

Temperaturen in und an einem künstlichen Teich

Fritz Wilmers

Measurements of air temperature, soil surface temperature, water temperature as well as of radiation temperature were conducted in two almost equally formed garden yards at Hannover Herrenhausen; one of them had a water basin (70 m², depth 1.2 m).

The daily course of temperatures, their extremes and differences are discussed.

1. Einführung und allgemeine Untersuchung

Bei ökologischen Untersuchungen in der Umgebung von Wasserflächen wird die Frage akut, wie weit ein Wasserkörper mikroklimatisch auf seine Umgebung einwirkt bzw. von ihr beeinflusst wird; besonders wichtig ist der Einfluß auf die nächtliche Kaltluftbildung. BAUMGARTNER (1963) faßte Untersuchungen hierzu zusammen.

Bei großen Gewässern, an Meeresküsten und großen Binnenseen wirkt die Land-See-Wind-Zirkulation ausgleichend. Zwar drängt der nächtliche Landwind den Meereseinfluß bis zur Küstenlinie zurück, aber durch den beständigen Wind wird die Ausbildung einer bodennahen Kaltluftschicht im Landwindbereich vermindert. Das zeigen auch Modelle der Land-See-Wind-Zirkulation wie das von FRAEDRICH (1971).

Im Falle windschwachen Strahlungswetters erstreckt sich eine frostmildernde Wirkung lediglich auf den unmittelbaren Uferbereich. Isolierende dichte Uferbepflanzungen wie Schilf- oder Röhrichtgürtel verstärken in ihrem Bereich unter Umständen die Frostgefahr, so daß dann eventuell Frostschäden bis zur Wassergrenze reichen können (BAUMGARTNER 1963).

Ist eine übergeordnete Windströmung vorhanden, kann durch Überströmen von wärmeren Gewässern eine Labilisierung der Kaltluft beobachtet werden, deren Wirkung jedoch auch von der Länge des Überströmungsweges abhängt. MÄDE (1956) verglich den "Süßen See" bei Eisleben mit der trockengelegten Mulde des "salzigen Sees" und stellte dabei ebenfalls eine Temperaturerhöhung während der nächtlichen Abkühlung fest, die über dem See eine Schicht von etwa 0.5 m Höhe bildete und ein Überziehen wärmerer Luft über die bodennahe Kaltluft des Ufers bewirkte.

Es war daher anzunehmen, daß ein demgegenüber kleiner Wasserkörper eine lokal sehr begrenzte Wirkung zeigen würde. In der vorliegenden Untersuchung wurden die mikroklimatischen Verhältnisse an einer kleinen Wasseroberfläche bestimmt; dabei wurden auch die Bedingungen der Umgebung mit untersucht. Es handelt sich um ein Becken mit 70 m² Oberfläche und 1.2 m Wassertiefe, das in bepflanzter Umgebung in einem mauerumschlossenen Gartenhof liegt (WILMERS 1972). Ein zweiter Hof mit gleichen Abmessungen, aber ohne Wasserfläche bot Gelegenheit zu vergleichenden Untersuchungen (Abb. 1).

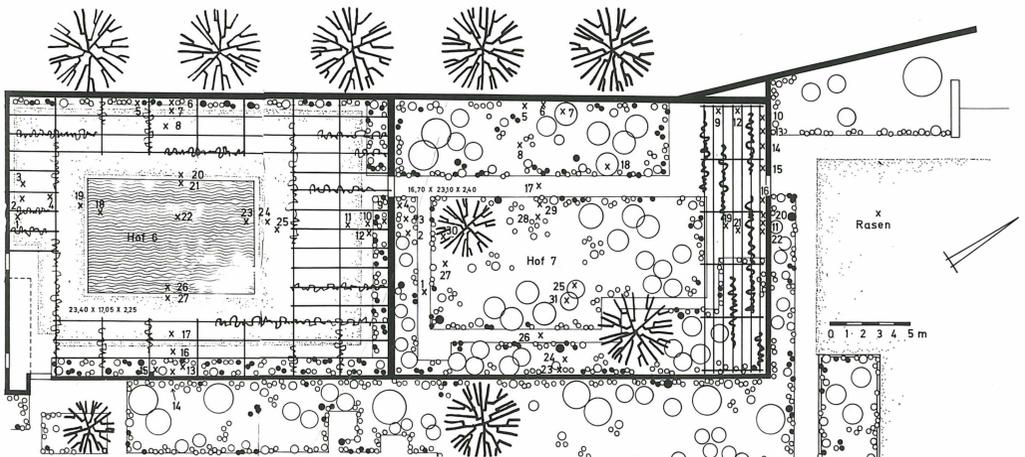


Abb. 1: Gartenhöfe 6 und 7 des Instituts für Grünplanung und Gartenarchitektur TU. Eintragung der Meßpunkte der IR-Messung der Temperatur, z.T. identisch mit der Psychrometermessung.

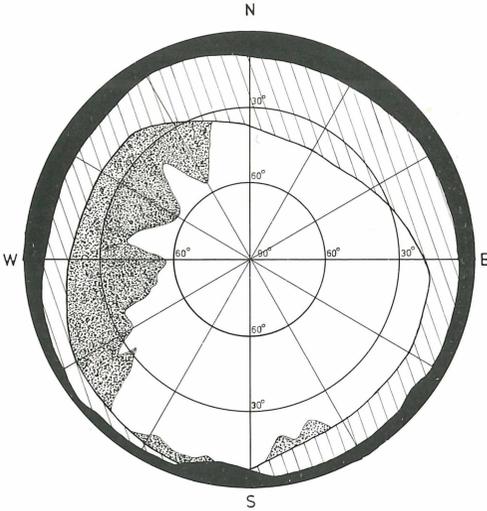


Abb. 2: Horizontdiagramm für Hof 6

Eine wichtige Einflußgröße in umschlossenen Höfen ist die Frage der Besonnung und Beschattung (WILMERS 1972). Daher wurden für den jeweiligen Mittelpunkt der Höfe, auf den es hier vor allem ankam, die Horizontlinien bestimmt; und zwar wurden mit einem registrierenden Ballontheodolit in 1.2 m Höhe als Basispunkt die Winkelüberhöhungen der Umgrenzungsmauern, die der angrenzenden Pergola mit Bepflanzung sowie die bei Hof 6 auf der Westseite außen stehenden Pyramideneichen eingetragen (Abb. 2). Die Zeiten der direkten Besonnung sind mit Hilfe der scheinbaren Sonnenbahnen und der Stundenlinien abzulesen, die für den längsten und kürzesten Tag sowie für die Tag- und Nachtgleichen eingezeichnet wurden (entworfen n. JUNGHANS 1969).

Tab. 1: Instrumente und gemessene Größen vom 18. bis 20. Juli 1972
Gartenhöfe 6 und 7, Hannover-Herrenhausen

1. Wassertemperaturprofil: 0, -1, -2.5, -7, -25, -50 cm
Instrumente: Pt 100
2. Lufttemperaturprofil : 10, 50, 150 cm
Instrumente: 3 Aßmann-Aspirationspsychrometer
3. Lufttemperaturminima : 10 cm
Instrumente: Minimum-Thermometer
4. Lufttemperaturmaxima : 50 cm
Instrumente: Maximum-Thermometer
5. Oberflächentemperatur
Instrumente: Strahlungsthermometer KT 13,
Fa. Heimann

Bei der Größe der Höfe ist die Innenfläche während der Untersuchungszeit sehr lange besonnt. Einige Differenzen der Temperaturen in den Randbereichen sind auf längere Beschattung zurückzuführen oder umgekehrt auf zusätzliche Aufheizung vor einer besonnten Wand (s.u.).

