

Untersuchungen zum Lichtkompensationspunkt der Rebe

VON

E.-H. RÜHL, G. ALLEWELDT und W. HOFÄCKER

Investigations on the light compensation points of grapevines

S u m m a r y . — The rates of photosynthesis of *Vitis riparia*, *V. rupestris* and the *V. vinifera* cvs. Müller-Thurgau and Riesling were measured, using 7 degrees of light intensity between 40 000 lx and 50 lx. Basing upon this, the compensation points, rates of dark respiration and increase of curves of assimilation were calculated by statistical methods. Furthermore, the diffusive resistance of the leaf and characteristics of the leaf structure were determined.

1. At high light intensity (38 400 lx), *V. rupestris* shows with 7.25 mg CO₂/dm² · h a high net photosynthesis rate and *V. riparia* with 3.96 mg CO₂/dm² · h a low one. Those of Müller-Thurgau (6.48 mg CO₂/dm² · h) and of Riesling (6.50 mg CO₂/dm² · h) range between the mentioned extreme values.
2. No differences in the net photosynthesis rate appear between the genotypes with a light intensity of 4 000 lx.
3. The light compensation point for Riesling is highest with 750 lx and lowest for *V. riparia* with 450 lx.
4. The highest rate of dark respiration was found with 0.40 mg CO₂/dm² · h for Riesling, the lowest with 0.21 mg CO₂/dm² · h for *V. riparia*.
5. It could be stated that *V. riparia* shows the highest leaf diffusive resistance not only at low light intensity but also at high light intensity.
6. The correlation coefficient between net photosynthesis rate and surface development of leaf is -0.986, between net photosynthesis rate and diffusive resistance of leaf -0.997, and between xeromorphic leaf structure and rate of dark respiration of leaf +0.977.

1. Einleitung

Die photosynthetische Leistung einer Pflanzensorte ist für ihren Ertrag von entscheidender Bedeutung. Sortenspezifische Unterschiede in der Photosyntheserate konnten u. a. von BOONSTRA (1939) bei Zuckerrüben, von APEL und LEHMANN (1969) bei Sommergerste und von MEINL (1969) bei Kartoffeln belegt werden. Für Reben konnten, abgesehen von einem sehr frühen Versuch von SCHANDERL (1930), bislang noch keine signifikanten Sortenunterschiede in der Photosyntheseaktivität nachgewiesen werden. Im Hinblick auf die sehr großen Ertragsdifferenzen zwischen den Sorten überrascht diese Feststellung. Da aber in einem Rebbestand sogar an einem Sonnentag mit ca. 85 klx die Beleuchtungsstärke innerhalb der Laubwand nur etwa 3 klx beträgt, dürfte vermutet werden, daß eventuelle Unterschiede in der Photosyntheseleistung von Rebsorten erst bei geringer Lichtintensität auftreten.

Hiervon ausgehend untersuchte GEISLER (1963) das Verhalten einiger *Vitis*-Arten und -Sorten bei geringer Lichtintensität und bestimmte ihre Lichtkompensationspunkte. Hierbei stellte er artspezifische Unterschiede der Lichtkompensationsgleichgewichte fest. In der vorliegenden Arbeit soll nun untersucht werden, ob diese Un-

terschiede der Photosyntheserate bei geringer Lichtintensität auch zwischen verschiedenen Rebsorten auftreten und ob Unterschiede der Photosyntheseleistung auch bei hoher Lichtintensität nachweisbar sind.

2. Material und Methoden

Als Versuchspflanzen dienten Zweiaugenstecklinge der Arten *Vitis rupestris*, *V. riparia* sowie der *V. vinifera*-Sorten Müller-Thurgau und Riesling. Die Pflanzen wuchsen einzeln in 5-l-Töpfen im Gewächshaus auf und wurden ausreichend mit Wasser und Nährstoffen (3 g Hakaphos/Topf) versorgt. Etwa 2 Wochen vor Versuchsbeginn wurden alle Pflanzen auf einen Trieb gestellt und eventuell vorhandene Infloreszenzen entfernt. Die Photosynthesemessung erfolgte an einem ausgewachsenen Blatt mittlerer Insertionshöhe. Die drei Meßtermine lagen am 15.—22. 7. 1976, am 30. 7.—7. 8. 1976 und am 13.—19. 8. 1976; wenn möglich, wurde bei allen drei Meßterminen das gleiche Blatt verwendet. Die Messung wurde analog zu SAUTTER (1971) durchgeführt. Während der Photosynthesemessung standen die Pflanzen bei 20 °C und 70 % relativer Luftfeuchte in einem Klimaschrank, aus dem auch das Meß- und Vergleichsgas entnommen wurde. Die Beleuchtung der Pflanzen erfolgte mit zwei HQL-Lampen der Firma Osram. Durch bis zu sechs Schattiernetzlagen war es möglich, die Lichtintensität von ca. 40 000 lx auf 50 lx zu reduzieren.

