©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Über die Beeinflussung der Transpiration durch Kupferkalkbrühe

Von

Otto HÄRTEL

(Aus dem Pflanzenphysiologischen Institut der Universität Graz)

Eingelangt am 29. Oktober 1948

Die Frage der Wirkung von Spritzmitteln auf die Lebensvorgänge und insbesonders auf die Transpiration der damit behandelten Pflanzen besitzt sowohl wissenschaftliches wie auch praktisches Interesse. Vor allem sind es die kupferhaltigen Spritzmittel wie Bordeauxbrühe (Kupferkalkbrühe), die einmal wegen ihrer besonderen Wichtigkeit als Blatt- (Sommer-) spritzmittel, zum andern aber wegen der dabei in recht massiven Dosen gebotenen Kupfer- und Kalkgaben mehrfache Bearbeitung fanden. Während bei öligen und gummihaltigen Spritzmitteln eine Herabsetzung der Transpiration der Pflanzen nicht überraschend ist (SHIRLEY & MEULI, 1938), sind die Ansichten über die Wirkung der kupferhaltigen Mittel geteilt. Ältere Arbeiten (zusammengestellt bis 1914 bei DUGGER & COOLEY, 1914), geben in der Mehrzahl eine Herabsetzung der Transpirationsrate an (z. B. RUMM 1893, BAYER 1902, SCHANDER 1904), während Versuche neuerer Zeit eine mehr oder weniger starke Erhöhung derselben ergaben (DUGGER & COOLEY 1914, DUGGER & BOMIS 1918, WILSON & RUMMELS 1933 und 1935, KAUSCHE & GILBERT 1937); dagegen fand MENZEL (1935) wiederum eine Transpirationsabnahme an mit Bordeauxbrühe behandelten Blättern.

Diese einander widersprechenden Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Wirkung des Spritzmittels kein einfacher, sondern ein Vorgang mehrminder komplexer Natur ist. Je nach den Versuchsbedingungen, dem Zustand der Pflanzen und natürlich auch der verwendeten Art bzw. Sorte kann bald die eine, bald die andere Komponente überwiegen und dabei verschiedene Erscheinungen auslösen. So nehmen z. B. DUGGER & COOLEY (1914) an, daß die vom Spritzmittel gebildete Haut als schwammiger (bibulous) Film die Transpiration, vor allem nachts bei gesättigter Atmosphäre, erhöhe. KAUSCHE & GILBERT machen Änderungen der Permeabilität durch das Eindringen von Kupfer und damit Änderungen der Kutikulartranspiration verantwortlich. Nachdem COOK (1926) an *Nitella* starke Permeabilitätsänderungen durch Eindringen von Kupfer nachweisen konnte, behauptete MENZEL (1935), daß Kupfer wohl leicht in die Zellen der Laubblätter eindringe, dort

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

aber keinerlei Schaden verursache; die Reaktion der Zelle auf das Kupfer bestünde vielmehr in einem Anstieg der Saugkraft und in dessen Folge in einer Herabsetzung der Transpiration. HÖFER (1939) konnte zwar die Änderungen der osmotischen Zustandsgrößen bestätigen, jedoch nicht einmal Kupferspuren im Gewebe nachweisen; er schließt daraus, daß die genannten Veränderungen bereits durch so geringe Kupfermengen verursacht sein müßten, daß sie dem mikrochemischen Nachweis entgehen.

Nun haben eingehendere Versuche über die Kutikulartranspiration ergeben, daß die Diffusionswiderstände innerhalb der Außenwände der Epidermis durch äußere Eingriffe verändert werden können (HÄRTEL 1947). Solche Agentien sind z. B. die H-Ionen. Bei einem optimalen pH erreicht die kutikulare Wasserabgabe den maximalen Wert, sie nimmt bei Verschiebung des pH nach der sauren wie nach der alkalischen Seite hin ab. Experimentell bereits abgeschlossene Untersuchungen haben ähnliche Wirkungen der Kationen und der Anionen ergeben; sie vermögen gleichfalls die Höhe der Kutikulartranspiration je nach ihren lyotropen Eigenschaften zu verändern. Diese Beeinflußbarkeit der Kutikulartranspiration durch Ionen legte nun den Gedanken nahe, daß die einzelnen Komponenten der Kupferkalkbrühe ähnlich wirksam sein könnten. Ohne der ausführlicheren Veröffentlichung der genannten Untersuchungen vorzugreifen, seien im folgenden einige diesbezügliche Beobachtungen bereits mitgeteilt.

