Untersuchungen über die Rebenanzucht bei künstlichem Licht*)

von Walter Schenk

Institut für Rebenzüchtung und Rebenveredlung der Hessischen Forschungsanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau, Geisenheim (Rheingau).

I. Einleitung

Das Licht ist einer der essentiellen Faktoren für das Gedeihen unserer höheren Kulturpflanzen. Neben seiner zentralen Bedeutung als Energielieferant für die Photosynthese beeinflußt das Licht die morphologische Entwicklung der pflanzlichen Organe. Schon im Jahre 1686 untersuchte John Ray (6) in seinem Werk „Historia plantarum" das Phänomen des Etiolements, die Verstärkung des Triebwachstums bei Lichtmangel, eine Erscheinung, die uns auch in der Anzucht der Pfropfreben allenthalben Sorgen bereitet.

Wir dürfen annehmen, daß jede Kulturpflanze sich im Laufe der Evolution an ganz bestimmte für sie optimale Strahlungsverhältnisse ihres natürlichen Standortes angepaßt hat. Die Urheimat unserer Kulturrebe Vitis vinifera L. reicht vom Südteil der gemäßigten Zone bis in die Subtropen und umfaßt etwa das Gebiet rund um das Mittelmeer. Hier bevorzugt sie als Lianenpflanze den Halbschatten der Auwälder.

Obwohl die Rebe als Kulturpflanze in den Weinbergen einer enormen Strahlungsbelastung ausgesetzt wird und dort eine hohe Produktivität entfaltet, kann sie nicht als ausgesprochene Sonnenpflanze bezeichnet werden. Für die Erzeugung eines qualitativ hochwertigen Ertrages müssen in besonderem Maße ihre Wärmeansprüche befriedigt werden, deren Optimum, je nach Sorte verschieden, zwischen 20-30°C liegen dürfte.

Da das Vortreiben der Pfropfreben, im Gegensatz zur früheren Lehrmeinung, heute nicht mehr im Dunkel der abgedeckten Vortreibkisten, sondern bei vollem Lichtzutritt vorgenommen wird, stellt sich für den Rebenveredler zwangsläufig auch die Frage nach der Möglichkeit der Ausnutzung künstlicher Beleuchtung. Die Frage ist um so berechtigter als heute in den Gartenbaubetrieben zahlreiche Pflanzen mit gutem Erfolg und unter wirtschaftlichen Bedingungen durch Zuhilfenahme künstlicher Lichtquellen kultiviert werden (2,5,8,9,10).

Im Folgenden soll die Problematik der Rebenanzucht bei künstlichem Licht aufgezeigt und über erste orientierende Versuche mit Rebenstecklingen und Pfropfreben, die unter ausschließlich künstlicher Beleuchtung kultiviert wurden, berichtet werden. Hierbei ist die Forderung zu erheben, daß bei einer Vortreibtemperatur von 25-28°C die Lichtintensität so bemessen sein muß, daß keine übermäßige Verlängerung der Triebe in der Vortreibkiste auftreten kann. Je kürzer die Internodienlänge, d. h. je gedrungener oder gestauchter der Trieb ist, desto besser eignet sich die Pflanze für die Weiterkultur als Kartonagerebe oder für die Rebschule. Als Maß dient in diesem Falle die natürliche Entwicklung des Triebes unter den günstigen Tageslichtbedingungen des modernen Gewächshauses.

II. Die Bedeutung der natürlichen Strahlung für die Pflanze

Die mit dem Begriff „Licht" bezeichnete sichtbare Strahlung stellt nur einen sehr engbegrenzten Bereich im Spektrum der Sonnenstrahlung dar. Er umfaßt die Spanne von ca. 380 nm bis 780 nm mit den Spektralbereichen violett, blau, blaugrün, grün, gelb, hellrot und dunkelrot.

*) Vortrag anläßl. d. 12. Fachtagung der Deutschen Rebenveredler am 3.2.1971 in Geisenheim (Rhg.)

Nach dem Gesetz von Grotthus-Draper-Van't Hoff wirkt nur diejenige Strahlung auf die physiologischen Vorgänge in der Pflanze ein, die von ihren Organen absorbiert wird. Die eingestrahlte Energie wird im einfachsten Falle in Wärme umgewandelt, in anderen Fällen leitet sie physikalische oder photochemische Prozesse ein, an denen dann auch noch bestimmte Energieüberträger, sogenannte Sensibilisatoren beteiligt sind. Als solche sind heute bekannt: Chlorophyll a und Chlorophyll b, Carotinoide, Riboflavin sowie das Chromoproteid (Phytochrom) 660 und Chromoproteid 730, deren Absorptionsspektren festliegen.

Während die Chlorophylle als Energieüberträger für die Photosynthese und damit für die Ernährung der Pflanzen fungieren – ihre Strahlungsabsorption liegt im blauen Bereich um 432 nm und im hellroten Bereich um 660 nm – ist das Riboflavin zusammen mit dem Carotin (Absorptionsmaximum um 450/460 nm) für den Phototropismus, d. h. für die Beeinflussung der Bewegungs- und Wachstumsrichtung durch einseitige Bestrahlung, verantwortlich.

Im Rahmen unserer Untersuchung interessiert uns besonders die photomorphotische Wirkung, d. h. der Einfluß der Strahlung auf die Organentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Trieblänge. Diese Frage ist besonders wichtig für das Vortreiben der Pfropfreben. Auf Grund vieler Untersuchungen und Erfahrungen der Praxis wissen wir, daß speziell die blau-violetten Strahlen einen hemmenden Einfluß auf das Stecklingswachstum ausüben, im Gegensatz zur dunkelroten und infraroten Strahlung, die das Längenwachstum begünstigt. In der gleichen Richtung wirkt auch eine intensitätsmäßig zu geringe Strahlung, die Vergeilung hervorruft.

Daß jedoch die reizphysiologischen Wechselwirkungen nicht ganz so einfach liegen, sondern komplexer Natur sind, weiß man seit den grundlegenden Untersuchungen von Hendricks und Borthwick (1), die nachweisen konnten, daß eine Photoreversibilität zwischen zwei Phytochromen mit der Absorption im Hellrot bei 660 nm und im Dunkelrot bei 730 nm existiert. Die hellrote Strahlung verkürzt die Internodien, die dunkelrote verlängert sie. Das Phytochrom 660 kann nach Strahlungsabsorption in das Phytochrom 730 und damit in die aktive Form übergeführt werden und umgekehrt. Wie Mohr (4) gezeigt hat, steuert dieses Chromoproteidsystem auf breitester Grundlage die Morphogenese und auch die Wuchsstoffsynthese, so daß diese Tatsache bei künftigen Versuchen mit künstlicher Beleuchtung nicht außer acht gelassen werden darf.

III. Die Strahlungsquellen und ihre Eigenschaften

Bei der Auswahl der Strahlungsquellen für unsere Versuche gingen wir von der Überlegung aus, zunächst einmal den bekannten Einfluß des violetten und blauen Strahlungsbereiches auf die Triebentwicklung der Rebe zu untersuchen. Dementsprechend wurden Strahler ausgewählt, die handelsüblich sind und einen relativ hohen Anteil an kurzwelliger Lichtstrahlung im Gebiet 380-500 nm aussenden. Als Vergleich dienten Tageslicht unter Glas und weißes Glühlampenlicht. Im Folgenden soll auf die Eigenschaften der Strahler kurz eingegangen werden.

1. Tageslicht

Das Tageslicht umfaßt den natürlichen und zugleich für die Pflanzen zuträglichen Strahlungsbereich, an den sie sich im Laufe der Evolution angepaßt haben. Die Sonne als Temperaturstrahler besitzt im erdnahen Raum im sichtbaren Spektralbereich, den wir als Licht bezeichnen, ihre größte Strahlungsintensität.

Die maximale Beleuchtungsstärke beträgt bei wolkenlosem Himmel im Hochsommer bis 100.000 Lux, im Schatten und bei bedecktem Himmel unter Glas im Gewächshaus ca. 10.000 Lux (vergl. Abb. 1). Im Frühjahr und Herbst sowie besonders im Winter ist die Stärke des natürlichen Himmelslichtes wesentlich geringer. Sie ist von der geographischen Breite abhängig und beträgt nach KROCHMANN (3) als Horizontalbeleuchtungsstärke in Hamburg bei bedecktem Himmel im März/September mittags ca. 14.000 Lux, im Dezember nur 5.000 Lux.

