

# ÜBER DEN TAGESGANG VON OBERFLÄCHENTEMPERATUREN IN DER BONNER INNENSTADT AN EINEM SOMMERLICHEN STRALUNGSTAG

Ein Beitrag zur Infrarotthermometrie

Mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen

ALBRECHT KESSLER

*Summary:* The diurnal pattern of surface temperatures in the central area of Bonn on a sunny summer day

The diurnal pattern of surface temperatures on various surfaces was investigated with an infra-red thermometer on a sunny summer day in the central area of Bonn. The results were compared with measurements of air temperature. It is concluded that the increasing summer overheating of the soil surface is a parallel phenomenon to the development of new types of urban building pattern. The advantages and new possibilities of infra-red thermometry for the investigation of urban climate are set out.

Der Messung und Kartierung von Oberflächentemperaturen in einer Stadt waren bisher aus technischen Gründen recht enge Grenzen gesetzt. Über die räumliche Verteilung und die zeitliche Veränderung des Temperaturfeldes gibt es daher noch wenig Angaben. Dies ist umso bedauerlicher, als etwa das sommerliche Bodenklima – und damit auch das Klima der bodennahen Luftschicht – in den Städten durch Baumaßnahmen, die sich heutzutage weitgehend nach den Bedürfnissen des Verkehrs richten, stellenweise sehr ungünstig und meistens auch jedenfalls für die nähere Zukunft irreparabel verändert wird. Die Infrarotthermometrie eröffnet nun hier der stadtklimatologischen Forschung neue Möglichkeiten. Sie liegen bei Verwendung von transportablen Strahlungsthermometern in der einfachen und schnellen Durchführung einer Messung, was bei stadtklimatologischen Untersuchungen den Vorteil bietet, auch an Stellen messen zu können, die normalerweise wegen des Verkehrs nicht für längere Zeit zugänglich sind. Weiterhin werden die thermischen Eigenschaften der Beobachtungsobjekte durch den Meßvorgang nicht verändert. In kurzer Zeit können zahlreiche Meßpunkte erfaßt werden, so daß eine flächenmäßige Kartierung thermischer Eigenschaften von Oberflächen möglich wird.

Im folgenden wird über eine 24stündige Meßserie berichtet, die mit dem Strahlungsthermometer KT 13 der Firma Heimann an verschiedenen Oberflächen durchgeführt wurde.

## Das Strahlungsthermometer

Das Objektiv des Strahlungsthermometers fokussiert die vom Meßobjekt ausgesandte Temperaturstrahlung auf ein Bolometer. Diese wird in einen temperaturproportionalen Strom (0–20 mA) umgewandelt. Die Messung erfolgt im Wellenlängenbereich von 4–35  $\mu$ . In

Abb. 1 ist die spektrale Empfindlichkeit des Gerätes dargestellt. Die Optik ist so eingerichtet, daß der Durchmesser des Meßfeldes bei 1 m Entfernung 10 cm beträgt und linear abnimmt auf 1,5 cm direkt am Objektiv. Der kleinste zu messende Gegenstand muß also mindestens diese Ausmaße besitzen.

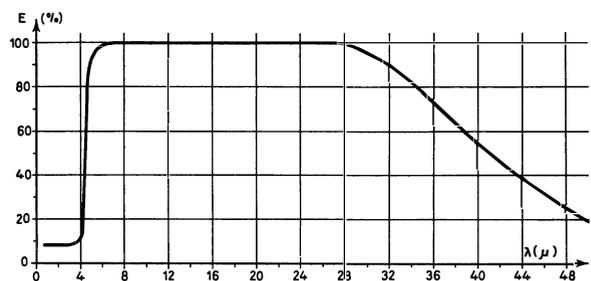


Abb. 1: Spektrale Empfindlichkeit ( $E$ ) des Strahlungsthermometers KT 13 (nach Angabe der Herstellerfirma) Spectral sensitivity ( $E$ ) of the radiation thermometer KT 13

Bei Temperaturmessungen von verschiedenartigen, nicht absolut schwarzen Oberflächen mit einer Strahlungssonde muß das Emissionsvermögen  $\varepsilon$  des Objektes bekannt sein, da für die Strahlungsintensität gilt

$$E = \varepsilon \sigma T^4, \quad \text{mit } \sigma \text{ Stefan-Boltzmannsche Konstante,} \\ T \text{ absolute Temperatur.}$$

Die Heimannsonde besitzt einen Emissionsgradregler. Dieser wurde bei der Meßreihe aus praktischen Erwägungen für alle Objekte auf  $\varepsilon = 0.9$  eingestellt. Die Fehlbestimmung der Temperaturen beträgt, falls ein Objekt einen Emissionsgrad von  $\varepsilon = 0.85$  statt  $\varepsilon = 0.95$  hat, im Temperaturbereich von 15 °C etwa 1 °C und bei 40 °C etwa 2 °C. Daher sind die Kurven verschiedener Objekte untereinander nicht streng vergleichbar. Im allgemeinen waren die Temperaturunterschiede zwischen verschiedenartigen Oberflächen so groß, daß diese möglichen Fehler bei der Betrachtung weniger ins Gewicht fallen. Die Messungen wurden mit Ausnahme der Wasseroberflächenmessung des Rheins aus nur geringer Entfernung vorgenommen, so daß Wasserdampfabsorption, die eine zu niedrige Temperaturanzeige bewirken würde, keine Rolle spielt.