Als Versuchsobjekte wurden Blätter eines Weinstocks im Versuchsgarten des Pflanzenphysiologischen Institutes sowie eines Apfelbaumes (Gravensteiner) im Botanischen Garten der Universität Graz verwendet. Die Blätter wurden entweder bereits an der Pflanze mit den Lösungen behandelt, oder erst im abgeschnittenen Zustand für kurze Zeit in diese eingetaucht (einige Minuten bis drei Stunden, die Zeitdauer erwies sich für den Ausfall der Versuche als weitgehend belanglos, sie wurde daher in den angeführten Versuchen nicht angegeben). Bei der Herstellung der Lösungen wurde von zwei Stammlösungen ausgegangen, nämlich einer 10%igen Kupfersulfatlösung und einer 10%igen Aufschlämmung im elektrischen Tiegelofen frisch gebrannten Kalkes. Vor jedem Versuch wurden durch Mischen bzw. Verdünnen mit Leitungswasser die Versuchslösungen hergestellt. Nach Auftrocknen des Flüssigkeitsfilmes und Dunkelstellen der Blätter (zwecks Spaltenverschlusses) bzw. in Kontrollversuchen nach Verschmieren der Blattunterseite mit Vaseline wurden Wägungen der Blätter zur Feststellung der kutikularen Transpirationsrate angeschlossen. Änderungen der Transpirationsgröße nach dem Abschneiden (PFLEIDERER 1933) können bei dieser Versuchsanstellung vernachlässigt werden, da der Spaltenapparat ausgeschaltet war und etwaige Reaktionen durch den Bezug der Werte auf die Transpiration unbehandelter Kontrollen (= 100) eliminiert werden konnten.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Bezüglich eingehenderer Kritik der Methodik muß ich auf die in Aussicht genommene ausführlichere Veröffentlichung verweisen.

Dagegen trat bei den Versuchen eine ziemlich starke Streuung zwischen den einzelnen Parallelproben auf; der Grund sind einmal äußerlich nicht erkennbare Verschiedenheiten des Materials, zum andern aber ungleiches Auftrocknen der Versuchslösungen. Durch eine entsprechend große Anzahl von Parallelbestimmungen konnte auch dieser Fehler genügend klein gehalten werden, wie folgendes erstes Beispiel zeigt: Am Vorabend wurden 12 *Vitis*-Blätter in 2%iger Kupferkalkbrühe (10 ccm Kupfer- und 10 ccm Kalkstammlösung auf 80 ccm Wasser) vollkommen befeuchtet, eine gleiche Anzahl dagegen unbehandelt gelassen. Unter normalen Zimmerbedingungen (etwa 22° C, rel. F. 70%, Evaporation 300 mg/qdm.h) gaben die Blätter im Mittel von 6 Stunden an Wasser ab:

Tab. 1. Transpiration von *Vitis*-Blättern nach Behandlung mit 2%iger Kupferkalkbrühe.

Bezugsgröße:	auf Frischgewicht	auf Fläche
behandelte Blätter	277 ± 17,4 mg/g. h	132 ± 8,3 mg/qdm. h
Kontrollen	198 ± 11,5 „ „	94 ± 5,4 „ „

Aus diesen Wertepaaren läßt sich zunächst entnehmen, daß unter sonst gleichen Bedingungen die mit 2%iger Kupferkalkbrühe behandelten Blätter um rund 40% mehr transpirieren als die unbehandelt gebliebenen Kontrollen. Ferner ist zu ersehen, daß der mittlere Fehler der behandelten Proben ungefähr um die Hälfte größer ist als der der Kontrollen, ein Umstand, der wie gesagt auf verschiedenartiges Auftrocknen der Lösung zurückgeführt werden muß. Der Unterschied der Transpirationsgrößen beträgt etwa des 2½fache des mittleren Fehlers, liegt also außerhalb der Fehlerbreite.

Eine andere Fehlermöglichkeit ist noch auszuschließen, nämlich daß es bei den behandelten Blättern zu keinem vollkommenen Spaltenschluß kommen könnte. Obwohl der Infiltrationsbefund selbst mit Petroläther in allen Fällen negativ war, wurden zur Kontrolle die Blätter mit den Blattunterseiten paarweise mit Vaseline zusammengeklebt, sodaß nur die Oberseiten verdunsten konnten.

Die Unterschiede bleiben also, wenn auch in etwas verringertem Ausmaße, auch nach vollkommener Ausschaltung einer möglichen stomatären Komponente bestehen. Ob die verringerte Divergenz auf minimale Spaltweiten oder auf eine stärkere Beeinflussung der Epidermis

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 2. *Vitis* Transpiration unterseits verschmierter Blätter. (Vorbehandlung wie Tabelle 1.)

		Kontrolle	behandelt	Verhältnis
Versuch a	Ober- u. Unters.	94 mg/qdm. h	132 mg/qdm. h	1 : 1,40
	Oberseite allein	39,5 „ „	46,5 „ „	1 : 1,18
Versuch b	Ober- u. Unters.	79,5 „ „	106,5 „ „	1 : 1,35
	Unterseite allein	44,4 „ „	55,2 „ „	1 : 1,25

der Blattunterseite handelt, kann nicht entschieden werden; aus versuchstechnischen Gründen müssen wir uns jedoch auf die Transpiration der stomatafreien Blattoberseite beschränken.

Als nächstes erhebt sich nun die Frage, wie sich die Wasserabgabe der Blätter bei steigender Konzentration der Kupferkalkbrühe verhält. Tabelle 3 gibt die entsprechenden Werte für Konzentrationen von 0,01—4%, Kupferkalkbrühe (1 : 1) wieder.

Tab. 3. Transpiration von *Vitis*-Blättern nach Behandlung mit Kupferkalkbrühe steigender Konzentrationen.