2. Die Glühlampe

Die heutigen Gebrauchsglühlampen sind ähnlich wie die Sonne Temperaturstrahler, deren Licht von einem glühenden Wolfram-Doppelwendeldraht im Inneren des edelgasgefüllten Glaskolbens ausgeht. Im Gegensatz zur Sonne, die eine Temperatur von 6000° Ke besitzt, beträgt diese bei der Glühlampe nur etwa 3000° Ke.

Nach dem Wien'schen Verschiebungsgesetz rückt daher mit geringer werdender Temperatur des Strahlers das Maximum der spektralen Strahlungsverteilung mehr nach der längerwelligen Seite hin, was einen relativ geringen Anteil an Violett und Blau und einen hohen Anteil an Rot und Infrarot zur Folge hat. Wegen seines hohen Energiebedarfes und der relativ geringen kurzwelligen Strahlung, nicht zuletzt auch wegen der die Atmung erhöhenden starken Wärmestrahlung, hat das Glühlampenlicht für die Pflanzenbestrahlung nur untergeordnete Bedeutung. Diese Nachteile lassen den Vorteil der geringen Materialinstallationskosten nicht zur Geltung kommen.

3. Die Leuchtstofflampe

Mit der Einführung der Leuchtstofflampe, die auch als Gasentladungslampe bezeichnet wird, eröffneten sich völlig neue Wege für die Pflanzenbestrahlung. Dieser Strahler sendet „kaltes Licht" aus, d. h., die Strahlungsemission im Infrarotbereich ist verschwindend gering, die Lampe selbst nur handwarm. Es handelt sich hierbei um eine mit bestimmtem Fluoreszenzbelag versehene Glasröhre, in deren Inneren Quecksilberdampf unter Niederdruckverhältnissen durch ausgesandte Ultraviolettstrahlung (253,7 nm) den Röhrenbelag zur Aussendung von Fluoreszenzlicht mit diskontinuierlicher spektraler Verteilung anregt. Zum Betrieb der Lampe bei 220 V ist ein Widerstand oder eine Drossel zur Stabilisierung der Stromstärke, ein Glimmzünder oder Starter zur Vorheizung der Elektronen und zur Erzeugung der Zündspannung sowie bei entsprechender Schaltung ein Kompensationskondensator erforderlich.

Die Material- und Installationskosten sind daher – gemessen an der Glühlampe – wesentlich höher. Als Vorteil der Leuchtröhre ist jedoch die sehr lange Lebensdauer der Röhren selbst (ca. 7.500 Brennstunden), die Wirtschaftlichkeit durch hohe Lichtausbeute bei geringem Leistungsaufwand und die für die Bestrahlungszwecke günstige spektrale Lichtzusammensetzung besonders herauszustellen. Je nach dem Fluoreszenzbelag bzw. der Lampentype kann das Strahlungsmaximum mehr nach dem blauen oder roten Teil des Spektrums verlagert sein.

4. Die Hochdruck-Quecksilberdampflampen mit Leuchtstoff

Bei den Hochdruck-Quecksilberdampflampen (HQL oder HPL) wird in einem mit Quecksilberdampf und Argongas gefüllten inneren Glaskolben bei hohem Druck und hoher Temperatur neben einer beträchtlichen Direktstrahlung im sichtbaren Bereich u. a. eine starke Strahlung der U.V.-Linie bei 365,5 nm ausgesandt. Diese regt den Fluoreszenzbelag des äußeren Glaskolbens an, der seinerseits zusätzlich hellrote Strahlung abgibt. Zum Betrieb benötigt man lediglich eine Drosselspule als Vorschaltgerät. Bis zur Erreichung des

erforderlichen Hochdruckes (0,5 - 30 atü), bei dem diese Lampe ihre maximale Strahlung emittiert, ist eine Anlaufzeit von ca. 3 Minuten erforderlich. Nach Abschaltung muß sie zur erneuten Zündung erst wieder abkühlen.

Eine Hochdruck-Quecksilberdampflampe ist in der Anschaffung teurer als eine Niederdruck-Leuchtröhre, doch ist ihre Lichtausbeute wesentlich höher. Der Anschlußwert liegt je nach Type zwischen 50 W und 2.000 W. Im Gartenbau gebräuchlich sind Lampen von 250 W oder 400 W. Der Glaskörper besitzt entweder Ellipsoidform und wird in Verbindung mit einem besonderen Reflektor verwendet oder man benutzt Lampen in Pilzform mit Innenreflektor. Als besonderer Vorteil ist zu werten, daß diese Strahler wegen ihres hohen Lichtstromes auch in größerem Abstand über dem Objekt angebracht werden können. Ihre mittlere Lebensdauer beträngt ca. 6.000 Brennstunden.

IV. Versuchsanstellung mit Künstlicher Beleuchtung bei Reben

Material und Methoden

1. Strahlungsquellen

Entsprechend dem Anwendungszweck, nämlich der Niederhaltung des Streckungswachstums der Rebtriebe wurden aus den erwähnten technologischen und physiologischen Gründen die nachstehenden Strahler in bestimmter Anordnung verwendet. In photoperiodischer Hinsicht waren die Lichtverhältnisse des Langtages mit 16 h Licht und 8 h Dunkelheit, vergleichbar mit dem Tagesgang im Monat Mai ausgewählt worden.

Glühlampen:
OSRAM Krypton 40 W, Pilzform. Max. Beleuchtung 10 Lampen a/40 W = 400 W auf einem Träger 1,50 x 0,50 m in versetzter Folge = 533 W/m^2.
Min. Beleuchtung 5 Lampen a/40 W = 200 W, 266 W/m^2.

Leuchtröhren:
a) OSRAM L 65 W / 15, Tageslicht. Lichtstrom: 3.150 lm
b) OSRAM L 65 W / 20 R, hellweiß mit Innenreflektor. Lichtstrom: 5.100 lm
c) OSRAM L 65 W / 77 R, Fluora mit Innenreflektor
Max. Beleuchtung 5 Röhren a/65 W = 325 W. Fläche: 1,50 x 0,50 m = 433 W/m^2
Min. Beleuchtung 1 Röhre a/65 W = 65 W, 87 W/m^2

Hochdruck-Quecksilberdampflampe mit Leuchtstoff:
OSRAM HQL 250 W mit Breitstrahler-Reflektor Ø 350 mm. Lichtstrom: 12.000 lm

2. Pflanzen

Je 40 Stecklinge der Rebe Vitis vinifera L. Sorten: Müller-Thurgau, Weißer Riesling und Neuzucht Az 4612 (= Müller-Thurgau x Riesling).

Eine weitere Versuchsserie enthielt Pfropfreben der Kombination Rotberger auf der Unterlage 5 C Geisenheim mit je 130 Stück pro Vortreibkiste

3. Kulturmethode

Die Anzucht der Stecklinge erfolgte in Kunststoffschüsseln (38 x 38 cm) im Kultursubstrat Torf, die Weiterkultur der im Dunkeln angetriebenen Pfropfreben, die in handelsüblichen Vortreibkisten gepackt waren, geschah unter den in der Rebenveredlung gebräuchlichen Bedingungen. Als Kulturraum stand eine Klimakammer*) zur Verfügung

*) Dem Botanischen Institut der Universität Frankfurt sei an dieser Stelle für die mir zur Verfügung gestellte Klimakammer gedankt.

die auf eine Temperatur von 25°C und 80 % Luftfeuchtigkeit eingestellt war. Das Kultursubstrat wurde dauernd feucht gehalten und in Intervallen von 7 Tagen mit einer 0,3 %igen Poly-Crescal-Lösung (Volldünger mit Spurenelementen) begossen. Zur Verhinderung der Infektion durch Botrytis cinerea wurden die Pflanzen im Bedarfsfall mit einer 0,2 %igen Chinosol-W-Lösung besprüht. Die Strahlungsquellen waren zur Variierung der Beleuchtungsintensität jeweils 45 cm und 90 cm über den Pflanzen befestigt.