## Meßvorgang und Meßobjekte

Die Messungen wurden so eingerichtet, daß in kurzer Zeit möglichst viele, unterschiedliche Objekte ange-

peilt werden konnten. Jeweils zur vollen Stunde wurde eine Beobachtungsreihe begonnen. Ein Meßturnus dauerte 20 Minuten. Die Reihenfolge der Einzelmessungen wurde beibehalten. Die Auswahl der Meßflächen mußte so getroffen werden, daß sie auch nachts immer an der gleichen Stelle erfaßt werden konnten, um Randeffekte möglichst zu vermeiden. Die Meßentfernung lag daher bei etwa 10 cm. Die Wasseroberflächentemperatur des Rheins wurde aus ca. 2 m Entfernung gemessen. Schwierigkeiten traten lediglich bei der rasenbestandenen Oberfläche auf, weil hier die Meßfläche nicht klar genug definiert ist. Aus diesem Grunde wurden an der gleichen Stelle mehrere Sondierungen ausgeführt und der Mittelwert ausgewählt. Die Sonde wurde immer im gleichen Winkel zur Meßfläche gehalten. Das ist bei Tagesmessungen mit direkter Sonnenstrahlung besonders dann sehr wichtig, wenn es sich um raue Oberflächen mit geringer Wärmeleitfähigkeit handelt. Messungen in Richtung der direkten Sonnenstrahlung ergeben höhere Temperaturen als Messungen aus anderen Richtungen. D. LORENZ (1967) hat ähnliche Beobachtungen bei Temperaturmessungen aus einem Flugzeug gemacht.

Die Meßobjekte befinden sich zum Teil in einem innerstädtischen Gartengrundstück. Es wurde ferner ein freistehendes Gebäude gewählt. Diese Objekte liegen ebenso wie die Meßstellen in der Giergasse auf und am Rande der Niederterrasse des Rheins. Die Meßstelle der Rheinuferstraße liegt etwa 7 m tiefer als die obigen und ca. 4 m über der damaligen Wasseroberfläche des Rheins.

Folgende Oberflächen wurden ausgewählt – zur Lage vergleiche Abb. 2:

- 1–4 Hölzerne, weißgestrichene Jalousieleisten einer Wetterhütte, deren Seiten parallel zu den Hauptfluchtlinien liegen; beachte deren leichte Abweichung von den Haupthimmelsrichtungen. Zum Vergleich wurden Lufttemperatur und Feuchte mit einem Thermohygrographen in dieser Hütte gemessen. 1) Westseite 2) Südseite 3) Ostseite 4) Nordseite
- 5–8 Senkrechte Hauswände in 2 m Höhe, verputzt und weiß gestrichen. 5) Westseite 6) Südseite 7) Ostseite 8) Nordseite
- 9–12 Vegetationsoberflächen. 9) Rasen, Grashalme etwa 10 cm lang 10) Oberseite eines Ahornblattes 30 cm über Bodenoberfläche; das Blatt war sehr stark durch niedriges Gebüsch und die eigene Baumkrone gegen die nächtliche Ausstrahlung geschützt 11) Oberseite eines Rhododendronblattes; ebenfalls teilweise durch Baumkrone gegen nächtliche Ausstrahlung abgeschirmt 12) Südseite eines Ahornstammes in 1,50 m Höhe; nach allen Seiten des oberen Halbraumes durch Baumkronen und Gebüsch abgeschirmt
- 13–18 verschiedene natürliche und künstliche waagerechte Erdoberflächen. 13) 8–10 cm dicke, rote Sandsteinplatte einer Terrasse vor der weißen südlichen Hauswand in 1,50 m Entfernung 14) unbewachsener, trockener, lockerer Boden; Lage wie 13) aber in 2 m Entfernung 15) Asphalt-

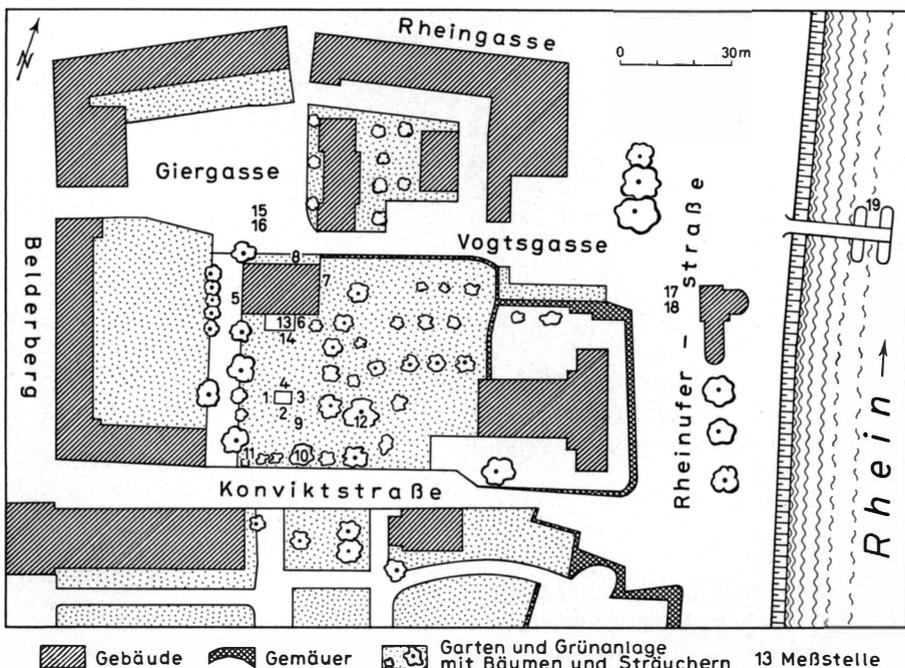


Abb. 2: Lageskizze der Beobachtungflächen / Location diagram of the observations areas

Split-Straßendecke in der Giergasse 16) heller Betonrandstein, 2 cm über Asphaltdecke herausragend, 20 cm von 15) entfernt 17) Asphalt-Straßendecke der Rheinuferstraße 18) weißer Mittelstreifen auf 17) aufgemalt; Entfernung 17)–18) beträgt 20 cm

19) Wasseroberfläche des Rheins, von einer Schiffsanlegestelle aus gemessen.