Die Ermittlung der Lichtkompensationspunkte, der Dunkelatmungsraten und der Zunahme der Nettophotosyntheserate mit zunehmender Lichtintensität wurde mittels linearer Regressionsanalyse vorgenommen. Die Blattflächenbestimmung des gemessenen Blattes erfolgte mit einem Blattflächenmeßgerät (LI 3000) von Lambda-Instruments-Corporation, zur Ermittlung der Diffusionswiderstände diente ein LICOR Diffusive Resistance Meter (LI-60) von Lambda-Instruments-Corporation, wobei mit einem LiCl-Fühler die Geschwindigkeit der Wasserabgabe eines Blattsegmentes bestimmt wird (KANEMASU *et al.*, 1969). Die Blattstrukturmerkmale wurden nach GEISLER (1960) berechnet.

3. Ergebnisse

3.1. Photosyntheseraten in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

Wie aus der Abbildung hervorgeht, führt eine Verringerung der Beleuchtungsstärke von 38 400 auf 1 300 lx zu einem Rückgang der Nettophotosyntheserate (NPR) von durchschnittlich 6,05 auf 0,39 mg CO₂/dm² · h. Die NPR von *V. rupestris* liegt bei 38 400 lx und 11 700 lx deutlich über denen der anderen Genotypen, während die NPR von *V. riparia* bei diesen Lichtintensitäten immer am niedrigsten ist. Bei 3 900 lx und 1 300 lx sind bei der NPR keine oder nur geringe Art- und Sortenunterschiede zu erkennen.

3.2. Die Zunahme der Nettophotosyntheserate mit steigender Lichtintensität

Der mittlere Anstieg der NPR mit zunehmender Lichtintensität (Tabelle 1) ist mit 0,48 mg CO₂/dm² · h · klx bei *V. riparia* geringer als bei allen anderen Sorten bzw. Arten. Der Mittelwert des ersten Meßtermins liegt mit 0,60 mg CO₂/dm² · h ·

klx über denen des zweiten und dritten Termins (0,51 bzw. 0,49 mg CO₂/dm² · h · klx).

3.3. Kompensationspunkte

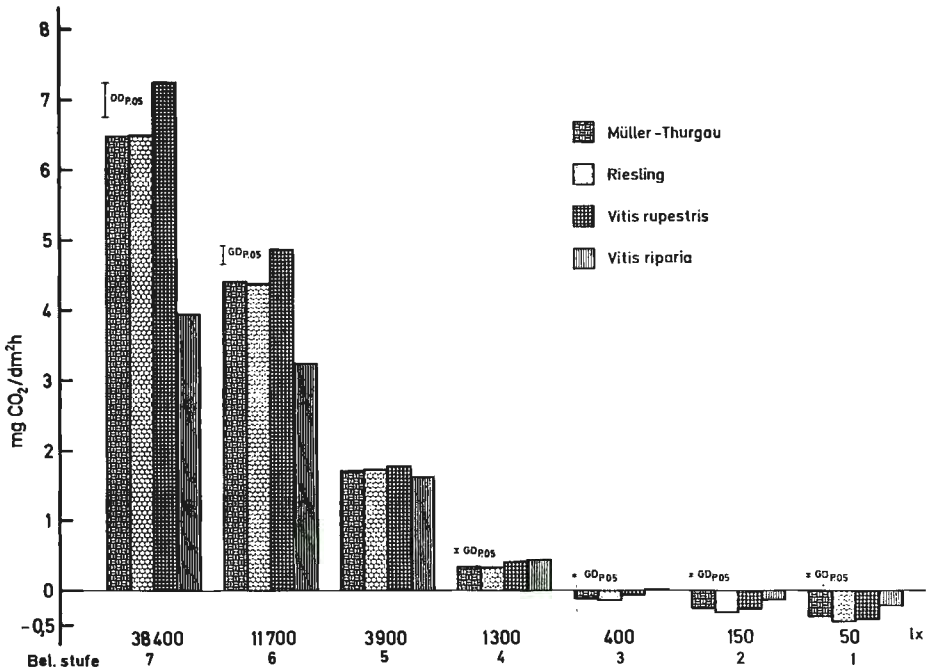
Die Kompensationspunkte variieren sowohl zwischen den Genotypen als auch zwischen den Meßterminen (Tabelle 2). *V. riparia* weist mit 450 lx den niedrigsten Kompensationspunkt auf, Riesling mit 750 lx den höchsten; sein Kompensationspunkt liegt im Mittel aller Meßtermine signifikant höher als der von Müller-Thurgau (670 lx) oder *V. rupestris* (640 lx). Im Mittel aller Sorten liegen die Kompensationspunkte beim ersten Meßtermin mit 550 lx deutlich am niedrigsten.

