

Der Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Körpertemperatur Wasser sammelnder Wespen (*Paravespula germanica*)

Anton Stabentheiner, Helmut Kovac & Sigurd Schmaranzer

Institut für Zoologie, Universität Graz, Austria

Abstract: The effect of solar radiation on the body temperature of water gathering wasps (*Paravespula germanica*).

Wasps of the subfamily Vespinae belong to the heterothermic insects. When they forage they use muscular thermogenesis to heat up their thorax and to keep it at a high temperature. They also show social thermoregulation. When it is cold they heat their nest, and when it gets hot they cool it by fanning and evaporation of water. We measured the body temperature of water gathering *Paravespula* (Hymenoptera: Vespidae) wasps by infrared thermography and, because they forage in the shade and in the sun, determined the effect of solar radiation on thermoregulation.

During overcast conditions (global radiation: 120 W/m²) the thorax surface temperature averaged 35.3 °C, and during intense sunshine (1 kW/m²) it was 37.2 °C, which equals an increase of 2.19 °C per kW/m² (ambient temperature: 24.3±1.8 °C). This increase with radiation was steeper in the other body parts where no endothermic heat production occurs. Head temperature increased from 29.0 °C at 120 W/m² to 33.3 °C at 1 kW/m², and abdominal temperature increased from 25.8 °C to 30.5 °C, respectively. This equals increases of 4.94 °C and 5.54 °C per kW/m², respectively. Independent of solar radiation, the wasps kept their thorax temperature 12.0 °C above the ambient air temperature (=constant temperature excess). By way of contrast, the thorax temperature of dead wasps increased steeply from the ambient level in the shade to 7.6 °C above it at 1 kW/m². The difference in the thoracic temperature excess between the water gatherers and the dead wasps, which can be used as an indirect estimate of endothermic heat production, decreased from 12 °C in the shade to only 4.5 °C at 1 kW/m². This shows that the wasps were able to decrease their own investment of energy with increasing solar radiation. Part of the heat gained from the sun, however, was invested to increase the thorax (and thus flight muscle) temperature, which probably increased their readiness for takeoff and general agility.

Key words: wasp, *Paravespula*, thermoregulation, solar radiation, thermography

A. Stabentheiner, Helmut Kovac, S. Schmaranzer, Institut für Zoologie, Universität Graz,
Universitätsplatz 2, A-8010 Graz, Austria;
E-mail: Anton.Stabentheiner@uni-graz.at, He.Kovac@uni-graz.at

Bei den heimischen Faltenwespen (Vespidae) findet man zwei Strategien der individuellen Thermoregulation. Während die Polistinae, soweit bekannt, vorwiegend poikilotherm sind (KOVAC & STABENTHEINER 2001), sind die Vespinae heterotherm. Im ektothermen Zustand folgt ihre Körpertemperatur der Temperatur der umgebenden Luft. Wenn sie fliegen wollen, heizen sie ihre Flugmuskulatur auf ca. 28-43 °C und regeln den Thorax während des Sammelfluges auf hoher Temperatur (HEINRICH 1984; STABENTHEINER & SCHMARANZER 1987; COELHO & ROSS 1996; KOVAC & STABENTHEINER 1993, 1999, 2001). Die Vertreter der Unterfamilie Vespinae nützen die Fähigkeit der Endothermie zur sozialen Thermoregulation. Wenn es zu kalt wird, heizen sie das Brutnest (HIMMER 1932, HEINRICH 1993). Wenn es zu heiß wird, tragen sie zur Kühlung Wasser ein (HIMMER 1932, GAUL 1952, ISHAY et al. 1967; ISHAY & RUTTNER 1971; siehe auch HEINRICH 1993). Ihre Körpertemperatur beim Wasser sammeln und der Einfluss der Sonnenstrahlung auf diese konnte bisher noch nicht gemessen werden. Wir bestimmten den Einfluss der Sonnenstrahlung auf die Körpertemperatur ungestörter, Wasser sammelnder Wespen (*Paravespula germanica*) mit

Hilfe der berührungslosen Infrarot-Thermografie. Um feststellen zu können, ob die Wespen die endogene Wärmeproduktion mit steigender Sonnenintensität reduzieren, wurde im Vergleich dazu die Erwärmung toter Wespen gemessen.