4. Auswertung der Versuche

Die Reaktion der Rebe auf die Bestrahlung während der Anzucht der Stecklinge und Pfropfreben wurde durch folgende Messungen erfaßt:

a) Feststellung der Trieblänge durch wöchentliche Messungen.

b) Endauswertung durch Wägung des Aufwuchses zur Feststellung des Einzeltriebgewichtes (Stoffproduktion).

c) Auszählung der ausgebildeten Knoten zur Errechnung des Internodienwertes (Knoten pro Trieblänge)

d) Bestimmung des Gehaltes an Chlorophyll a und b durch Extraktion von je 50 Korkbohrerausstanzungen aus den Blättern einer Versuchsnummer (Gesamtfläche 56,52 cm^2) in 80 %igem Aceton und spektralphotometrische Messung des Farbstoffgehaltes bei 750, 664 und 647 nm mit dem Zeiss-Spektralphotometer PQM II. Berechnung der Chlorophyllkonzentration mg/l bezogen auf die extrahierte Gesamtfläche nach der Methode von Ziegler u. Egle (11).

Die Signifikanz der Messergebnisse wurde mit Hilfe der einfachen Varianzanalyse geprüft.

5. Messung der Strahlungsgrößen

Für die Messung der Beleuchtungsstärke in Lux wurde der Standard-Beleuchtungsmesser von Dr. B. Lange mit Opalfilter verwendet. Zur Bestimmung der Strahlungsintensität als Energiewert diente das mit selektiven Farbfiltern ausgestattete spektrale Strahlungsmessgerät nach Robertson u. Holmes*) (7). Die Umrechnung der Messwerte in Mikrowatt erfolgte anhand eines Eich-Diagrammes.

V. Vergleich der Strahlungsintensität der verwendeten Lichtquellen

Um einen Überblick über die in der Versuchsanordnung erzielten Strahlungsintensitäten zu erhalten, schien es ratsam, zunächst einmal deren Beleuchtungsstärke in Lux zu ermitteln und den Vergleich mit Messwerten aus dem Bereich des Tageslichtes herzustellen. Die gefundenen Werte sind in Abb. 1 dargestellt.

Da die mit Hilfe des Luxmeters erhaltenen Werte infolge der spezifischen Empfindlichkeit der Selenphotozelle (Maximum im Grün) nicht die energetischen Verhältnisse widerspiegeln, sind Messungen der Energieabgabe der verschiedenen Strahler bei den im Versuch eingehaltenen Objektabständen auch in Mikrowatt vorgenommen worden.

Die Werte beziehen sich jeweils auf 5 Spektralbereiche. Hierbei interessieren besonders die blaue und dunkelrote Strahlung, da diese photomorphotische Effekte auslösen.

Wie aus Abb. 4 hervorgeht, werden im blauen Bereich die höchsten Werte von der HQL - Lampe und der Leuchtröhre L 65 W / 20 R erzielt. Im dunkelroten Bereich sind die

*) Das aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschaffte Gerät wurde mir freundlicherweise von Dr. A. R. Kranz, Botanisches Institut der Universität Frankfurt a. M. zur Benutzung überlassen.

	Strahler	Abstand	Lux
Tageslicht	Sonne, ohne Wolken (1.4.70)	-	55.000
	Bedeckter Himmel (Zenit)	-	23.500
	Bedeckter Himmel (Nord)	-	17.000
	Gewächshaus (bedeckter Himmel)	-	10.000
Künstliche Lichtquellen	HQL 250 W	100 cm	2.000
	L 65 W / 20 R	100 cm	700
	L 65 W / 15	100 cm	450
	L 65 W / 77 R	100 cm	330
	Glühlampe Krypton 40 W	100 cm	68

Messgerät: Lange Standard - Beleuchtungsmesser mit Photozelle S 60

Abb. 1:
Vergleich der Beleuchtungsstärke verschiedener künstlicher Lichtquellen zu Tageslicht

Leuchtröhren an der Spitze die „Fluora" L 65 W / 77 R durch niedrigere Werte der HQL - Lampe überlegen. Die ungünstigsten Energiewerte liefert die Glühlampe, die bei 437 nm relativ wenig Blauanteil und bei 742 nm hohe Dunkelrot-Werte erkennen läßt. Damit konnten schon im Hinblick auf die Strahlungsqualität bei der Glühlampe Bedingungen für die voraussichtlich unerwünschte Triebverlängerung unterstellt werden.

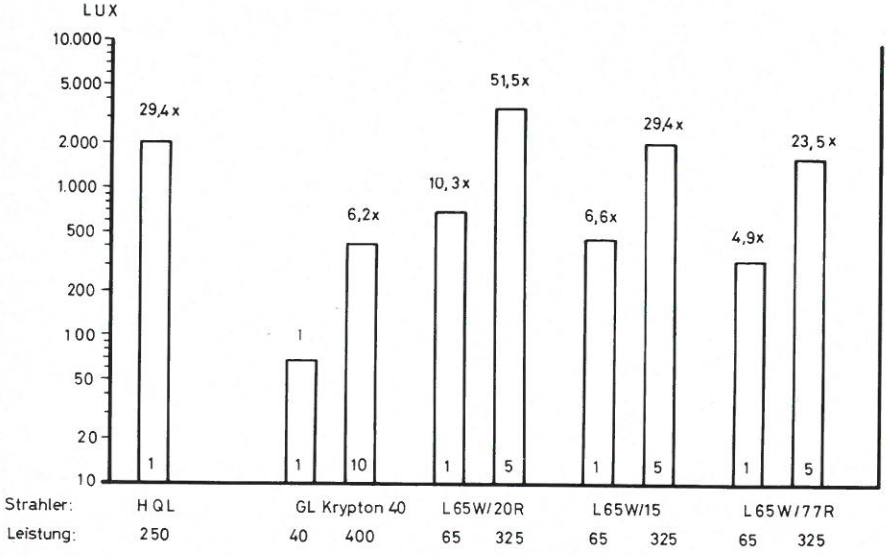

Abb. 2:
Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Anzahl der Strahler (1, 5, 10) bzw. von der Leistung (Watt) relativ zu 1 Glühlampe 40 W = 1. Abstand 100 cm.

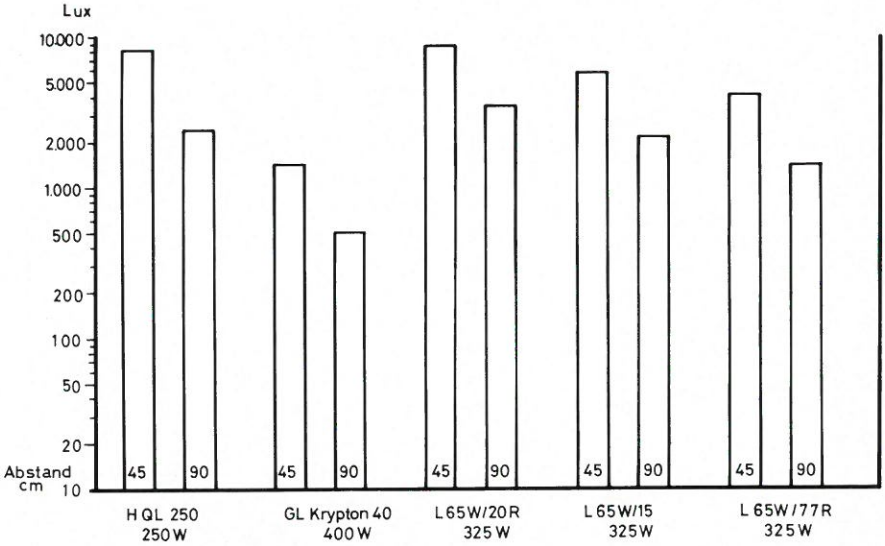

Abb. 3:
Beleuchtungsstärke unter den Versuchsbedingungen bei verschiedenem Objektabstand (45 cm, 90 cm) und maximaler Beleuchtung.

