Vitis **13**, 8—22 (1974)

Bundesforschungsanstalt für Rebenzüchtung Geilweilerhof

Künstliche Veränderung der meteorologischen Verhältnisse im Rebbestand und ihre Auswirkungen auf das Größenwachstum der Traubenbeeren[1])

von

M. Klenert

Experimental modification of the meteorological conditions within a grape canopy and their effects on berry growth

Summary. — In a 2-year field experiment microclimatic changes were induced by artificial shading and windbreak during the period between bloom and vintage. The effects of these treatments on the meteorological conditions in the vineyard and on the growth of the berries were investigated.

In spite of considerable diminution in the wind speed, the windbreak proved little effective: the temperature regime within the canopy was not measurably changed and effects on the berry growth could not be ascertained.

On the contrary, solar radiation (0.3—2.5 μm) and light intensity were reduced by shading to such an extent that the growth of the berries was considerably impaired. The solar radiation, measured on a clear summer day, was decreased from 410 cal · cm^{-2} to 160 cal · cm^{-2}, and for the 100-day period the shaded vines received just approximately 13 kcal · cm^{-2} against 29 kcal · cm^{-2} of the control. In consequence of the reduced insolation, the plant temperature, in particular, diminished, whereas the air-temperature within the canopy was just slightly lowered. The berry weight dropped off from the "normal" values so that a loss of yield, amounting to about 1/3, was caused by small berries.

Einleitung

Die Rebe ist eine licht- und wärmeliebende Pflanze, die optimale Wachstumsbedingungen im allgemeinen nur in den Gebieten zwischen dem 35. und 45. Breitenkreis findet (2). Wird der Weinbau auch in höheren Breiten betrieben, wie z. B. in Deutschland, so muß er dort auf das Gelände mit kleinklimatisch günstigen Bedingungen beschränkt bleiben, wenn Weine von hoher Qualität erzeugt werden sollen. Als bevorzugte Standorte oder Anbauflächen werden aus meteorologischer und rebphysiologischer Sicht mäßig geneigte Süd- bis Südwesthänge betrachtet (11, 22, 38). Denn diese erhalten in unseren Breiten während der Vegetationszeit maximale Sonnenenergie zugestrahlt; hier findet ein großer Wärmeumsatz am Boden statt, der die Ausbildung eines optimalen Bestandsklimas ermöglicht.

Anhand der Wärmehaushaltsgleichung (8) kann man sich den Einfluß von Strahlung und Wind auf die meteorologischen Bedingungen im Bestand gut vorstellen:

$$S + B + L + V = 0$$

S = Strahlungsbilanz (tagsüber positiv, nachts meist negativ),
B = Wärmestrom in tiefere Schichten,
L = Wärmeabgabe an die umgebende Luft (fühlbare Wärme),
V = Wärmeabgabe bzw. -aufnahme bei Verdunstung bzw. Kondensation (latente Wärme).

[1]) Erster, gekürzter Teil einer Dissertation des Fachbereichs Angewandte Biologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen, Oktober 1972.

Der Wärmeumsatz vollzieht sich an einer mathematischen, d. h. masselosen Fläche, die keine Wärme speichern kann, weshalb die Energie aus der Strahlungsbilanz auf die drei anderen Komponenten, B, L und V, völlig aufgeteilt werden muß. Die Glieder der Gleichung werden mit positiven Vorzeichen versehen, wenn der betreffende Wärmestrom auf die Fläche hin gerichtet ist; im umgekehrten Fall erhalten sie ein negatives Vorzeichen.

Die Strahlung ist die Hauptursache für das Entstehen mikroklimatischer Eigenheiten der untersten Luftschicht; sie ist als die eigentliche Energiequelle das wichtigste Glied der Wärmehaushaltsgleichung. Die Bedeutung des Windes für die mikrometeorologischen Standortsbedingungen und das Zustandekommen eines Bestandsklimas liegt in seinem Einfluß auf die Größe des sog. Austausches, den Transport der Wärme von der Oberfläche in die umgebende Luft. Die Windgeschwindigkeit ist im Pflanzenbestand stets kleiner als draußen; der Austausch und die Luftdurchmischung werden dadurch verringert, so daß sich hier die oberflächennahen Luftschichten im Falle positiver Strahlungsbilanz relativ stark erwärmen können.

Schließlich sei noch auf den Verdunstungsvorgang hingewiesen, der die Temperatur- und Feuchtebedingungen am Standort spürbar beeinflussen kann. Bei gleicher Einstrahlung erwärmen sich Boden, Pflanze und Luft im trockenen Bestand immer stärker als im feuchten; auch in (künstlich bewässerten) Rebanlagen konnte dies schon mehrfach nachgewiesen werden (4, 5, 33).

In einem Freilandexperiment im Rebbestand wurden nun künstlich zwei Hauptkomponenten der Gleichung, nämlich S und L, durch den Aufbau einer Schattierung und eines Windschutzes verändert. Im ersten Fall werden durch verkleinerte Strahlungsbilanz, geringere Energiezufuhr, weniger Licht und erniedrigte Temperaturen insgesamt verschlechterte Wachstumsbedingungen für die Rebe geschaffen. Umgekehrt kann von der austauschhemmenden Wirkung des Windschutzes durch tagsüber erhöhte Temperaturen ein positiver Effekt erwartet werden.

Der Einfluß der so veränderten bestandsmeteorologischen Verhältnisse auf die Rebe soll am Wachstum der Traubenbeeren und an der Qualität und Quantität des Lesegutes nachgewiesen werden. Im Rahmen dieser Veröffentlichung soll nur auf die Beeinflussung des Größenwachstums der Beeren eingegangen werden. Über den Einfluß auf Beerenreife, Zucker- und Säuregehalt der Beere sowie die Knospenfruchtbarkeit wird später berichtet werden.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Das Experiment wurde in den Sommer- und Herbstmonaten 1968 und 1969 durchgeführt und durch einige Nachuntersuchungen 1970 ergänzt. Die 10 × 35 m große Versuchsparzelle lag auf dem Gelände der Bundesforschungsanstalt für Rebenzüchtung Geilweilerhof an einem schwach geneigten Südhang. Sie bestand aus 30 Nord-Süd verlaufenden Zeilen zu je 8—10 Rebstöcken bei einem Zeilenabstand von 1,25 m. Die Reben waren etwa 35 Jahre alt, eine Kreuzung Riesling × Traminer (Zuchtnummer: Gf I-22-29); am Drahtrahmen erzogen, waren die 2 Bogreben auf je 10 Augen angeschnitten (außer 1970). Die Stämmchenhöhe betrug etwa 75 cm, der Stockabstand 1,20 m.