Folgende Meßreihenfolge wurde gewählt: 1, 2, 3, 4, 9, 10, 11, 13, 6, 12, 7, 8, 15, 16, 19, 18, 17, 14, 5.

### Wetterlage und meteorologische Erscheinungen

Nach einzelnen Vorstößen kühler, wasserdampfärmer Polarluft an den Vortagen herrschte am 13. und 14. 6. 70 wolkenloses Strahlungswetter. Ein Hochdruckkeil eines südlich Island liegenden Hochs reichte bis Mitteleuropa. Am späten Vormittag des 15. 6. nahm der Dunst stark zu. Zwischen 12 Uhr und 14 Uhr wurde das Beobachtungsgebiet zeitweise durch aufkommende Cumulusbewölkung beschattet. Die Windbewegung war während der gesamten Meßdauer so schwach, daß ein Handwindmesser nicht ansprach. Die schwache Turbulenz gibt sich nur in der Doppelwelle des Dampfdrucks bzw. Taupunkts (vgl. Abb. 5) zu erkennen. Am Morgen des 15. 6. setzte gegen 1 Uhr Taubildung auf dem Rasen ein. In Übereinstimmung mit dieser Beobachtung nahm der Dampfdruck (Taupunkt) der bodennahen Luftschicht langsam ab, während er in 2 m Höhe zunächst konstant blieb und erst am Ende der Nacht schwach fiel. Die Feuchte wurde mit einem auf dem Rasen frei aufgestellten Thermohygrographen und in gleicher Weise in der Wetterhütte registriert. Die Grashalme, an denen die Taubildung auftrat, müssen sich mindestens auf die Taupunkttemperatur abgekühlt haben. Daß dies in der Temperaturmessung der Rasenoberfläche nicht zum Ausdruck kommt, liegt daran, daß das Strahlungsmessgerät nicht nur die Wärmestrahlung der Grashalme, sondern durch Zwischenräume hindurch auch die der noch wärmeren Bodenoberfläche empfängt. Auf die komplexen Vorgänge, die bei der Bestimmung der Strahlungstemperatur eines Rasens beachtet werden müssen, hat H. FIMPEL (1964) besonders hingewiesen.

Die Richtung des Wasserdampftransportes ist aus der Kurve der Abb. 5 abzulesen. Von 24–6 Uhr war das Dampfdruckgefälle von der Atmosphäre zum Boden, während der übrigen Stunden umgekehrt gerichtet.

### Die Beobachtungsergebnisse

Das thermische Verhalten von Oberflächen kann aus der Gleichung der Wärmeströme an der Erdoberfläche als Referenzfläche

$$Q + B + L + V = 0$$

abgeleitet werden ( $Q$  Strahlungsbilanz,  $B$  Bodenwärmestrom,  $L$  und  $V$  Ströme fühlbarer und latenter Wärme).

Außer für feuchte Oberflächen – etwa Vegetations- und Wasseroberflächen – vereinfacht sich die Gleichung noch durch Wegfall des Terms für die Verdunstung ( $V$ ). Der modifizierende Einfluß der in der Strahlungsbilanz ( $Q$ ) enthaltenen direkten Sonnenstrahlung kommt besonders im Temperaturgegensatz zwischen dauernd besonnten und beschatteten Flächen (vgl. Abb. 7 und Tab. 1) und im Temperaturgang der verschiedenen exponierten Flächen (vgl. Abb. 4 und Tab. 1; Wetterhütten- und Hauswände) zum Ausdruck. In Tab. 1 ist durch ein  $S$  angedeutet, daß die Meßfläche zum Zeitpunkt der Beobachtung besonnt wurde. ( $S$ ) gibt an, daß die Besonnung nicht vollständig erfolgte, etwa wegen zeitweiliger oder nicht kompletter Abschirmung z. B. durch Baumkronen und einzelne Blätter oder wegen starker Abschwächung des direkten Strahles durch Dunst oder Wolkenteile. Die Bedeutung der kurzwelligen Albedo zeigt sich am besten bei den Asphaltdecken (15) und (17) und dem 20 cm entfernten Randstein (16) bzw. dem weißen Mittelstreifen (18) (vgl. Abb. 3) und bei dem günstigen thermischen Verhalten der weißen Haus- und Wetterhüttenwände (vgl. Abb. 4 und 7). Zwischen Asphaltdecke und hellem Randstein war vormittags und bis zum frühen Nachmittag ein Temperaturunterschied von 8–10 °C festzustellen (vgl. Tab. 2).

Man hätte von der Albedo her beim weißen Mittelstreifen eine noch größere Differenz erwartet. Es wurde eine maximale Differenz von 2,6 °C beobachtet. Diese Zahl dürfte sich noch etwas verringern bei Berücksichtigung exakter Werte von  $\varepsilon$ . Das unterschied-

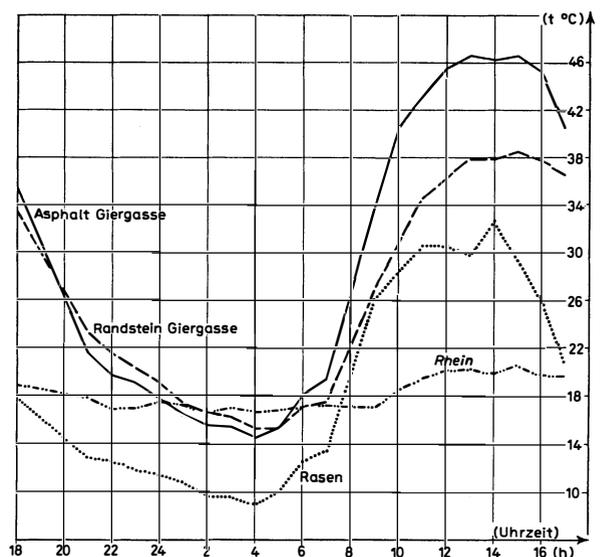


Abb. 3: Strahlungstemperaturen verschiedenartiger Oberflächen in °C  
Radiation temperatures of various surfaces in °C