Abstand	Strahler		Mikrowatt im Spektralbereich (µW)				
			ultraviolett 342 nm	blau 437nm	grün 535 nm	hellrot 642 nm	dunkelrot 742 nm
45 cm	HQL	250 W	< 0,12	3,88	1,45	2,00	0,68
	GL Krypton	400W	< 0,12	1,28	0,33	0,72	1,44
	L 65 W / 20 R	325W	< 0,12	2,60	2,06	1,46	0,23
	L 65 W/ 15	325W	< 0,12	2,10	1,45	1,45	0,25
	L 65 W/ 77R	325W	< 0,12	1,68	0,49	4,65	< 0,1
90 cm	HQL	250W	< 0,12	1,22	0,45	0,63	0,23
	GL Krypton	400W	< 0,12	0,52	0,14	0,30	0,60
	L 65W/ 20R	325W	< 0,12	1,15	0,92	0,61	0,11
	L 65W/ 15	325W	< 0,12	0,95	0,65	0,66	0,12
	L 65W/ 77R	325W	< 0,12	0,77	0,22	2,20	< 0,1

Abb. 4:
Die Energieabgabe (uW) verschiedener Strahler in einigen Spektralbereichen. Messung mit dem spektralen Strahlungsmesser nach ROBERTSON *und* HOLMES

VI. Die Beeinflussung der Temperatur durch die Strahlungsemmission

Im Zusammenspiel der die stoffwechselphysiologischen Vorgänge beeinflussenden Faktoren ist die Temperatur von größter Bedeutung. Sie beeinflußt direkt und indirekt auch das entwicklungsphysiologische Geschehen und damit das Triebwachstum. Eine durch die Bestrahlung verursachte Erwärmung der beleuchteten Objekte, des Substrates oder der umgebenden Luftschicht könnte die Effekte der Lichteinwirkung verfälschen bzw. überlagern. Es mußte daher überprüft werden, welche Temperaturerhöhungen die einzelnen Strahler bewirken. Mittels ausgelegter Thermometer von 1/10°C – Einteilung in Höhe der Kulturgefäße wurden die in Abb. 5 wiedergegebenen Temperaturwerte ermittelt.

Es zeigte sich, daß die Temperaturdifferenz zwischen Bestrahlung und Dunkelheit in ihrer Einwirkung auf die quecksilbergefüllte Bulbe des Thermometers gering war und sich bei 45 cm Lampenabstand in der Größenordnung zwischen 0,6 und 1,6°C bewegte. In größerer Entfernung lagen die Werte mit Ausnahme der Fluora-Leuchtröhre wesentlich niedriger. Die Raumtemperatur der Klimakammer veränderte sich nicht beim Hell-Dunkel-Wechsel.

Sicherlich dürfte die von den Pflanzen absorbierte Strahlung zu einer gewissen Erwärmung der Blätter führen, die größer ist als sie bei dem reflektierenden Thermometer gemessen werden konnte. Die Temperaturregelung der Klimakammer hat jedoch hier mit Sicherheit konstante Verhältnisse geschaffen, so daß die gemessenen Wachstumsunterschiede nicht als Funktion der Temperatur angesprochen werden dürfen. Künftige Untersuchungen müssen jedoch diesen Faktor durch Blatt-Temperaturmessungen mit Thermonadeln berücksichtigen.

VII. Die Reaktion der Rebe auf die Bestrahlung

Gemäß der eingangs erläuterten Problemstellung wurde zunächst einmal die Triebentwicklung von ungepfropften Rebstecklingen unter den verschiedenen Strahlungseinflüssen untersucht. Nach den Erfahrungen der Praxis bestehen bei den bekannten Kulturrebsorten

Nr.	Strahler	Abstand cm	Temp. bei Bestrahlung °C	Temp. bei Dunkelheit °C	Temp. Differenz Bestrahl. Dunkelh.
1 a	HQL 250	45	26,72	25,12	+1,60
1 b	HQL 250	90	25,22	25,02	+0,20
2 a	GL Krypton 40	45	25,98	24,88	+1,10
2 b	GL Krypton 40	90	23,90	23,60	+0,30
3 a	L 65 W/ 20 R	45	25,55	24,95	+0,60
3 b	L 65 W/ 20 R	90	24,30	24,10	+0,20
4 a	L 65 W/ 15	45	25,15	24,35	+0,80
4 b	L 65 W/ 15	90	24,20	24,10	+0,10
5 a	L 65 W/ 77 R	45	24,62	23,82	+0,80
5 b	L 65 W/ 77 R	90	23,88	23,08	+0,80
	Raum	—	24,55	24,55	0

Abb. 5:
Temperaturveränderung durch Bestrahlung (Nr. 2 = 10 Glühlampen, Nr. 3 - 5 = 5 Leuchtröhren)

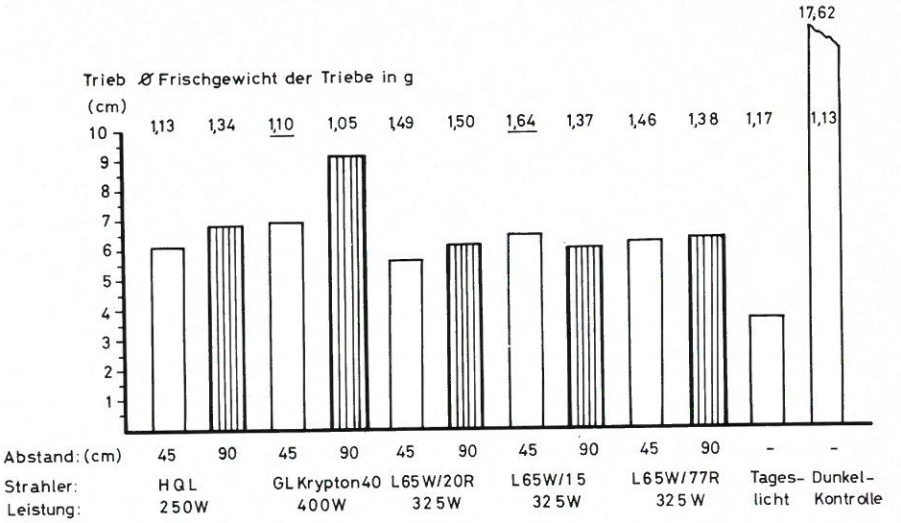

Abb. 6:
Die Triebentwicklung von Stecklingen der Rebsorte Müller-Thurgau unter verschiedenen Strahlungsbedingungen (Trieblänge, Frischgewicht der Triebe). Kulturdauer 35 Tage.

erhebliche Unterschiede in der Schnelligkeit des Austriebes und der Triebverlängerung unter gleichen Umweltbedingungen. Um entsprechend große Reaktionen zu erhalten, wurde als erstes Versuchsobjekt die starkwüchsige Sorte Müller-Thurgau ausgewählt und mit der maximal erreichbaren Lichtintensität bestrahlt. Eine Vergrößerung des Objektabstandes in der gleichen Versuchsanordnung sollte Hinweise auf den Effekt einer evtl.

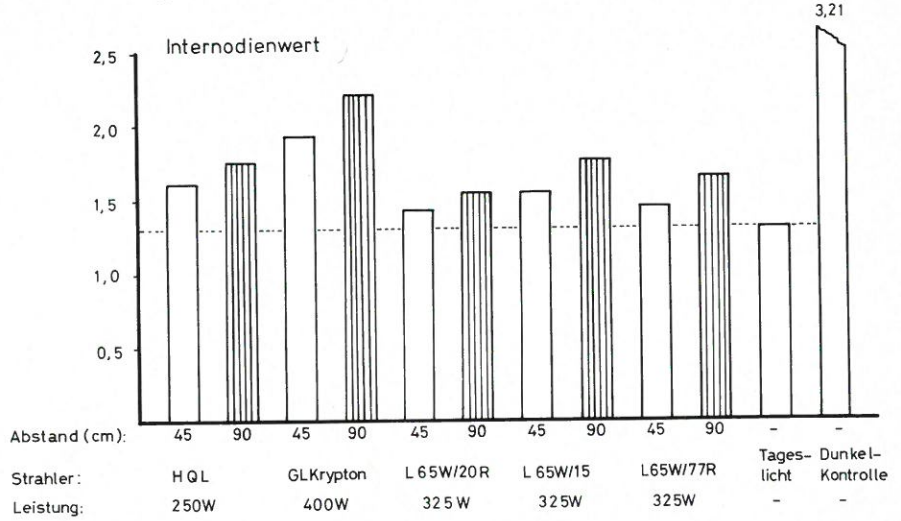

Abb. 7:
Einfluß der Bestrahlung auf die Internodienlänge der Triebe von Stecklingen der Rebsorte Müller-Thurgau. Kulturdauer 35 Tage. (Internodienwert = Trieblänge/Knotenzahl).

Lichtsättigung ergeben. Als Vergleich diente eine Dunkelkontrolle, deren Triebe völlig etiolierten, und die Tageslichtkontrolle im Gewächshaus, die unter etwa gleichen Temperaturbedingungen wie die übrigen in der Klimakammer kultivierten Versuchsglieder stand.