Das Schattierungsgewebe („Schattan") überspannte 2,50 m üb. Gr. (etwa 0,50 m über dem Bestand) eine Fläche von 10 m × 10 m. Es hält etwa 60% der Strahlung zurück, ohne die Durchlüftung des Bestandes zu beeinträchtigen. Außer bei stürmischem Wetter oder starkem Regen war die Schattierung immer, tagsüber und

nachts, aufgespannt. Als Windschutz wurde um eine andere 10 m × 10 m große Fläche eine 2,50 m hohe durchscheinende Wellbahn („Owellan") aufgebaut, die 100%ig windundurchlässig ist. Der Versuch begann jeweils nach der Rebblüte, wenn die Beeren angesetzt hatten und endete im späten Herbst. So ergab sich eine Dauer der Windschutz- und Schattierungsmaßnahmen vom 10. 7. bis 24. 10. 1968 und vom 14. 7. bis 22. 10. 1969.

Der schattierte („Sch") wie der windgeschützte Teil („W") der Parzelle bestanden jeweils aus etwa 40 Reben, ausschließlich der Randstöcke im Westen, Süden und Osten. Als Kontrolle („normal") verblieben etwa 80 Reben (ausschließlich der Randstöcke). Laubarbeiten, Bodenbearbeitung, Düngung und Spritzungen wurden in der gesamten Parzelle einheitlich durchgeführt.

Meteorologische Messungen

1968 und 1969 wurden während der Versuchsdauer in „Sch", „W" und „normal" folgende Größen erfaßt:

Lufttemperatur und -feuchte 120 cm üb. Gr. in der Zeile (Temperatur--Feuchte-Geber Lambrecht; Registrierung),
Erdbodentemperatur in 10 cm Tiefe in der Zeile (Hg-Glas-Thermometer; 2—3 mal täglich abgelesen),
Bodenfeuchtigkeit bis 50 cm Tiefe (gravimetrisch; sporadisch, nur 1969),
Windgeschwindigkeit 160 cm üb. Gr. an der Obergrenze des Bestandes (Windwegmesser; 2—3 mal täglich abgelesen).

An der Bestandsobergrenze in „Sch" und „normal":
Globalstrahlung (Solarimeter Kipp & Zonen, $\lambda = 0{,}3$—$2{,}5\ \mu$m, Registrierung).

Etwa 150 m nordwestlich der Versuchsparzelle steht auf einem kleinen Rasenplatz mitten im Rebgelände die Klimastation, wo neben den üblichen meteorologischen Größen auch der Wind 4,70 m üb. Gr. gemessen wird (mechanischer Windschreiber nach WOELFLE).

Untersuchung der Traubenbeeren

Aus den 3 Testparzellen „Sch", „W" und „normal" wurden
vom 8. 8. bis 24. 10. 1968 acht
und vom 29. 7. bis 22. 10. 1969 zehn Beerenproben in 5—14tägigem Abstand genommen (1970: fünf Probenahmen zwischen 5. 8. und 22. 10). Die Proben bestanden jeweils aus 10—15 gesunden Trauben, das sind 600—1000 Beeren, aus denen das mittlere Einzelbeerengewicht ermittelt wurde. Infolge eines Versehens konnte 1968 in „Sch" die letzte Probe am 24. 10. nicht mehr geerntet werden, so daß diese Meßreihe 14 Tage kürzer ist als die in „W" und „normal".

In die Berechnung des Traubenertrages pro Stock am Ende jeder Versuchsperiode gehen sowohl die faulen Traubenbeeren als auch die im Verlaufe des Sommers und Herbstes geernteten mit ein. Da die Reben in jedem Jahr in der ganzen Versuchsparzelle gleichmäßig lang angeschnitten waren, ist ein direkter Vergleich der Stockerträge in „Sch", „W" und „normal" möglich.

Ergebnisse

Die Witterung während der Versuchszeit

In den beiden Versuchsjahren gestaltete sich die Hochsommerwitterung sehr gegensätzlich: von Mitte Juli bis Mitte August herrschte 1968 fast ohne Unterbrechung kühles, niederschlagsreiches Wetter, während 1969 dieser Zeitraum über-

Tabelle 1

Witterung während der Versuchsperioden 1968 und 1969. Globalstrahlung an der Bestandsobergrenze
Meteorological conditions during the experimental periods 1968 and 1969. Solar radiation 0,3—2,5 μm at the top of the canopy

	1. Zeitraum (51 bzw. 50 Tage): Beerenansetzen bis Beginn Beerenreife		2. Zeitraum (56 bzw. 51 Tage): Beginn Beerenreife bis Lese	
	10. 7. — 29. 8. 1968	14. 7. — 1. 9. 1969	30. 8. — 24. 10. 1968	2. 9. — 22. 10. 1969
Temperatur 2 m üb. Gr. (°C)	16,6	18,9	12,8	11,9
Σ Niederschlag (mm)	245	98	222	48
Σ Sonnenschein (h)	273	363	186	238
Σ Globalstrahlung (kcal · cm^{-2})				
Kontrollbestand	17,4	18,1	11,9	11,3
Schattierter Bestand	8,9	7,9	6,1	4,2
Anzahl der Strahlungstage	8	15	9	17
Anzahl der trüben Tage	18	10	24	9
Anzahl der Tage mit Niederschl.				
$\geqslant$ 0,1 mm	28	22	35	27
$\geqslant$ 1,0 mm	24	16	21	7
$\geqslant$ 10,0 mm	7	3	8	2

durchschnittlich warm, sonnig und trocken ausfiel. Deshalb konnte sich die Schattierung im 2. Versuchsjahr stärker auswirken als im ersten, zumal sie jetzt, außer an 2 Tagen, immer in Betrieb war, während sie 1968 wegen häufiger Starkregen an insgesamt 24 Tagen eingerollt werden mußte. In den jeweils ersten 4 Wochen der beiden Versuchsperioden erhielt der schattierte Bestand 1968 im Tagesdurchschnitt 185 cal · cm^{-2} zugestrahlt, 1969 175 cal · cm^{-2}; die Kontrolle erhielt 345 bzw. 445 cal · cm^{-2} (Abb. 1 und 2), woraus sich ergibt, daß die schattierten Reben in diesem Zeitraum hinsichtlich des Strahlungsgenusses 1968 um 46%, 1969 aber um 61% gegenüber der Kontrolle benachteiligt waren.