3.4. Dunkelatemungsraten

V. riparia besitzt eine deutlich geringere mittlere Dunkelatmung (0,21 mg CO₂/dm² · h) als *V. rupestris* (0,35 mg CO₂/dm² · h), Müller-Thurgau (0,36 mg CO₂/dm² · h) oder Riesling (0,40 mg CO₂/dm² · h). Zwischen den einzelnen Terminen treten nur bei *V. rupestris* Unterschiede auf (Tabelle 3).

3.5. Diffusionswiderstände

Der Diffusionswiderstand eines Blattes als Maß für dessen Gasaustausch ist bei ausgewachsenen Blättern von *V. riparia* sowohl bei starker (ca. 40 000 lx) als auch



Die Nettophotosyntheserate einiger Rebrarten und -sorten bei unterschiedlicher Lichtintensität.

Rate of net photosynthesis of some grapevine species and varieties under different light intensity.

bei schwacher Beleuchtung (ca. 200 lx) jeweils am höchsten. Bei allen anderen Genotypen konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden (Tabelle 4).

3.6. Blattstrukturen

Die Blätter von *V. riparia* haben mit 79,2 cm²/g FG die größte Oberflächenentwicklung und mit 0,282 g TS/dm² Blattfläche den geringsten Hartlaubcharakter (Tabelle 5). Demgegenüber weist *V. rupestris* mit 58,2 cm²/g FG die niedrigste Oberflächeentwicklung auf, und die Blätter der Sorte Riesling besitzen mit 0,547 g TS/dm² Blattfläche den deutlichsten Hartlaubcharakter.

3.7. Beziehungen der Parameter untereinander

Zwischen den einzelnen Parametern treten zum Teil deutliche Wechselwirkungen auf (Tabelle 6). So beeinflussen eine große Oberflächenentwicklung sowie ein hoher Diffusionswiderstand die NPR bei starker Beleuchtung und den Anstieg der

Tabelle 1

Die Zunahme der NPR mit der Erhöhung der Lichtintensität um 1 000 lx
The increase of net photosynthesis rate when augmenting light intensity by 1 000 lx

Art/Sorte	Zunahme der NPR (mg CO ₂ /dm ² · h · klx)				GD _{0,05}
	I	Meßtermin II	III	Mittelwert	
<i>V. riparia</i>	0,55	0,44	0,44	0,48	0,06
<i>V. rupestris</i>	0,64	0,55	0,48	0,56	0,08
Müller-Thurgau	0,60	0,52	0,48	0,53	0,06
Riesling	0,60	0,51	0,55	0,55	N.S.
Mittelwert	0,60	0,51	0,49	0,53	0,03
GD _{0,05}	N.S.	0,05	N.S.	0,04	

N.S. = Nicht signifikant.

Tabelle 2

Die Lichtkompensationspunkte einiger Rebarten und -sorten
The light compensation points of some grapevine species and varieties

Art/Sorte	Kompensationspunkte (lx)				GD _{0,05}
	I	Meßtermin II	III	Mittelwert	
<i>V. riparia</i>	330	520	490	450	130
<i>V. rupestris</i>	620	680	610	640	N.S.
Müller-Thurgau	610	710	700	670	90
Riesling	630	830	780	750	120
Mittelwert	550	690	650	630	60
GD _{0,05}	140	130	150	70	

N.S. = Nicht signifikant.