Wetterlage

Die räumliche und zeitliche Temperaturverteilung wird am Beispiel einer hochsommerlichen Schönwetterlage untersucht. Es handelt sich um die Zeit vom 18. bis 22. Juli 1972. Vom 15. bis 25. Juli herrschte in Nordwestdeutschland durchgehend eine stabile Hochdrucklage. Die vorhergehende kühlere Hochdrucklage wurde durch eine nordostverlagerte Hochdruckzelle abgelöst, in deren Bereich mit vorherrschender Ostströmung sehr warme, kontinentale Luftmassen eindrangen. Daher wurden verbreitet - in Hannover-Langenhagen an sechs Tagen, hintereinander vom 17. bis 22.7. - Temperaturmaxima über 30°C gemessen. Zugleich wurden maximale Summen der Globalstrahlung bei niedrigen Windgeschwindigkeiten registriert, so daß standörtliche Eigenschaften besonders hervortreten mußten (GEIGER 1961). Daher wurden in dieser Zeit zu den laufenden Registrierungen zusätzliche Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse diskutiert werden sollen. In Herrenhausen wurden in diesem Zeitraum die höchsten Stunden- und Tagessummen sowie im Juli 1972 auch die größte Monatssumme der Globalstrahlung (S + H) gemessen. Die Meßpunkte für die verschiedenen Messungen wurden in Abb. 1 eingetragen.

Die Bodenoberfläche der Höfe war unterschiedlich bedeckt; die Wege mit Betonplatten, um das Becken herum Rasen und an der Mauer Stauden unterschiedlicher Höhe. Der Hof 7 enthielt Sträucher unterschiedlicher Art und Höhe und Pflanzungen von bodenbedeckenden, niedrigen Stauden. Die Wege und ein größerer Platz unter der Pergola waren mit Basaltsteinen gepflastert (Abb. 1). Alle Pflanzflächen waren durch vorhergehende Beregnung ausreichend mit Wasser versorgt, so daß die Verdunstung einigermaßen der potentiellen Verdunstung entsprochen haben könnte, was sich in entsprechend niedrigen Oberflächen-temperaturen zeigen wird. Tab. 2 gibt eine Übersicht der verschiedenen Oberflächen.

Tab. 2: Meßpunkte der Oberflächentemperaturmessungen vom 19.7. - 20.7.1972 in Hannover-Herrenhausen

<u>1. Süd-Nord-Profile</u>		<u>2. Ost-West-Profile</u>	
Nr.	Bodenbedeckung	Nr.	Bodenbedeckung
	Hof 6		Hof 6
3	Rasen	13	<i>Waldsteinia geoides</i>
4	Rasen	16	Platten
19	Plattenrand	17	Rasen
18	freies Wasser	27	Plattenrand
22	freies Wasser Mitte	26	freies Wasser
23	freies Wasser	22	freies Wasser Mitte
24	Plattenrand	21	freies Wasser
25	Rasen	20	Plattenrand
11	Rasen	8	Rasen
10	Platten	7	Boden, ohne Vegetation
12	<i>Geranium</i> sp.	6	Wand, unbewachsen
	Hof 7		Hof 7
3	Stauede	24	<i>Campanula</i> sp.
1	Platten	26	Platten
27	Boden mit Vegetation	31	Azalee (<i>Rhododendron</i> sp.)
28	<i>Cotula dioica</i>	25	<i>Rhododendron</i>
31	Azalee (<i>Rhododendron</i> sp.)	28	<i>Cotula dioica</i>
25	<i>Rhododendron</i> sp.	29	<i>Saxifraga peltata</i>
19	Rasen	17	Platten
21	Platten	8	<i>Cotula dioica</i>
20	<i>Geranium</i> sp.	7	Azalee (<i>Rhododendron</i> sp.)
22	Wand, unbewachsen	5	Boden, ohne Vegetation

2. Messungen

Zum Vergleich wurden in Tab. 3 Stundenwerte verschiedener Parameter aus dem Untersuchungszeitraum zusammengestellt, auf die verwiesen wird. Bei der schwachwindigen Lage wurde keine Stunde völlige Windstille in den Höfen registriert.

2.1 Wassertemperatur

Wassertemperaturen zeigen im allgemeinen einen geringen Tagesgang, wobei die tägliche Temperaturwelle rascher im Wasserkörper fortschreitet als in festem Boden, was durch die verschiedenen Formen des Transportes ermöglicht wird, wie molekularer Wärmetransport, Massenaustausch und Strahlung; speziell in Kleingewässern wurden die Zusammenhänge von HÖHNE (1954) untersucht. Wegen der durchweg geringen Windgeschwindigkeit an den untersuchten Tagen - die Stundensummen am Becken erreichten in 2 m Höhe maximal 2 600 m Windweg, entsprechend einem Mittelwert von 0.72 m/s (Tab. 2) - war der Massenaustausch im Becken sicher gering. Es wurde jedoch regelmäßig nachts ein isothermer Zustand erreicht. Dabei betrug die interdiurne Schwankung in 50 cm Tiefe 1.7 bis 1.8 K, während sie an der Oberfläche fast 7 K erreichte.

Der Tagesgang mit dem Vordringen der Wärmewelle ist in der Isoplethendarstellung der Wassertemperatur der Abb. 3 zu verfolgen. Während der Abkühlungsphase ändert sich das Profil, so daß insgesamt asymmetrische Verteilungen der Isoplethen entstehen.

Tab. 3: Stundenwerte 19.-20. Juli 1972, Meßfeld "Gartenhof 6" Hannover-Herrenhausen
 A) Profile im Wasserbecken B) Wind an der Nordseite des Beckens C) Meßfeld