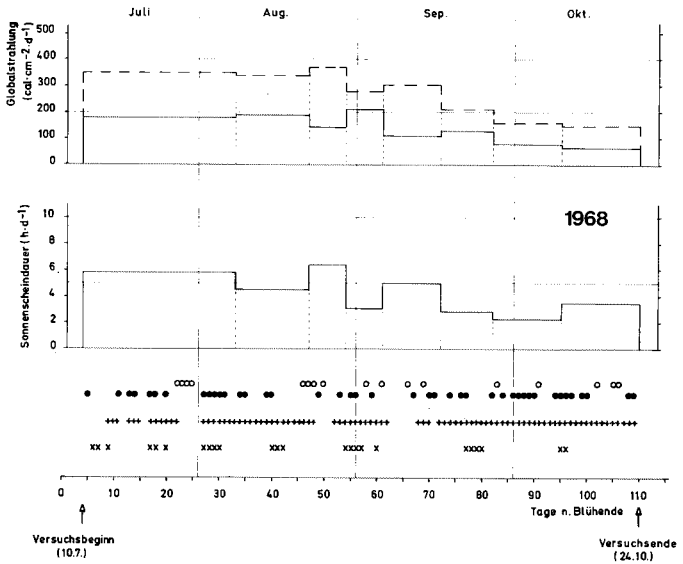
Beim Vergleich der Witterung während der phänologischen Phase vom Ansetzen der Beeren bis zum Weichwerden (Tabelle 1) erkennt man den Jahrgangsunterschied nicht nur in den Temperatur-, Niederschlags- und Sonnenscheinwerten, sondern sehr anschaulich auch in der Anzahl sonniger bzw. trüber Tage und der Anzahl der Regentage. Niederschlagssumme und -häufigkeit lagen 1968 weit über, 1969 unter dem langjährigen Durchschnitt; bei den Strahlungs- und Temperaturbedingungen verhielt es sich umgekehrt.

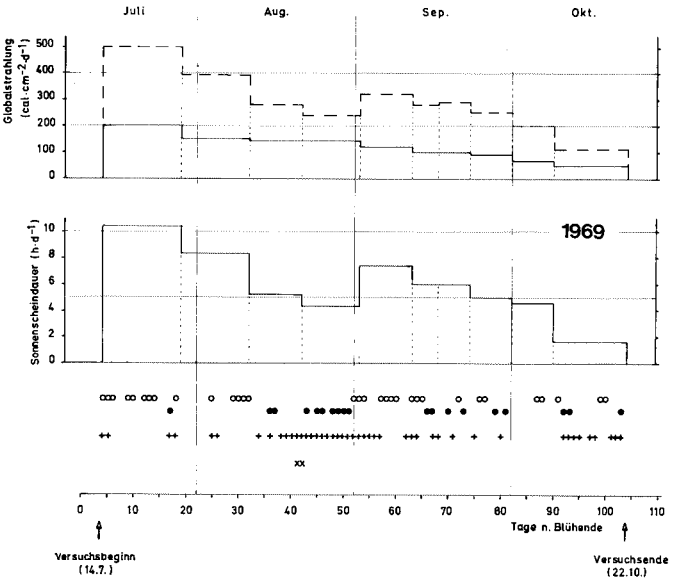
Im weiteren Verlauf des Sommers und Herbstes blieb 1968 die Tendenz zu feuchtem und strahlungsarmem Wetter erhalten, doch war der Gegensatz zur Witterung des Folgejahres nicht so groß wie in den vorangegangenen Wochen.

Neben den relativ niedrigen Tagestemperaturen und dem Sonnenscheinmangel wirkte sich der infolge häufiger Niederschläge nahezu beständig nasse Boden 1968 zusätzlich nachteilig auf das Bestandsklima und das Pflanzenwachstum aus.

Die meteorologischen Verhältnisse im Rebbestand (Tabelle 2)

Im Vergleich zur Meßstelle an der Klimastation (2 m üb. Gr.) werden im Bestand (1,20 m üb. Gr.) größere Tagesschwankungen der Lufttemperatur


Juli
Aug.
Sep.
Okt.
Globalstrahlung (cal·cm⁻²·d⁻¹)
Sonnenscheindauer (h·d⁻¹)
1968
Tage n. Blühende
Versuchsbeginn (10.7.)
Versuchsende (24.10.)


Juli
Aug.
Sep.
Okt.
Globalstrahlung (cal·cm⁻²·d⁻¹)
Sonnenscheindauer (h·d⁻¹)
1969
Tage n. Blühende
Versuchsbeginn (14.7.)
Versuchsende (22.10.)

beobachtet, die sowohl durch höhere Maxima als auch durch niedrigere Minima zustandekommen. Im Falle ungehinderter Ein- und Ausstrahlung beträgt im Mittel die Amplitude 16,0 gegenüber 12,4 °C; dabei besteht eine Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung in der Art, daß der Unterschied der Maxima zwischen Bestand und Hütte mit abnehmendem Wind zunimmt (im Einzelfall bis 5 °C bei Windstille im Bestand) und daß umgekehrt bei starkem Wind, der in Zeilenrichtung weht, zwischen Hütte und Bestand trotz hoher Strahlungsbilanz praktisch keine Temperaturdifferenzen mehr meßbar sind. Das Mittel der Lufttemperatur von 6 bis 18 Uhr liegt im Bestand durchschnittlich 2,5 °C höher als in der Klimahütte. An trüben Tagen mit weniger als 1 Stunde Sonnenschein sind die Unterschiede sehr gering.

Die Windschutzmaßnahme scheint die Temperaturverhältnisse im Bestand selbst an Strahlungstagen nicht zu beeinflussen. Weder Luft- noch Bodentemperatur sind gegenüber der Normalparzelle erhöht, obwohl der Wind an der Obergrenze des Bestandes auf etwa die Hälfte reduziert ist. Dagegen zeigt die Schattierung starke Wirkung: an strahlungsreichen Tagen mit etwa 10 Stunden Sonnenschein wird die zwischen 6 und 18 Uhr ankommende Globalstrahlung von 410 cal · cm^{-2} auf 160 cal · cm^{-2} verringert. Das ist ein Wert, der mit den natürlichen Verhältnissen an trüben Tagen durchaus vergleichbar ist. Als Folge der so stark reduzierten Strahlungsbilanz bleiben tagsüber Luft- und Bodentemperaturen merklich unter den Kontrollwerten, während sich in klaren Nächten die durch das Schattierungsgewebe behinderte langwellige Ausstrahlung in leicht angehobenen Temperaturminima bemerkbar macht. Die Gegenüberstellung des Tagesgangs von Globalstrahlung und Lufttemperatur in den drei Testparzellen (Abb. 3) zeigt anschaulich den Effekt der Schattierung und die offenbar geringe Wirkung des Windschutzes auf das Bestandsklima an einem Strahlungstag. Bei trübem, strahlungsarmem Wetter schwinden die Unterschiede; die strahlungsmindernde Wirkung der Schattierung geht von 61% am sonnigen auf 28% am trüben Tag zurück. Tritt noch starke Luftbewegung hinzu, so werden die Temperaturverhältnisse im Bestand gänzlich nivelliert.

