

**Untersuchungen über die Beziehungen zwischen
der Wasserspannung im Boden und der Geschwindigkeit
des Wassertransportes im Stamm von *Citrus aurantium
sinensis* ENGLER unter Bedingungen eines
trockenen Tropenklimas**

Von

RICHARD MICHLER und REIMER HERRMANN*)

Mit 3 Abbildungen

Resumen

Son examinadas las relaciones entre la tensión de agua en el suelo y la velocidad del movimiento de agua en el tronco de *Citrus aurantium sinensis*. Se observa que todavía en altas tensiones de agua (0—75 cm : pF > 4,2; 75—120 cm : pF 4,2—3,5; 120—270 cm : pF 2,5—3,5) hay un intercambio de gases entre la planta y el aire que la rodea. Para la irrigación en la agricultura práctica se concluye que, bajo las extremas condiciones climáticas del lugar observado, se puede aumentar la producción si se riega cada tres semanas con mucha intensidad.

Zusammenfassung

Es werden die Beziehungen zwischen der Wasserspannung im Boden und der Geschwindigkeit des Wassertransportes im Stamm von *Citrus aurantium sinensis* untersucht. Es zeigt sich, daß noch bei hohen Wasserspannungen (0—75 cm : pF > 4,2; 75—120 cm : pF 4,2—3,5; 120—270 cm : pF 2,5—3,5) ein Gasaustausch zwischen Pflanze und umgebender Luft möglich ist. Für die Praxis der Bewässerung folgt daraus, daß der Ertrag unter den extremen klimatischen Bedingungen des Standortes gesteigert werden kann, wenn alle drei Wochen kräftig bewässert wird.

Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluß der Wasserspannung im Boden auf die Geschwindigkeit des Wassertransportes im Stamm zu klären. Besonders unter den extremen klimatischen Bedingungen des Standortes ist diese Beziehung von Bedeutung für den jeweiligen Spalt-

*) Die Untersuchungen wurden durch Stipendien der Deutschen Forschungsgemeinschaft in Bad Godesberg und des Tropeninstitutes der Universität Giessen ermöglicht, wofür wir auch an dieser Stelle herzlich danken möchten.

öffnungszustand und damit für den Gasaustausch und die Stoffproduktion. Weiter wurde versucht, aus den Ergebnissen Aussagen über Höhe und zeitliche Abfolge der Bewässerungsgaben abzuleiten.

Untersuchungsobjekte und Versuchsanordnung

Für die Messung wurden drei je 2,50 m hohe Apfelsinenbäumchen ausgewählt, die in einem Dreieck von je 5 m Seitenlänge zueinander standen. Die Bäumchen wurden 24 Stunden vor Beginn der Messungen begossen. Die Wassergaben von etwa 300 l/Baum erfolgten in einer Scheibe 60 cm um den Stamm herum in einer Zeitspanne von 3 Stunden.

Die Bestimmung der Geschwindigkeit des aufsteigenden Wassers erfolgte im Prinzip nach der bei HUBER (1936) beschriebenen thermoelektrischen Kompensationsmethode. Die Abstände zwischen der Heizung und den beiden Thermoelementen betragen 7 mm (stammabwärts) und 12 mm (stammaufwärts) und waren damit den zu erwartenden Geschwindigkeiten angepaßt. Abweichend von HUBERS Versuchsanordnung wurden Heizung und Thermoelemente in einem feinen, horizontal durch die Rinde geführten Schnitt direkt dem Holzkörper angelegt. Auf diese Weise konnte der Kontakt zwischen Thermoelementen und Wasserleitungssystem verbessert werden.

Die Wasserspannung wurde nach einem von McQUEEN & MILLER (1966: Ia—10) entwickelten Verfahren gemessen. Dieses beruht darauf, daß Filterpapier als ein Anzeiger für die Wasserspannung im Boden benutzt werden kann, da eine sehr enge Korrelation zwischen dem Gewicht des sich im Wasserspannungsgleichgewicht mit dem feuchten Boden befindlichen Filterpapiers und der Wasserspannung selbst besteht. Die Bodenproben wurden täglich einmal mit einem „holländischen Sandbohrer“ aus Tiefen bis zu 3,50 m heraufgeholt.