19.7.1972																								
Uhrzeit (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A) 1. Lufttemperatur 200 cm Höhe (°C)	21.7	20.5	19.4	19.4	19.2	19.5	20.4	21.5	22.8	25.2	27.2	28.6	29.3	29.2	29.8	29.7	29.4	29.2	28.9	27.8	26.3	25.2	23.9	23.0
2. Lufttemperatur 20 cm Höhe (°C)	21.4	20.4	18.9	18.8	18.5	19.2	20.3	22.2	24.1	26.0	28.3	29.7	30.3	31.0	30.5	30.3	30.0	29.2	28.5	27.5	26.0	25.1	23.9	22.8
3. Wassertemperatur 0 cm Tiefe (°C)	23.7	23.4	23.1	22.8	22.6	22.4	22.6	22.9	23.9	25.0	26.4	27.9	27.8	29.3	29.0	28.0	27.5	27.0	26.4	26.1	25.9	25.9	25.8	25.8
4. Wassertemperatur 50 cm Tiefe (°C)	22.9	22.8	22.7	22.6	22.5	22.4	22.3	22.4	22.5	22.8	23.0	23.2	23.6	23.9	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
B) 1. Windrichtung 2 m Höhe (0-360°)	080	050	010	030	060	070	070	080	140	090	030	050	080	080	070	050	050	040	060	050	040	060	070	060
2. Windweg Meßhöhe 2 m (100 m/h)	15	10	2	8	6	7	13	16	15	16	20	23	26	22	22	23	26	21	18	12	10	18	15	12
3. Windweg Meßhöhe 50 cm (100 m/h)	10	9	1	3	2	7	7	11	17	15	13	14	21	19	18	20	24	20	18	10	8	15	10	12
C) 1. Hüttentemperatur Meßhöhe 2 m (°C)	22.0	20.1	20.0	19.8	19.8	20.1	21.5	23.1	25.1	27.0	28.5	29.5	30.4	31.2	31.1	31.0	30.8	30.0	29.5	28.0	26.8	25.2	24.0	22.8
2. Globalstrahlung (S + B) (J m ⁻² h ⁻¹)	-	-	-	-	2.9	25.5	69.8	116.2	156.3	191.0	227.4	241.6	235.7	238.7	199.0	184.7	156.3	91.2	62.7	20.0	2.9	-	-	-
20.7.1972																								
A) 1. Lufttemperatur 200 cm Höhe (°C)	21.9	20.8	19.8	19.2	18.7	18.9	19.3	20.3	22.7	23.8	27.0	28.3	28.8	29.2	29.8	28.9	28.8	28.8	28.6	27.1	25.6	24.4	23.8	21.8
2. Lufttemperatur 20 cm Höhe (°C)	21.5	20.5	19.4	18.7	18.3	18.6	15.5	21.4	23.7	26.0	28.1	29.6	30.1	30.8	30.7	29.4	29.3	29.0	28.4	26.8	25.2	24.1	22.7	21.6
3. Wassertemperatur 0 cm Tiefe (°C)	24.4	24.1	23.8	23.5	23.3	23.2	23.1	23.3	24.0	25.2	26.3	27.8	28.8	29.2	29.5	28.2	27.6	27.0	26.7	26.3	26.0	25.7	25.7	25.0
4. Wassertemperatur 50 cm Tiefe (°C)	24.0	23.9	23.8	23.6	23.4	23.1	22.8	22.8	22.9	23.0	23.2	23.7	24.0	24.2	24.5	24.6	24.6	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7
B) 1. Windrichtung 2 m Höhe (0-360°)	060	050	030	050	080	100	080	080	060	050	040	020	020	020	010	010	010	010	010	360	010	010	360	360
2. Windweg Meßhöhe 2 m (100 m/h)	11	10	6	6	2	4	11	7	10	9	17	20	15	17	13	11	10	13	11	5	5	4	3	0
3. Windweg Meßhöhe 50 cm (100 m/h)	9	8	6	4	1	2	10	3	7	7	11	14	11	12	9	6	3	4	4	7	3	1	1	1
C) 1. Hüttentemperatur 2 m Höhe (°C)	21.5	20.4	19.5	19.1	18.9	19.8	21.8	23.5	25.0	27.0	28.7	29.8	30.4	31.0	31.2	31.2	30.8	30.0	28.5	27.4	25.3	24.0	22.6	22.4
2. Globalstrahlung (S + B) (J m ⁻² h ⁻¹)	-	-	-	-	4.2	28.4	68.1	113.7	156.3	191.0	227.4	234.5	249.4	241.6	220.7	193.1	159.3	113.7	68.1	24.1	2.9	-	-	-

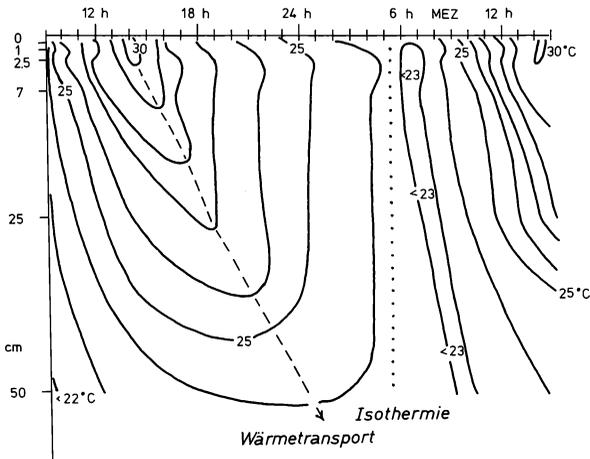


Abb. 3: Isoplethen der Wassertemperaturen 19.7. - 20.7.1972, Hof 6

2.2 Lufttemperaturextreme

Durch ausgelegte Extremthermometer wurden die Minima und Maxima der Lufttemperatur in Bodennähe bestimmt. Die Minimumthermometer wurden in 10 cm Höhe befestigt, nicht in 5 cm, wie auf dem Meßfeld der Klimastationen, weil sie sonst bei niedrigen Stauden innerhalb der Krautmasse gewesen wären.

Die Maximumthermometer wurden in Styropor-Rohre mit 10 cm lichter Weite gesteckt und so vor der Strahlung geschützt. Sie wurden in 50 cm Höhe angebracht. In Tab. 4 werden die Ergebnisse für den 20. Juli 1972 für die Meßpunkte auf den Süd-Nord-Profilen zusammengestellt; zusätzlich sind die Werte aufgezeichnet, die auf einer Rasenfläche außerhalb - vor Hof 7 - gemessen wurden, sowie diejenigen vom Meßfeld der Klimastation Herrenhausen, um so die Hofwirkung mit der freien Fläche zu vergleichen. Außerdem sind die Abweichungen von den Werten über der Wasserfläche angegeben.

Die Extremtemperaturen der anderen Nächte entsprechen diesem Beispiel. Wegen des Bezuges zu den Messungen mit den anderen Instrumenten werden jedoch hier die Einzelwerte aus dem gleichen Zeitraum angegeben.

Nachts sinken die Temperaturen im Hof 6 am wenigsten über dem Wasserbecken und in Mauer-nähe. Auch die bessere Wärmeleitung des Basaltpflasters im Hof 7 wirkt offensichtlich erhöhend für die Lufttemperatur; denn an dieser Stelle wurden die höchsten Minimumtemperaturen ermittelt. Freie Rasenflächen und die Fläche des Bodendeckers in der Mitte von Hof 7 haben die jeweils tiefsten Minima. Das wurde auch schon bei anderen Meßserien festgestellt (WILMERS 1972).

Tab. 4: Extremtemperaturen vom 20.7.1972 in Hannover-Herrenhausen

1. Süd-Nord-Schnitte durch Hof 6

Oberfläche	Minimumtemperatur 10 cm Höhe (°C)	Abweichung von Beckenmitte (K)	Maximumtemperatur 10 cm Höhe (°C)	Abweichung von Beckenmitte (K)
Rasen, 0.3 m von Mauer	18.3	+0.4	31.3	-1.1
Rasen, 4.0 m von Mauer	17.5	-0.4	31.0	-1.4
Wasser, 10 m von Mauer, Beckenmitte	17.9	-	32.4	-
Rasen, nördl. Beckenrand	16.5	-1.4	33.5	+1.1
Rasenmitte, zwischen Becken und Mauer	17.2	-0.7	33.3	+0.9
Rasen, 1.0 m von Mauer zwischen Platten und Stauden	16.6	-1.3	33.7	+1.3

2. Süd-Nord-Schnitte durch Hof 7

Boden, teilweise bewachsen, 0.5 m von Mauer	17.5	-0.4	30.8	-1.6
Stauden, niedrig, 0.5 m von Mauer	16.8	-1.1	35.0	+2.6
Bodendecker (<i>Cotula</i> <i>dioica</i>), Hofmitte, 10 m von Mauer	15.7	-2.2	34.3	+1.9
Basaltpflaster, 0.3 m von Mauer	18.6	+0.7	37.4	+5.0

3. Rasenflächen außerhalb der Höfe

Rasen, 5.0 m von Mauer, vor Hof 7	16.0	-1.9	33.5	+1.1
Rasen, Meßfeld	16.7	-1.2	32.4	0.0