Konzentration	Transpiration	
	mg/g. h	Kontrolle = 100
H_2O (Kontrolle)	110	100
0,01 %	94	86
0,03 %	135	123
0,1 %	153	136
0,3 %	155	138
1,0 %	180	164
4,0 %	171	156

Mit steigender Konzentration nimmt also auch die Transpiration der Blätter zu (abgesehen von einer kleinen Erniedrigung in der schwächsten Lösung). Das Maximum tritt in der 1%igen Lösung auf, es liegt 64% über der Kontrolle. Der größere Ausschlag in diesem Versuch gegenüber den vorerwähnten kann einmal seinen Grund darin haben, daß der Versuch der Tabelle 3 mit abgeschnittenen Blättern angestellt wurde, die vielleicht etwas stärker reagierten als bei Behandlung an der Pflanze; ferner wurde die Versuchszeit abgekürzt, die Werte sind Mittel über nur 3 Stunden; es hat sich immer wieder gezeigt, daß die Unterschiede zu Beginn des Versuches am größten sind und mit fortschreitender Zeit infolge Austrocknens des Blattes usw. immer geringer werden.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Für die Wirkung der Brühe kommen drei Faktoren in Betracht: 1. das $Cu^{\cdot\cdot}$-Ion, 2. das $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion und 3. die $H^{\cdot}$-Ionenkonzentration. Eine allfällige oberflächenvergrößernde Wirkung des aufgetrockneten Spritzmittels bleibe vorderhand außer Betracht. Zur Prüfung der Wirkung der einzelnen Komponenten wurden äquimolekulare Lösungen von $CuSO_4$ sowie $CaCl_2$ in gewohnter Weise auf die Blätter einwirken gelassen und die Transpirationsänderung gegenüber der unbehandelten Kontrolle bestimmt. Schließlich kam auch eine, wenn auch nur grob abgestufte, Phosphatpufferreihe zur Anwendung.

Tab. 4. *Vitis*. Wirkung steigender $Cu^{\cdot\cdot}$- und $Ca^{\cdot\cdot}$-Konzentrationen auf die Transpiration (Kontrolle = 100).

Konzentration	$CuSO_4$	$CaCl_2$
0,0003 Mol	98	129
0,001 „	117	131
0,003 „	135	148
0,01 „	148	162
0,03 „	157	93
0,1 „	235	78

Aus dieser Tabelle ergibt sich zunächst die überraschende Tatsache, daß mit steigender Kupferkonzentration die Transpiration wohl zunimmt, daß aber das Ausmaß der Zunahme geringer ist als in der Bordeauxbrühe gleichen Cu-Gehaltes. Bei der niedrigsten Konzentrationsstufe (0,0003 Mol, entspricht in ihrem Cu-Gehalt in erster Annäherung, die jedoch für unsere Zwecke vollkommen ausreicht, der 0,01%igen Kupferkalkbrühe) ergibt sich der gleiche geringe Abfall wie in den schwächsten Kupferkalklösungen (vgl. Tab. 3). Er ist also trotz seines relativ geringen Ausmaßes keineswegs nur als Versuchsfehler anzusehen. In 1%iger Bordeauxbrühe beträgt die Transpirationssteigerung 80% über die Kontrolle, in der annähernd gleich viel Kupfer enthaltenden 0,03 molaren reinen $CuSO_4$-Lösung bei ansonsten indentischer Versuchsanstellung dagegen nur 57% [1]). Dagegen erhöht das $CaCl_2$ bereits in den schwächsten der angewendeten Lösungen die Transpiration bedeutend; die maximale Steigerung von 62% über die Kontrolle in der 0,01-molaren $CaCl_2$-Lösung liegt weit über der in 0,03% Kupferkalk,

[1]) Wir verwenden die prozentualen Konzentrationen neben den exakteren Mol-Angaben, um eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu den in der Praxis verwendeten Konzentrationen zu geben. Die Umrechnung wird durch folgende Zahlen erleichtert:

1% $CuSO_4$	0,04 Mol	1 Mol $CuSO_4$	25 %
1% CaO	0,18 Mol	1 Mol CaO	5,5%

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

deren Ca-Gehalt in der gleichen Größenordnung liegt. Stärkere Ca-Konzentrationen lassen die Transpiration allerdings wieder absinken, sodaß hinsichtlich des Ca-Einflusses eine Maximumkurve entsteht. (Weitere Beispiele werden wir in der in Aussicht genommenen Veröffentlichung bringen.)