Die Untersuchungsbedingungen

Für den Versuch wurde eine Apfelsinenpflanzung in der Schwemmebene der Quebrada Concha, etwa 8 km nordöstlich von Santa Marta, ausgewählt. Die jungen terrestrischen Aufschüttungen bestehen aus Feinsanden, die nach unten hin in Schluffe übergehen. Im gesamten Profil sind Bänder und Linsen aus Grobsanden und Feinkiesen zwischengelagert. Diese Einschaltungen setzen je nach Textur die Höhe des Saugsaumes mehr oder weniger stark herab, da in ihnen die Steighöhe verringert wird. Es entsteht so ein räumlich stark wechselnder Flurabstand des Saugsaumes von etwa 1—3 m. Die pF-Kurven verlaufen alle im konkaven Bereich, zeigen also hohe Durchlässigkeit und geringes Wasserhaltevermögen an.

Analog zu PÉREZ (1962: 39), der die Vegetation in den benachbarten Einzugsgebieten des Gaira und Manzanares beschrieben hat, gehört die natürliche Vegetation zu der "formación bosque muy seco tropical, asociación de las vegas". Ein Großteil der natürlichen Baum- und Strauchvegetation dieses Gebietes hat über den Saugsaum Zugang zum Grundwasser (z. B. *Anacardium excelsum* = „Caracolí“). Der Oberboden trocknet von Dezember bis März über den Welkepunkt hinaus ein. Eine Niederschlagsmeßstelle besteht im Untersuchungsraum nicht. Ein anschauliches Bild (Abb. 1) über den ökologischen Einfluß der Bodenfeuchte vermittelt jedoch ein Wasserspannungs-Isoplethendiagramm. Die diesem zugrunde liegenden Messungen wurden nach dem gleichen Verfahren (MCQUEEN & MILLER 1966: Ia—10) 5 Monate vor dem eigentlichen Versuch an einem 500 m von der Apfelsinenpflanzung entfernten Standort unter verbuschter Weide durchgeführt. Die nach der „kleinen Trockenzeit“ Ende September erreichte bodenhydrologische Horizontabfolge 0—1,0 m: > pF 4,2 (Totwasser); 1,0—2,1 m: pF 3,5—4,2 (schwer pflanzenverfügbares Wasser); 2,1—3,6 m: pF 3,5—2,5 (leicht pflanzenverfügbares Wasser) und tiefer als 3,6 m: < pF 2,5 (Saugsaum) wird durch die Hauptregenzeit von Oktober bis Dezember nur im Oberboden unterbrochen. Der Saugsaum fällt weiter durch natürlichen Abfluß des Grundwassers und durch Entnahmen für die künstliche Bewässerung. Anfang Januar war das in der Regenzeit gespeicherte Wasser wieder verbraucht und der Horizont mit Totwasser bis auf 2,40 m Tiefe ausgedehnt worden.

Während des Untersuchungszeitraumes wehte die „brisa“, ein warmer, trockener Fallwind mit hoher Windgeschwindigkeit und starker Böigkeit. Der Himmel war stets ohne Bewölkung. Unter dem Einfluß der „brisa“ entstand an allen Tagen ein sehr ähnlicher Temperaturverlauf beginnend mit 25,5° C um 6.00 Uhr morgens. Bis zur Mittags-

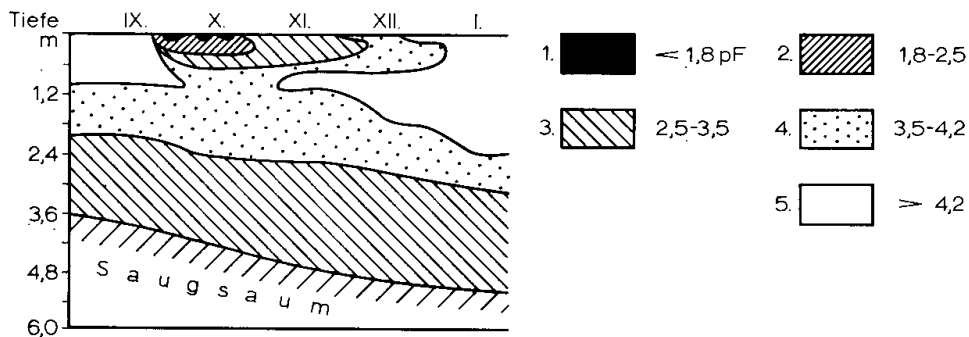


Abb. 1. Wasserspannungs(pF-Werte)-Isoplethendiagramme in einem dem Versuchsort benachbarten Profil unter verbuschter Weide. Zeitraum: 1. 9. 1967 — 1. 1. 1968. Es bedeuten: 1 = schnell drainendes Sickerwasser (pF 1,8), 2 = langsam drainendes Sickerwasser (pF 1,8—2,5), 3 = leicht pflanzenverfügbares Wasser (pF 2,5—3,5), 4 = schwer pflanzenverfügbares Wasser (pF 3,5—4,2), 5 = Totwasser (pF 4,2).