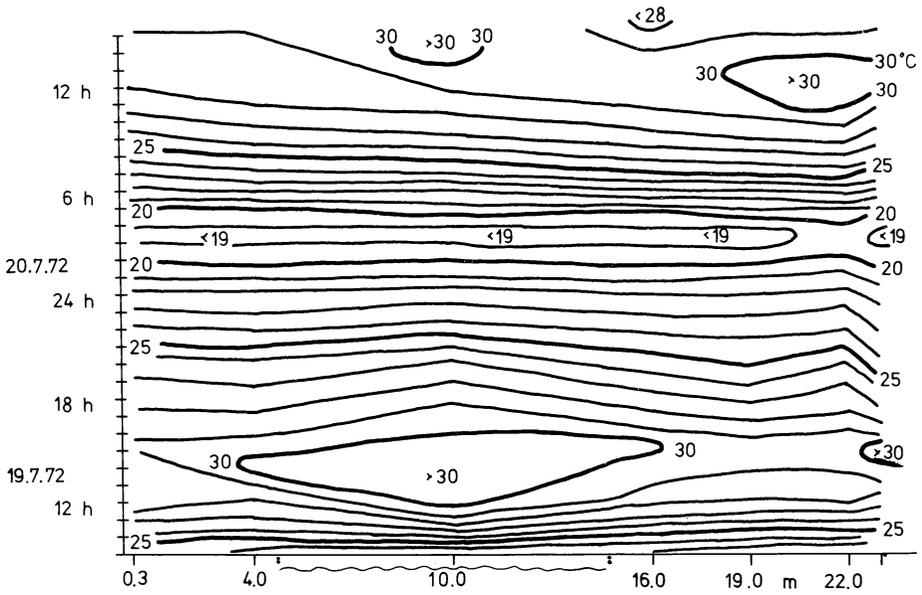


Abb. 4: Isoplethen der Lufttemperaturen, 10 cm hoch
19.7. - 20.7.1972, Hof 6

Andererseits liegen die Maximumtemperaturen nur in den beschatteten Zonen der Höfe niedriger als die Temperatur über dem Wasserbecken. Die höchsten Maxima wurden vor der sonnenbeschienenen Mauer über dem Basaltpflaster gemessen.

Wegen der unterschiedlichen Meßhöhe der Thermometer sind die Tagesschwankungen nur bedingt aus den Extremen abzuleiten. Sie können jedoch als Anhalt für die unterschiedlichen Größen der Temperaturamplituden gelten. Hier zeigt sich, daß an den beschatteten Mauern

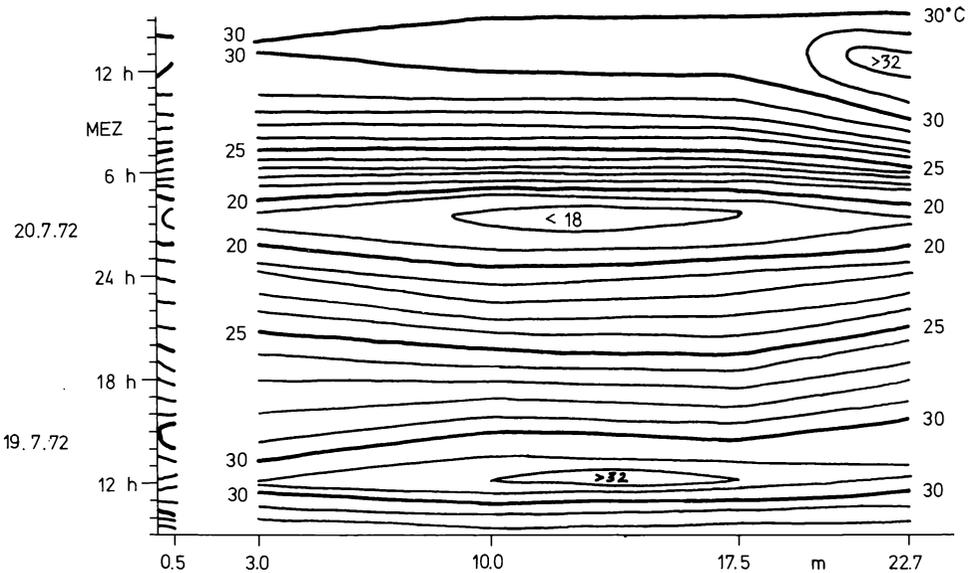


Abb. 5: Isoplethen der Lufttemperaturen, 10 cm hoch,
19.7. - 20.7.1972, Hof 7

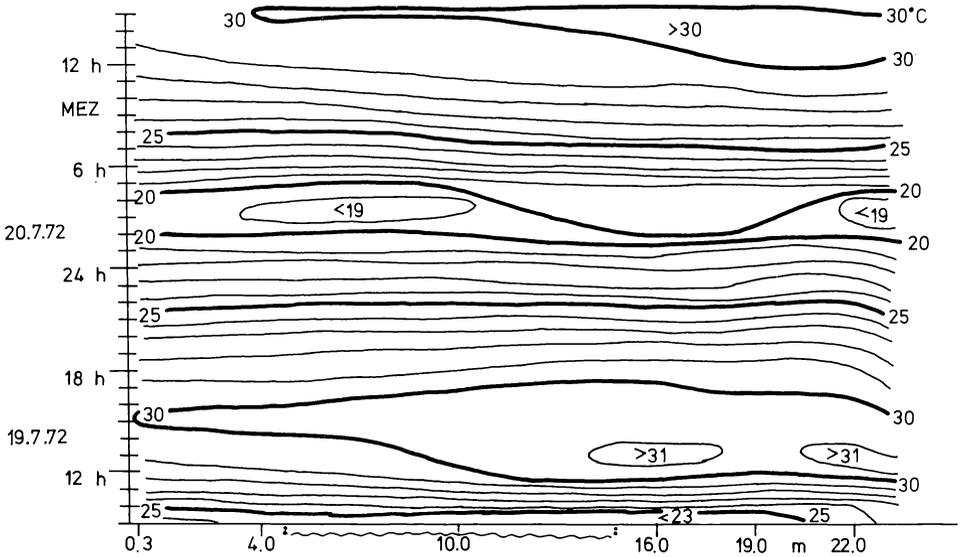


Abb. 6: Isoplethen der Lufttemperaturen, 50 cm hoch, 19.7. - 20.7.1972, Hof 6

nicht nur die niedrigsten Maxima, sondern auch die geringeren Amplituden bis 13 K zu verzeichnen sind, gleich gefolgt von dem Wert der Beckenmitte mit 14.5 K. Demgegenüber steigen die anderen an, da über den pflanzenbestandenen, nicht von den Mauern geschützten Flächen die Minima absinken, die Maxima aber je nach Besonnung höhere Werte erreichen. Die größte Schwankung ergab sich auf dem Basaltplatz, auf dem ja auch ein wesentlich höherer Maximumwert gemessen wurde als an den anderen Stellen.