Wie Abb. 6 zeigt, ergaben sich hinsichtlich der Trieblänge, mit Ausnahme der Glühlampe sowohl zwischen den einzelnen Strahlern als auch im Vergleich der Bestrahlungsabstände nur geringfügige Unterschiede. Es wäre somit möglich, daß mit der maximalen Lampenbestückung von jeweils 5 Leuchtröhren auf 50 cm Breite bereits die Lichtsättigung erreicht wird. Während bei der Glühlampenbeleuchtung 10 x 40 W mit 1200 Lux in 45 cm Abstand die Trieb noch den Werten dieses Rahmens entspricht, finden wir bei 90 cm Objektabstand mit 490 Lux bereits eine augenscheinliche Triebverlängerung.

Untersucht man die Internodienlänge der Triebe (Abb. 7) aus demselben Versuch, so ergeben sich etwa gleichartige Verhältnisse wie bei der Gesamttrieblänge. Auch hier begünstigt die Glühlampe durch die geringe Beleuchtungsstärke eine größere Internodienlänge, was als Anzeichen des Etiolements gewertet werden kann. Der Vergleich der Einzeltrieb-Frischgewichte (Abb. 6) läßt keine Reaktionstendenz erkennen, wenn auch gegenüber den Leuchtröhren bei der Glühlampe niedrigere Werte gemessen wurden.

Es schien uns von Interesse zu sein, zu prüfen, ob der Chlorophyllgehalt der Blätter durch die verschiedenartige Bestrahlung sich unterschiedlich ausbildet. Die in Abb. 8 und 9 dargestellten Ergebnisse, die sich auf die gleiche Flächeneinheit beziehen, machen deutlich, daß trotz großer Differenzen in der Beleuchtungsstärke hieraus weder eine Beeinflussung des Gesamtchlorophyllgehaltes noch seiner Komponenten Chlorophyll a und Chlorophyll b abgeleitet werden kann.

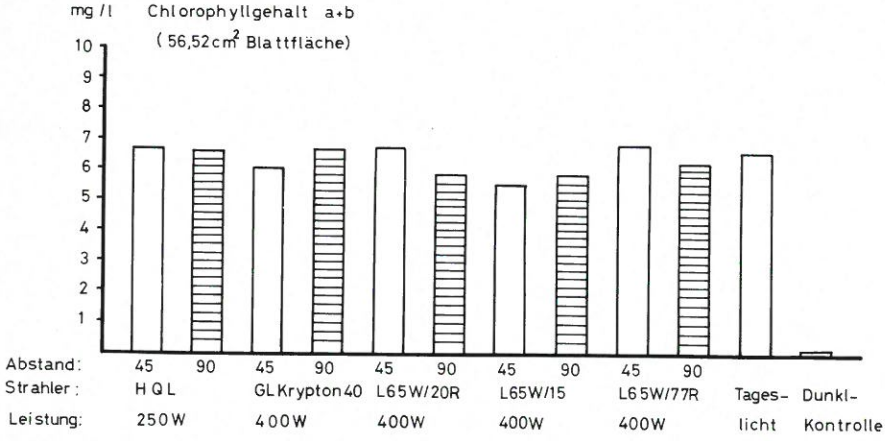

Abb. 8:
Gesamtchlorophyllgehalt (a + b) der Blätter der unter verschiedenen Strahlungsbedingungen kultivierten Rebstecklinge der Sorte Müller-Thurgau (Extrakt aus 50 Proben, Fläche 56,52 cm²). Kulturdauer 35 Tage.

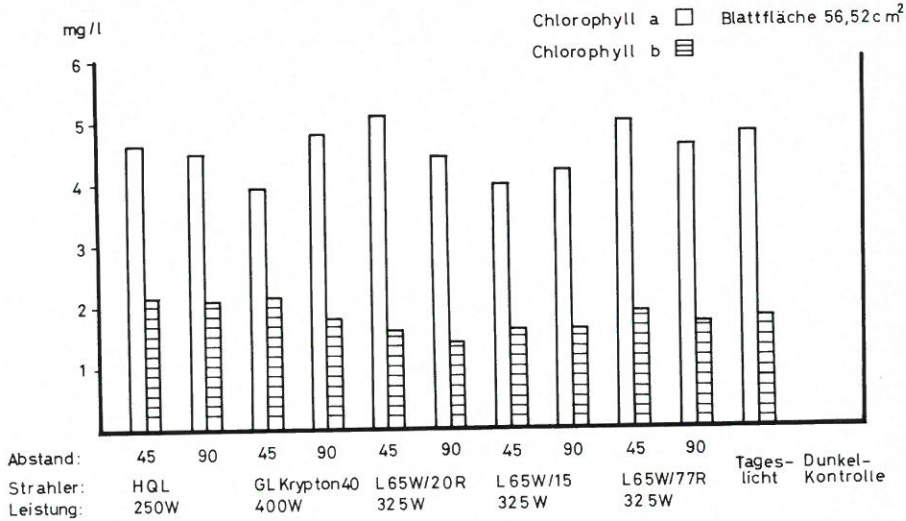

Abb. 9:
Chlorophyllgehalt a und Chlorophyllgehalt b der Blätter der unter verschiedenen Strahlungsbedingungen kultivierten Rebstecklinge der Sorte Müller-Thurgau.

In dem Bestreben die Versuche möglichst praxisnah zu gestalten, haben wir neben der Kultur von Stecklingen verschiedener Sorten auch Pfropfreben der Sorte Rotberger, veredelt auf der Unterlage 5 C Geisenheim, unter den gleichen Strahlungsbedingungen vorgetrieben. Zum Vergleich wurde eine Partie von 130 Reben in einem modernen Doppelvortreibkasten mit Frühbeetfenster-Abdeckung in Tageslicht gebracht.

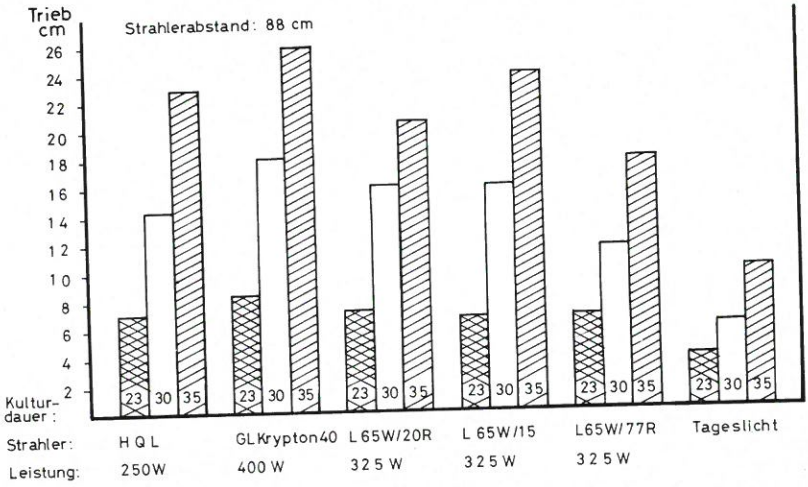

Abb. 10:
Einfluß der künstlichen und natürlichen Beleuchtung auf die Triebentwicklung von Pfropfreben der Sorte Rotberger, veredelt auf 5 C Geisenheim bei fortschreitender Kulturdauer (23 - 30 - 35 Tage). Maximale Strahlerbestückung, 88 cm Abstand.

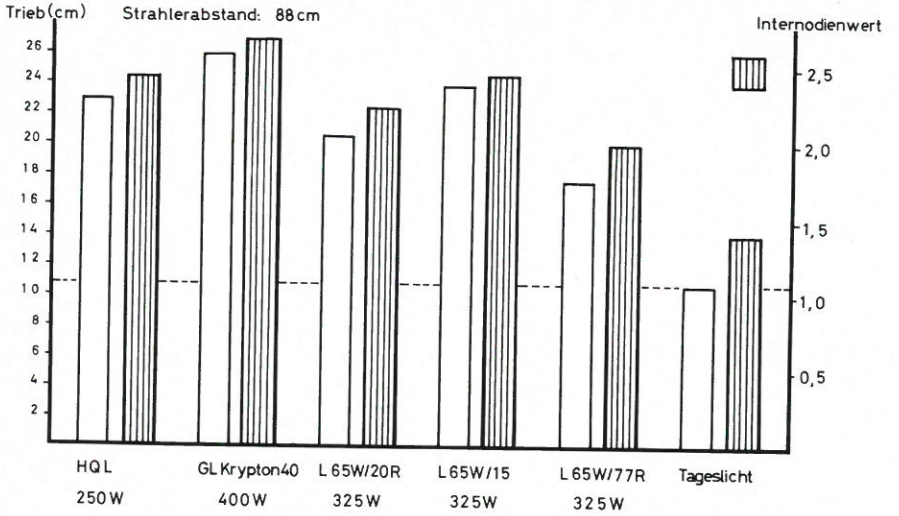

Abb. 11:
Vergleich der Trieblänge mit dem Internodienwert nach 35 Tagen Kulturdauer. Sorte Rotberger auf 5 C Geisenheim. Strahlerabstand 88 cm.