In Analogie zur Änderung der Temperaturbedingungen im Bestand wurden die Luftfeuchte und Bodenfeuchtigkeit durch Schattierung und Windschutz beeinflußt. Der schattierte, kühle Bestand weist tagsüber regelmäßig höhere Luftfeuchte auf, während hinter dem Windschutz etwa dieselben Feuchteverhältnisse wie im Normalbestand angetroffen werden. Dasselbe gilt für die Bodenfeuchte: Zwischen „W" und „normal" ist kein Unterschied meßbar, und das oberflächliche Abtrocknen des Bodens und das Verschwinden von Pfützen nach stärkeren Niederschlägen erfolgt hier wie dort gleich rasch. In „Sch" dagegen bleibt der Boden

Abb. 1 (oben) und 2 (unten): Die Strahlungsverhältnisse an der Bestandsobergrenze und der Bodenzustand im Rebbestand während der Versuchsperioden 1968 und 1969. Globalstrahlung und Sonnenschein: Mittelwerte zwischen je 2 Probenahmen.
——— Schattierter Bestand, — — — Kontrollbestand, o Strahlungstage, • trübe Tage, + Tage mit sehr feuchter oder nasser Bodenoberfläche im Kontrollbestand, × Tage ohne Schattierung.

Fig. 1 (above) and 2 (below): Rates of solar radiation at the top of the canopy and humidity of the ground during the experimental periods 1968 and 1969. Solar radiation (0,3—2,5 μm) and duration of sunshine. Means are calculated for the space between every two samplings.
——— Shaded canopy, — — — control canopy, o clear days, • overcast days, + very humid or wet soil surface within the control canopy, × no shading.

Tabelle 2

Die meteorologischen Verhältnisse an einem strahlungsreichen und einem trüben Tag
(Mittel aus 24 Tagen, August—September 1968 und 1969)
The meteorological conditions on a clear day and on an overcast day
(means of 24 days, August—September 1968 and 1969)

Tägl. Sonnenschein h	Meßort	$\sum$ Strahlg. 6—18 h cal · cm^{-2}	Wind[2]) 6—18 h m · sec^{-1}	Lufttemperatur[3]) Max. °C	Min. °C	Amplit. °C	Mittel 6—18 h °C	Mittel 18—6 h °C	Erdbodentemperatur in 10 cm Tiefe 8 h °C	14 h °C	18 h °C
9,9	Klimahütte		3,4[4])	23,5[5])	11,1[5])	12,4[5])	19,6[5])	15,2[5])	—	—	—
	Sch[1])	160	0,9	24,4	10,8	13,6	21,0	15,4	14,3	15,9	16,3
	W	410	0,4	26,0	10,1	15,9	22,0	14,9	14,3	17,4	17,7
	normal	410	1,0	26,3	10,3	16,0	22,1	15,0	14,4	17,8	18,2
0,7	Klimahütte		3,0[4])	18,3[5])	13,1[5])	5,2[5])	15,9[5])	14,8[5])	—	—	—
	Sch	130	0,9	17,9	13,0	4,9	16,0	14,4	14,6	15,0	15,3
	W	180	0,5	19,2	12,9	6,3	16,7	14,4	14,7	15,9	15,9
	normal	180	1,0	19,2	13,0	6,2	16,6	14,4	14,9	16,1	16,6

[1]) Sch = schattierter, W = windgeschützter, normal = Kontrollbestand.
[2]) 1,6 m üb. Gr., soweit nicht anders vermerkt.
[3]) 1,2 m üb. Gr., soweit nicht anders vermerkt.
[4]) 4,7 m üb. Gr.
[5]) 2,0 m üb. Gr.

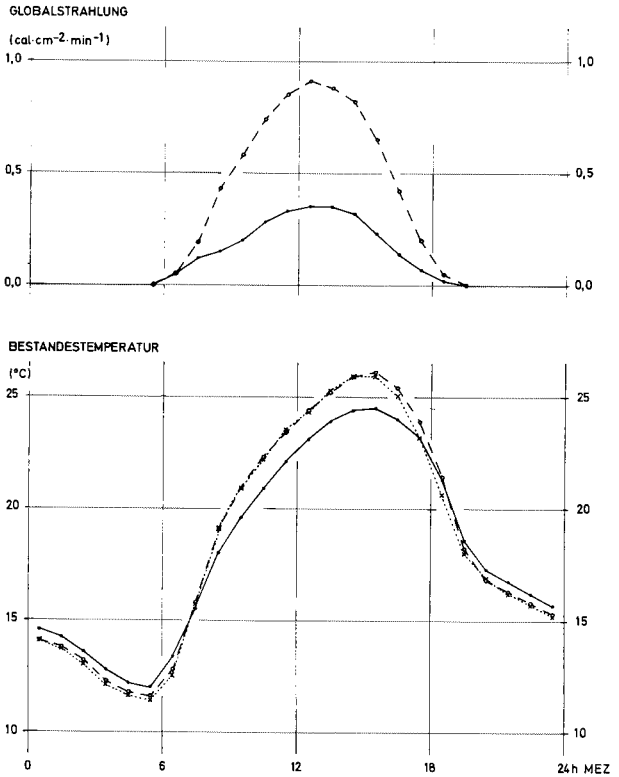


Abb. 3: Der Tagesgang von Strahlung (an der Bestandsobergrenze) und Temperatur (1,2 m üb. Gr.) an einem strahlungsreichen Tag (Mittelwerte aus 10 Tagen, August — September 1969).
●——● Schattierter Bestand, ×.....× windgeschützter Bestand, o— — —o Kontrollbestand.
Diurnal pattern of solar radiation (at the top of the canopy) and of temperature (1,2 m above ground within the canopy) during a clear day (means of 10 days, August — September 1969).
●——● Shaded canopy, ×.....× canopy protected against the wind, o— — —o control canopy.

viel länger feucht; das hatte zur Folge, daß er im ersten Versuchsjahr wegen der häufigen Regenfälle oberflächlich überhaupt nicht abtrocknete.