Material und Methoden

Die Oberflächentemperaturen von Wespen (*Paravespula germanica*) wurden beim Sammeln von Wasser an einer Wassertonne mit einer Echtzeit-Thermografiekamera (ThermaCam SC2000, FLIR Systems) während des gesamten Aufenthaltes gemessen, ohne die Tiere zu berühren oder zu stören (SCHMARANZER 1983, STABENTHEINER & SCHMARANZER 1987, KOVAC & STABENTHEINER 1999, SCHMARANZER 2000). Die Körpertemperatur der Wassersammlerinnen wurde mit der passiven Erwärmung toter Wespen verglichen, die mit Insektennadeln an ihren Flügeln über dem Untergrund fixiert waren.

Die IR-Kamera wurde durch regelmäßiges Einblenden eines Referenzstrahlers (AGA 1010) während der Messungen kalibriert. Als Emissionsgrad der Wespencuticula wurde der bei Honigbienen (STABENTHEINER & SCHMARANZER 1987) und Maikäfern (vergl. KOVAC & STABENTHEINER 1999) ermittelte Wert (0,97) verwendet. Da die Kamera im langwelligen Infrarotbereich mißt (7,5–13 µm), bewirkte die über die Cuticula reflektierte Sonnenstrahlung nur einen geringen Messfehler (0,2 °C bei 1000 W/m²), welcher durch spezielle Kalibrierungen kompensiert wurde. Die absolute Messgenauigkeit betrug ca. 0,7 °C.

Die Messung der Sonnenstrahlung erfolgte mit einem Dirmhirm-Globalstrahlungs-Pyranometer (Messbereich: 0,3-3,3 µm; NP-42, NEO Inc.). Die Umgebungstemperatur wurde mit einem NTC-Fühler in der Nähe der Wassersammlerinnen und mit Thermoelementen direkt neben den toten Wespen gemessen. Strahlungs- und Temperaturwerte wurden mit Almemo-Datenloggern (Ahlborn) aufgezeichnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Wasser sammelnden Wespen regulierten ihre Thoraxtemperatur zwischen 30,4 und 40,3 °C, im Mittel bei 36,3±1,94 °C (562 Messungen, 89 Aufenthalte; Abb. 1). Das ist deutlich höher als bei ähnlichen Umgebungstemperaturen von HEINRICH (1984) bei sammelnden *Vespula vulgaris* (im Mittel ca. 32 °C) und ähnlich wie bei sammelnden *Dolichovespula maculata* (ca. 35-36 °C) gemessen. Unsere Wassersammlerinnen hatten etwas höhere bzw. ähnliche Thoraxtemperaturen als *Paravespula germanica* beim Sammeln von

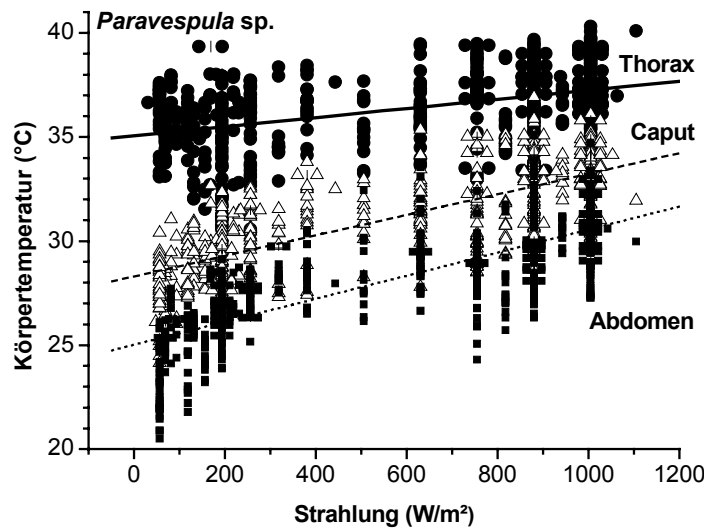


Abb. 1: Körpertemperatur von Wasser sammelnden Wespen (*Paravespula germanica*).
 $T_{Thorax} = 35,058 + 0,00219 \times \text{Strahlung}$, $R = 0,4058$; $T_{Caput} = 28,30 + 0,00494 \times \text{Strahlung}$, $R = 0,7387$; $T_{Abdomen} = 25,016 + 0,00554 \times \text{Strahlung}$, $R = 0,7690$; alle $P < 0,0001$.
 Umgebungstemperatur: $24,3 \pm 1,79$ °C, $n=766$, Min. = 18,9 °C, Max. = 27,6 °C.

Saccharoselösung mit 0,5-molarer (im Mittel ca. 35,0 °C) bzw. 1-molarer Konzentration (im Mittel ca. 36,6 °C, Umgebungstemperatur 18-28 °C; KOVAC & STABENTHEINER 1999). Im Schatten (120 W/m²) hatten unsere Wespen mit 35,3 °C eine etwas niedrigere Thoraxtemperatur als Wasser sammelnde Honigbienen (Mittelwerte verschiedener Messungen: 36,0-38,4 °C, Umgebungstemperaturen: 21,3-25,1 °C; SCHMARANZER 2000).