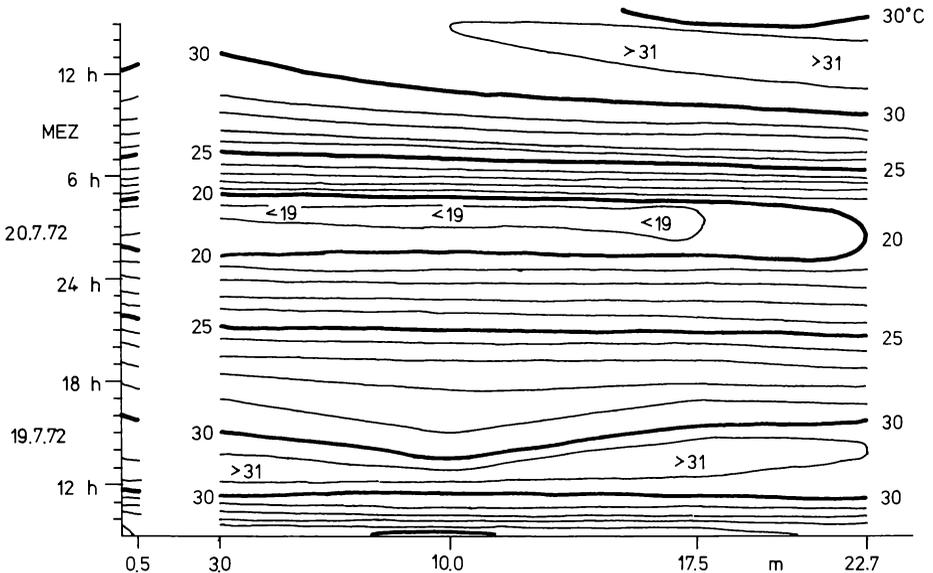


Abb. 7: Isoplethen der Lufttemperaturen, 50 cm hoch, 19.7. - 20.7.1972, Hof 7

2.3 Lufttemperaturprofile

Je weiter ein Meßpunkt der Lufttemperatur von der Bodenoberfläche entfernt ist, desto geringer ist der Einfluß der Oberfläche und desto mehr könnten die horizontalen Unterschiede verringert sein. Bei den kleinflächigen Unterschieden in Untergrund und Oberfläche ist demnach auch in Bodennähe mit den größten Differenzen zu rechnen. Die Lufttemperatur wurde über dem Wasserbecken laufend mit Thermoelementen registriert, wovon Stundenwerte aus 200 und 20 cm Höhe in Tab. 3 wiedergegeben sind. Gegenüber den Temperaturen, die mit Aßmann-Psychrometern über den anderen Oberflächen gemessen wurden, ist eine erhebliche Dämpfung des Tagesganges festzustellen.

Um die Auswirkung der Wasserbecken zu untersuchen, wurden aus den Psychrometer-Messungen Temperatur-Längsschnitte durch die Höfe 6 und 7 berechnet und die Tagesgänge in Thermoisoplethen dargestellt (Abb. 4, 5, 6, 7). Die Meßpunkte in den Profilen sind jeweils angegeben, die Verbindungslinien wurden linear interpretiert. Die Meßpunkte entsprechen den Stellen, an denen auch die Extremtemperaturen gemessen wurden. Die höchsten und tiefsten Werte sind hier nicht so weit voneinander entfernt wie bei den ausgelegten Thermometern, weil diese Meßart nicht die Extreme erfassen konnte. Man erkennt auch hier tagsüber kühlende Wirkung der Schattlagen an den Mauern, die in Bodennähe am stärksten ist, andererseits die schützende Wirkung in der Nacht, die auch an tagsüber besonnten Mauern festzustellen ist. Die Temperatur-Wirkung des Wasserbeckens scheint kaum in die Nachbarschaft zu reichen, wenn auch die Luftschicht über dem Becken eindeutig im Tagesgang durch die ausgleichende Wirkung der tagsüber relativ kühlen, nachts jedoch warmen Wassermasse bestimmt wird. Der Abstand der Isoplethen ist ein Maß für die Schnelligkeit der Temperaturänderung, wobei man die Abhängigkeit von der Beschaffenheit und damit der Oberflächentemperatur des Untergrundes erkennt.

2.4 Oberflächentemperaturen

Erfahrungsgemäß treten die schärfsten standörtlichen Unterschiede in der Bestimmung der Oberflächentemperatur hervor. Daher wurden während des untersuchten Zeitraumes ebenfalls in mehreren Meßserien die Temperatur der verschiedenen Oberflächen bestimmt, und zwar mit einem Strahlungsthermometer KT 13. Das Gerät wurde bei KESSLER (1971) beschrieben, die Problematik und Grenzen der Infrarot-Temperaturmessung behandelte u.a. LORENZ (1973).

Die Genauigkeit der Temperaturbestimmung hängt von der Beachtung des unterschiedlichen Emissionsvermögens ϵ der nur annähernd schwarz strahlenden Oberflächen ab, da die Strahlungstemperatur gemäß dem Stefan-Boltzmann'schen Gesetz ermittelt wird. Da der Wert von ϵ nicht bestimmt werden konnte, wurde wie bei KESSLER (1971) ein einheitlicher Wert von 0.9 zugrundegelegt. Mit steigender Temperatur vergrößert sich der Fehler bei abweichenden Emissionsvermögen, so daß er äußerstenfalls bis 1 K je Prozent Abweichung betragen könnte (G. Tetzlaff, mdl. Mitteilung). Auf die weitergehende Problematik der Messung von Wasserflächen, wasserbenetzten Oberflächen und besonders kleinblättrigen Pflanzenbeständen, bei denen notgedrungen die Emission aus verschiedenen Schichten bis zum kälteren oder wärmeren Erdboden gemessen wird, soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Die Halterung der Sonde wurde so konstruiert, daß die Messung mit immer exakt 10 cm Abstand vom Objekt erfolgte, wobei das Gerät jeweils möglichst genau senkrecht zur Oberfläche gehalten wurde, um zusätzliche Geometriemeßfehler zu vermeiden. Die Messungen wurden jeweils zwischen den Serien mit den Psychrometermessungen mit rd. vier Stunden Abstand durchgeführt, so daß aus insgesamt acht Meßgängen auch annähernd Tagesgänge ermittelt werden können. Die Meßpunkte waren so ausgewählt, daß einerseits die Unterschiede der verschiedenen Oberflächen auf möglichst engem Raum gemessen werden konnten, andererseits die Unterschiede der einzelnen Expositionen in Besonnung und Beschattung sowie in ihrem Verhältnis zum Wasserbecken bzw. der Entfernung von den Mauern zu bearbeiten waren. Aus den Werten wurden Süd-Nord-Profile und Ost-West-Profile der Oberflächentemperaturen gezeichnet (Abb. 8, 9, 10, 11). Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Profile mit jeweils um 5 K verschobenem Nullpunkt der Temperatur gezeichnet, wobei für jedes Profil der Wert 30°C angegeben wird. Bei Ausfall von Werten wurden die Profile strichliert. Die Meßpunkte wurden maßstäblich darunter angegeben.

Beim Sinken der Oberflächentemperaturen des Nachts nähern und überschneiden sich die Profile, wenn der Rückgang über 5 K beträgt. Tagsüber, bei steigenden Temperaturen, wachsen die Abstände. Charakteristische Unterschiede der verschiedenen Oberflächen zeigen sich bei Flächen mit und ohne Vegetation und bei der Wasserfläche.