Abb. 10 zeigt, daß – wie auf Grund der vorangegangenen Stecklingsversuche zu erwarten war – die Trieblänge der Reben unter Glühlampenlicht allen anderen Strahlern vorauseilt und nach 35 Tagen eine durchschnittliche Größe von 26 cm erreichte. Von den übrigen Kunstlichtstrahlern induziert die Fluora-Leuchtröhre mit ca. 18 cm das geringste Längenwachstum. Der kürzeste Trieb während der gesamten Zeitdauer bildete sich jedoch bei Tageslicht unter Glas aus.

Setzt man die Trieblänge in Beziehung zur Internodienlänge, so findet man wieder die gleichen Verhältnisse vor (Abb. 11).

Für die Praxis der Rebenveredlung ist jedoch die Trieblänge nach der üblichen Vortreibzeit (ca. 21 Tage) von besonderer Bedeutung. Unter dem Aspekt der in Abb. 10 dargestellten Ergebnisse wird man der Leuchtröhre Fluora den Vorzug geben, gleichwohl nach 23 Tagen praktisch keine Unterschiede zu anderen Leuchtröhrentypen und der HQL-Lampe vorhanden sind.

Abschließend soll noch die Wirkung minimaler Beleuchtungsstärken, die technisch einfacher zu erreichen sind und zudem geringere Betriebskosten verursachen, untersucht werden. Ob mit diesen Energiemengen in einzelnen Fällen im Hinblick auf die Photosyntheseleistung bereits der Kompensationspunkt erreicht wurde, ist nicht geprüft worden. Dies ist auch während des Vortreibvorganges nicht von gravierender Bedeutung, da es uns in erster Linie auf den photomorphotischen Effekt ankommt.

Wenn man die Ergebnisse in Abb. 12 übersieht, so findet man unter der höchsten Beleuchtungsstärke mit 8.400 Lux, ausgestrahlt von der HQL-Lampe, bei der Sorte Az 4612 den kürzesten Trieb. Durch Verminderung der Beleuchtungsstärke reagiert hier die Rebe mit einer Triebverlängerung. Diese wird auch bei der Glühlampe sehr deutlich. Während man bei den wirtschaftlichen Leistungswerten (65 W) der Leuchtröhren mit der Fluora-

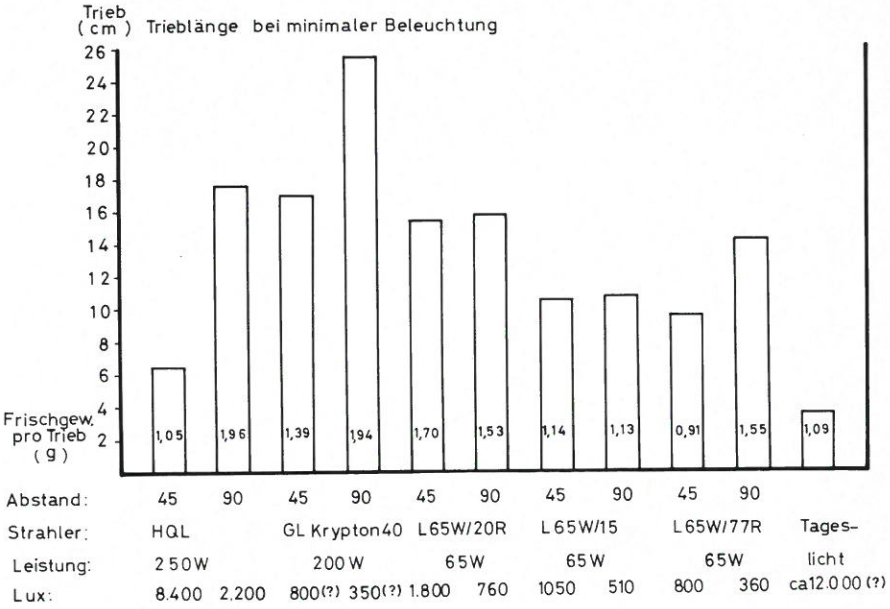

Abb. 12:
Triebentwicklung von Stecklingen der Rebsorte Az 4612 (Müller-Thurgau x Riesling) bei minimaler Beleuchtung durch verschiedene Strahlungsquellen im Abstand von 45 cm und 90 cm. Kulturdauer 35 Tage.

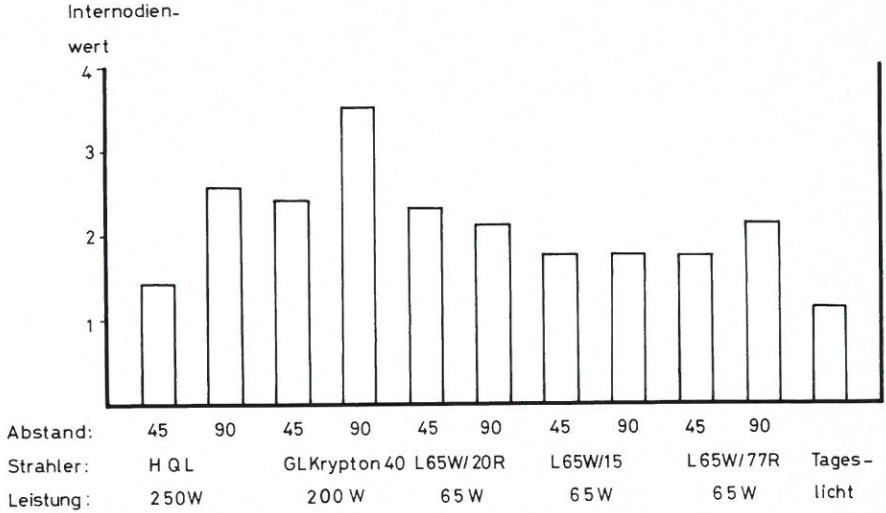

Abb. 13:
Einfluß der Bestrahlung auf die Internodienlänge von Stecklingen der Rebsorte Az 4612 (Müller-Thurgau x Riesling) bei minimaler Strahlerbestückung. Kulturdauer 35 Tage.

Röhre (L 65 W/77 R) bei 800 Lux noch einen relativ kurzen Trieb erzielt, wird bei größerem Objektabstand, der nur 360 Lux ergibt, bereits eine deutliche Differenz bei den vergleichbaren Trieblängen sichtbar. Diese Tatsache kam bei der Leuchtröhre mit Tageslicht (L 65 W/15) und derjenigen mit hellweißem Licht (L 65 W/20 R) nicht in der beschriebenen Weise zum Vorschein. Vermutlich wird hier auch die andersartige spektrale Verteilung der Strahlungsenergie eine Rolle spielen. Letztlich zeigt sich wieder – wie bei allen anderen Versuchen – die Überlegenheit des natürlichen Tageslichtes durch maximale Triebstauchung. Auch die in Abb. 13 dargestellte Internodienlänge, die sich unter minimalen Lichtverhältnissen ausgebildet hat, spiegelt dieselben Verhältnisse wieder.

VIII. Diskussion der Ergebnisse unter besonderer Berücksichtigung der praktischen Anwendung

Die Versuche mit Reben haben Anzeichen dafür erbracht, daß sowohl der blaue als auch der hellrote Spektralbereich die Längenentwicklung der Triebe im Sinne einer Triebstauchung maßgeblich beeinflußt. Strahler, die wenig kurzwellige Strahlung und sehr viel Energie im dunkelroten Bereich abgeben, begünstigen das Längenwachstum. Diese Erkenntnisse können unter anderem auch aus der Reaktion der Rebe auf die Bestrahlung mit Glühlampen abgeleitet werden. Darüber hinaus spielt die Frage der Strahlungsintensität der einzelnen Lichtquellen ebenfalls eine wesentliche Rolle. Bei zu geringer Beleuchtung tritt das Etiolement mit all seinen nachteiligen Folgen wie kleinflächige bis rudimentäre Blätter, mangelnde Chlorophyllausbildung und Krankheitsanfälligkeit durch Verweichlichung verstärkt auf. Im umgekehrten Falle kann auch eine überoptimale Bestrahlung zur Lichtsättigung führen, die in wirtschaftlicher Hinsicht durch zu hohe Betriebskosten nicht vertretbar ist. Es hat sich gezeigt, daß die Wachstumsgeschwindigkeit sortenabhängig ist. Auch der Einfluß der Unterlage von Pfropfreben darf nicht unterschätzt werden.