Die Thoraxtemperatur war positiv mit der Intensität der Sonnenstrahlung korreliert und betrug bei bewölktem Himmel (120 W/m²) im Mittel 35,3 °C, bei sehr hellem Sonnenschein mit reflektierenden Wolkentürmen (ca. 1000 W/m²) 37,2 °C (Abb. 1). Das entspricht einer Zunahme von 2,19 °C pro 1000 W/m². Eine ähnliche Zunahme wurde auch bei Bienen beobachtet (UNDERWOOD 1991). Die Temperaturen von Caput und Abdomen, in denen keine muskuläre Thermogenese stattfindet, waren niedriger, die Zunahme mit der Strahlungsintensität aber steiler als beim Thorax (4,94 °C bzw. 5,54 °C pro 1000 W/m², Abb. 1).

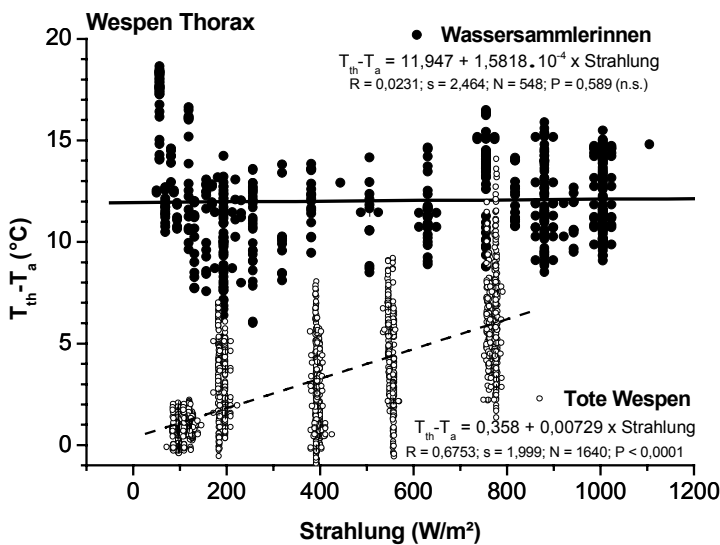


Abb. 2: Differenz zwischen Thoraxtemperatur (T_{th}) und Umgebungstemperatur (T_a) von Wasser sammelnden und toten Wespen in Abhängigkeit von der Intensität der Sonnenstrahlung.

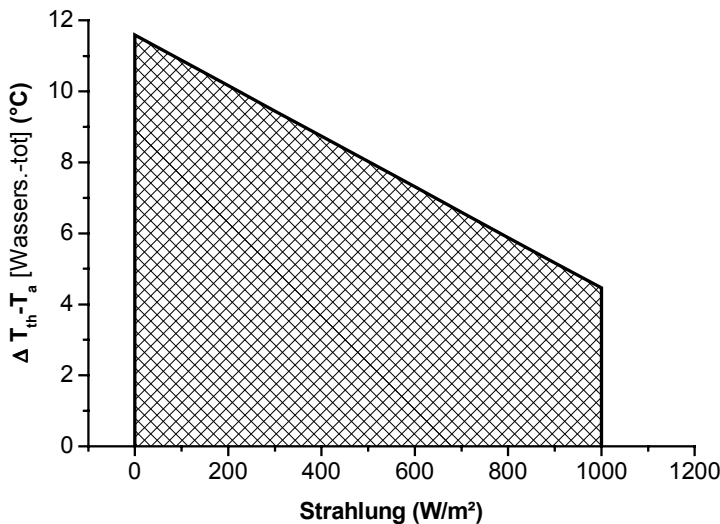


Abb. 3: Differenz der thorakalen Temperaturerhöhung über die Umgebungstemperatur zwischen Wasser sammelnden und toten Wespen ($\Delta T_{th}-T_a$) in Abhängigkeit von der Sonnenstrahlung.