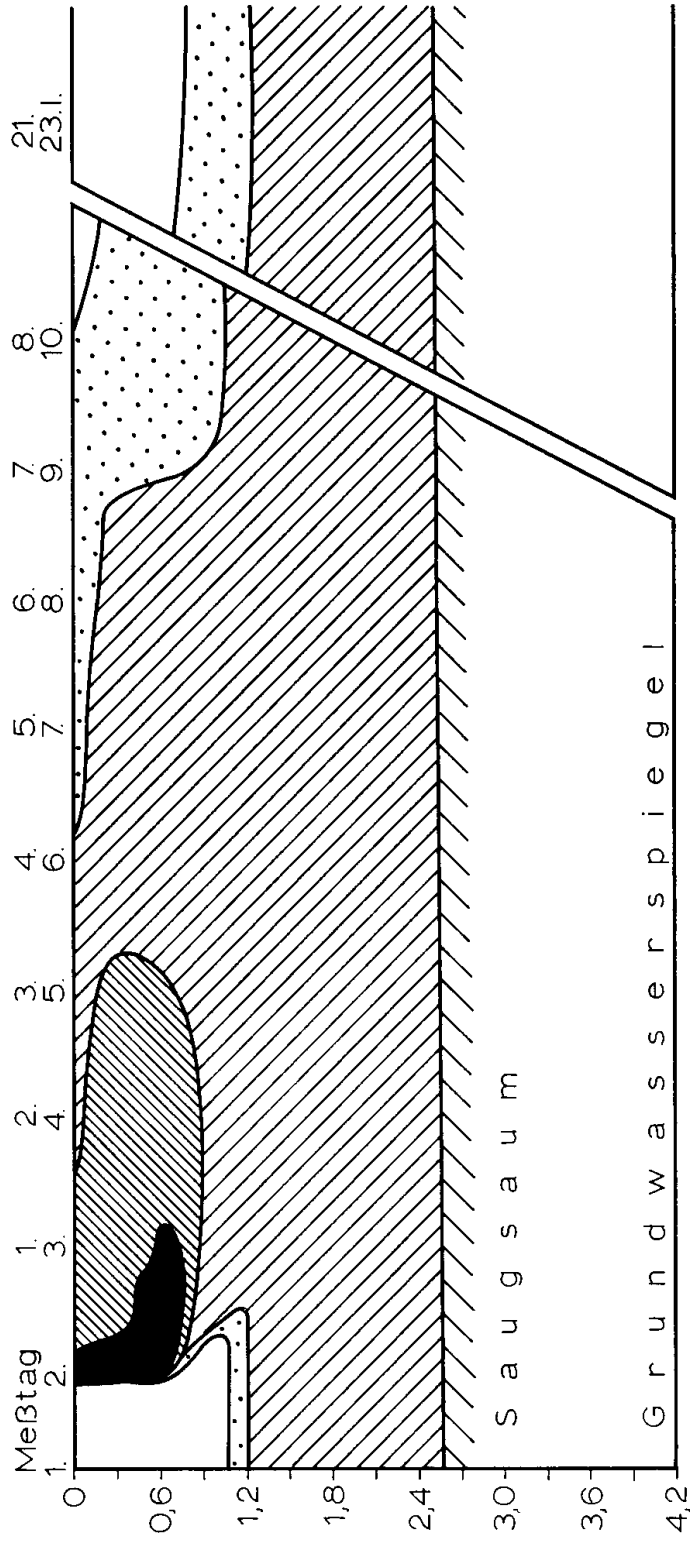


Abb. 2. Veränderung der Wasserspannung (pF-Werte) unter *Citrus aurantium sinensis* ENGLER nach einmaliger Bewässerung. Erläuterung der Signaturen vgl. Abb. 1.

zeit stieg die Temperatur dann auf 32,4° C an (stärkste Abweichung 1,2° C), um bis 17.15 Uhr wieder auf 28,0° C (stärkste Abweichung 0,4° C) abzusinken. Die mittleren höchsten Tageswerte der Piche-Evaporation betragen 1,65 ml/h bei einem Plättchendurchmesser von 3 cm. Der niedrigste Tageswert wurde am 1. Meßtag mit 1,52 ml/h und die beiden höchsten Tageswerte am 2. und 4. Meßtag mit je 1,76 ml/h gemessen.