Es gelang also mit Hilfe der Schattierung recht gut, strahlungsarme Witterung nachzuahmen. Denn der Primäreffekt der verringerten Strahlungsbilanz schuf die für trübe Sommerwitterung in unserem Raum typischen Verhältnisse: niedrige Boden- und Lufttemperaturen mit kleiner Tagesamplitude, hohe Boden- und Luftfeuchtigkeit mit geringer Verdunstungsrate, geringer vertikaler Luftaustausch usw.

Die „unnatürliche", extreme Wirkung der Maßnahme bestand lediglich in ihrer Andauer über Monate hinweg. Auf der anderen Seite blieb der Aufbau des Windschutzes offensichtlich ohne die erhoffte positive Auswirkung auf das Bestandsklima.

Einzelbeerengewicht und Mengenertrag

Die Gewichtszunahme der Beeren vom Ansetzen bis zur Reife folgt einem 3teiligen Verlauf der Wachstumskurve (9, 10, 27, 28, 39, 40). In beiden Versuchsjahren und in allen drei Testparzellen erkennt man mehr oder weniger deutlich die zunächst rasche Gewichtszunahme (Phase II), dann ein verhaltenes Größenwachstum während der Umstellungs- oder lag-Phase (Phase III) und schließlich wieder eine beschleunigte Gewichtszunahme (Phase IV), die allmählich abklingt (Abb. 4). Die unmittelbar an die Befruchtung anschließende Wachstumsphase I (Phase 0 nach NITSCH *et al.* (28)), die durch etwa gleichbleibendes Beerengewicht gekennzeichnet ist, wurde in unseren Untersuchungen nicht erfaßt, weil sie zum Zeitpunkt der ersten Probenahme bereits beendet war.

Zwischen „Sch" einerseits und „W" und „normal" andererseits bestehen in beiden Jahren quantitative Unterschiede. Bereits bei der ersten Probenahme ist ein verzögertes Wachstum im schattierten Bestand angedeutet, das in den folgenden Wochen immer klarer hervortritt, während sich zwischen „W" und „normal" keine sicheren Unterschiede herausbilden. Das durchschnittliche Einzelbeerengewicht liegt zwischen etwa dem 60. und 100. Tag nach Blühende im schattierten Bestand rund 30% niedriger als im Normalbestand. Jahrgangsunterschiede sind in zweierlei Hinsicht erkennbar: 1. erhöht sich das Einzelbeerengewicht im Normalbestand vom 30. zum 100. Tag nach Blühende 1968 von 0,8 auf 1,9 g, 1969 aber auf 2,2 g, die Beeren wuchsen 1969 also allgemein größer als 1968; 2. fällt der Gewichtsunterschied zwischen Beeren aus „normal" und „Sch" 1969 größer aus als 1968.

Um diese Meßergebnisse richtig zu interpretieren, darf eine andere bedeutsame Wirkung der Bestandsklimaänderung, insbesondere der Schattierung, nicht unberücksichtigt bleiben. Wie in einer späteren Mitteilung ausführlich dargestellt werden wird, verursacht die Schattierung nämlich eine deutliche Reduktion der Fruchtbarkeit der Winterknospen, was geringere Trauben- und Beerenzahl pro Trieb, d. h. schwächeren Behang im nächsten Jahr zur Folge hat. Konnte man 1968, bei Versuchsbeginn, noch davon ausgehen, daß der gleich lange Anschnitt aller Reben eine Gewähr für eine im Mittel gleiche Anzahl Trauben und Beeren pro Pflanze in den drei Testparzellen bot, so war dies 1969 nicht mehr der Fall. Denn trotz gleicher Augenzahl pro Stock lag jetzt die Trauben- und Beerenzahl bei den schattierten Reben um etwa 1 Drittel niedriger als bei den anderen (Tabelle 3). Der Stockbehang beeinflußt aber das Größenwachstum der Einzelbeere, wie das die ergänzenden Untersuchungen 1970 beweisen. In jenem Jahr waren ja Schattierung und Windschutz nicht mehr aufgebaut, und die nun zwischen den drei Parzellen auftretenden Unterschiede im Beerenwachstum werden in erster Linie auf den unterschiedlichen Stockbehang zurückzuführen sein: „Sch" 1850, „W" 4360, „normal" 3860 Beeren pro Stock (Tabelle 3). In den Lesedaten (Tabelle 4) treten sie deutlich hervor: 1970 liegt das Einzelbeerengewicht der im Vorjahr schattierten Reben um 23% über der Kontrolle — bei 52% schwächerem Behang.

Aufgrund dieses Befundes darf man annehmen, daß im Jahr 1969 der Unterschied im Einzelbeerengewicht zwischen „normal" und „Sch" größer ausgefallen wäre, wenn der Behang bei beiden Gruppen gleich stark gewesen wäre.

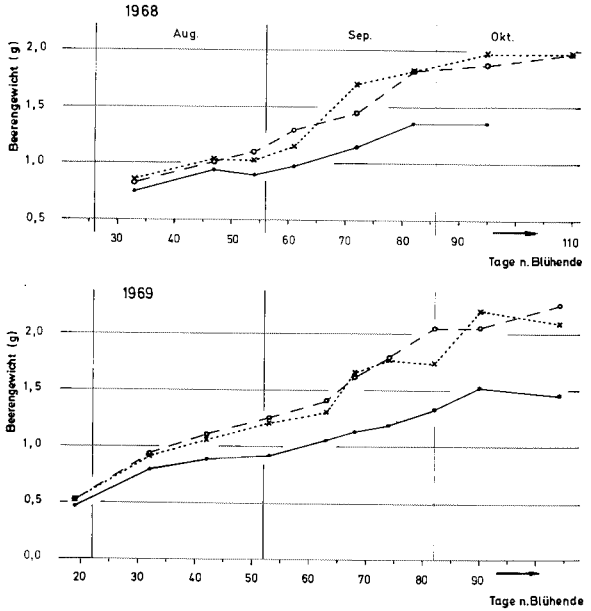


Abb. 4: Das Einzelbeerengewicht.
●——● Schattierter Bestand, ×.....× windgeschützter Bestand, o— — —o Kontrollbestand.
Weight per berry.
●——● Shaded canopy, ×.....× canopy protected against the wind, o— — —o control canopy.