Die Wirkung der Wasserstoffionenkonzentration ergibt sich in Übereinstimmung mit früher gemachten Erfahrungen (HÄRTEL 1947) aus nachstehender Tabelle 5. Es tritt ein deutliches Maximum der Tran-

Tab. 5. *Vitis*. Wirkung der $H^{\cdot}$-Ionen auf die Transpiration (Kontrolle = 100).

pH	Transpiration
6,0	118
8,5	124
9,5	92
ca 11,	90

spiration um pH 8,5, also ziemlich weit im alkalischen Bereich auf. Bieten wir den Blättern statt der $CaCl_2$-Lösungen (Tabelle 4) nun steigende Konzentrationen von $Ca(OH)_2$-Aufschwemmungen, so wird ein Gegeneinanderwirken der Ionen auftreten: die $Ca^{\cdot\cdot}$-Ionen wirken transpirationserhöhend, während die $H^{\cdot}$-Ionen nach Überschreiten des Maximums (die 0,001-molare $Ca(OH)_2$-Lösung besitzt bereits ein pH von ca. 8,5!) die Transpiration senken werden. Dies kommt auch in nachfolgendem Versuch deutlich zum Ausdruck:

Tab. 6. *Vitis*. Vergleich der Transpiration nach Behandlung in $CaCl_2$- und $Ca(OH)_2$-Lösungen.

	$CaCl_2$	$Ca(OH)_2$
Wasser	100	100
0,001 molar	131	140 (pH 8,4)
0,003 „	148	133
0,01 „	162	127 (pH 9,5)
0,03 „	63	114 (pH ca 10)
0,1 „	78	157

In der 0,001-molaren Lösung ist die Steigerung in der $Ca(OH)_2$-Lösung stärker als in der $CaCl_2$-Lösung; die transpirationserhöhende Wirkung der $Ca^{\cdot\cdot}$- und der $H^{\cdot}$-Ionen addieren sich offenbar; während aber die Transpirationssteigerung in der $CaCl_2$-Lösung bis zu einer Konzentration von 0,01-molar anhält bzw. noch stark zunimmt, erfolgt

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

in der alkalischen Lösung eine Abnahme, die mit der hemmenden Wirkung der $H^{\cdot}$-Ionen, wie wir sie in Tabelle 5 gesehen haben, konform geht.

Aus den mitgeteilten Tatsachen geht also hervor, daß 1. das $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion in erster Linie als derjenige Faktor anzusehen ist, der die stärksten Transpirationsänderungen hervorzurufen imstande ist, während demgegenüber das $Cu^{\cdot\cdot}$-Ion nur im geringeren Maße daran beteiligt ist, und 2. die einzelnen Komponenten getrennt wesentlich stärker wirken als im Gemisch, wie es in der Kupferkalkbrühe geboten wird. Letzteres ist allerdings weniger verwunderlich, da es sich bei der Brühe um ein Reaktionsprodukt handelt, in dem die Ionen in teilweise unlösliche Form übergeführt sind und daher auch weniger wirksam sein können. Um nun die Wirkung wechselnder Kupfer-Kalkgemische auf die Transpiration zu prüfen, wurden gleiche Mengen einer 0,005-molaren CaO-Aufschwemmung (d. i. ungefähr 0,03%) mit steigenden Mengen $CuSO_4$ und umgekehrt eine 0,001-molare $CuSO_4$-Lösung (d. i. ungefähr 0,03%) mit steigenden Mengen $Ca(OH)_2$ versetzt und die Blätter in den Gemischen in gewohnter Weise behandelt. Tabelle 7 gibt das Ergebnis dieses Versuches wieder.

Tab. 7. *Vitis*. Wirkung von wechselndem Cu : Ca-Verhältnis auf die Transpiration. (Werte in mg/g.h).

Gemisch	Transpiration	Gemisch	Transpiration
0,006 Mol CaO	162	0,001 Mol $CuSO_4$	129
0,0003 Mol $CuSO_4$	163	0,0006 Mol CaO	140
0,001 „ „	136*	0,002 „ „	144
0,003 „ „	122	0,006 „ „	135*
0,01 „ „	128	0,02 „ „	137
0,03 „ „	133	0,06 „ „	160
0,12 „ „	230	0,2 „ „	223
Verdunstung der Kontrollblätter	100	0,8 „ „	220

Die mit * bezeichneten Werte entsprechen bei einem Cu-Ca-Verhältnis 1 : 1 einer prozentualen Konzentration der Bordeauxbrühe von 0,03 % (vgl. Tab. 3).

In der $Ca(OH)_2$-Stammlösung (0,006 Mol) wird in diesem Versuche die Transpiration der Blätter gegenüber der Kontrolle um 47% erhöht (vgl. den übereinstimmenden Wert in Tabelle 6). Durch allmählichen Zusatz von $CuSO_4$-Lösung wird immer mehr $Ca(OH)_2$ in $Cu(OH)_2$ und $CaSO_4$ festgelegt (WÖBER), wodurch die Menge der wirksamen freien $Ca^{\cdot\cdot}$-Ionen abnehmen, die Transpiration entsprechend absinken muß. Bei einer Kupfermenge von 0,003 Mol wird das Transpirationsminimum

