

Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) =
Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF))
Band: 73-F (1975)
Heft: 3-4: Prof. Dr. F. Kobold zum 70. Geburtstag

Artikel: Phänomenologische Deutung der Rannerschen Ortskonstanten
Autor: Bretterbauer, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-227539>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Phänomenologische Deutung der Rinner'schen Ortskonstanten

K. Bretterbauer, Wien

Abstract

It is a well-established fact that in EDM there is a systematic scale factor between Laser and microwaves. On basis of extensive measurements in the test-net Styria performed by RINNER this scale factor Laser minus microwaves averages $+4,5$ p.p.m. Rinner correctly attributes this scale factor to erroneous vapor pressures and derives 'local constants' which on the average amount to $-0,95$ Torr. In the paper at hand the existence of that local constant is fully verified on basis of statistical material on meteorological elements of numerous ground stations in Austria and of the free atmosphere as derived by radio-sonde ascends. In conclusion one might say that microwave measurements should be performed on warm fair afternoons, but never at night.

Die Bestimmung der effektiven Ausbreitungsgeschwindigkeit ist das zentrale Problem der elektromagnetischen Distanzmessung. Aus wirtschaftlichen Erwägungen muss man sich dabei im allgemeinen mit der Bestimmung der meteorologischen Elemente in den Streckenendpunkten begnügen, und nur in Ausnahmefällen wird der Einsatz von Ballonsonden oder Hubschraubern entlang der Messstrecke gerechtfertigt sein.

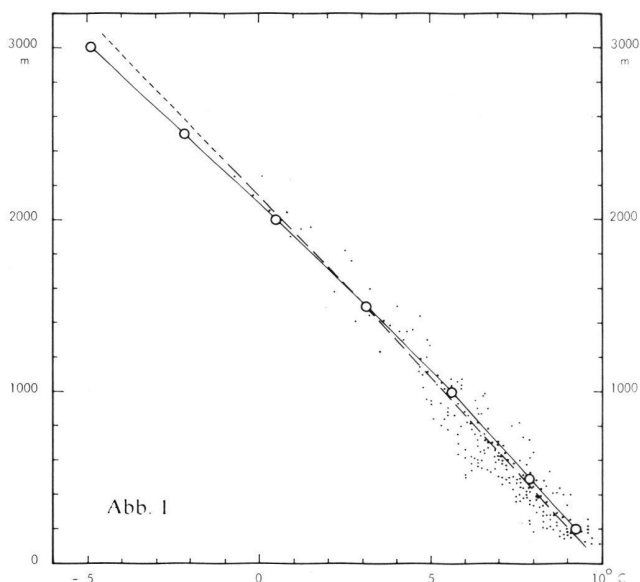
In den letzten Jahren wurden von verschiedenen Institutionen kritische Vergleichsmessungen zwischen Licht- und Mikrowellengeräten angestellt, wobei sehr bald systematische Differenzen zutage traten. Mitarbeiter der Schweizerischen Geodätischen Kommission waren unter den ersten Fachleuten, die darauf hingewiesen haben. So sagte Herr Dipl.-Ing. Fischer in der 116. Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission vom 23. Mai 1970 wörtlich [1, Seite 44]: «Es ist sehr augenfällig, wie alle Distomatmessungen (gemeint sind die aus den Jahren 1963, 1965, 1968 und 1969) kürzer waren als die entsprechenden Geodimetermessungen.» Fischer gibt die Differenz Licht minus Mikrowellen mit durchschnittlich $+5,5$ mm/km an [2, Seite 45].

Harold Jones vom Geodetic Survey of Canada hat bei der letzten Generalversammlung der IAG in Moskau eine Untersuchung vorgelegt, worin er zum Schluss kommt, dass Tellurometermessungen im allgemeinen $1-5$ mm/km kürzer sind als Geodimetermessungen. Er stellt weiter fest, dass bei Tage gemessene Geodimeterstrecken um $2-4$ mm/km länger sind als bei Nacht gemessene Strecken.