Der Mengenertrag spiegelt den Einfluß des künstlich veränderten Bestandsklimas in derselben Weise wider wie das Einzelbeerengewicht. 1968 kommt der geringe Traubenertrag in der schattierten Parzelle (Tabelle 4) nahezu allein durch das niedrige Einzelbeerengewicht zustande: anstatt 173 kg/ar konnten nur 120 geerntet werden. Im zweiten Versuchsjahr wirkt zusätzlich die vorjährige Schattierung stark nach und drückt den Ertrag noch weiter: Trotz etwas höherem Einzelbeerengewicht liegt er nur noch bei 60 kg/ar (Kontrolle wieder 173 kg/ar) bei einem Stockertrag von 0,9 kg gegenüber 2,6 kg in „normal". Ein Effekt der Windschutzmaßnahme war in beiden Jahren nicht nachweisbar.

Diskussion

Die angewandten Methoden zur künstlichen Variation der Strahlungsbilanz S und des horizontalen Luftaustausches L waren von sehr ungleicher Effizienz. Es war zwar bei der Erörterung der Wärmehaushaltsgleichung darauf hingewiesen worden, daß S energetisch viel wirksamer ist als L, aber es war doch nicht erwartet worden, daß der Windschutz ganz ohne meßbaren Einfluß auf die Temperaturverhältnisse im Bestand und das Traubenbeerenwachstum bleiben würde. Möglicherweise wäre derselbe Versuch unter anderen methodischen Voraussetzungen (Weitraumanlage, durchlässiges Windschutzmaterial) erfolgreicher verlaufen.

Tabelle 3

Einfluß von Schattierung und Windschutz auf den Stockbehang
Effects of shading and windbreak on the number of berries per vine

Jahr	Standort	Traubenzahl /Stock	×	Beeren/Traube (Traubengröße)	=	Beerenzahl /Stock
1969	Sch[1])	18 ± 1		61 ± 2		1098 ± 76
	W	27 ± 1		68 ± 3		1836 ± 176
	normal	26 ± 1		69 ± 2		1794 ± 75
1970	Sch	26 ± 2		71 ± 3		1847 ± 141
	W	42 ± 2		104 ± 5		4358 ± 313
	normal	39 ± 2		99 ± 5		3861 ± 300

[1]) Sch = schatterter, W = windgeschützter, normal = Kontrollbestand.

Tabelle 4

Ertrag und Beerengewicht zur Zeit der Traubenernte (Mitte Oktober)
Yield and berry weight at the time of vintage (middle of October)

Jahr	Versuchsparzelle	Ertrag kg/Stock	Ertrag kg/ar	Einzelbeeren-gewicht g
1968	Sch[1])	1,8	120	1,4
	W	2,6	173	1,9
	normal	2,6	173	1,9
1969	Sch	0,9	60	1,5
	W	2,5	167	2,2
	normal	2,6	173	2,2
1970[2])	Sch	1,8	120	1,6
	W	3,0	200	1,3
	normal	3,2	213	1,3

[1]) Sch = schattierter, W = windgeschützter, normal = Kontrollbestand.
[2]) 1970: Schattierung und Windschutz nicht aufgebaut.

Mit der aufgebauten Schattierung hingegen wurden die bestandsmeteorologischen Bedingungen drastisch geändert. Die an der Obergrenze des schattierten Bestandes gemessenen Strahlungssummen während der beiden je etwa 15 Wochen langen Versuchsperioden lagen mit 12—15 kcal · cm^{-2} weit unter den in unserem Raum natürlich vorkommenden Werten. In Trier schwankten sie z. B. in den Jahren 1964—71 zwischen 34 und 43 kcal · cm^{-2} (1), wobei in diesem Zeitraum sehr extreme Jahre enthalten sind.

Andererseits waren aber derart unnatürlich lang dauernde strahlungsarme Verhältnisse beabsichtigt, damit die Wirkung der Globalstrahlung auf Qualitäts- und Ertragsbildung der Rebe deutlich aufgezeigt werden konnte. Hinsichtlich des Wärmeumsatzes an der Oberfläche verhalten sich (noch unveröffentlichte Berechnungen des Deutschen Wetterdienstes) die Tagessummen der Globalstrahlung an einem sonnnigen Augusttag im normalen und schattierten Bestand wie die an einem Südhang von 20° Neigung und einem 40°-Nordhang: 420 cal · cm^{-2} · d^{-1} im Normalbestand oder Südhang stehen 150 cal · cm^{-2} · d^{-1} unter der Schattierung oder am

Nordhang gegenüber. Hinsichtlich der pflanzenphysiologisch sehr wesentlichen Lichtverhältnisse bestehen aber natürlich zwischen schattiertem Bestand und Nordhang große Unterschiede.

Verglichen mit der drastischen Reduktion der Strahlungsbilanz bleibt der Rückgang der Lufttemperatur im Bestand gering und ist gegenüber den natürlich vorkommenden Witterungsschwankungen praktisch vernachlässigbar. Dagegen ist die Veränderung der Oberflächentemperatur von Boden und Pflanze bedeutungsvoll: Die Blätter an der Bestandsobergrenze können 5—10 °C kühler sein als die des sonnenbeschienenen Bestands (24, 34 und eigene sporadische Messungen mit Thermofühlern)!

Das Zusammenwirken von verkleinerter Strahlungsbilanz, verringertem Lichtangebot und relativ niedriger Pflanzentemperatur wird zu einer insgesamt schwächeren Photosyntheseleistung der Reben geführt haben. Aus den Messungen der Globalstrahlung kann zwar nicht eindeutig auf die Helligkeit geschlossen werden, weil der Energieanteil des sichtbaren Lichts an der Globalstrahlung mit dem Trübungsgrad der Luft, den Bewölkungsverhältnissen usw. sehr stark um einen Mittelwert von etwa 52% schwankt (26, 29, 30, 35), aber als Basis für die weiteren Überlegungen darf man annehmen, daß die Schattierung das Licht von 100 auf etwa 25—30 kLux schwächt; dieser Wert ergibt sich aus eigenen sporadischen Helligkeitsmessungen und anderen Schattierungsexperimenten (34).