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

erreicht, nach weiterer Cu-Zugabe wirkt das Ion so, als ob es in reiner Lösung vorliegen würde und steigert die Wasserabgabe auf den 2,9-fachen Wert der Kontrolle; dies stimmt wiederum mit den Werten der Tabelle 4 (Transpiration in reinen $CuSO_4$-Lösungen), vor allem für die höchste Konzentration überein. Etwas weniger durchsichtig sind die Verhältnisse, wenn man von der Kupfersulfatlösung ausgeht und stufenweise die Kalklösung zusetzt. Dabei wird ja nicht nur die Ca-Ionen-Konzentration der Lösung erhöht, sondern gleichzeitig auch die Reaktion des Gemisches verändert; darauf beruht auch zweifellos der Anstieg der Transpiration bei der ersten Zugabe der CaO-Lösung. Die Erhöhung beträgt allerdings nur 11% gegenüber 40% in reiner CaO-Aufschwemmung gleicher Konzentration (Tabelle 6). Bei weiterer CaO-Zugabe tritt wieder ein Minimum auf, und zwar bei einem Verhältnis von 0,001 Mol $CuSO_4$: 0,006 Mol CaO; weiterer CaO-Zusatz führt wieder Transpirationssteigerung herbei. Das physiologisch ermittelte Minimum liegt in der ersterwähnten Versuchsreihe bei einem molaren Ca/Cu-Verhältnis von 0,005 : 0,003, also 1 : 1,7, in der zweiten Reihe bei einem Verhältnis von 0,001 : 0,006, also 1 : 6. Angesichts der ziemlich groben Konzentrationsstufen dürfen wir zwischen beiden Werten das Mittel nehmen und erhalten so ein molares Verhältnis von 1 : 3,8. Legen wir dem Reaktionsprodukt die Bruttoformel RECKENDORFERs: $Cu(OH)_2 + H_2O + CO_2 . 3\ Ca(OH)_2 . (x . H_2O)$ zugrunde, so ergibt sich unter Berücksichtigung der Fehlermöglichkeiten eine recht gute Übereinstimmung des lediglich auf Grund physiologischer Kriterien ermittelten Cu/Ca-Verhältnisses 1 : 3,8 mit der auf Grund stöchiometrischer Überlegungen zu erwartenden Relation 1 : 3.

Versuche mit Apfelblättern

Obstbäume gelten im allgemeinen gegenüber kupferhaltigen Spritzmitteln als wesentlich empfindlicher als andere Pflanzen (HÖFER). Diese Beobachtung konnten auch wir bei unseren Versuchen immer wieder bestätigen. Apfelblätter zeigten bereits in ganz schwachen (0,03%igen) Kupfer- bzw. Bordeauxlösungen braune Flecken, während solche an Weinblättern wenn überhaupt, dann erst in den höchsten Kupferkonzentrationen und auch dann nur in ganz geringem Umfange auftraten; meist machten alle Proben von *Vitis*-Blättern nach dem Versuch einen ungeschädigten Eindruck. Es war nun wichtig festzustellen, ob diese höhere Kupferempfindlichkeit der Apfelblätter auch im Transpirationsversuch wiederkehrt. Bereits der erste Vergleich der Transpirationswerte in steigenden Konzentrationen der Kupferkalkbrühe zeitigte ein überraschendes Resultat (Tab. 8).

Wir können aus dieser Zahlenreihe feststellen, daß die Transpirationswerte der Apfelblätter nicht nur unter denen der Weinblätter bleiben (z. B. in 0,3%iger Lösung: Apfel 129, Wein 138), sondern daß in höheren Konzentrationen die Transpirationswerte sogar abnehmen! Eine

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 8. *Malus*. Transpiration in Kupferkalkbrühe steigender Konzentration (Kontrolle = 100).

Konzentration	Transpiration	Zustand der Blätter
0,01 %	96	grün
0,03	109	vereinzelt braune Flecken
0,1	114	10 % der Blattfläche braun
0,3	129	ca 20 % braun
1,0	120	über die Hälfte braun
4,0	112	„ „ „ „

gleichartige Beobachtung können wir auch aus der Wirkung der getrennten Lösungen entnehmen (Tab. 9).

Die Wirkung des Kupfers erreicht schon bei ganz niedriger Konzentration ihr Maximum, nämlich in 0,001 Mol-Lösung mit 17% über der Transpiration der Wasserkontrolle also den gleichen Wert wie wir

Tab. 9. *Malus*. Wirkung von $CuSO_4$- bzw. $Ca(OH)_2$-Lösungen steigender Konzentration (Kontrolle = 100).

Konzentration (Mol)	Transpiration in $CuSO_4$	Zustand des Blattes	Transpiration in $Ca(OH)_2$	Zustand des Blattes
0,0003	96	grün	—	—
0,001	117	leicht fl.	171	grün
0,003	105	ca 20 % fl.	127	„
0,01	96	„ „ „	130	„
0,03	90	üb. d. Hälfte fl.	115	„
0,1	124	braun	85	„
0,4	—	—	98	gelbfleckig

ihn auch bei den Weinblättern in der selben Konzentration feststellen konnten. Dagegen sinkt bei den Apfelblättern bei weiterer Erhöhung der Kupferkonzentration die Transpiration trotz Fleckigwerden der Blätter deutlich ab (erst in der stärksten Konzentration tritt wieder eine Erhöhung auf). In der Kalklösung verhalten sich die Apfelbätter im wesentlichen ähnlich wie die Weinblätter, das Maximum der Transpiration tritt auch hier in der schwächsten Lösung auf, worauf die Transpiration mit steigender Konzentration der CaO-Aufschwemmung absinkt. Dieser Verlauf ist zweifellos auch hier pH-bedingt, wie das Verhalten der Pufferlösungen bestätigt (Tab. 10).