Tabelle 1: a) Strahlungstemperaturen verschiedenartiger Oberflächen in °C in der Bonner Innenstadt am 14. und 15. Juni 1970

Uhrzeit	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
1. Wetterhütte Westseite	20.8			17.1	13.8	12.6	12.5	12.1	10.7	10.5	9.5	9.1
2. Wetterhütte Südseite	20.4			16.0	13.8	12.6	12.5	12.1	10.7	10.5	9.5	9.1
3. Wetterhütte Ostseite	20.2			16.0	13.8	12.6	12.5	12.1	10.7	10.5	9.5	9.1
4. Wetterhütte Nordseite	S 21.9			16.2	13.8	12.6	12.5	12.1	10.7	10.5	9.5	9.1
5. Hauswand Westseite	S 29.1			19.9	18.8	17.5	17.3	16.4	15.3	15.1	14.6	14.1
6. Hauswand Südseite	23.4			19.9	18.8	17.7	16.7	15.7	14.8	14.6	13.8	13.5
7. Hauswand Ostseite	21.5			18.9	18.0	17.7	16.9	15.3	15.3	14.8	13.8	S 15.0
8. Hauswand Nordseite	21.3			18.2	17.8	17.1	16.5	15.1	15.3	14.8	13.8	13.7
9. Rasen	17.8			12.8	12.5	11.9	11.4	10.8	9.7	9.7	9.0	10.0
10. Ahornblatt	19.8			17.2	16.0	14.3	13.4	13.1	12.1	11.5	9.8	10.7
11. Rhododendronblatt	20.1			16.0	14.8	14.1	12.5	11.7	10.7	10.0	8.9	10.7
12. Ahornstamm	19.7			18.0	16.9	16.4	14.8	14.3	14.1	13.6	13.1	12.8
13. Sandsteinplatte	32.2			25.0	23.3	21.9	21.2	20.3	18.2	18.2	17.1	17.1
14. Unbewachsener Boden	23.5			16.9	16.5	15.7	14.3	13.8	12.7	12.4	11.9	12.8
15. Asphalt Giergasse	S 35.5			21.5	19.7	19.0	17.7	16.4	15.5	15.4	14.5	15.4
16. Betonrandstein Giergasse	S 33.3			23.3	21.5	20.2	19.0	17.3	16.6	16.2	15.3	15.4
17. Asphalt Uferstraße	S 33.8			24.2	22.4	21.0	20.1	18.6	17.1	17.1	16.2	S 18.5
18. Weißer Mittelstreifen Uferstraße	S 32.5			24.2	22.4	21.0	20.1	18.6	17.1	17.1	16.2	S 18.5
19. Wasseroberfläche Rhein	S 18.9			17.8	16.9	16.9	17.5	17.2	16.6	17.0	16.7	16.9

b) Lufttemperatur in 2 m Höhe und Taupunkttemperaturen in 2 m und 10 cm Höhe in °C

Hüttenlufttemperatur	20.7	20.0	18.7	17.3	15.6	14.5	13.1	12.7	11.9	11.1	10.2	10.2
Taupunkt Hütte				7.8	8.8	9.0	9.2	9.2	9.2	9.2	9.1	9.0
Taupunkt 10 cm über Rasen				9.2	9.2	9.2	9.0	8.7	8.4	8.3	7.9	7.9

Tabelle 2: Temperaturunterschied zwischen Asphaltdecke (AG) und hellem Randstein (R) in der Giergasse und zwischen Asphaltdecke (AR) und weißem Mittelstreifen (M) der Rheinuferstraße in °C

Uhrzeit	18	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
AG - R	2.2	-1.8	-1.8	-1.2	-1.3	-0.9	-1.1	-0.8	-0.8	0.0	0.9
AR - M	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Uhrzeit	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17
AG - R	1.8	7.1	9.7	8.8	9.2	8.7	8.3	8.1	5.4	4.0
AR - M	0.2	2.0	2.2	2.6	1.6	1.2	2.1	1.1	1.3	1.0

liche Verhalten ist auf den Verbleib der Energie des Bodenwärmestroms (B) zurückzuführen. Schwarzer (17) und weiß gestrichener Asphalt (18) haben die gleiche Wärmekapazität. Die unterschiedliche Strahlungsabsorption wird in dem homogenen Material bei der geringen Distanz der Meßflächen durch das Wärmeleitvermögen weitgehend ausgeglichen. Nachts treten keine Temperaturdifferenzen auf. Anders liegen die Verhältnisse bei der dünnen und gegen den Untergrund isolierten Asphaltdecke (15) und dem tiefer in den Bo-

den reichenden kompakten Randstein (16), der – bei auch größerer Wärmekapazität – nachts das Ausstrahlungsdefizit durch den zur Oberfläche gerichteten Bodenwärmestrom stärker kompensieren kann. Ähnliche Überlegungen gelten für die isoliert auf dem Untergrund liegende Sandsteinplatte (13) und den unbewachsenen, trockenen und lockeren Boden (14). Die Sandsteinplatte nahm die höchste überhaupt gemessene Temperatur von 48.6 °C an. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Überhitzung nicht allein durch geringere Wärmeableitung in den Untergrund zustande kam, sondern daß die nahegelegene weiße Hauswand zusätzlich reflektierte kurzwellige Strahlung der Sandsteinplatte und dem Boden zustrahlte. Während die Hauswand am Tage also die Einstrahlung erhöhte, verkleinerte sie nachts die effektive Ausstrahlung für Sandsteinplatte und Boden, so daß jedenfalls die Sandsteinplatte nachts höhere Temperaturen zeigte als der vergleichbare Randstein der Giergasse. Im übrigen war die Sandsteinplatte nachts zwischen 21 Uhr und 4 Uhr überhaupt wärmer als alle anderen Oberflächen. Der Boden kühlte nachts trotz verminderter effektiver Ausstrahlung durch die Hauswand verhältnismäßig stark ab, weil seine lockere Struktur einen Wärmenachschub aus dem Unterboden stark hemmte.

