gefunden hatten, vertheilen, so kommen wir zu einem sehr überraschenden

Resultate. Die obigen Zahlen entsprechen nämlich einer Wassersäule auf der Fläche von 298,3 Q.-F. = 22,277 Q.-Meter

im Mai	von	39,58 centim.	
Juni	„	116,81	„
Juli	„	129,39	„
August	„	97,61	„
September	„	79,34	„
Oktober	„	76,46	„ oder in
Summa		539,16 cm.	= 16,1 Fuss

Höhe, während die jährliche Regenmenge bei uns nur 65 cm. beträgt. Die Verdunstung eines Baumes gibt daher $8\frac{1}{3}$ mal mehr Wasser an die Atmosphäre ab als auf einen Flächenraum von der Grösse seiner Blätterkrone auffällt. Man mag nun an dieser oder jener Annahme meiner Berechnungen etwas aussetzen, — obwohl wie ich glaube, die von mir gefundenen Zahlen unter dem Mittelwerthe bleiben, das wird jedenfalls mit Sicherheit behauptet werden können, dass die Wassermenge, welche ein grösserer Baum während seiner Vegetationsperiode liefert, bei Weitem grösser ist, als die der atmosphärischen Niederschläge auf demselben Areal. Auch in dieser Beziehung stehen die Resultate, welche Unger erhalten hat, nicht mit den meinigen in Widerspruch, wenn wir sie näher betrachten. Er nahm, wie diess schon oben angegeben wurde, einen Buchenzweig und steckte ihn mit der Schnittfläche in ein Gefäss mit Wasser. Der Zweig hatte 47 Blätter mit 787 Q.-Centimeter Flächeninhalt, also ein Blatt 1653 Q.-Millimeter. In 3 Tagen 18—21 Juli transpirirten diese Blätter 37,5 Grm. Wasser; das gibt 0,158 Millim. Wasserhöhe auf je 1 Q.-Millim. Fläche. Die Schätzung der Blätterzahl nahm Unger in folgender Weise vor, die wir mit seinen eigenen Worten geben.⁷⁾

7) Unger. Am a. O. p. 350.

„Da die Buche jährlich ihre Blätter abwirft, so durften nur in einem von Stürmen geschützten Theile des Waldes die am Boden befindlichen Blätter, welche sich über Winter gesammelt hatten, von einem kleinen Flächeninhalte gezählt werden, um auf die sicherste Weise zur Kenntniss der gesammten Blättermasse des Waldbodens zu gelangen. Ich habe mich dieser Untersuchung am 28. September 1853 unterzogen und zwar in einem nicht sehr dichten und eben so wenig alten Buchenwalde, deren Stämme höchstens 6—8 Zoll im Durchmesser haben.“

Als Mittelzahl aus Zählungen von 5 verschiedenen Stellen findet Unger 607 also in runder Zahl 600 Blätter auf 1 Q.-F. Würden wir auch nur diese Zahl bei der Eiche annehmen, so würden wir immerhin noch die Verdunstungsgrösse um 2,6 mal höher finden, als die der Regenmenge. Doch zeigt auch diese Vergleichung, dass meine Berechnung der Zahl der Blätter der Eiche von der Wahrheit wenig abweichen wird, denn ein freistehender Baum von 13 Zoll Durchmesser des Stammes kann wohl leicht in der Zahl seiner Blätter Buchenbäume von 6—8 Zoll Durchmesser um das 3 fache übertreffen.

Hier drängt sich nun wohl Jedem die Frage auf: woher nehmen die Bäume das Wasser, oder, da darüber wohl kaum ein Zweifel mehr aufkommen kann, dass sie es aus dem Boden nehmen, wie erhalten sie es aus demselben? Die Beantwortung dieser Frage ist wohl auch nicht sehr schwierig und zeigt uns zugleich den ausserordentlichen Einfluss, den die Vegetation und namentlich die Bäume auf den Kreislauf des Wassers und die Menge des Wassers auf der Oberfläche der Erde ausüben. Vergleichen wir nämlich die Menge des in das Meer zurückfliessenden Wassers mit der Menge der atmosphärischen Niederschläge, so finden wir, wo man eine genaue Berechnung angestellt hat, dass durchschnittlich nur die Hälfte des Wassers dem Meere

zufliessen⁸⁾, welches auf das Flussgebiet niedergefallen ist, das man in dieser Beziehung untersuchte.

Für das Flussgebiet des Rheines z. B. beträgt die von diesem zurückgeführte Wassermasse nur 49,8 pC. der Niederschläge. Wohin kommen nun die übrigen 50,2 pCte? Wenn auch ein Theil derselben durch Verdunstung wieder in die Atmosphäre zurückgeht, so dringt doch unzweifelhaft ein grosser Theil davon in die Tiefe und zwar in Tiefen, aus welchen es als Quelle, also als fliessendes Wasser nicht mehr an die Oberfläche gelangt. Denn es gibt ganze Flussgebiete, wenigstens kleinere, die keine einzige warme Quelle enthalten, zum sicheren Zeichen, dass alles fliessende Wasser dieses Gebietes aus sehr geringer Tiefe hervorbricht, denn schon wenn es aus einer Tiefe von 200—300 Fuss käme, müsste es eine merklich höhere Temperatur als die mittlere des Ursprungsortes erkennen lassen. Der Bergbau, wie die Bohrlöcher der artesischen Brunnen zeigen uns aber, dass in allen Tiefen, in welche Menschen oder ihre Werkzeuge gelangen können, Wasser sich befindet und Wasser von oben eindringt. Die Vegetation, vor Allem die Bäume sind es nun, welche diesem Wasserverluste durch Versinken in unergründliche Tiefen einigermaßen entgegenarbeiten und zwar in zweierlei Weise, einmal, indem sie das zur Tiefe von oben eilende Wasser aufhalten, andernteils, indem sie Veranlassung geben, dass aus der Tiefe in Dampfform wieder ein Theil des bereits dem oberflächlichen Kreislaufe entzogenen Wassers zurückkehrt. Auch die Kapillarität des Bodens mag einiges dazu beitragen, dass die Wurzeln der Pflanzen mehr Wasser erhalten, als auf den Raum nieder-

8) Flüsse in Flachländern geben noch weniger, die Seine z. B. nach Arago nur $33\frac{1}{3}$ pCt. sämtliche Flüsse Englands nach Dalton 37,8 pC.

fällt, den sie einnehmen. Doch wird diese kaum einigermaßen in die Tiefe greifen, während die Wasseranziehung der Wurzeln durch die dadurch verminderte Feuchtigkeit des Bodens um dieselben ein energisches Aufsteigen von Wasserdampf selbst aus grösseren Tiefen vermittelt und so einigermaßen Ersatz liefert für das Wasser, das ohne die Vegetation in unerreichbare Tiefen hinabsinken und nimmer zur Oberfläche wiederkehren würde. Auch in diesem Sinne kann man von den Bäumen sagen, dass sie das Dürrewerden eines Landes, die Verarmung des Bodens an Wasser verhindern, indem sie es durch die Thätigkeit ihrer Wurzeln anziehen, durch die Gefässe in die Höhe führen und durch die Blätter dem grossen Kreislaufe zurückgeben.