Das Transpirationsmaximum muß also wesentlich weiter im sauern Bereich liegen (wie es auch mit unseren früher gemachten Erfahrungen — HÄRTEL 1947 — übereinstimmt), mit steigendem pH sinkt die Transpiration auch hier ab.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 10. *Malus*. pH-Abhängigkeit der Transpiration.

pH	mg/g. h
6,0	226
8,5	170
9,5	150
ca 11	163

Aus den angeführten Versuchsreihen wird nun der Verlauf der Transpiration auch in den steigenden Konzentrationen der Kupferkalkbrühe (Tab. 8) ohneweiteres verständlich. Es tritt hier kein Antagonismus zwischen $Cu^{\cdot\cdot}$—, $Ca^{\cdot\cdot}$— und OH'-Ion auf wie bei den Weinblättern: nach dem offenbar durch das $Cu^{\cdot\cdot}$-Ion bestimmten Transpirationsmaximum muß in Übereinstimmung mit dem gleichartigen Transpirationsverlauf nach Behandlung mit den getrennten Lösungen in höheren Konzentrationen ein Abfall erfolgen.

Wiederholen wir mit Apfelblättern nun noch den Versuch, den Einfluß wechselnder Zusammensetzung der Kupferkalkbrühe auf die Transpiration zu prüfen, so erhalten wir folgende Werte:

Tab. 11. *Malus*. Transpiration nach Behandlung mit Kupferkalkbrühe wechselnder Zusammensetzung.

Lösung:	mg/g. h
0,005 Mol CaO	130
0,0003 Mol $CuSO_4$	144
0,001 „ „	109
0,003 „ „	117
0,01 „ „	129
0,03 „ „	170
0,1 „ „	181

Wir finden auch hier ein Minimum, und zwar bei einem molaren Cu : Ca-Verhältnis von 1 : 5 [1]); dies steht wieder in ungefährer Über-

[1]) Daß die Transpiration nach diesem Versuch nach Zugabe weiteren Kupfersulfats wieder ansteigt, während sie in reinen $CuSO_4$-Lösungen abnimmt, hängt mit der verschiedenen Reaktion der Lösung zusammen. Die dadurch mögliche Umstimmung der Reaktion tritt bei Apfelblättern wesentlich stärker in Erscheinung als bei Wein (vgl. auch die verschiedene pH-Abhängigkeit, Tabelle 5 und 10!). Eine eingehendere Analyse dieser Erscheinungen würde uns hier zu weit führen und ist für die in Aussicht genommene Veröffentlichung vorgesehen.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

einstimmung mit dem stöchiometrischen Verhältnis auf Grund der Bruttoformel des Reaktionsproduktes; es entspricht aber auch, drücken wir die Mengen in Prozenten aus (0,03% $CuSO_4$: 0,025% CaO) roh dem in der Praxis angewendeten Mischungsverhältnis 1 : 1!

In allen Versuchen hat sich nie ein Zusammenhang zwischen dem Transpirationsgang und dem Auftreten von braunen Flecken feststellen lassen; daraus dürfen wir aber auch den Schluß ziehen, daß unsere Transpirationsvorgänge nicht durch verschieden starke Schädigung der Blätter vorgetäuscht sein können; auf Grund unserer bisherigen Erfahrungen müssen wir eine kolloidaktive Wirkung der applizierten Ionen auf die äußeren Zellwände als transpirierende Organe annehmen. Versuche mit abgetöteten Blättern liefern hiefür auch den Beweis.

Versuche mit abgetöteten Blättern

Die Versuche wurden derart durchgeführt, daß zunächst die Blätter mit den Lösungen behandelt (es wurden 3%ige Kupferkalkbrühe und 3%iges Kupfersulfat verwendet) und ihre Transpirationsänderungen bestimmt wurden. Hierauf kamen sie in eine feuchte Kammer, die mit Ätherdampf gesättigt war, worin sie einige Stunden bis zur völligen Braunfärbung und Turgeszenzlosigkeit verblieben. Mikroskopische Beachtung bestätigte, daß alle Zellen abgestorben und nicht mehr plasmolysierbar waren. In diesem Zustand wurde nun wiederum das Verhältnis der Transpiration der mit den Lösungen behandelten und der unbehandelten toten Proben ermittelt.

Tab. 12. *Vitis*. Wirkung von Bordeauxbrühe und Kupfersulfat vor und nach dem Abtöten der Blätter. (Kontrolle = 100).

	lebend	nach dem Abtöten
Kontrolle	100	100
3%ige Bordeaux-Brühe	160	240
3%iges Kupfersulfat	220	256

Die Transpirationserhöhung durch die angewendeten Lösungen im lebenden Zustand stimmt auch in diesem Versuch recht gut mit den bereits früher ermittelten Werten (vgl. Tab. 3 u. 4) überein. Die Änderungen bleiben aber auch nach dem Abtöten der Blätter nicht nur erhalten, sondern sie nehmen sogar noch an Ausmaß zu! Dabei müssen wir noch die interessante Tatsache festhalten, daß die Transpiration der toten *Vitis*blätter ungefähr um die Hälfte niedriger war (auf die Fläche bezogen) als im lebenden Zustand. Wir können uns dies nur so erklären, daß durch den Äther wachsartige Stoffe der Außenwände gelöst wurden

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

und diese dann die feinsten Poren, durch die das Wasser nach außen tritt, verstopft haben.