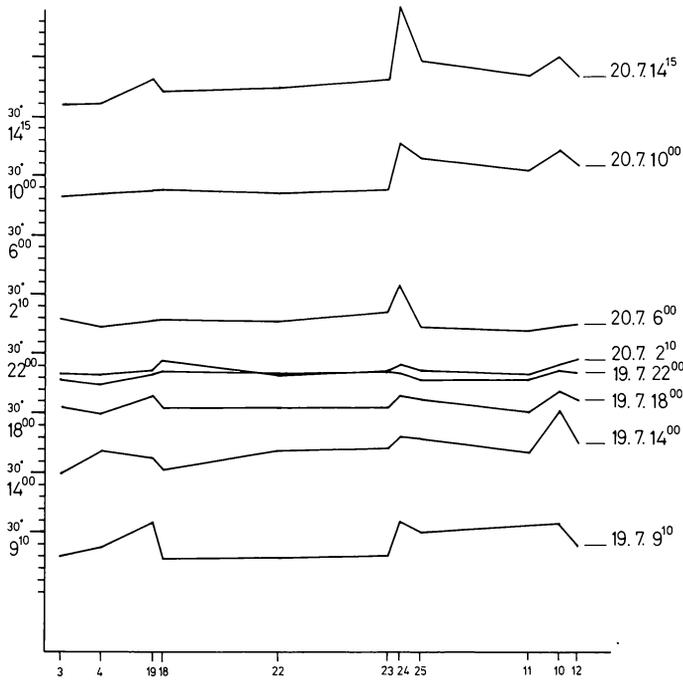


Abb. 8: Süd-Nord-Profile der Oberflächentemperatur, 19.7. - 20.7.1972, Hof 6

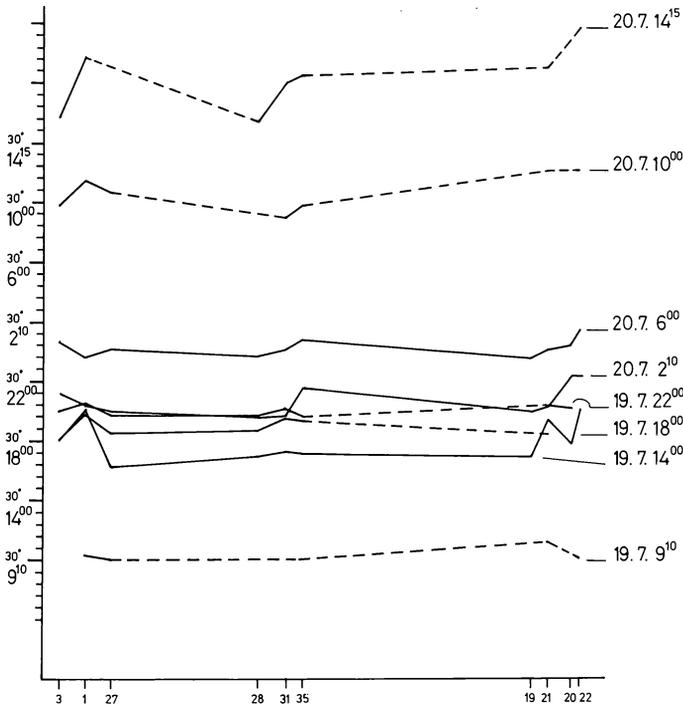


Abb. 9: Süd-Nord-Profile der Oberflächentemperatur, 19.7. - 20.7.1972, Hof 7

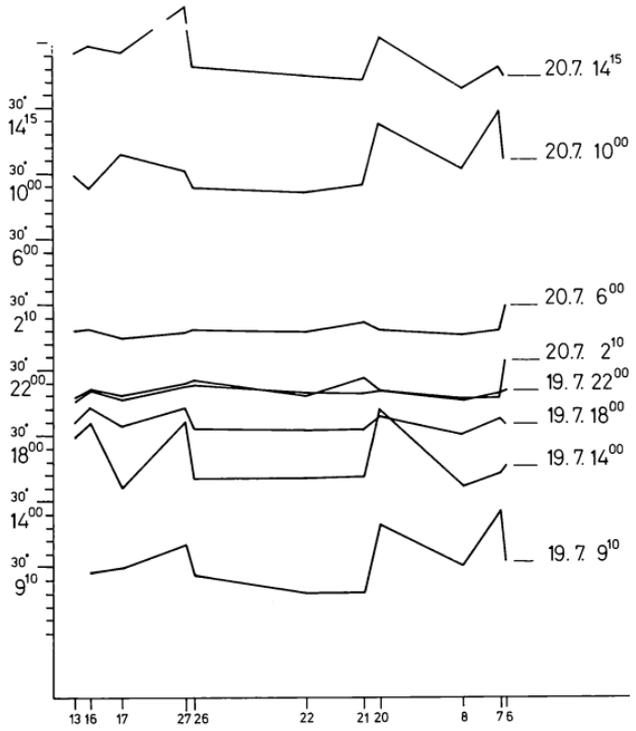


Abb. 10: Ost-West-Profile der Oberflächentemperaturen, 19.7. - 20.7.1972, Hof 6

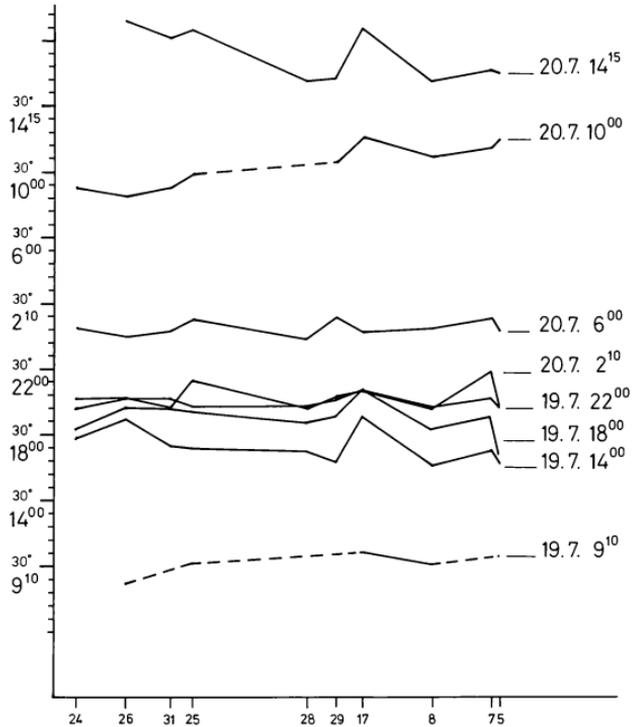


Abb. 11: Ost-West-Profile der Oberflächentemperaturen, 19.7. - 20.7.1972, Hof 7

3. Diskussion

3.1 Oberflächentemperaturen und Wärmehaushalt

Die Temperatur einer Oberfläche ist im Zusammenhang mit dem Wärmehaushalt zu sehen, der an der Oberfläche durch die Bilanzgleichung

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

ausgedrückt werden kann, mit den Termen Strahlungsbilanz Q , Bodenwärmestrom B , Strom fühlbarer Wärme L und Strom latenter Wärme V , wobei grundsätzlich jeder Term Energie zuführen wie abführen kann (GEIGER 1961). Bei ausreichend mit Wasser versorgten Flächen, was für die Pflanzen hier weitgehend zutrifft, wird bei positiver Strahlungsbilanz Q mit erheblicher Verdunstung V zu rechnen sein, so daß die Oberflächentemperatur bis auf die Feuchttemperatur des idealen Psychrometers sinken könnte. Im Tageslauf wird die stomatare Transpiration bei starker Einstrahlung jedoch in der Regel eingeschränkt, wodurch die Oberflächentemperatur ansteigt. Vegetationsfreier Boden hat eine wesentlich geringere Verdunstung, da nur die Evaporation wirksam ist, und bei den Plattenoberflächen vereinfacht sich die Wärmehaushaltsgleichung zu $Q + B + L = 0$.