Die Abhängigkeit der Photosynthese von der Helligkeit ist wohl im Prinzip erwiesen (23), aber die Meinungen über die optimalen Lichtansprüche gerade der Rebe gehen weit auseinander. Die von Bosian (3) genannten 60 kLux für eine maximale Assimilationsleitung werden allgemein als zu hoch angesehen und Werte zwischen 20 und 30 kLux bei etwa 25 °C als ausreichend erachtet (12, 21, 32). Dabei bleibt aber zu bedenken, daß die Messungen nur für einzelne Blätter oder Topfpflanzen vorliegen, so daß im Bestand, wo ein großer Teil der Assimilationsfläche stets (natürlich) beschattet wird, doch relativ große Helligkeit die Voraussetzung für maximale Photosyntheseleistung der Pflanze sein wird. Tatsache ist, daß nach Norden orientierte oder beschattete Blätter der Rebe schwächer assimilieren als gut belichtete (6, 31). Tatsache ist auch, daß die Ertragsleistung der schattierten Pflanzen in unserem zweijährigen Versuch erheblich gemindert war, also die Wachstumsbedingungen unter dem Optimum lagen, ja daß selbst im strahlungsreichen Kalifornien unter einer Schattierung, die die mittägliche Beleuchtungsstärke von 120 kLux auf etwa 40 kLux herabsetzte, Beerenwachstum und -reife verzögert wurden (17, 34). Hier wie dort reichten die Umweltbedingungen im schattierten Bestand für maximale (Assimilations-)Leistung der Rebe nicht aus.

Ungünstige Umweltbedingungen hemmen das Beerenwachstum von Anfang an; denn bereits 2—3 Wochen nach Versuchsbeginn bestehen zwischen „Sch" und „normal" signifikante Unterschiede im Einzelbeerengewicht. Dies kann in gutem Zusammenhang mit der Erfahrung und Meinung anderer Autoren (15, 17, 18, 20, 37) gesehen werden, wonach das Größenwachstum der Beeren während der ersten beiden Wachstumsphasen besonders sensibel ist: Ungewöhnlich rasche oder stark gehemmte Volumen- bzw. Gewichtszunahme in dieser Zeit wirkt noch bis zur Ernte nach. Kliewer (15) führt diese Erscheinung auf die Tatsache zurück, daß nur in den ersten Wochen des Beerenwachstums Zellteilungen stattfinden und die jetzt fixierte Anzahl Zellen pro Beere die erreichbare Endgröße der Beere sehr maßgebend mitbestimmt. Auch der gesicherte Jahrgangsunterschied 1968/69 im Endgewicht der Kontrollbeeren zwischen 2,2 und 1,9 g (Tabelle 4) wäre demnach hauptsächlich auf die sehr unterschiedliche Witterung während jeweils der ersten Wochen

nach der Blüte zurückzuführen und nicht auf die unterschiedlichen Bedingungen während der beiden Versuchsperioden als ganzes. In der Tat unterschieden sich die beiden Perioden während der ersten 5—6 Wochen besonders stark voneinander (Klimastation 1968: 173 h Sonnenschein, Mitteltemperatur 16,6 °C; 1969: 299 h und 20,5 °C), während in den nachfolgenden 9—10 Wochen vergleichbare Strahlungs- und Temperaturverhältnisse herrschten (1968: 279 h und 14,4 °C; 1969 303 h und 12,8 °C).

Die Ertragseinbuße um 1 Drittel als Folge der unter strahlungsarmen Bedingungen klein gebliebenen Beeren steht im Einklang mit Ergebnissen aus ähnlichen Experimenten (16, 17, 25) und mit dem gefundenen Jahrgangsunterschied 1968/69 im Einzelbeerengewicht. Letzteres harmoniert zwar nicht mit EICHHORNS Untersuchungen (7) aus den beiden selben Jahren und nur etwa 20 km von unserer Versuchsanlage entfernt, denn dort wurde nicht 1969, sondern umgekehrt im Jahr zuvor ein größeres Beerenwachstum festgestellt; aber dieses gegenteilige Ergebnis läßt sich vermutlich auf Sorten- und Standortunterschiede zurückführen. Z. B. mögen der relativ leichte Boden und die sehr geringen Niederschläge 1969 dort (18 mm während der Monate September und Oktober (1); bei uns 49 mm) zu einer ungenügenden Wasserversorgung der Reben und einer Wachstumshemmung geführt haben, während an unserem Standort kein Wassermangel auftrat. Trockenheit kann aber erwiesenermaßen zu starken Ertragsdepressionen infolge Kleinbeerigkeit der Trauben führen (13, 14, 19, 36).

Zusammenfassung

Mit Hilfe künstlicher Schattierung und künstlichen Windschutzes während der Zeit zwischen Rebblüte und Traubenernte wurden in einem 2jährigen Freilandversuch veränderte Bestandsklimate erzeugt. Der Einfluß dieser Maßnahmen auf die meteorologischen Verhältnisse im Rebbestand wurde gemessen und die Auswirkung auf das Wachstum der Traubenbeeren untersucht.

Der Windschutz erwies sich trotz erheblicher Verringerung der Windgeschwindigkeit als wenig wirkungsvoll: Die Temperaturverhältnisse im Bestand wurden nicht meßbar verändert und Auswirkungen auf das Beerenwachstum konnten nicht nachgewiesen werden.

Dagegen waren Globalstrahlung und Helligkeit unter der Schattierung so stark reduziert, daß das Wachstum der Beeren in erheblichem Maße beeinträchtigt wurde. Die an einem sommerlichen Strahlungstag gemessene Globalstrahlung von 410 cal · cm^{-2} war auf 160 cal · cm^{-2} abgesenkt, und während der etwa 100tägigen Versuchsdauer empfing der schattierte Bestand nur etwa 13 kcal · cm^{-2} gegenüber 29 kcal · cm^{-2} der Kontrolle. Infolge der abgeschirmten Sonnenstrahlung war insbesondere die Pflanzentemperatur, weniger dagegen die Lufttemperatur im Bestand erniedrigt. Das Einzelbeerengewicht blieb in beiden Versuchsjahren weit hinter den „normalen" Werten zurück, so daß eine Ertragseinbuße infolge Kleinbeerigkeit von rund 1 Drittel entstand.

Die Arbeit war von dem ehemaligen Direktor der BFA, Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. B. HUSFELD (verstorben im März 1970), angeregt und gefördert worden. Ihre Fortführung und Fertigstellung ermöglichte der jetzige Leiter der BFA, Herr Prof. Dr. G. ALLEWELDT, dem ich dafür zu Dank verpflichtet bin. Herrn Prof. Dr. J. SEEMANN, Abteilungspräsident beim Deutschen Wetterdienst, Zentralamt Offenbach (Main), danke ich für vielfältige Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit, zahlreiche Anregungen und Diskussionen.