Eine gründliche Studie, der sehr reiches Beobachtungsmaterial zugrunde liegt, hat kürzlich K. Rinner, Graz, publiziert [3]. Darin leitet Rinner aus Laser- und Mikrowellenmessungen eine pseudosystematische Massstabsdifferenz von $+4,5$ mm/km im selben Sinne her. Rinner führt diese Differenz richtig auf Fehler im Partialdruck des Wasserdampfes zurück und berechnet nach zwei Verfahren «Ortskonstante» Δe für den Dampfdruck.

Im folgenden sollen nun Überlegungen mitgeteilt werden, die ich schon vor Jahren (1969) angestellt, seither durch neue Daten ständig ergänzt, aber noch nicht ver-

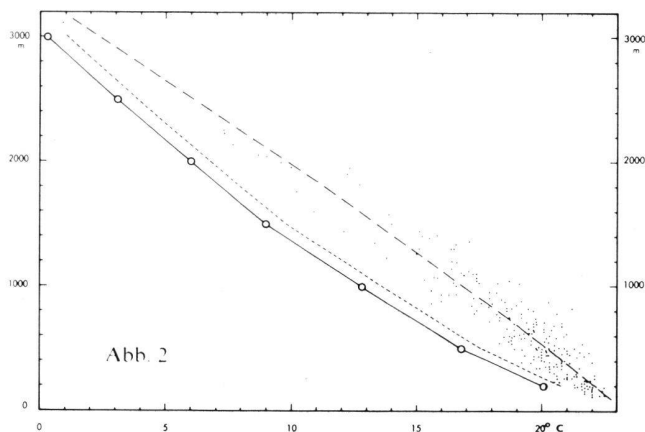
öffentlicht habe. Diese Untersuchungen erlauben eine phänomenologische Deutung der Rinner'schen Ortskonstanten auf statistischer Grundlage, wie ja auch Rinner hervorhebt, dass die Theorie der Ortskonstanten im statistischen Sinne, nicht aber für den Einzelfall gilt. Darüber hinaus wird gezeigt, dass auch Lasermessungen mit systematischen Fehlern behaftet sein können. Im Rahmen dieser Veröffentlichung kann nur ein geringer Teil des bearbeiteten Materials an meteorologischen Daten gebracht werden. Eine ausführliche Bearbeitung soll demnächst erscheinen [4].



Die Untersuchungen beschränken sich auf lange Seiten, deren Endpunkte auf Berggipfeln liegen; Talpunkte (oder Strecken im Flachland) sind ausgeschlossen. Diese Einschränkung macht auch Rinner. Unter diesen Voraussetzungen verläuft der Messstrahl fast zur Gänze in der freien Atmosphäre. Die Messung der meteorologischen Elemente dagegen erfolgt am Boden. Zunächst sei die Temperatur analysiert, weil hier die Vorgangsweise am verständlichsten wird. Bodenwerte sind in der Regel gestört – tagsüber tritt eine Aufheizung gegenüber der freien Atmosphäre ein, nachts dagegen ist es infolge der Temperaturinversion am Boden fast immer kälter als in gleicher Höhe in der freien Atmosphäre. Bildet man das Tagesmittel der Temperaturen, so gleichen sich diese Effekte weitgehend aus, und es wird dieses Tagesmittel der Bodentemperaturen dem Tagesmittel der ungestörten freien Atmosphäre entsprechen. Um diese Behauptung im statistischen Sinne zu überprüfen, habe ich aus den Ergebnissen der zweimal täglich in Wien durchgeführten Radiosondenaufstiege Tages- und Jahresmittelwerte gebildet. Desgleichen wurden Tages- und Jahresmittelwerte der Bodentemperaturen gebildet, wie sie an rund 230 Orten in Österreich ständig gemessen werden [5]. Für Details dieser Gegenüberstellung muss auf [4] verwiesen werden. Es mag kühn erscheinen, die in Wien gemessenen Werte der freien Atmosphäre auf andere Orte von Österreich übertragen zu wollen. Tatsächlich zeigt aber gerade die freie Atmosphäre im Durchschnitt über weite Strecken hin ein erstaunlich einheitliches Verhalten. Da hier nur der systematische Effekt herausgear-