Obwohl die vorausgehend aufgezeigten ersten Versuche noch keineswegs ein abschließendes Gesamtbild über die Reaktionsnorm der Rebe geben können, müssen doch schon Überlegungen über die Nutzanwendung der Untersuchungen angestellt werden. Hierbei wird

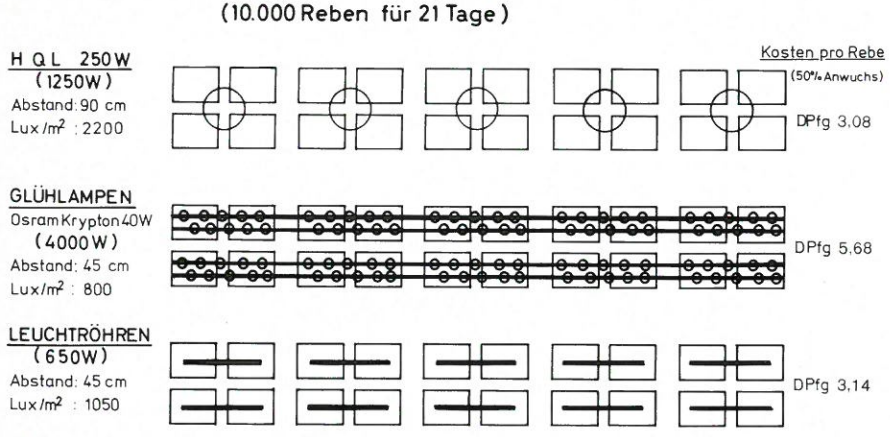

Abb. 14:
Anordnung der Beleuchtungskörper und Vortreibkisten beim Vortreiben unter ausschließlich künstlicher Beleuchtung

	HQL 250 W	Glühlampen 40 W	Leuchtröh. 65 W
Strahler für 10.000 Reben	5	100	10
Leistung (Watt)	1250	4000	650
Beleuchtungsstärke (Lux)	2200	800	1050
Lampenabstand (cm)	90	45	45
1) Anlagekosten	DM	DM	DM
a) Lampen und Zubehör	542,-	605,-	651,-
b) Montage	100,-	200,-	200,-
c) Steuerung für 100.000 Reben anteilig (1/10)	25,-	25,-	25,-
A. Anlagekosten insgesamt	567,-	830,-	876,-
2) Erhaltungskosten 336 Brennstunden/Jahr (21 Tage a/16 h)			
a) Abschreibung 10 %	56,70	83,-	87,60
b) Lampenersatz (10 %)	19,25	18,-	14,80
c) Reparaturen, Instandhaltung	20,-	30,-	30,-
B. Erhaltungskosten insgesamt	105,95	131,-	132,40
3) Stromkosten			
a) Grundgebühr (Gewerbetarif, für 21 Tage je 0,5 kW Anschlußwert DM 3,25 monatl.)	5,69	18,20	2,96
b) Arbeitspreis (336 h x Gesamt-kW x DM 0,10)	42,-	134,40	21,84
C. Stromkosten insgesamt	47,69	152,60	24,80
Kosten B + C für 10.000 Reben	153,64	283,60	157,20
Kosten pro Rebe Dpf	1,54	2,84	1,57
Belastung pro Rebe bei 50 % Anwuchs	3,08	5,68	3,14
Belastung der pflanzfähigen Rebe auf Grund der Berechnung nach SCHOSER Dpf	2,19	5,56	2,32

Abb. 15:
Kostenvergleich bei Anwendung verschiedener Bestrahlungsanlagen während der Vortreibzeit.

neben physiologischen Gesichtspunkten besonders die technologische und betriebswirtschaftliche Seite gebührend zu berücksichtigen sein.

Da die Beleuchtungsstärke bei punktförmigen Lichtquellen im Quadrat der Entfernung abnimmt, ist auch bei andersartig geformten Strahlungsquellen mit einem erheblichen

Intensitätsabfall der Strahlung mit steigender Aufhängehöhe zu rechnen. Andererseits muß eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung der Vortreibkisten angestrebt werden. Diese Beziehung verlangt einen Kompromiss zwischen technischem Aufwand und physiologischem Effekt. Wir glauben nach den ersten Versuchen, die hier nicht alle dargestellt werden können, annehmen zu dürfen, daß eine Mindestbeleuchtungsstärke, gemessen in senkrechter Richtung unterhalb des Strahlers, von ca. 1000 Lux angelegt werden sollte. Diese Empfehlung bedingt einen Objektabstand bei Leuchtröhren von ca. 45-60 cm und bei der Hochdruck-Quecksilberdampflampe HQL von 90 - 120 cm.

Die Strahler sollten zweckmäßigerweise an Ketten aufgehängt werden, um den richtigen Abstand einstellen und die Anlage auch leicht umbauen zu können. Es ist selbstverständlich, daß Feuchtraumleuchten und spritzwassergeschützte Schuko-Anschlüsse nach den VDE-Vorschriften installiert werden. Die Abb. 14 gibt Hinweise auf die Anordnung der Strahler über den Vortreibkisten. Zum Vergleich der Leistungswerte und Kosten wurde auch die Installation von Glühlampenleisten mit aufgeführt, die jedoch für die praktische Verwendung ohne Bedeutung sind.

In Abb. 15 ist mit Hilfe einer detaillierten Kostenaufstellung der Versuch gemacht worden, Auskunft über die Belastung der einzelnen Pfropfrebe mit Anlage-, Erhaltungs- und Betriebskosten zu erhalten.

Die Abschreibung und Verzinsung der Anlage wurde hier mit 10 % eingesetzt und ein gewisser Betrag für Lampenersatz und Reparaturen mit einkalkuliert.

Sicherlich dürften maßgeblich die Gesamtkosten einerseits vom Einkaufspreis des Materials und dem Arbeitslohn der Installation abhängen und daher bei den einzelnen Betrieben unterschiedlich ausfallen, andererseits spielen auch die Energie-Tarife der örtlichen Elektrizitätswerke für die Kalkulation eine wesentliche Rolle. Die gegebene Aufstellung stellt daher nur ein Beispiel von vielen dar, das unsere Anlage aus dem Jahre 1970 betrifft.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der Kostenvergleich etwa gleich hohe Aufwendungen beim Einsatz der Leuchtröhren und der HQL-Lampe ergibt, im Gegensatz zu doppelt so hohen Kosten bei Verwendung von Glühlampen. Unter Berücksichtigung der physiologischen Ergebnisse der aufgezeigten Versuche fällt die Entscheidung zugunsten der Leuchtröhren, die in Form von Leuchtbändern zu montieren wären. Legt man aus baulichen Gründen Wert auf größere Lampenabstände, dann wird man den lichtstärkeren Hochdruck-Quecksilberdampflampen den Vorzug geben, wie z. B. des Typs „HQL 250 W".

IX. Praktische Folgerungen

Der heutige moderne Rebenveredlungsbetrieb ist bestrebt, seine baulichen Einrichtungen so zu gestalten, daß er die neuesten Erkenntnisse der Vortreibtechnik durch die Erstellung von Vortreib-Doppelkästen aus Fertigbauteilen nutzen kann.

Weitgehende Kosteneinsparung an Material, Arbeitslohn, Energie und Zeit sind dabei berücksichtigt. Die Belichtung dieser modernen Vortreibeinrichtungen wird über die aufgedeckten Frühbeetfenster durch Tageslicht in einer für das Wachstum der Reben günstigen Intensität voll befriedigt. Unsere Versuche bestätigen diese Behauptung, indem unter Tageslichtbedingungen sowohl bei Stecklingen als auch bei Pfropfreben sich die kürzesten Triebe entwickelten. Bei Verwendung dieser Vortreibeinrichtungen erübrigt sich also die Zusatzbeleuchtung mit künstlichen Strahlern. Auch eine Änderung der Photoperiode durch Verlängerung des Tages dürfte kaum Vorteile bringen.