Tabelle 3

Die errechneten Dunkelatemungsraten einiger Rebarten und -sorten
The rates calculated of dark respiration of some grapevine species and varieties

Art/Sorte	Dunkelatemung (mg CO ₂ /dm ² · h)				GD _{0,05}
	I	Meßtermin II	III	Mittelwert	
<i>V. riparia</i>	0,18	0,23	0,21	0,21	N.S.
<i>V. rupestris</i>	0,39	0,38	0,29	0,35	0,08
Müller-Thurgau	0,36	0,37	0,34	0,36	N.S.
Riesling	0,37	0,42	0,42	0,40	N.S.
Mittelwert	0,33	0,35	0,32	0,33	N.S.
GD _{0,05}	0,07	0,08	0,08	0,04	

N.S. = Nicht signifikant.

Tabelle 4

Die Diffusionswiderstände ausgewachsener Blätter einiger Rebarten und -sorten
Diffusive resistance of adult leaves of some grapevine species and varieties

Art/Sorte	r _s -Werte (s/cm)	
	ca. 40 000 lx	ca. 200 lx
<i>V. riparia</i>	7,6	107,6
<i>V. rupestris</i>	1,8	23,4
Müller-Thurgau	3,2	28,4
Riesling	2,7	54,0
GD _{0,05}	2,5	32,7

Tabelle 5

Oberflächenentwicklung und Hartlaubcharakter ausgewachsener Blattspreiten einiger Rebarten und -sorten

Surface development and xeromorphic structure of fully grown leaf blades of some grapevine species and varieties

Art/Sorte	Oberflächenentwicklung (cm ² /g FG)	Hartlaubcharakter (g TS/dm ²)
<i>V. riparia</i>	79,2	0,282
<i>V. rupestris</i>	58,2	0,443
Müller-Thurgau	66,3	0,442
Riesling	63,9	0,547
GD _{0,05}	3,8	0,054

Tabelle 6

Korrelationskoeffizienten zwischen einzelnen Parametern
Correlation coefficients between single parameters

Parameter	NPR bei starker Beleuchtung	Anstieg der NPR	Kompensa- tions- punkte	Dunkel- atmung
r_s -Wert ausgewachsener Blätter bei ca. 200 lx	-0,961*	-0,747	-0,815	-0,874
r_s -Wert ausgewachsener Blätter bei ca. 40 000 lx	-0,997*	-0,873	-0,921	-0,988*
Oberflächen- entwicklung	-0,986*	-0,777	-0,851	-0,988*
Hartlaub- charakter	0,814	0,989*	0,977*	0,867

* = Signifikant bei $P = 5\%$ ($r \geq 0,95$).

NPR mit zunehmender Lichtintensität negativ; d. h., daß die NPR pro Blattflächeneinheit bei hoher Lichtintensität bei Sorten mit einer großen Oberflächenentwicklung der Blätter bzw. einem hohen Diffusionswiderstand der Blätter niedriger liegt als bei Sorten mit kleiner Oberflächenentwicklung bzw. großem Diffusionswiderstand. Ein ausgeprägter Hartlaubcharakter der Blätter ist mit einer Erhöhung des Lichtkompensationspunktes und einer gesteigerten Dunkelatmung korreliert. Eine Beziehung des Hartlaubcharakters zur NPR bei starker Beleuchtung und zum Anstieg der NPR mit zunehmender Lichtintensität konnte nicht nachgewiesen werden. Die Dunkelatmung sowie die Kompensationspunkte sind weder mit der Oberflächenentwicklung noch mit den Blattdiffusionswiderständen korreliert.