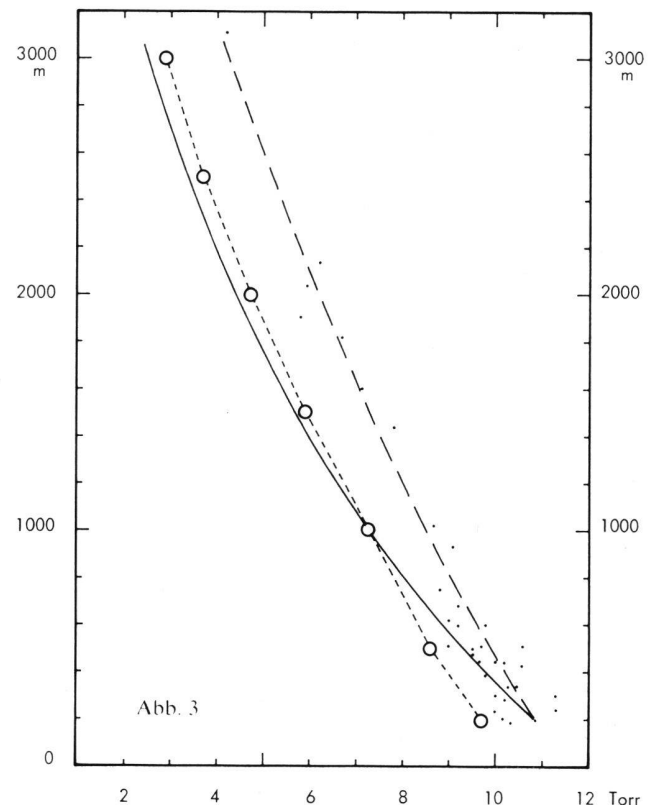
beitet werden soll, zeige ich in Abbildung 1 einen Vergleich der Tagesmittel der Temperaturen aus 10jährigen Mittelwerten der freien Atmosphäre in Wien [6] (offene Kreise) mit den Jahresmittelwerten der Tagesdurchschnittstemperaturen des Jahres 1969 jener 230 Bodenstationen (Punkte). Die Übereinstimmung ist erstaunlich gut und zeigt, dass Tagesmittelwerte der Temperaturen am Boden und in gleicher Höhe der freien Atmosphäre im Durchschnitt übereinstimmen. Daraus folgt aber, dass elektrooptische Distanzmessungen, über 24^h ausgedehnt, im Mittel eine fehlerfreie Distanz ergeben können.

Was aber geschieht, wenn man Distanzmessungen bei Tag ausführt? Um diesen Effekt herauszubekommen, habe ich die 14^h-Werte der Temperaturen jener 230 Orte über die Monate Mai bis September des Jahres 1969 gemittelt und den zehnjährigen Mittelwerten der 16^h-Sondenaufstiege gegenübergestellt (heute ist der Termin auf 13^h vorverlegt worden). Wie Abbildung 2 zeigt, sind diese Kurven deutlich voneinander getrennt, auch wenn man bedenkt, dass die 16^h-Werte gegenüber dem 14^h-Termin etwas zu klein sind, da ja bereits die allgemeine Abkühlung eingesetzt hat. Selbst wenn man diesen Effekt mit 0,5 bis 1,0 °C annimmt (strichlierte Kurve), so zeigt Abbildung 2 eindrucksvoll die Aufheizung der bodennahen Luftschicht. Für eine Station in 1500 m Höhe zum Beispiel wäre die am Boden gemessene Temperatur durchschnittlich um etwa 3 °C zu hoch, das heisst, eine mit Laser gemessene Strecke wäre um 3,0 mm/km, eine Mikrowellenstrecke um rund 4,2 mm/km zu lang. Man vergleiche dies mit der früher zitierten Feststellung von Jones. Eine analoge Untersuchung für die Nachtzeit war noch nicht möglich, da in [5] keine Nachttemperaturen mitgeteilt sind, sondern nur Monatsmittel der absoluten Minima.