Anders liegen jedoch die Dinge, wenn heizbare Räume mit ungünstigen Lichtverhältnissen oder solche ohne Fenster zum Vortreiben von Pfropfreben benutzt werden. Es handelt sich hierbei meist um Mehrzweckräume, die oft nach der Vortreibzeit als Kellerräume oder Lagerhallen Verwendung finden und meist eine sehr gute Wärmeisolierung besitzen. Für solche Vortreibeinrichtungen ist die künstliche Beleuchtung der Reben in den Vortreibkisten interessant und anwendbar.

Die aufgezeigten Versuche lassen erkennen, daß die empfehlenswerten Strahler – nämlich die Leuchtröhren und Hochdruck-Quecksilberdampflampen – ausreichende Beleuchtungsstärken für die Anzucht der Pfropfreben hergeben. Die Kosten der Beleuchtung bewegen sich in vertretbaren Grenzen, so daß das Verfahren in den beschriebenen Sonderfällen praktische Bedeutung gewinnen kann.

X. Zusammenfassung

Ausgehend von den guten Erfolgen des Einsatzes von künstlichen Lichtquellen bei der gärtnerischen Pflanzenanzucht wurden gleichartige Versuche über die Beeinflussung des Triebwachstums von Pfropfreben im Vortreibstadium angestellt. Zur Abgrenzung der Problematik wurde ein Überblick über die Bedeutung der natürlichen Strahlung für die Pflanze unter besonderer Berücksichtigung ihrer morphotischen Wirkung und der die Strahlung absorbierenden Sensibilisatoren gegeben.

Die Reaktion der Rebe auf die Bestrahlung wurde durch Feststellung des Triebwachstums, der Internodienlänge, der Stoffproduktion, ausgedrückt als Triebgewicht, und des Chlorophyllgehaltes ermittelt. Hierbei zeigten sich beachtliche Sortenunterschiede. Grundsätzlich ergaben die Strahlungsquellen mit hohem Anteil an blauer und hellroter Strahlung eine geringere Austriebsverlängerung als diejenigen mit größerem Anteil an langwelliger Strahlung, besonders im dunkelroten Bereich. Auch die Frage der Lichtsättigung und des Effektes minimaler Beleuchtung wurde untersucht, was zur Prüfung der Wirtschaftlichkeit der künstlichen Beleuchtung eine wesentliche Rolle spielt. Ein wichtiges Problem stellt die gleichmäßige Ausleuchtung der zu bestrahlenden Vortreibkisten dar, die von der Aufhängungshöhe der Strahler abhängig ist und in Wechselwirkung zu der Beleuchtungsstärke steht. Es wurden Beispiele für die Anordnung der Strahlungsquellen gegeben, wobei die minimale Beleuchtungsstärke von ca. 1000 Lux nicht unterschritten werden sollte.

Eine detaillierte Kostenaufstellung gibt Auskunft über die Belastung der einzelnen Pfropfreben durch Erhaltungs- und Betriebskosten der einzelnen Anlagen. Diese belief sich auf ca. 3,1 Pf. beim Einsatz von Leuchtröhren oder der lichtstärkeren Hochdruck-Quecksilberdampflampen des Typs HQL 250 W. Glühlampen verursachten etwa die doppelten Kosten.

Als praktische Folgerung ergibt sich aus diesen ersten Versuchen die Erkenntnis, daß der Effekt des Tageslichtes im Hinblick auf die Erzielung eines kurzen, gestauchten Triebes von künstlichen Lichtquellen unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht erreicht werden kann. Ein Vortreiben mit ausschließlich künstlicher Beleuchtung ist jedoch sinnvoll und wirtschaftlich, wenn heizbare Räume mit ungünstigen Lichtverhältnissen oder solche ohne Fenster für die Rebenveredlung genutzt werden sollen.

Résumé

Partant des bons résultats obtenus avec l'utilisation de la lumière artificielle pour la production de plantes horticoles, des essais analogues ont été entrepris pour étudier l'influence sur la croissance des rameaux des greffés-soudés au stade de la stratification.

Afin de délimiter le problème, il était donné un aperçu de l'importance du rayonnement naturel pour la plante au point de vue particulier de son action sur la morphologie, et de celui des sensibilisateurs absorbant ce rayonnement. Des indications sur la structure des sources de rayonnement et leurs particularités ont permis de donner une image de la répartition spectrale de l'émission lumineuse, de la durée des sources de lumière, ainsi que des dépenses que nécessite leur introduction dans la pratique.

La réaction de la vigne au rayonnement a été appréciée par la mesure de la croissance des rameaux, de la longueur des mérithalles, de la production de matière exprimée en poids des rameaux et teneur en chlorophylle. Des différences notables entre cépages ont pu être constatées. D'une manière générale, les sources de lumière à forte proportion de rayonnement bleu et rouge clair ont provoqué un allongement des rameaux plus faible que celles à forte proportion de rayonnement à ondes longues notamment dans la zone des rouges sombres. On a aussi étudié la question de la saturation de lumière, c'est-à-dire l'effet produit par un éclairage minimal, ce qui, au point de vue de la rentabilité de l'éclairage artificiel, est essentiel. La répartition régulière de l'éclairage sur toutes les caisses à stratifier pose un problème important; elle dépend de la hauteur d'installaion des sources lumineuses, mais alors l'intensité d'éclairement varie en fonction inverse de cette hauteur. Des exemples ont été donnés quant à la disposition des sources lumineuses, pour lesquelles il convient de ne pas descendre au-dessous de 1000 lux. Une étude détaillée des dépenses à envisager a permis de dégager la charge financière correspondante à un plant greffé, en tenant compte des investissements et des frais d'exploitation des différents types d'installation. Cette charge s'est élevée à environ 3,1 Pfennige en utilisant les tubes d'éclairage ou les lampes à vapeur de mercure sous haute pression du type HQL 250 W; les lampes à incandescence reviennent deux fois plus cher. Comme résultats pratiques ces premier essais ont permis de constater que l'effet de la lumière du jour ne peut pas être égalé par les sources lumineuses artificielles dans les conditions de l'essai, du point de vue de la recherche d'une pousse courte et trapue. La stratification sous éclairage artificiel exclusif est cependant concevable et rentable, lorsque les chambres chaudes sont insuffisamment éclairées naturellement ou ne disposent pas de fenêtres. Il s'agit, dans ce cas, la plupart du temps, de pièces à usages multiples, utilisées souvent comme entrepôts et permettant des économies de combustible, grâce à une bonne isolation. Les dépenses de lumière restent dans des limites acceptables, et le procédé peut alors avoir une utilité pratique.

XI. Literatur

(1) Hendricks, S. B. and H. A. Borthwick: Photocontrol of plant development by the simultaneous excitations of two interconvertible pigments
Proc. Nation. Acad. Sci. 42, 12-26 (1955)

(2) Klechnin, A. F.: Die Pflanze und das Licht
Berlin 1960

(3) Krochmann, J.: Über die Horizontalbeleuchtung des Tages
Lichttechnik 15, Nr. 11, 559 ff. (1963)

(4) Mohr, H.: Der Lichteinfluß auf das Wachstum der Keimblätter bei Sinapis alba L.
Planta (Berl.) 53, 219-245 (1959)

(5) Nuernbergk, E. L.: Kunstlicht und Pflanzenkultur
BLV - Verlagsgesellschaft München-Bonn-Wien 1961

(6) Ray, J.: Historia plantarum I
(zit. nach Nuernbergk)

(7) Robertson G. W. and R. M. Holmes: A spectral light meter: its construction, calibration, and use
Ecology 44, 419-423 (1963)

(8) Ruf, J.: Pflanzenbestrahlung
Gartenwelt 66, Heft 17, 19, 20 (1966)

(9) Sauer, H.: Pflanzenbestrahlung
Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen der OSRAM-Gesellschaft 10, 259-268 (1969)

(10) Schoser, G.: Pflanzenkultur mit dem Pflanzenstrahler OSRAM-L-Fluora
Herausgegeben von der OSRAM G.m.b.H. Berlin-München

(11) Ziegler R. und K. Egle: Zur quantitativen Analyse der Chloroplastenpigmente
Beitr. Biol. Pflanzen 41, 11-37 (1965)