Die Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe erreichte im Mittel morgens 1 m/s, stieg dann bis mittags auf 3 m/s an und fiel bis zum Abend wieder auf 2 m/s ab. Infolge der „brisa“ war der Einfluß der meteorologischen Faktoren sehr gleichmäßig.

Ergebnisse

Der Verlauf der Geschwindigkeit des Wassertransportes im Stamm wird bei einer Testpflanze mit Hilfe von Tabellen (Tab. 1) und einer graphischen Darstellung (Abb. 3) beschrieben. Zusätzlich werden die an den beiden anderen Pflanzen gewonnenen Ergebnisse zur Diskussion herangezogen.

An den beiden ersten Meßtagen sind die Geschwindigkeitsgänge relativ ruhig, d. h. es treten keine starken Schwankungen innerhalb kurzer Zeiträume auf. Die höheren Geschwindigkeitswerte des 2. gegenüber denen des 1. Tages finden ihre Erklärung in der um 25% höheren Evaporation, welche durch höhere Windgeschwindigkeiten und etwas höhere Mittagstemperaturen bedingt ist. Am 3. Tag wurden ebenfalls noch hohe Geschwindigkeiten (max. 336 cm/h) gemessen, jedoch traten um die Mittagszeit bereits starke Schwankungen (bis zu 48%) auf. Vom 4. Tag an waren dann die Höchstgeschwindigkeiten schon sehr viel geringer. Der höchste Wert des 4. Tages lag um 40% unter dem des Vortages.

Die am 3. Tage erstmalig auftretenden kurzzeitigen Geschwindigkeitsänderungen wurden dann an allen folgenden Meßtagen beobachtet. Gleichzeitig nahmen die Tageshöchstwerte weiter ab (Abb. 3). Der Höchstwert des 21. lag mit 130 cm/h um 62% unter dem des 3. Meßtages.

Der starke Einschnitt nach dem 3. Meßtag findet seine Erklärung darin, daß der Pflanze vom 4. Meßtag an nur noch leicht pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung stand. Bemerkenswert erscheint, daß in der Pflanze auch noch bei hohen Wasserspannungen im Boden zumindest zeitweise noch starke Geschwindigkeiten des Wassertransportes auftreten. Es sei aber betont, daß im Mittel die Nutzung des sogenannten leicht pflanzenverfügbaren Wassers (pF 2,5—3,5) auch xeromorph gebauten Pflanzen Schwierigkeiten macht.

Die Zunahme der Wasserspannung nach dem 7. Meßtag macht sich dann jedoch nicht so deutlich in einer Geschwindigkeitsänderung bemerk-