Literaturverzeichnis

1. Anonym, 1964—1971: Monatlicher Witterungsbericht — Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach (Main) 12—19.
2. von Babo, A. und Mach, E., 1923—1924: Handbuch des Weinbaues. Bd. 1, 4. Aufl. Verl. Paul Parey, Berlin.
3. Bosian, G., 1964: Assimilations- und Transpirationsbestimmungen an Reben im Freiland mit klimatisierten Küvetten. Wein-Wiss. 19, 264—271.
4. Burckhardt, H. und Goedecke, H., 1961: Die Auswirkungen künstlicher Beregnung im Weinbau. Weinberg u. Keller 8, 255—281.
5. Diem, M. und Trappenberg, R., 1958: Die Beeinflussung des Mikroklimas und der Bodenstruktur durch künstliche Beregnung. Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimat. Ser. B 8, 382—406.
6. Diofasi, L., 1969: Enrichissement en sucre et accroissement du volume des baies: mécanisme, facteurs; rôle du feuillage pour le rendement et la qualité du raisin; productivité du feuillage. Rapport Hongrois. Bull. OIV 42, 721—740.
7. Eichhorn, K. W., 1971: Die Ertragsstruktur und das Beerenwachstum der Reben. Diss. Univ. Hohenheim.
8. Geiger, R., 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht, 4. Aufl. Verl. Friedr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig.
9. Hale, C. R., 1968: Growth and senescence of the grape berry. Austral. J. Agricult. Res. 19, 939—945.
10. Harris, J. M., Kriedemann, P. E. and Possingham, J. V., 1968: Anatomical aspects of grape berry development. Vitis 7, 106—119.
11. Horney, G., 1971: Die mikroklimatische Standortbeurteilung im Weinbau. Weinberg u. Keller 18, 61—78.
12. — —, 1972: Die klimatischen Grundlagen des Anbaues von Weinreben in Deutschland. Weinberg u. Keller 19, 305—320.
13. Justyák, J., 1968: Régimes thermiques dans les vignes cultivées avec et sans irrigation. Acta Geogr. Debrec. 14, 105—113.
14. Klenk, E., Nagy, J. und Riede, P., 1948: Künstliche Beregnung von Rebkulturen. Mitt. Württ. LVA Wein- u. Obstbau Weinsberg, Heft 1.
15. Kliewer, W. M., 1970: Effect of time and severity of defoliation on growth and composition of "Thompson Seedless" grapes. Amer. J. Enol. Viticult. 21, 37—47.
16. — — and Lider, L. A., 1970: Effects of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* L. fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95, 766—769.
17. — —, — — and Schultz, H. B., 1967: Influence of artificial shading of vineyards on the concentration of sugars and organic acid in grapes. Amer. J. Enol. Viticult. 18, 78—86.
18. Kobayashi, A., Fukushima, T., Nii, N. and Harada, K., 1967: Studies on the thermal conditions of grapes. VI. Effects of day and night temperatures on yield and quality of Delaware grapes. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 36, 373—378.
19. — —, Kuretani, M. and Oto, H., 1963: Effects of soil moisture on the growth and nutrient absorption of grapes. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 32, 77—83.
20. — —, Yukinaga, H. and Matsunaga, E., 1965: Studies on the thermal conditions of grapes. V. Berry growth, yield and quality of Muscat of Alexandria as affected by night temperature. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 34, 152—158.
21. Kriedemann, P. E., 1968: Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature and leaf age. Vitis 7, 213—220.
22. Lehmann, P., 1954: Klimatische Gütebewertung von Weinbergslagen. Dt. Weinbaukalender 5, 60—62.
23. Lundegårdh, H., 1957: Klima und Boden, 5. Aufl. VEB Gust. Fischer Verl., Jena.
24. Martsolf, J. D. and Decker, W. L., 1970: Microclimate modification by manipulation of net radiation. Agricult. Meteorol. 7, 197—216.
25. May, P. and Antcliff, A. J., 1963: The effect of shading on fruitfulness and yield in the Sultana. J. Hort. Sci. 38, 85—94.
26. McCree, K. J., 1966: A solarimeter for measuring photosynthetically active radiation. Agricult. Meteorol. 3, 353—366.
27. Narasimham, B. and Mukherjee, S. K., 1969: Early maturity and seed abortion in tetraploid grapes. Vitis 8, 89—93.
28. Nitsch, J. P., Pratt, C., Nitsch, C. and Shaulis, N. J., 1960: Natural growth substances in Concord and Concord Seedless grapes in relation to berry development. Amer. J. Bot. 47, 566—576.

29. PALTRIDGE, G. W., 1970: A filter for absorbing photosynthetically — active radiation and examples of its use. Agricult. Meteorol. 7, 167—174.
30. RODSKIER, N. und KORNHER, A., 1971: Über die Bestimmung der Strahlungsenergie im Wellenlängenbereich von 0,3—0,7 μ in Pflanzenbeständen. Agricult. Meteorol. 8, 139—150.
31. SARTORIUS, O., 1969: Bildung, Transport, Speicherung und Veratmung der Assimilate des Rebstockes in heutiger Sicht. Wein-Wiss. 24, 428—442.
32. SAUTTER, L., 1971: Einfluß der NPK-Düngung auf die Photosynthese der Reben. Diss. Abt. Weinbau Univ. Hohenheim.
33. SCHNEIDER, M. und HORNEY, G., 1969: Auswirkung von Beregnung auf Boden- und Bestandsklima sowie auf Blattemperaturen im Weinbau. Z. Bewässerungswirtsch. 2, 162—199.
34. SCHULTZ, H. B. and LIDER, L. A., 1964: Modification of the light factor and heat load in vineyards. Amer. J. Enol. Viticult. 15, 87—92.
35. SCHULZE, R., 1970: Strahlenklima der Erde. Verl. Steinkopff, Darmstadt, S. 121.
36. SHIMOMURA, K., 1967: Effects of soil moisture on the growth and nutrient absorption of grapes. Acta Agron. Acad. Sci. Hung. 16, 209—216.
37. TUKEY, L. D., 1958: Effect of controlled temperatures following bloom on berry development of the Concord grape *(Vitis labrusca)*. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 71, 157—166.
38. VOGT, E., 1967: Weinbau, 4. Aufl. Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.
39. WINKLER, A. J., 1962: General Viticulture. Univ. Calif. Press, Berkeley.
40. — — and WILLIAMS, W. O., 1935: Effect of seed development on the growth of grapes. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 33, 430—434.

Eingegangen am 18. 7. 1973

Dr. M. KLENERT
BFA für Rebenzüchtung
Geilweilerhof
Abt. Biochemie
6741 Siebeldingen