4. Diskussion

Die vorliegenden Untersuchungen sollten darüber Auskunft geben, ob zwischen *Vitis*-Arten bzw. zwischen Sorten der europäischen Kulturrebe feststellbare Unterschiede in der Nettophotosyntheserate bei verschiedenen Lichtintensitäten bzw. im Bereich des Lichtkompensationspunktes bestehen. Bereits GEISLER (1963) hat sich diese Frage gestellt. Die von ihm ermittelten NPR von 4,31 mg CO₂/dm² · h bei *V. riparia*, 5,54 mg CO₂/dm² · h bei Riesling und 7,60 mg CO₂/dm² · h bei *V. rupestris* liegen im Bereich der hier vorgelegten Werte von 3,94 mg CO₂/dm² · h bei *V. riparia*, 6,49 mg CO₂/dm² · h bei Riesling und 7,22 mg CO₂/dm² · h bei *V. rupestris*. Die anderen von ihm untersuchten *V. vinifera*-Sorten Silvaner und Gutedel weichen mit 5,82 bzw. 6,23 mg CO₂/dm² · h nur unwesentlich von Riesling ab, was auch für die hier gemessene Sorte Müller-Thurgau mit 6,47 mg CO₂/dm² · h zutrifft.

Mit diesen Werten wird deutlich, daß bei hoher Lichtintensität — in der vorliegenden Versuchsreihe bei über 10 000 lx — signifikante Unterschiede in der NPR zwischen *V. riparia* (niedrige NPR) und *V. rupestris* (hohe NPR) bestehen, nicht aber zwischen Riesling und Müller-Thurgau. In Rebbeständen aber werden selbst bei starker Sonneneinstrahlung nur wenige Blätter in den vollen Lichtgenuß gelangen, während viele Blätter, namentlich jene im Traubenbereich, beschattet werden. Hierbei sinkt die Lichtintensität vielfach auf Werte um etwa 3 000 lx ab. Bei diesen Lichtintensitäten können jedoch keine Art- und Sortenunterschiede in der NPR nachgewiesen werden. Erst wieder im Bereich der Lichtkompensationspunkte (vgl. auch GEISLER 1963) treten Unterschiede zwischen den Genotypen auf, die offensichtlich in enger Beziehung zur Intensität der Dunkelatmung stehen. Im Hinblick auf den Einfluß von Umweltfaktoren auf die Lage des Lichtkompensationspunktes und die Intensität der Dunkelatmung dürfen die aufgezeigten Unterschiede in der Lage der Lichtkompensationspunkte für Stoffproduktionsunterschiede zwischen Arten und Sorten nicht überbewertet werden.

Mithin sind die aufgezeigten Differenzen in der NPR bei hoher Lichtintensität zweifelsohne für die Stoffproduktion einer Pflanze von Bedeutung. Diese Feststellung dürfte für die Züchtung neuer Sorten von besonderem Interesse sein. Die systematische meßtechnische Erfassung der NPR im Rahmen einer Frühselektion von Reben ist allerdings viel zu aufwendig, weshalb nach Parametern gesucht werden könnte, die in enger Korrelation zur NPR stehen. Hierfür bieten sich der Blattdiffusionswiderstand und die Oberflächenentwicklung eines Blattes an, die in den vorliegenden Untersuchungen in negativer Korrelation zur Nettophotosyntheserate stehen. Beziehungen zwischen dem Diffusionswiderstand eines Blattes und dessen NPR wiesen u. a. GAASTRA (1959), HEATH (1972) und LIU *et al.* (1978) nach. HAYASHI (1966, 1968) beschrieb die wechselseitigen Beziehungen der Nettophotosyntheserate, des „specific leaf area“ (= Blattfläche/Blatttrockensubstanz) und der relativen Wachstumsrate zueinander.

Weitere Untersuchungen sind jedoch notwendig, um die aufgezeigten Beziehungen zwischen der NPR, dem Blattdiffusionswiderstand und der Oberflächenentwicklung für ihre Verwendung als frühdiagnostisches Prinzip in der Züchtung zu prüfen. Außerdem ist zu prüfen, welche Beziehungen zwischen der NPR eines Blattes und der Traubenertragsleistung bestehen.

5. Zusammenfassung

Von *Vitis riparia*, *V. rupestris* und den *V.-vinifera*-Sorten Müller-Thurgau und Riesling wurde die photosynthetische Leistung bei sieben Beleuchtungsstufen zwischen 40 000 lx und 50 lx bestimmt. Hieraus wurden auf statistischem Weg Kompensationspunkte, Dunkelatmungsraten und der Anstieg der Assimilationskurven bestimmt. Weiterhin wurden der Diffusionswiderstand des Blattes und Kennwerte der Blattstruktur ermittelt.