Wenn auch der Bodenwärmestrom wegen der besseren Wärmeleitung in beiden Richtungen erheblich größer ist als bei den Vegetationsflächen, ist doch insgesamt die Oberflächentemperatur bei besonnten Platten wesentlich höher als bei Pflanzenbeständen. Das ist bei den Randplatten des Wasserbeckens besonders deutlich. Sodann ist an den Süd-Nord-Profilen (Abb. 8, 9) das Ansteigen der Temperaturen von der beschatteten linken Seite zur mehr besonnten rechten Seite zu erkennen. Entsprechend ist bei den Ost-West-Profilen vormittags die besonnte Westseite, nachmittags die dann besonnte Ostseite des Hofes wärmer; nachts ist die Temperaturverteilung ziemlich ausgeglichen.

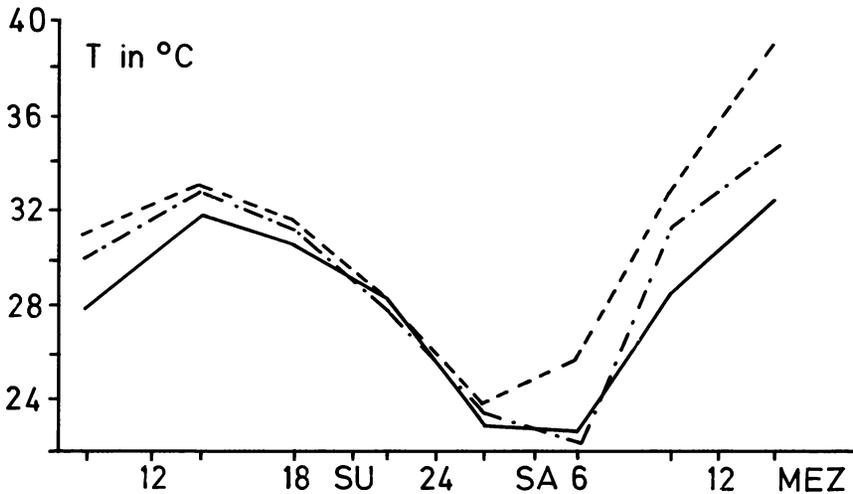


Abb. 12: Angenäherte Tagesgänge der Oberflächentemperaturen, 19.7. - 20.7.1972, Hof 6

— Wasser (Punkt 23)

----- Plattenrand (Punkt 24)

- · - · - · - Rasen (Punkt 25)

SA = Sonnenaufgang, SU = Sonnenuntergang

Eine Wirkung des Wasserbeckens auf die Oberflächentemperatur der Umgebung ist nicht unmittelbar festzustellen. Zwar sind die Wassertemperaturen in sich ausgeglichen, und die Differenzen zwischen Beckenmitte und Rand sind meist sehr gering, jedoch ist der Unterschied zum Rasen bei Besonnung außerordentlich hoch. Die typischen Unterschiede im Tagesgang lassen sich aus dem Vergleich der drei unmittelbar nebeneinander liegenden Meßpunkte 23 (Wasser), 24 (Plattenrand) und 25 (Rasen) ersehen, die zusammen in Abb. 12 eingezeichnet wurden. Während der Hauptabkühlung von 18^h bis nach Mitternacht stimmen die Kurven beinahe überein. Während die Temperatur der Wasseroberfläche dann bis zur Ablesung um 6^h noch langsam und die des Rasens noch stärker absinkt, ist die Platten-temperatur bis 6^h schon wieder stark angestiegen: Da die Sonne an dem Tag um 4.28^h MEZ aufging, wird die Plattentemperatur angestiegen sein, sobald die Sonne die Platte erwärmte, während die Umkehr der Kurve bei der Wasserfläche und dem Rasen wesentlich später eintrat.

Ein Vergleich der höchsten und tiefsten jeweils gemessenen Oberflächentemperaturen hat folgendes Ergebnis: Der absolut höchste Wert wurde in Hof 7 um 14.15^h mit 39.9°C an der unbewachsenen Südmauer gemessen. Die höchsten Werte jeder Serie in Hof 7 waren an der jeweils von direkter Sonne getroffenen Mauer zu finden, und auch nachts um 22^h und um 2^h war die zuletzt beschienene Westmauer die wärmste Stelle des Hofes. Im Hof 6 waren die Verhältnisse nicht so einheitlich. Hier waren die Wände durch die bewachsene, rundumlaufende Pergola auch nicht so der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt. Nur einmal, um 2^h, war die Westwand am wärmsten. Daher wurden für die Meßserien jeweils der höchste und tiefste Wert herausgezogen und in Tab. 5 einander gegenübergestellt. Die Höchstwerte tagsüber stammen entweder vom Boden oder von Platten oder vom Beckenrand, in jedem Falle von vegetationslosen Stellen. Die Werte-Paare differieren bis 2.5 K, wobei für die genaue Beurteilung auch die Dauer der Besonnung zu berücksichtigen wäre. Die Höchstwerte nachts differieren noch weniger. Im Hof 6 ist um 22^h das Wasser am wärmsten. Interessant bei der Nachtmessung ist, daß in beiden Höfen um 2^h die gleiche Pflanzenart, ein hochwachsendes, sehr dichtes *Geranium*, die höchste Oberflächentemperatur aufweist. Die Tiefstwerte wurden dagegen zum größten Teil an Pflanzenoberflächen gemessen, beim Hof 6 bis auf zwei Ausnahmen - Wasser und *Waldsteinia* - Rasenflächen, im Hof 7 dagegen dreimal bei Pflanzen und in anderen Fällen an Platten oder Boden. In den Unterschieden zwischen den Höfen oder bei den einzelnen Meßserien ist dabei festzustellen, daß die Differenzen zwar sehr unterschiedlich sind, daß aber überwiegend die Werte im Hof 6 höher liegen, vor allem die Höchstwerte tags und die Tiefstwerte nachts.

Tab. 5: Spitzenwerte der Oberflächentemperatur vom 19.-20.7.1972
Hannover-Herrenhausen

Hof 6				Hof 7			
1. Spitzenwerte der Maxima tagsüber							
Meßreihe	Nr.	Oberfläche	Temp.	Nr.	Oberfläche	Temp.	
9 ^h 10 min	7	Boden	34.3	21	Platten	31.8	
14 ^h 10 min	20	Plattenrand	37.0	1	Platten	37.6	
18 ^h 10 min	16,27	Plattenrand	32.2	17	Platten	33.5	
10 ^h 10 min	7	Boden	34.9	12	Pflaster	33.2	
14 ^h 15 min	24	Plattenrand	39.5	13	Pflaster	37.6	
2. Spitzenwerte der Maxima nachts							
22 ^h	26	Wasser	28.8	12,17	Pflaster	28.4	
2 ^h 10 min	12	<i>Geranium</i>	24.6	20	<i>Geranium</i>	25.6	
6 ^h	24	Plattenrand	25.8	18	Fliederblätter	24.4	
3. Spitzenwerte der Minima tagsüber							
9 ^h 10 min	18	Wasser	27.8	26	Platten	28.8	
14 ^h	3	Rasen	29.9	27	Boden	32.8	
18 ^h	4	Rasen	29.9	5	Boden	28.6	
10 ^h	3	Rasen	28.2	26	Platten	28.1	
14 ^h 15 min	3	Rasen	31.1	8	Bodendecker	31.8	
4. Spitzenwerte der Minima nachts							
22 ^h	4	Rasen	27.3	32	<i>Luzula silv.</i>	26.8	
2 ^h 10 min	13	<i>Waldsteinia</i>	22.8	8,28	Bodendecker	22.0	
6 ^h	11	Rasen	22.0	1	Platten	22.0	

3.2 Profile in und über dem Wasserbecken

In Abb. 13 wurden die Temperatur-Profile der Psychrometermessungen über dem Wasserbecken mit den entsprechenden Stundenwerten der Temperaturregistrierung im Wasserbecken zusammen gezeichnet. Die punktierte Linie gibt jeweils die Verbindung zu der Oberflächentemperatur, die 1-2 Stunden nach den Psychrometermessungen radiometrisch bestimmt wurde.