	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	10.5	11.9		18.0	20.7	22.1	(S) 24.4	S 26.3	S 29.5	S 29.1	S 24.8	(S) 23.8
	10.5	11.9		S 22.6	S 29.3	S 32.1	(S) 30.9	S 28.5	(S) 28.5	(S) 25.5	24.0	23.5
	10.5	S 12.8		S 25.2	S 26.9	(S) 24.4	23.9	23.5	25.0	24.7	23.8	23.5
	10.5	11.9		18.0	20.4	21.9	23.9	23.5	25.3	24.9	24.4	(S) 23.7
	14.3	15.3		17.9	21.3	23.3	23.5	S 27.3	25.6	26.0	(S) 26.5	(S) 26.5
	14.3	S 15.9		S 25.6	S 31.7	S 34.5	S 37.0	(S) 35.2	32.3	31.9	29.7	28.7
	16.5	17.5		S 28.5	S 28.9	S 26.7	26.5	26.6	25.5	25.6	25.0	24.6
	14.8	15.1		16.8	17.8	19.5	21.7	23.1	22.2	23.9	23.9	23.8
	12.6	13.5		S 26.0	S 28.5	S 30.5	S 30.5	S 29.7	S 32.5	S 29.3	S 26.0	20.8
	11.0	11.9		14.8	15.7	17.3	19.5	19.9	21.0	S 22.1	S 22.8	(S) 22.8
	11.9	13.3		(S) 20.3	(S) 22.1	(S) 28.5	S 31.3	(S) 23.5	23.5	23.8	23.7	23.7
	13.3	13.8		15.7	17.1	18.2	20.3	20.8	20.6	23.3	21.3	21.3
	17.4	S 20.1		S 30.9	S 39.5	S 44.1	S 48.6	(S) 46.9	S 47.9	S 47.6	(S) 42.0	37.4
	14.0	15.5		S 33.5	S 41.6	S 44.3	S 44.8	(S) 42.5	S 42.2	S 39.5	(S) 33.6	(S) 30.3
	18.0	19.3		S 34.0	S 40.6	S 43.4	S 45.5	S 46.6	S 46.2	S 46.6	S 43.2	S 40.6
	17.1	17.5		S 26.9	S 30.9	S 34.6	S 36.3	S 37.9	S 37.9	S 38.5	S 37.8	S 36.6
	S 19.2	S 21.8		S 31.5	S 36.3	S 39.2	S 40.6	S 41.8	S 42.7	S 42.7	S 40.1	S 37.9
	S 19.2	S 21.6		S 29.5	S 34.1	S 36.6	S 39.0	S 40.6	S 40.6	S 41.6	S 38.8	S 36.9
	S 17.1	S 17.3		S 17.1	S 18.5	S 19.5	S 20.1	S 20.3	S 19.9	S 20.6	S 19.7	S 19.7
	10.7	12.5	15.7	18.2	20.2	21.1	22.0	22.7	23.1	23.1	22.0	21.2
	9.2	9.9	10.8	11.0	11.5	11.5	10.8	10.9	11.0	11.5	10.6	10.1
	8.5	10.1	13.0	14.4	15.1	16.5	17.1	15.8	15.4	14.8	13.5	12.0

Aufschlußreich ist der Temperaturverlauf der Wetherhüttenaußenwände im Vergleich zur Hüttenlufttemperatur (vgl. Abb. 4). Die Temperaturkurven der verschieden exponierten Seiten (vgl. auch die Hauswände Tab. 1) verlaufen parallel zur kurzwelligen Bestrahlungsintensität und können ein- und zweigipflig sein. Der Bestrahlungsgang jeder Einzelfläche setzt sich aus den Kurven der für jede Fläche unterschiedlichen direkten Sonnenstrahlung und der für alle Flächen etwa gleichstarken diffusen Himmelsstrahlung zusammen. Die Ostwand erreichte ihr Temperaturhauptmaximum bereits um 10 Uhr und wurde von diesem Zeitpunkt an nicht mehr direkt von der Sonne bestrahlt. Die Lufttemperatur lag zur gleichen Zeit 6.7 °C tiefer. Das zweite Maximum der Kurve um 14 Uhr ist – ähnlich wie bei der Nordwand – allein auf die Wirkung der diffusen Himmelsstrahlung zurückzuführen, die hier bei Sonnenhöchststand Maximalwerte erreicht. Die größte Differenz zwischen Hüttenlufttemperatur und Wandtemperatur wurde um 11 Uhr gemessen, als die Südwand 11 °C wärmer war. Von 20 Uhr an während der ganzen Nacht registrierte der Hüttenthermograph höhere Temperaturen als sie die Hüttenaußenwände besaßen. Um 23 Uhr betrug die Differenz 1.9 °C. Der Grund liegt darin, daß die langwellige Strah-

lungsabkühlung der Luft kleiner als bei Körpern ist und daß der Thermograph selbst durch die Hütteninnenwände gegen die Ausstrahlung stärker abgeschirmt wird.