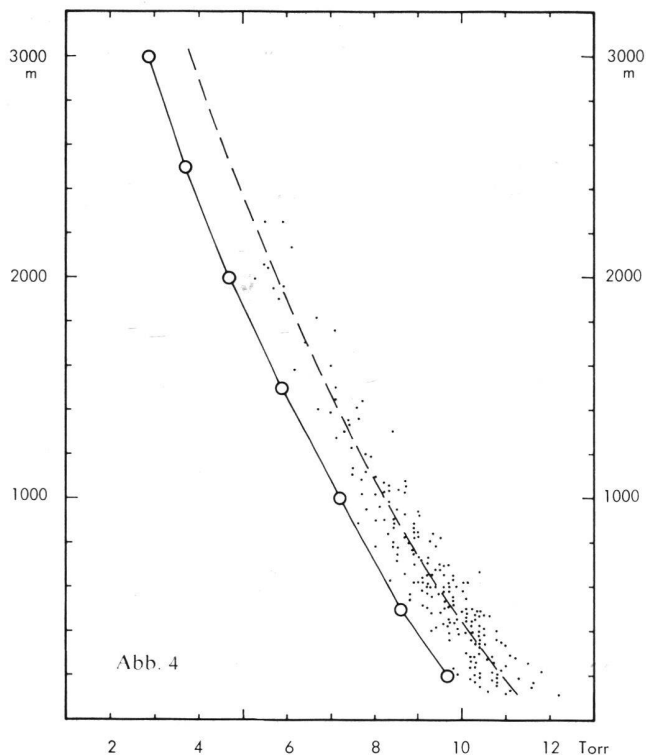
Damit sind systematische Fehler von elektromagnetischen Distanzmessungen infolge von Temperaturfehlern aufgezeigt, aber noch nicht die systematische Differenz zwischen Licht- und Mikrowellenmessungen erklärt. Dazu habe ich ähnliche Untersuchungen für den Dampfdruck angestellt. Leider sind in [6] nicht die Werte des Dampfdruckes der freien Atmosphäre mitgeteilt, sondern nur die relative Feuchte. Wegen des nichtlinearen Zusammenhanges von Temperatur und Dampfdruck kann man aber aus Mittelwerten der Temperatur und der relativen Feuchte nicht exakt auf Mittelwerte des

Dampfdruckes schliessen. Tut man dies dennoch, so bekommt man im Durchschnitt um 0,5 Torr zu grosse Werte, wie eine spezielle Untersuchung zeigt [4]. Auf diese Weise habe ich Tagesdurchschnitte der Monate Mai bis September 1969 gebildet (strichlierte Kurve der Abbildung 3). Diesen gegenübergestellt sind Tagesmittelwerte des Dampfdruckes, wie sie für 33 Bodenstationen in Österreich in [5] veröffentlicht werden (Punkte in Abbildung 3). Weiter habe ich in [7] eine Formel entwickelt, die es gestattet, aus bekannten Bodenwerten von Temperatur, Dampfdruck und relativer Feuchte und bei bekanntem Temperaturgradienten, die durchschnittlichen Werte des Dampfdruckes für jede beliebige Höhe zu berechnen.



Könnte man bei der Temperatur feststellen, dass Tagesmittelwerte am Boden und in der freien Atmosphäre im Durchschnitt übereinstimmen, so lehrt Abbildung 3, dass beim Dampfdruck die Tagesmittelwerte am Boden immer grösser sind als in gleicher Höhe der freien Atmosphäre. Dasselbe Bild ergibt sich, wenn man der Analyse nicht Tagesmittel der Feuchte, sondern 14^h-Werte zugrunde legt. Die Wiedergabe muss hier aus Platzmangel unterbleiben (siehe [4]).