Besonders interessant erscheint der Versuch, wenn wir Blätter bereits vor der Behandlung mit den Lösungen abtöten, sodaß jeder Einfluß der Salze resp. Ionen auf das lebende Plasma ausgeschaltet ist.

Tab. 13. Wirkung von Bordeauxbrühe und Kupfersulfat auf bereits abgetötete Blätter.

Vitis	mg/g. h	%	*Malus*	mg/g. h	%
Kontrolle	31	100		86	100
3% Bordeaux	50	161		89	104
3% $CuSO_4$	60	193		96	112

Die Transpirationsänderungen an toten *Vitis*blättern sind nahezu genau so groß, wie wenn die Lösungen auf das lebende Blatt eingewirkt hätten! Auch die wesentlich geringere Reaktionsbreite der Apfelblätter gegenüber Bordeauxlösungen und $CuSO_4$, die wir bereits an Hand der Tab. 8. u. 9 festgestellt haben, kehrt im abgetöteten Zustand wieder. Diese Ergebnisse bekräftigen uns in der Ansicht, daß wir die Ursachen der Transpirationsänderungen nicht in einer Beeinflussung des lebenden Plasmas zu suchen haben, sondern daß sie auf Membraneffekte, auf Veränderungen der submikroskopischen Struktur der Epidermisaußenwände resp. der Kutikula als hauptsächlichen Transpirationswiderstand zurückzuführen sind. Damit finden die einleitend erwähnten Versuche, die Wirkung der Spritzmittel auf Änderungen der Kutikulartranspiration zurückführen, eine Bestätigung. Durch unsere Feststellungen sind jedoch darüber hinaus noch eine Reihe weiterer Schwierigkeiten bzw. Widersprüche ohneweiters zu erklären. So brauchen wir keineswegs die Annahme zu machen, daß die Transpirationsänderungen durch geringste, nicht nachweisbare Kupferspuren in den Zellen verursacht seien (HÖFER); wir glauben gezeigt zu haben, daß Änderungen der kutikularen Wasserabgabe schon durch Berührung der Außenwände mit den Lösungen möglich sind; daß daneben eindringende Kupferionen andere Vorgänge in den Zellen auslösen, die bis zu deren Schädigung führen, wird dadurch natürlich keineswegs berührt, diese Vorgänge wirken sich aber auf die Transpiration nicht oder nur in untergeordnetem Maße aus. Und schließlich geben die hier vorgetragenen Ergebnisse auch die Möglichkeit, die vielen widersprechenden Befunde, die einmal eine Erhöhung, bei anderen Autoren dagegen eine Erniedrigung der Transpiration nach Behandlung mit kupferhaltigen Spritzmitteln ergaben, zu erklären. Die Art der Versuchsanstellung bzw. die Zeitdauer und die Außenbe-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

dingungen spielen eine große Rolle. Das Spritzmittel, das auf dem Blatt als Überzug von Kupferkarbonat und Kalziumkarbonat vorliegt (hervorgegangen aus den Hydroxyden durch Einwirkung der Luftkohlensäure), wird durch das CO_2-haltige Regenwasser allmählich in Lösung gebracht, worauf auch die nachhaltige fungizide Wirkung dieser Mittel beruht. Dabei ändert sich aber sowohl das pH der Blattoberfläche als auch das gegenseitige Verhältnis von Kupfer zu Kalzium, was nach unseren Erfahrungen zu Änderungen der Wasserabgabe führt. Diese Umwandlung der Kupferkalkschicht wird sich je nach Versuchsbedingungen verschieden rasch abspielen, und die Nichtbeachtung mancher Umstände (Versuchsdauer, Luftfeuchtigkeit usw.) kann leicht zu verschiedenartigen bis entgegengesetzten Resultaten führen.

Einen Hinweis darauf, daß der Spritzmittelbelag auf dem Blatt als „bibulous film" wirke (DUGGER & COOLEY) und die Transpiration erhöhe, konnten wir bei unseren Versuchen nicht entdecken. Zwar könnte der Transpirationsanstieg nach Zugabe überschüssigen CaO in Tab. 7 darauf hindeuten; eine Reihe anderer Tatsachen, so die Transpirationsabnahme der Apfelblätter in höheren Konzentrationen der Bordeauxbrühe und CaO-Aufschwemmungen (Tab. 5 u. 9) sind damit unvereinbar. Auch Dampfdruckverminderung an der Oberfläche der Blätter durch die Salze (durch die die Transpiration allerdings nur gesenkt werden könnte) kann keinesfalls als integrierender Faktor angesehen werden; dies beweist, um nur ein Beispiel herauszugreifen, die ansteigende Transpiration bei steigenden Kupferkonzentrationen in Tab. 4 u. 7. Dagegen lassen sich, wie gezeigt, die Änderungen der Transpiration durch kolloidaktive Ionenwirkungen auf die Blattepidermis resp. Kutikula befriedigend erklären.