Der Einfluß des Verdunstungsgliedes (V) läßt sich am besten durch einen Vergleich zwischen unbewachsenem Boden (14) und Rasen (9) demonstrieren (vgl. Abb. 5), die beide etwa gleichlang besonnt wurden. Früh um 6 Uhr ist der Temperaturunterschied 1.4 °C. Um 12 Uhr wird eine maximale Differenz von 14.3 °C erreicht. Von 10 Uhr an beginnt sich die Temperaturkurve des Rasens merklich abzuflachen. Wie Abb. 5 zeigt, nimmt jetzt der Wasserdampfgradient stark zu. Dadurch wird die Verdunstung des Tauwassers und die Transpiration beschleunigt. Starke Evapotranspiration und kurzfristige Bewölkung führen zu Temperaturrückgang um 13 Uhr. Zum 14 Uhr-Termin fühlte sich der Rasen völlig trocken an. Der Verdunstungswärmestrom (V) wurde gebremst, weil oberflächlich kein Wasser mehr zur Verfügung stand. Die Folge war ein relativ starker Temperaturanstieg zum Tagesmaximum.

Beim Rhododendronblatt (11), das nur zum 12 Uhr-Termin völlig besonnt war, fällt der starke Temperaturabfall zwischen 12 Uhr und 13 Uhr auf. Das ist

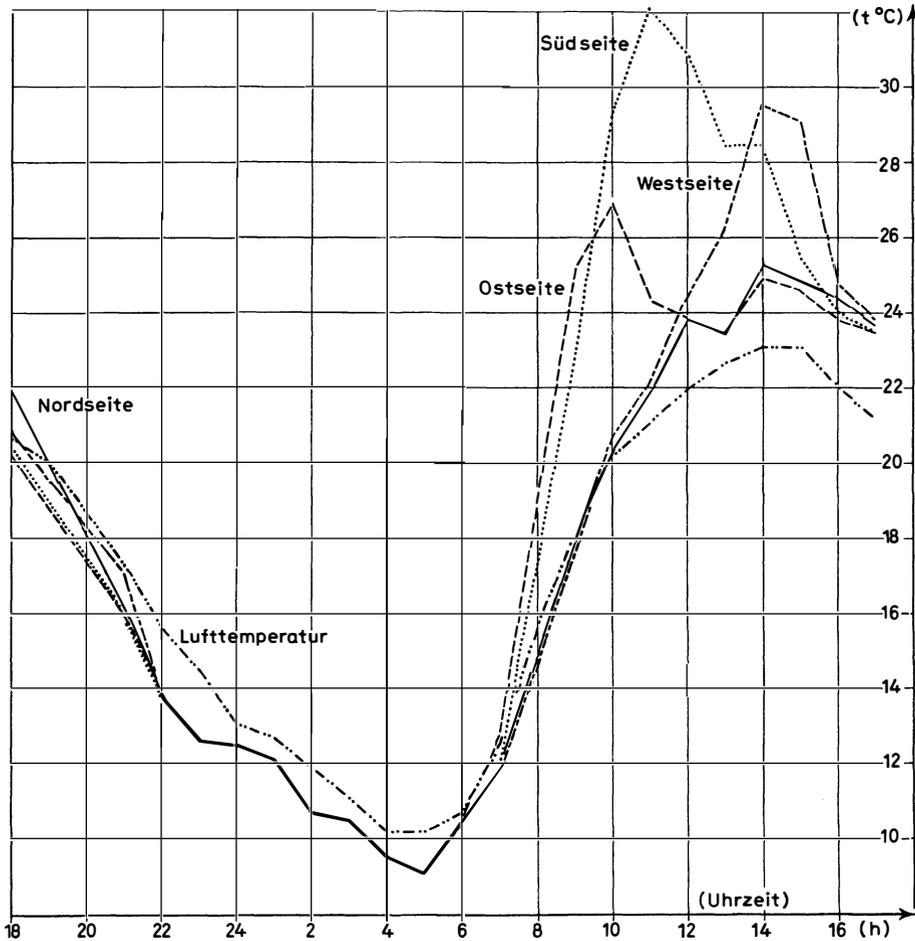


Abb. 4: Strahlungstemperaturen der Außenwände einer Wetterhütte und Lufttemperatur in der Wetterhütte in °C  
Radiation temperatures of the exterior walls of a weather-recording box and air temperatures inside, in °C

wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß zum Zeitpunkt der Wiederbeschattung die Transpiration wegen der Blattüberhitzung so stark angeregt war, so daß sie länger als „notwendig“ fort dauerte und damit gemeinsam mit dem Strahlungsrückgang den Temperaturabfall vergrößerte.

Trotz der besseren Abschirmung gegen die nächtliche Ausstrahlung sinken die Temperaturen von Ahorn- und Rhododendronblatt in der Nacht bis 4 Uhr stärker als beim Rasen ab. Hier sind hauptsächlich zwei Vorgänge ausschlaggebend. Die Wärmekapazität der Blätter und der Wärmenachschub durch die dünnen Blattstiele zu den erkaltenden Blättern sind sehr gering. Ähnlich wenig effektiv ist zwar auch die Wärmeleitung in die Grashalmspitzen aus dem Boden. Bei der Infrarot-Strahlungsmessung wird aber auch ein Teil des Bodens erfaßt. Dieser kühlt nicht so stark ab, weil der Bodenwärmestrom nach oben zumal bei feuchtem Boden größer ist. Der zweite Vorgang, der die Abkühlungsrate beim Rasen verkleinert, ist die Taubildung. Durch die Wasserdampfkondensation wird dem Ra-

sen – allerdings relativ wenig – Wärmeenergie zugeführt.