In [5] werden für die bewussten 230 Stationen auch Tagesmittelwerte der relativen Feuchte veröffentlicht. Da bei einer Rückrechnung auf mittlere Dampfdruckwerte auch hier die Werte zu gross erhalten werden, kann man sagen, dass die Differenz zu den aus relativen Feuchten der freien Atmosphäre gerechneten Dampfdruckwerten lediglich korrekt sein werden. Das Ergebnis dieser Auswertung zeigt Abbildung 4. Während die Differenz «Dampfdruck der freien Atmosphäre minus Dampfdruck am Boden» nach Abbildung 4 ziemlich konstant ist, würde nach Abbildung 3 eine leichte Zu-



nahme mit der Höhe eintreten. Für etwa 1500 m, was der mittleren Höhe der von Rinner im Testnetz Graz gemessenen Strecken entspricht, entnimmt man ein $\Delta e \div -1$ Torr (freie Atmosphäre–Boden). Rinner findet nach beiden von ihm verwendeten Methoden übereinstimmend eine durchschnittliche «Ortskonstante» für das Testnetz Graz von $\Delta e = -0.95$ Torr. Damit ist die Ortskonstante auf phänomenologischer Grundlage voll bestätigt. Dieser Wert $\Delta e \div -1$ Torr würde bewirken, dass Mikrowellenmessungen gegenüber Lasermessungen um rund 6 mm/km zu kurz geraten.

Bedenkt man nun noch, dass infolge des früher beschriebenen Temperaturfehlers bei Tagesmessungen die Ergebnisse mit Licht um 3,0 mm/km, mit Mikrowellen um 4,2 mm/km zu lang sind, dann ist die totale Differenz (Licht–Mikrowelle) = + 4,8 mm/km; dies wäre eine nahezu vollständige Übereinstimmung mit direkten Messergebnissen.

Da die Wirkungen von Temperatur und Dampfdruck auf Mikrowellen entgegengesetztes Vorzeichen haben, wäre denkbar, dass zu einer Zeit, da die Bodentemperatur besonders hoch über der Temperatur der freien Atmosphäre liegt, etwa nachmittags an einem sonnigen

Tag, sich die Fehlereinflüsse nahezu kompensieren und so die Mikrowellenmessungen weitgehend fehlerfrei wären. Nachtmessungen dagegen wären grundsätzlich zu vermeiden, denn dann summieren sich beide Fehlereinflüsse. Das scheinen recht günstige Bedingungen für Mikrowellengeräte zu sein.

Obige Erkenntnisse sind natürlich nicht geeignet, individuelle Distanzmessungen zu korrigieren. Immerhin scheint mir dies aber möglich, wenn man weitere meteorologische Zusammenhänge analysiert. Einige wichtige Beziehungen sind ja bekannt oder konnten gefunden werden; so besteht zum Beispiel eine signifikante Beziehung zwischen Verdunstung und relativer Feuchte oder zwischen dem Temperatur- und Dampfdruckgradienten einerseits und der Stärke und Höhe der Bewölkung andererseits. Ich bin überzeugt, dass durch Berücksichtigung aller möglichen meteorologischen Parameter, wie Jahres- und Tageszeit, Bewölkung, Windrichtung, Geländeform, Bodenbedeckung, Höhe des Strahles über Grund, Wettergeschehen der vergangenen Tage, Niederschlag, Verdunstung und anderes, es möglich sein müsste, die Genauigkeit von Mikrowellengeräten an die von Lasergeräten heranzuführen.

Literatur

- [1] Protokoll der 116. Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission vom 23. Mai 1970.
- [2] Protokoll der 117. Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission vom 18. Juni 1971.
- [3] Rinner, K.: 'Report on Laser- and Microwave Distance Measurements in the Testnet Styria', vorgelegt beim International Symposium on Terrestrial Electromagnetic Distance Measurements and Atmospheric Effects on Angular Measurements, 19.–24. August 1974.
- [4] Geowissenschaftliche Mitteilungen. Publikationsreihe der Studienrichtung Vermessungswesen der Technischen Hochschule in Wien. In Vorbereitung.
- [5] Jahrbücher der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Jahrgang 1969.
- [6] Cihak, K.: Zehnjährige Mittelwerte der meteorologischen Elemente der freien Atmosphäre bis 30 km über Wien. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatik, Serie A, Band 15, Heft 2, 1966.
- [7] Bretterbauer, K.: Beiträge zur Distanzmessung mit Mikrowellen. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen. 57. Jg., Heft 1, Februar 1969.

Adresse des Verfassers

o. Prof. Dr. Kurt Bretterbauer, Institut für Höhere Geodäsie, Technische Hochschule Wien, 1040 Wien, Gusshausstrasse 27–29