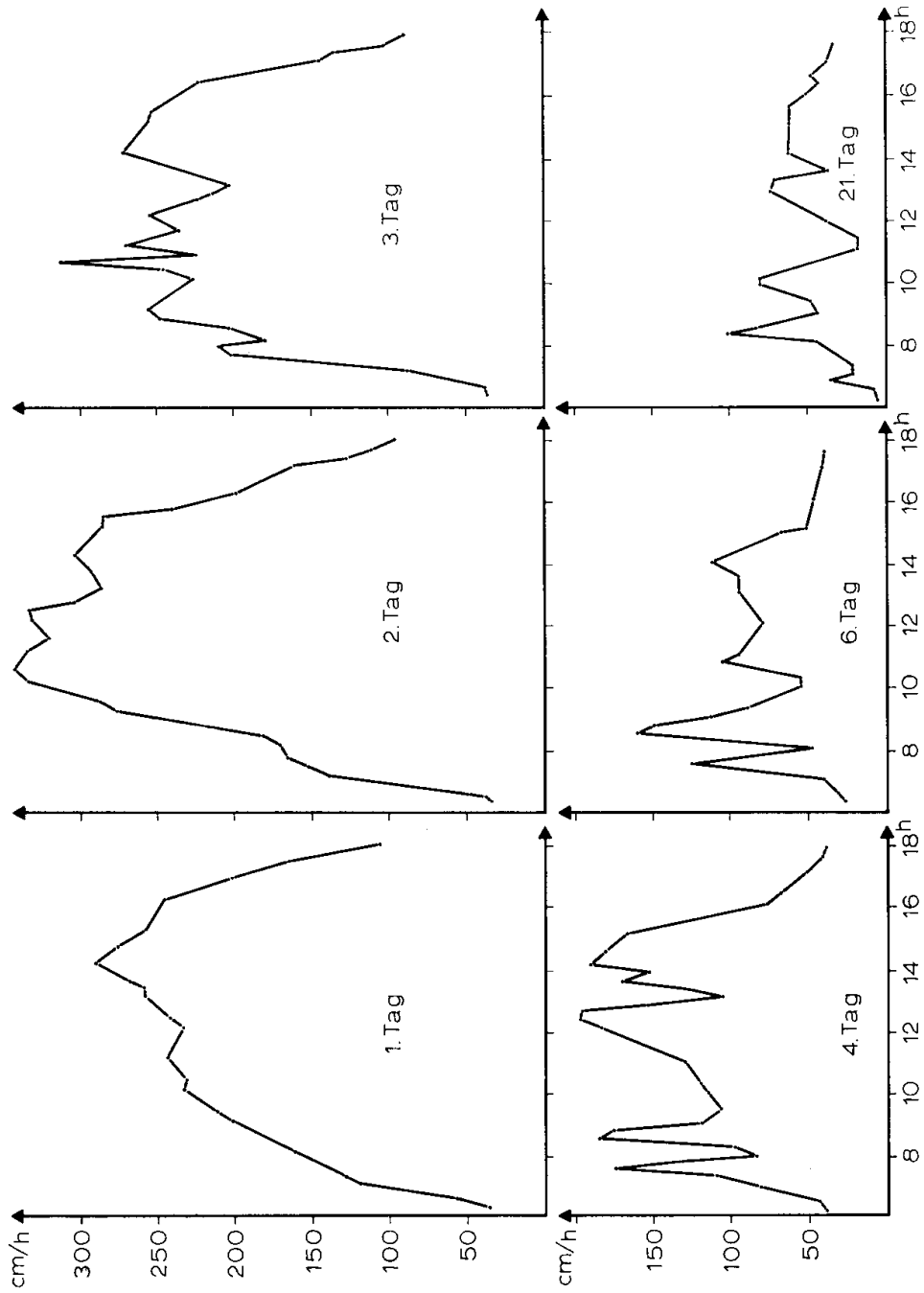


Abb. 3. Tagesgänge der Strömungsgeschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstromes im Stamm von *Citrus aurantium sinensis* ENGLER am 1. bis 4. sowie am 6. und 21. Tag nach der Bewässerung. Vgl. Tab. 1.

bar. Die vor der Bewässerung gemessenen Werte waren noch beträchtlich niedriger als die am 21. Tage zur gleichen Tageszeit gemessenen Geschwindigkeiten.

Die beiden anderen Testpflanzen lieferten grundsätzlich die gleichen Ergebnisse. Entsprechend dem sich etwas länger haltenden Sickerwasser traten jedoch auch die ersten aktiven Geschwindigkeitsschwankungen erst später ein. In allen Fällen setzten die beobachteten starken Schwankungen der Geschwindigkeit des Wassertransportes am gleichen Tag ein, an dem bei der betreffenden Pflanze das letzte Sickerwasser verbraucht wurde.

Infolge der steigenden Wasserspannung im Boden konnten auch in bezug auf die Turgeszens der Blätter bei den Testpflanzen deutliche Veränderungen festgestellt werden. Während die Pflanzen vor der Bewässerung einen völlig verwelkten Eindruck machten, waren sie auch nach 21-tägiger Trockenheit noch zum größten Teil straff und kaum eingerollt.

Aus diesen Beobachtungen sowie den noch am 21. Tage zeitweise erreichten hohen Geschwindigkeiten und deren Schwankungen¹⁾ kann geschlossen werden, daß die bewässerten Pflanzen auch nach dreiwöchiger Trockenheit noch in der Lage sind, durch lebhaftere Öffnungs- und Schließbewegungen der Stomata einen gegenüber den nichtbewässerten Pflanzen wesentlich verbesserten Gasaustausch zu ermöglichen. Deshalb war auch am 21. Tag bei hohen Wasserspannungen (0—75 cm: $> pF$ 4,2; 75—120 cm: pF 4,2—3,5; 120—270 cm: pF 3,5—2,5) noch eine Stoffproduktion möglich.

Für die Praxis der Bewässerung folgt daraus, daß der Ertrag bei *Citrus aurantium sinensis* unter den extremen klimatischen Bedingungen des Standortes gesteigert werden kann, wenn alle drei Wochen kräftig bewässert wird.