Die Temperatur des Ahornstammes zeigt einen sehr ausgeglichenen Verlauf. Er lag völlig im Schatten und erwärmte sich daher tagsüber nur langsam. Große Wärmekapazität und günstige Verbindung mit dem Boden schmälern ebenfalls die Amplituden.

Die Kurve der Rheinoberflächentemperatur ist im einzelnen etwas unausgeglichener. Das hängt mit der turbulenten Wasserbewegung und verschiedenen temperierten Wasserkörpern zusammen. Wie zu erwarten ist die Amplitude mit 4.0 °C am kleinsten.

#### Die Überhitzung der Stadt

In Abb. 6 werden die jeweils niedrigsten und höchsten Oberflächentemperaturen der einzelnen Termine der Hüttenlufttemperatur gegenübergestellt. Die Darstellung dürfte einen guten Eindruck von dem Spektrum der bodennahen Oberflächentemperaturen einer Stadt an einem sommerlichen Strahlungstag vermitteln.

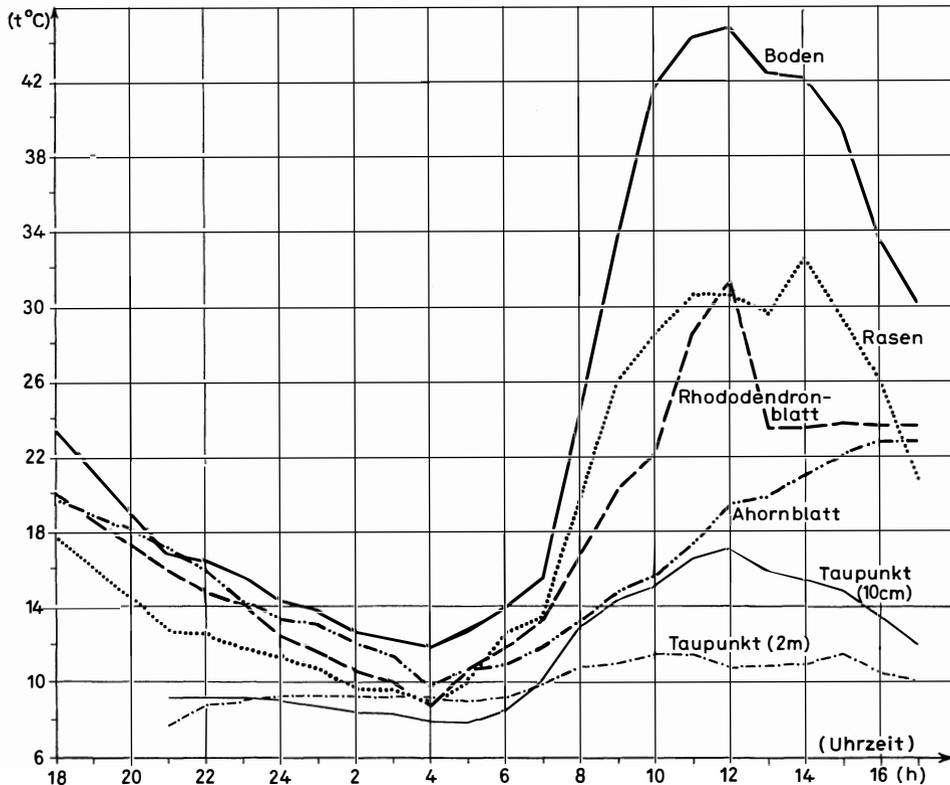


Abb. 5: Strahlungstemperaturen von unbewachsenem Boden, Rasenoberfläche und Blättern in °C (oben); Taupunkttemperaturen in 2 m und 10 cm Höhe über Rasen in °C (unten)  
 Radiation temperatures of unvegetated soil, grass sward and leaves, in 0° (above). Dewpoint temperatures at 2 m and 10 cm heights above sward in 0° (below)

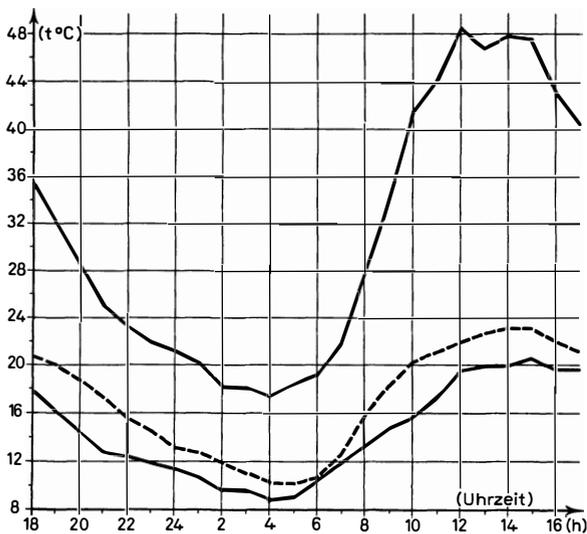


Abb. 6: Lufttemperatur in 2 m Höhe, niedrigste und höchste Oberflächen-Strahlungstemperaturen in °C  
 Air temperature at 2 m height, lowest and highest surface radiation temperatures in 0°

teln. Hält man sich vor Augen, daß in unseren Städten die breiten, unbeschatteten Verkehrsadern immer mehr zunehmen, so wird die Verschiebung in Richtung einer Überhitzung sehr deutlich (vgl. dazu auch Abb. 7).