Die Abb. 2 zeigt, daß die Wespen die Thoraxtemperatur unabhängig von der Zufuhr externer Wärme durch die Sonne auf einem konstanten Niveau über der Umgebungstemperatur hielten. Tote Wespen hingegen hatten bei bewölktem Himmel zwar annähernd Umgebungstemperatur, heizten sich in der Sonne aber

kräftig über die Umgebung auf (Abb. 2). Die Differenz zwischen den beiden Regressionsgeraden von Abb. 2 kann als indirektes Maß für den Anteil der endogenen Wärmeproduktion an der Thermoregulation dienen (BISHOP & ARMBRUSTER 1999). Sie nimmt mit steigender Intensität der Sonnenstrahlung ab (Abb. 3). Das heißt, daß die Wespen ihre Thoraxtemperatur durch Anpassung der endogenen Wärmeproduktion regulierten. Sammelten sie im Schatten, mussten sie deutlich mehr Energie zur Thermoregulation aufwenden als in der Sonne. Sie nutzten die Wärmezufuhr durch die Sonnenstrahlung aber nicht nur, um ihren Energieaufwand zu reduzieren. Ein Teil der Sonnenstrahlung wurde dazu verwendet, die Temperatur der Flugmuskulatur im vollen Sonnenschein um etwa 2 °C zu erhöhen (Abb. 1). Wahrscheinlich soll damit ihre Beweglichkeit und Flugfähigkeit verbessert werden (ESCH 1976, COELHO 1991).

Dank

Gefördert durch den Österreichischen Fonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung (FWF). Wir danken GÜNTHER RAUTER für die Hilfe bei der thermografischen Auswertung und GABRIEL STABENTHEINER für messtechnische Hilfe.

Literatur

- BISHOP, J.W., ARMBRUSTER, W.S. (1999): Thermoregulatory abilities of Alaskan bees: effect of size, phylogeny and ecology. – *Funct. Ecol.* 13: 711-724.
- COELHO, J.R. (1991): The effect of thorax temperature on force production during tethered flight in honeybee (*Apis mellifera*) drones, workers, and queens. – *Physiol. Zool.* 64: 823-835.
- COELHO, J.R., ROSS, A.J. (1996): Body temperature and thermoregulation in two species of yellowjackets, *Vespula germanica* and *V. maculifrons*. – *J. Comp. Physiol. B* 166: 68-76.
- ESCH, H. (1976): Body temperature and flight performance of honey bees in a servomechanically controlled wind tunnel. – *J. Comp. Physiol.* 109: 254-277.
- GAUL, A.T. (1952): Additions to vespine biology. IX. Temperature regulation in the colony. – *Bull. Brooklyn Ent. Soc.* 47: 79-82.
- HEINRICH, B. (1984): Strategies of thermoregulation and foraging in two vespine wasps, *Dolichovespula maculata* and *Vespula vulgaris*. – *J. Comp. Physiol. B* 154: 175-180.
- HEINRICH, B. (1993): The hot-blooded insects. Strategies and mechanisms of thermoregulation. – Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- HIMMER, A. (1932): Die Temperaturverhältnisse bei den sozialen Hymenopteren. – *Biol. Rev.* 7: 224-253.
- ISHAY, J., BYTINSKI-SALZ, H., SHULOV, A. (1967): Contributions to the bionomics of the oriental hornet (*Vespa orientalis* Fab.). – *Israel J. Ent.* 2: 45-106.
- ISHAY, J., RUTTNER, F. (1971): Thermoregulation im Hornissennest. – *Zeitschrift für Vergleichende Physiologie* 72: 423-434.
- KOVAC, H., STABENTHEINER, A. (1993): Körpertemperaturen frei beweglicher Wespen an einem Futterplatz bei wiederholten Sammelflügen. – *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 8: 741-744.
- KOVAC, H., STABENTHEINER, A. (1999): Effect of food quality on the body temperature of wasps (*Paravespula vulgaris*). – *J. Insect Physiol.* 45: 183-190.
- KOVAC, H., STABENTHEINER, A. (2001): A comparison of body temperatures of honeybees and wasps foraging on raspberry and rhubarb. – In: *Proceedings of the 2001 Berlin Meeting of the European Sections of the IUSSI* (Menzel, R., Rademacher, E., eds.), Berlin: 194.
- SCHMARANZER, S. (1983): Thermovision bei trinkenden und tanzenden Honigbienen (*Apis mellifera carnica*). – *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft* 76: 319.
- SCHMARANZER, S. (2000): Thermoregulation of water collecting honeybees (*Apis mellifera*). – *J. Insect Physiol.* 46: 1187-1194.
- STABENTHEINER, A., SCHMARANZER, S. (1987): Thermographic determination of body temperatures in honey bees and hornets: calibration and applications. – *Thermology* 2: 563-572.
- UNDERWOOD, B.A. (1991): Thermoregulation and energetic decision-making by the honeybees *Apis cerana*, *Apis dorsata* and *Apis laboriosa*. – *J. Exp. Biol.* 157: 19-34.