1. Bei hoher Lichtintensität (38 400 lx) weist *V. rupestris* mit 7,25 mg CO₂/dm² · h eine hohe NPR und *V. riparia* mit 3,96 mg CO₂/dm² · h eine geringe NPR auf. Die NPR von Müller-Thurgau (6,48 mg CO₂/dm² · h) und die von Riesling (6,50 mg CO₂/dm² · h) liegen zwischen den genannten Extremwerten.
2. Bei ca. 4 000 lx treten keine Unterschiede in der NPR zwischen den Genotypen auf.

3. Der Lichtkompensationspunkt liegt bei Riesling mit 750 lx am höchsten und bei *V. riparia* mit 450 lx am niedrigsten.
4. Die Dunkelatmungsrate ist mit 0,40 mg CO₂/dm² · h bei Riesling am höchsten und bei *V. riparia* mit 0,21 mg CO₂/dm² · h am niedrigsten.
5. *V. riparia* besitzt sowohl bei starker als auch bei schwacher Beleuchtungsstärke die höchsten Blattdiffusionswiderstände.
6. Der Korrelationskoeffizient zwischen NPR und Oberflächenentwicklung des Blattes beträgt -0,986, zwischen NPR und Diffusionswiderstand des Blattes -0,997, zwischen dem Hartlaubcharakter und der Dunkelatmungsrate des Blattes +0,977.

6. Literatur

- APPEL, P. und LEHMANN, CHR. O., 1969: Variabilität und Sortenspezifität der Photosyntheserate bei Sommergerste. *Photosynthetica* 3, 255—262.
- BOONSTRA, A. E. H. R., 1939: Sortenunterschiede bei Zuckerrüben. III. (nied.) Mededel. Inst. Suikerbietensteelt. 7, 161—285.
- GAASTRA, P., 1959: Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Mededel. Fac. Landbouww. Wageningen 59 (13), 1—68.
- GEISLER, G., 1960: Die Bedeutung blattmorphologischer Merkmale für die Züchtung dürrerestanter Rebenunterlagssorten. *Vitis* 2, 153—171.
- — —, 1963: Art- und sortenspezifische CO₂-Assimilationsraten von Reben unter Berücksichtigung wechselnder Beleuchtungsstärken. Mitt. Klosterneuburg, Ser. A, 13, 301—305.
- HAYASHI, K., 1966: Efficiencies of solar energy conversion in rice varieties as affected by planting density. *Proc. Crop. Sci. Soc. Japan* 35, 205—211.
- — —, 1968: Efficiencies of solar energy conversion in rice varieties. In: HAYASHI, K. (Ed.): Photosynthesis and utilization of solar energy. Level III. Experiments 1966—1967; 39—42. Tokyo.
- HEATH, O. V. S., 1972: Physiologie der Photosynthese. Georg-Thieme-Verlag, Stuttgart.
- KANEMASU, E. T., THURTELL, G. W. and TANNER, C. B., 1969: Design, calibration and field use of stomatal diffusion porometer. *Plant Physiol.* 44, 881—885.
- LIU, W. T., POOL, R., WENKERT, W. and KRIEDEMANN, P. E., 1978: Changes in photosynthesis, stomatal resistance and abscisic acid of *Vitis labruscana* through drought and irrigation cycles. *Amer. J. Enol. Viticult.* 29, 239—246.
- MEINL, G., 1969: Assimilationsvermögen als Sortenmerkmal. II. Trockenmassenproduktion, apparente Assimilation, Respiration und Transpiration von Kartoffelklonen unterschiedlicher Valenzstufen und Sorten bei unterschiedlich hoher NPK-Versorgung. *Photosynthetica* 3, 9—19.
- SAUTTER, L., 1971: Einfluß der NPK-Düngung auf die Photosynthese der Reben. Diss. Univ. Hohenheim.
- SCHANDERL, H., 1930: Untersuchungen über die Photosynthese einiger Rebsorten, speziell des Rieslings, unter natürlichen Verhältnissen. *Pflanzenbau* 3, 529—560.

Eingegangen am 2. 3. 1981

Prof. Dr. G. ALLEWELDT
 Institut für Obst-, Gemüse- und Weinbau
 Universität Hohenheim
 Postfach 106
 D 7000 Stuttgart 70