In Abb. 7 werden die Tagesmittel der Oberflächen-temperaturen in Beziehung zur Lufttemperatur gesetzt. Außerdem sind die Tagesschwankungen ( $t_{max} - t_{min}$ ) und die Besonnungsstunden vermerkt. Auf der linken Seite stehen die thermisch „ungünstigen“ Flächen. Die Sandsteinplatte und die Asphaltdecke der Giergasse erweisen sich mit den höchsten Tagesmitteln von 30.3 und 29.3 °C und mit noch nicht einmal den meisten Besonnungsstunden als besonders ungünstig. Der Unterschied zum Tagesmittel der Lufttemperatur beträgt 13.4 bzw. 12.4 °C. Flächen, bei denen die Verdunstung eine Rolle spielt, besitzen ein Tagesmittel, das nur wenig von dem der Luft abweicht, selbst wenn sie relativ viele Besonnungsstunden aufweisen.

Mit Verbreiterung der Straßen und Vergrößerung der Hausabstände wird die Hauptheizfläche, die früher im Dachniveau lag, in den bodennahen Lebensraum des Fußgängers verlegt. Die geeigneten Dachflächen, die früher gegenüber den heutigen flachen

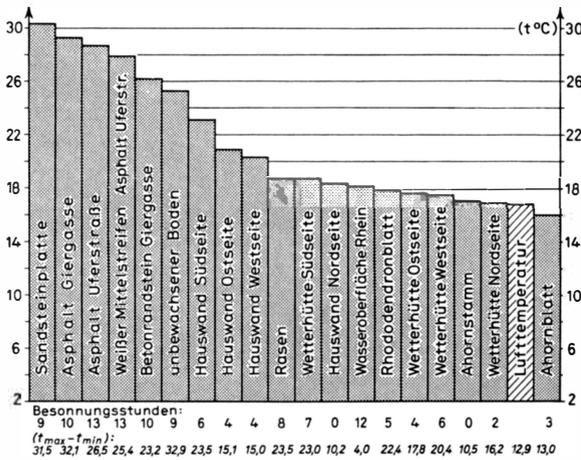


Abb. 7: Tagesmittel der Lufttemperatur und der Oberflächen-Strahlungstemperaturen in °C, Besonnungsstunden der Oberflächen und Tagesschwankung  $t_{\max} - t_{\min}$  in °C

Daily mean of air temperature and surface radiation temperatures in °C, hours of surface insolation and daily variations  $t_{\max} - t_{\min}$  in °C

Dächern in der Überzahl waren, reflektierten die direkte Sonnenstrahlung weit über die Stadtfläche in den oberen Halbraum, ebenso wie sie auch die langwellige Ausstrahlung über diese größere Fläche verteilten. Durch die allgemeine Zunahme horizontaler Flächen und die damit verbundene Bündelung der Strahlungsströme direkt nach oben wird die direkt über der Stadt befindliche Atmosphäre stärker als früher erwärmt, was wiederum eine größere Gegenstrahlung zur Folge

hat. Die Strahlungsbilanz des menschlichen Körpers wird durch den Rückgang beschattender Flächen und Vergrößerung der langwelligen Strahlung vom überhitzten Boden her am Tage in den Städten laufend erhöht. Die Veränderung der Strahlungsverhältnisse wirkt wahrscheinlich belastender auf den Menschen als die damit einhergehende Anhebung der Lufttemperatur. Nun beugt man zwar durch Wasserbesprengung der Überhitzung der Bodenoberflächen vor. Dadurch wird aber – besonders an windschwachen Tagen – der Wasserdampfdruck der bodennahen Luftschicht erhöht, was sich wiederum hemmend auf die Transpirationsabkühlung auswirkt. Hier ergeben sich neue Probleme, die wohl noch nicht ausreichend untersucht worden sind.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen (vgl. Abb. 6), daß die Überhitzung sich natürlich auch auf die Nachttemperaturen erstreckt. Die Beobachtungen zeigten, daß die wärmsten Flächen während der Nacht kaum kühler als die kühlest am Tage waren.

#### Literatur

- FIMPEL, H.: Messungen der Temperatur einer Grasoberfläche mit einem Gesamtstrahlungs-pyrometer, Wissenschaftl. Mitteilungen Nr. 9 des Meteorol. Instituts der Universität München, 1964.
- LORENZ, D.: Temperaturmessungen von Boden- und Wasseroberflächen von Luftfahrzeugen aus, Pure and Applied Geophysics Vol. 67, 1967.
- MATTSSON, J. O.: Thermal patterns in the landscape recorded with infrared technique and simulated in model experiments, Lund Studies in Geography, Ser. A. Phys. Geogr. Nr. 46, 1969.

## ZUR WIDERLEGUNG VON VAVILOVS GEOGRAPHISCH-BOTANISCHER DIFFERENTIALMETHODE

Mit Beispielen aus der Phylogenese von *Arachis*, *Ananas* und *Phaseolus* in Südamerika\*)

Mit 2 Abbildungen und 6 Photos

HEINZ BRÜCHER

**Summary:** A refutation of VAVILOV's plant-geographical differential method

A large number of mankind's most important domesticated plants originated in South America. VAVILOV (1887–1943) established the theory that one could localise their genetic and geographical origin into a small number of centres. In these geographically tightly limited areas which, according to VAVILOV, lay in isolated mountain regions, one could have encountered the wild original types with a large number of primitive agricultural peoples and cultivators. He called these areas 'gene centres'. For South America he postulated a 'gene centre' in the central Cordillera (Peru and Bolivia) and a further one on the island of Chiloé.

Over several decades of research, the author has investigated these 'gene centres' and numerous South American domesticated plants and has been able to establish discrepancies between the VAVILOV doctrine and the actual field situation. Thus there is, for example, absolutely no biological justification for calling the island of Chiloé a 'gene centre'. In contradiction of what Russian and other authors have asserted, it is not the case that the wild potatoes that occur there were the sort from which *Solanum tuberosum*

\*) Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.