Es fällt auf, daß bei allen Messungen sich der Lufttemperaturanstieg als ziemlich stabil erweist. Die Amplitude der Temperatur ist offensichtlich in der Luft wesentlich höher als im Wasser, wengleich die Lufttemperatur über dem Becken etwas geringere Schwankungen zeigt als über anderen Oberflächen (s. Kap. 3.1).

Nach stärkerer Einstrahlung, hier gemessen ab 12^h, liegen die Lufttemperaturen erheblich über den Wassertemperaturen, wobei sich die Schichtung erst nach 12^h zu labilisieren scheint.

An der Wassergrenzschicht fällt die bedeutende Differenz zwischen der radiometrisch bestimmten Oberflächen-Temperatur und der im Wasser bestimmten Temperatur auf. Offensichtlich findet von der Oberfläche Verdunstung statt, was zu einer Abkühlung der obersten Wasserschicht führt, während mit dem Strahlungsthermometer die an der Oberfläche emittierte Strahlung gemessen wird. Diese stimmt lediglich um 6^h morgens mit der um 4^h registrierten Wassertemperatur überein. Das sind die Zeiten kurz vor bzw. nach Sonnenaufgang, entsprechen also ungefähr den Minimalwerten.

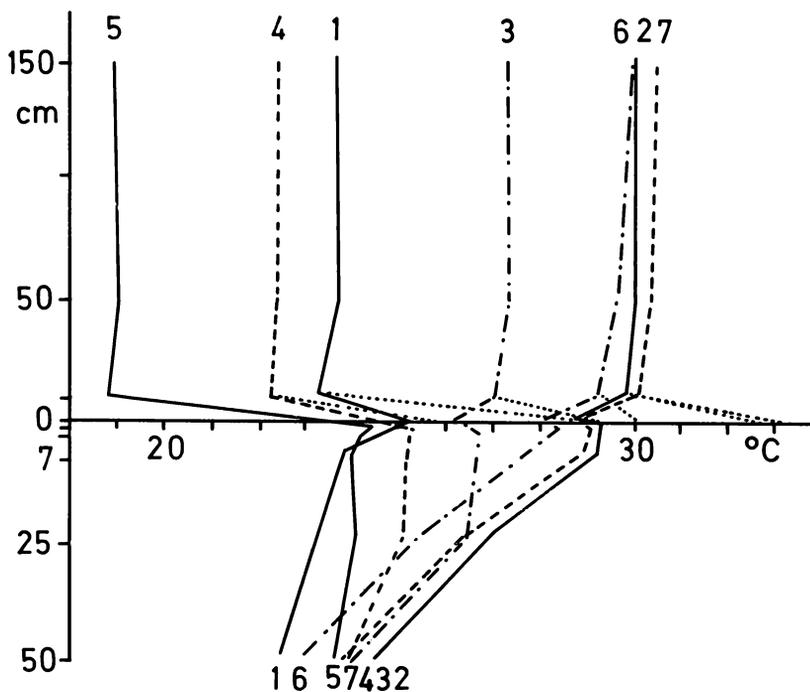


Abb. 13: Tautochronen der Luft- und Wassertemperatur in und über dem Becken, 19.7. - 20.7.1972, Hof 6

1 $\hat{=}$ 9 ^h 19.7.	4 $\hat{=}$ 0 ^h 20.7.
2 $\hat{=}$ 15 ^h 19.7.	5 $\hat{=}$ 4 ^h 20.7.
3 $\hat{=}$ 20 ^h 19.7.	6 $\hat{=}$ 12 ^h 20.7.
	7 $\hat{=}$ 15 ^h 20.7.

SU am 19.7. 20^h 28 min MEZ, SA am 20.7. 4^h 28 min MEZ

Die punktierte Linie gibt die Oberflächentemperatur der dazwischenliegenden Messung an.

4. Zusammenfassung

In zwei nahezu gleichartigen, mauerumschlossenen Gartenhöfen in Hannover, von denen einer ein Wasserbecken mit 70 m² Oberfläche und 1.2 m Tiefe enthält, wurden Temperaturen verschiedener Oberflächen sowie Luft- und Wassertemperaturen in mehreren Höhen gemessen.

Auch im Wasser trat regelmäßig eine tägliche Umkehrung des Temperaturprofils mit dazwischenliegender Isothermie auf. Trotzdem war eine starke Rückwirkung auf die Temperatur der Luft über dem Wasserbecken festzustellen, während bei Windstille die randliche Auswirkung gering war. Das zeigt sich an den starken Unterschieden der Temperaturextreme sowie der Tagesgänge der Temperatur an den verschiedenen Stellen.

In Profilschnitten und anderen Diagrammen werden die Ergebnisse verglichen und ihre Bedeutung erörtert.

Für Mithilfe bei den Berechnungen, dem Herstellen der Zeichnungen, dem Fertigstellen der Tabellen und der Reinschrift danke ich Herrn Müller-Tuchtenhagen und Herrn Grusdat vom Institut für Meteorologie und Klimatologie sowie den Herren cand. rer. nat. Bangert und Freise.

Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Literatur

- BAUMGARTNER A., 1963: Einfluß des Geländes auf die Lagerung und Bewegung der nächtlichen Kaltluft. In (Ed. F. Schnelle): Frostschutz im Pflanzenbau I: 151-194. München (BLV)
- FRAEDRICH K., 1971: Modell einer lokalen atmosphärischen Zirkulation mit Anwendung auf den Victoria-See. Beitr. Phys. Atmosph. 44: 95-114.
- GEIGER R., 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht. 4. Aufl. Braunschweig (Vieweg).
- HÖHNE W., 1954: Experimentelle und mikroklimatische Untersuchungen an Kleingewässern. Abh. MHD. der DDR 4(26).
- JUNGHANS H., 1969: Sonnenscheindauer und Strahlungsempfang geeigneter Ebenen. Abh. MD der DDR 11(85).
- KESSLER A., 1971: Über den Tagesgang von Oberflächentemperaturen in der Bonner Innenstadt an einem sommerlichen Strahlungstag. Erdkunde 25: 13-20.
- LORENZ D., 1973: Die radiometrische Messung der Boden- und Wasseroberflächentemperatur und ihre Anwendung insbesondere auf dem Gebiet der Meteorologie. Z. Geophys. 39: 627-701.
- MÄDE A., 1956: Über die Methodik der meteorologischen Gelände Vermessung. Sitzungsber. Dt. Ak. Landwirtschaftswiss. 5(5).
- WILMERS F., 1972: Temperaturstudien in Gartenhöfen. Gartenamt 21: 677-681.

Adresse

Dr. Fritz Wilmers
Inst. f. Meteorologie u. Klimatologie TU
Herrenhäuser Str. 2
D-3000 Hannover 21

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [7_1978](#)

Autor(en)/Author(s): Wilmers Fritz

Artikel/Article: [Temperaturen in und an einem künstlichen Teich 413-426](#)