Zusammenfassung

Es wird die Wirkung der Kupferkalkbrühe und ihrer Komponenten auf die kutikulare Transpiration von Wein- und Apfelblättern geprüft.

Die Kupferkalkbrühe wirkt, frisch auf die Blätter aufgebracht, im allgemeinen transpirationserhöhend, das Ausmaß der Erhöhung hängt jedoch stark von der Konzentration, der Zusammensetzung und der behandelten Pflanze ab. Apfelblätter reagieren hinsichtlich der Wasserabgabe trotz stärkerer Kupferempfindlichkeit (Braunwerden der Blätter schon in schwachen Kupferlösungen) schwächer als Weinblätter.

Von den Komponenten der Kupferkalkbrühe besitzt das $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion die stärkere Wirkung auf die Transpiration, das $Cu^{\cdot\cdot}$-Ion tritt an Bedeutung hinter dem $Ca^{\cdot\cdot}$ zurück. Neben dem $Ca^{\cdot\cdot}$ bestimmen auch die OH'-Ionen die Transpiration. Die Zusammenhänge werden an Hand einiger Versuchsreihen analysiert.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Bei einem molaren Verhältnis Cu : Ca von 1 : 3 bis 1 : 5 ist die Transpirationserhöhung minimal. Dies entspricht dem Cu : Ca-Verhältnis im Sediment der Kupferkalkbrühe, das zur Spritzung verwendet wird, entspricht aber auch in roher Annäherung dem Bereitungsrezept (1 Teil Kupfersulfat + 1 Teil gebrannter Kalk) in der Praxis.

Die Transpirationsänderungen treten in analoger Weise auch an toten Blättern auf. Sie müssen daher auf reversible Änderungen der submikroskopischen Struktur der Epidermisaußenwände (der Kutikula) zurückgeführt werden.

Schriftenverzeichnis

BAYER, L. (1902): Beitrag zur pflanzenphysiologischen Bedeutung des Kupfers in der Bordeauxbrühe. Diss. Königsberg (zit. n. SCHANDER).

COOK, S. F. (1926): The toxic action of copper on *Nitella*. J. gen. physiol. **9**, 735.

DUGGER, B. M. & COOLEY, J. S. (1914): The effect of surface films and dusts on the rate of transpiration. Ann. Missouri Bot. Gardens **1**, 1.

DUGGER, B. M. & BOMIS, W. W. (1918): The effect of Bordeaux mixture on the rate of transpiration. Ebenda **5**, 153.

HÄRTEL, O. (1947): Über die pflanzliche Kutikulartranspiration und ihre Beziehungen zur Membranquellbarkeit. Sitz. Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien, math. natw. Kl. Abt. I, **156**, 57.

HÖFER, H. (1939): Praxis und Theorie der Wirkung von Kupferspritzmitteln auf Pflanzen. Angew. Bot. **21**, 261.

KAUSCHE, K. K. & GILBERT, B. E. (1937): Increase of transpiration rates of tomato leaves due to copper sprays. Plant Physiology **12**, 853.

MENZEL, K. Chr. (1935): Untersuchungen der schädigenden Wirkungen kupferhaltiger Spritzmittel. Angew. Bot. **17**, 225.

PFLEIDERER, H. (1933): Kritische Untersuchungen zur Methodik der Transpirationbestimmung an abgeschnittenen Sprossen. Ztschr. f. Bot. **26**, 305.

RECKENDORFER, P. (1936): Über den Zerfall des Kupferkalkbrühe-Komplexes. Zeitschr. f. Pfl. Krankh. u. Pfl. Schutz. **46**, 418.

RUMM, C. (1893): Über die Wirkung der Kupferpräparate bei der Bekämpfung der sog. Blattfallkrankheit der Weinrebe. Ber. d. D. Bot. Ges. **11**, 79.

SCHANDER, R. (1904): Über die physiologische Wirkung der Kupferkalkbrühe. Landw. Jahrb. **33**, 517.

SHIRLEY, H. L. & MEULI, L. J. (1938): Influence of foliage sprays on drought resistence of conifers. Plant Physiology **13**, 399.

WILSON, J. D. & RUMMELS, H. A. (1933): Influence of spray materials on transpiration. Phytopathology **23**, 517. 537.

— — (1935): The influence of various copper-containing fungicides on the transpiration rate. Ohio Agr. Exp. Sta. Bimonth. Bull. **171**, 13 (zit. n. SHIRLEY & MEULI).

WÖBER, A. (1919): Über die chemische Zusammensetzung der Kupferkalkbrühe. Zeitschr. f. Pfl. Krankh. u. Pfl. Schutz **29**, 94.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1949

Band/Volume: 1_2-4

Autor(en)/Author(s): Härtel Otto

Artikel/Article: Über die Beeinflussung der Transpiration durch Kupferkalkbrühe. 244-257