Schrifttum

- HUBER, B.: Fortschritte in der Erforschung pflanzlicher Saftströme. — Ber. dt. bot. Ges., 54, 369—370, Stuttgart 1936.
- MCQUEEN, I. S. & MILLER, R. F.: Calibration and evaluation of a wide range method for measuring moisture stress in field soil samples. — Symp. on water in the unsaturated zone, held at Wageningen 19—25 June, 1966, Ia—10 et 1—12, Wageningen 1966.
- PÉREZ, C. A.: Estudio ecológico para el manejo de las cuencas de los rios Gaira y Manzanares de la Sierra Nevada de Santa Marta. — Rev. ACODAL, 15, 6—71, Bogotá 1962.

Anschriften der Verfasser:

Stud. Ref. RICHARD MICHLER, Botanisches Institut der Justus Liebig-Universität, 63 Giessen, Senckenbergstraße 17—21.

Dr. REIMER HERRMANN, Geographisches Institut der Justus Liebig-Universität, 63 Giessen, Landgraf-Philipp-Platz 2.

¹⁾ Die eingehende Interpretation der starken kurzzeitigen Geschwindigkeitsschwankungen erfolgt in einer späteren Veröffentlichung.

Tabelle 1

Geschwindigkeiten v (cm/h) des Wassertransportes im Stamm von *Citrus aurantium sinensis* am 1. bis 4. sowie am 6. und 21. Meßtag (vgl. Abb. 3).

1. Meßtag

Uhrzeit	6.15	6.20	6.30	7.00	7.15	8.00	9.00	9.15	10.00	10.15
v	36	40	58	119	130	162	202	212	234	234

Uhrzeit	11.00	12.00	12.15	13.00	13.15	13.30	14.00	14.30
v	248	234	248	260	260	260	292	278

Uhrzeit	15.00	16.00	16.45	17.15	17.45
v	260	248	202	164	108

2. Meßtag

Uhrzeit	6.15	6.20	6.30	7.00	7.15	7.30	8.00	8.15	9.00	9.15
v	32	36	50	140	155	164	170	183	274	288

Uhrzeit	10.00	10.15	11.00	11.15	12.00	12.15	12.30	13.00	13.30
v	338	345	338	320	335	338	306	288	294

Uhrzeit	14.00	15.00	15.15	15.30	16.00	16.30	17.00	17.15	17.30	17.45
v	306	288	288	248	202	172	183	130	115	100

3. Meßtag

Uhrz.	6.15	6.30	7.00	7.30	7.45	8.00	8.15	8.30	8.45	9.00	10.00
v	32	36	88	202	212	175	202	234	248	258	224

Uhrzeit	10.15	10.30	10.35	11.00	11.30	12.00	12.30	12.45	13.00
v	248	314	224	274	234	258	224	215	202

Uhrzeit	14.00	15.00	15.15	16.00	16.15	17.00	17.30	17.45
v	274	258	258	234	224	148	104	93

4. Meßtag

Uhrz.	6.15	6.30	7.00	7.15	7.30	7.45	8.00	8.10	8.30	8.40	9.00
v	36	41	81	110	175	130	81	94	185	175	118

Uhrzeit	9.30	10.00	10.15	11.00	12.00	12.15	12.30	12.45	13.00	13.30
v	105	115	118	130	185	200	200	155	94	175

Uhrzeit	13.45	14.00	14.30	15.00	16.00	16.15	17.00	17.30	17.45
v	155	195	185	170	79	72	54	43	41

6. Meßtag

Uhrz.	6.15	6.30	7.00	7.15	7.30	7.45	8.00	8.30	8.40	9.00	9.15
v	29	36	43	94	130	94	50	165	155	115	90

Uhrzeit	10.00	10.15	10.45	11.00	12.00	12.15	13.05	13.30	14.00
v	58	59	110	97	80	83	97	97	118

Uhrzeit	14.55	15.00	15.15	16.00	17.00	17.30
v	70	54	54	50	47	43

21. Meßtag

Uhrz.	6.15	6.30	6.45	7.00	7.15	8.00	8.15	8.30	9.00	9.15	9.45
v	5	8	40	25	25	47	110	87	47	50	82

Uhrzeit	10.00	11.00	11.15	12.00	12.50	13.15	13.30	14.10	15.00
v	82	20	22	42	80	75	40	68	68

Uhrzeit	15.15	15.30	16.00	16.15	16.30	17.00	17.30
v	68	68	54	47	54	42	40