

den. Auch in Deutschland kann diesbezüglich noch kein Erfolg vermeldet werden. Daher wird der Hamster die Arbeitsgruppe auch die nächsten Jahre beschäftigen. Seine weitere Erforschung und vor allem sein Schutz erscheinen vor dem Hintergrund der besorgniserregenden Meldungen aus Polen, Russland, der Tschechischen Republik und der Ukraine, dringlicher denn je.

Anschrift

Dr. Ulrich Weinhold, Institut für Faunistik, Silberne Bergstraße 24, 69253 Heiligkreuzsteinach
Telefon: 06220 922200 / E-Mail: weinhold@institut-faunistik.net

„Thermal imaging of mammals“: Eignet sich Thermografie zum Aufspüren von Kleinsäugetern in der Landschaft? – Erfahrungen und Experimente

Stefan Bosch, Thomas Haalboom, Peter Lurz

Einführung

Der Einsatz von Wärmebildkameras zur Überprüfung der energetischen Situation von Täu- sern (durch Aufdeckung von Wärmeverlusten, Kältebrücken etc.) oder bei der Suche ver- misster Personen legt den Schluss nahe, dass mit Hilfe der Thermografie auch Säugetiere leicht zu erfassen sein müssten. In diesem Beitrag berichten wir über unsere mehrjährigen Erfahrungen mit dem Einsatz von Wärmebildkameras in der Wildtierforschung und zeigen Möglichkeiten und Beispiele.

Thermografie hat in Industrie, Technik, Wissenschaft, Energieberatung, Sicherheitstechnik, Personenrettung, Schifffahrt und vielen anderen Bereichen eine breite Anwendung gefunden (FLIR 2016, Optris 2016). Zur Überwachung, Inspektion und Instandhaltung können sowohl Personen als auch alle Arten von Wärmequellen (von der überhitzten Stromleitung bis zum Wasserdampf leitenden Rohr) sowie Wasser und Gase erkannt werden. Bei Tieren findet Thermografie Anwendung im Laborbereich zu Verhaltensstudien (z. B. MAYYA & DOIGNON 2011), in der Veterinärmedizin und Nutztierhaltung unter anderem zur Krankheitserken- nung (umfangreiche Übersicht in LUZI et al. 2013) oder „Stress-Messung“ bei Hasen und Kan- ninchen (LUDWIG et al. 2007).

Inzwischen stehen auch für die Naturbeobachtung und Jagd Wärmebilder liefernde Optionen zur Verfügung, die draußen bei Tag und Nacht selbst geringe Temperaturunterschiede erken- nen und Säugetieren kaum mehr eine Chance geben, sich unerkannt im Freien zu bewegen (Abb. 1) – und das auf wenige 100 bis ca. 1.000 Meter Entfernung (FLIR 2016). Solche meist monokularen Geräte sind ab ca. 2.000 € erhältlich.

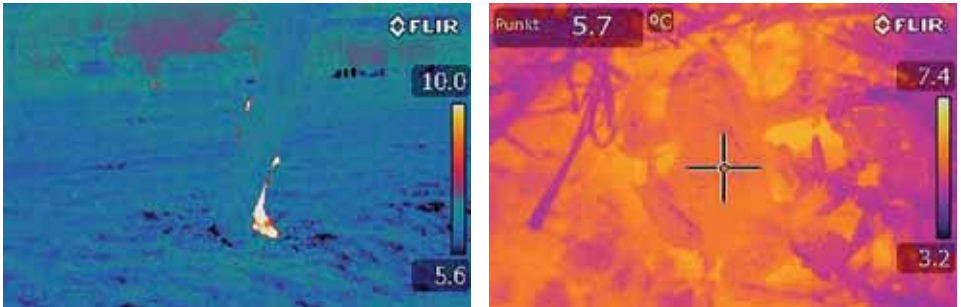


Abb. 1 – A (links): Wer Wärme abgibt, hat keine Chance unentdeckt zu bleiben: Kleinkind (*Homo sapiens*) hinter einem Baumstamm in Bildmitte, links daneben im Hintergrund ein Pferd (*Equus ferus*). – B (rechts): Ektotherme Tiere wie Frösche und Kröten sind an kühlen Frühlingstagen dagegen nur schwer mit einer Wärmebildkamera zu erfassen.

Physikalische Grundlagen der Thermografie

Visuelle Beobachtung im sichtbaren Bereich spielt eine wesentliche Rolle in der Erhebung von Felddaten in der Biologie. Beim „Sehen“ nehmen wir Licht wahr – Licht im sichtbaren Strahlungsbereich des elektromagnetischen Spektrums. Wahrgenommen wird der reflektierte Anteil, der in unser Auge und auf unsere Netzhaut fällt. Von bleibendem Wert für die Feldforschung ist jenes Licht, welches auf einer Fotoplatte gebannt oder von einem CCD- oder CMOS-Chip einer Kamera detektiert wird.

Elektromagnetische Strahlung kann – wie das sichtbare Licht und die im Spektrum angrenzenden Bereiche des Infraroten oder Ultravioletten – mit Hilfe der Wellenlänge oder Frequenz charakterisiert werden. Gebräuchlich ist die Angabe der Wellenlänge. Sichtbares Licht liegt etwa im Bereich von 400 bis 780 Nanometern (0,4 bis 0,78 Mikrometer), zu längeren Wellen hin schließt sich das Infrarote an. Mit IR-Detektoren gut messbar ist nahes Infrarot ab 0,78 μm bis ca. 14 μm . Das Infrarotfenster hört aber bei dieser Wellenlänge noch nicht auf, sondern geht über ins ferne Infrarot bis zu einer Wellenlänge von einem Millimeter. Dabei gilt stets, dass das Produkt aus Wellenlänge und Frequenz konstant ist und der Lichtgeschwindigkeit entspricht. Große Wellenlängen gehören zu sehr kleinen Frequenzen und umgekehrt. Neben dem reflektierten sichtbaren Licht sendet jeder Körper über seine Oberfläche elektromagnetische Wellen gemäß seiner Temperatur aus: Je wärmer desto kurzwelliger die Wellenlänge. Die Ausstrahlung kann mit dem Planckschen Strahlungsgesetz beschrieben werden (MESCHÉDE 2015). Zu jeder Temperatur gehört eine spezifische Kurve mit einem Maximum. Das Maximum stellt demnach die Temperatur des Körpers dar. Man entnimmt den Wert der Planck-Kurve oder bestimmt ihn aus dem Wienschen Verschiebungsgesetz. Im Besonderen bei Gegenständen oder Tieren, die eine Körpertemperatur zwischen 30 und 40 °C besitzen,

liegt ein Großteil der ausgesandten Strahlung im infraroten Spektralbereich mit einem Maximum bei etwa $10\ \mu\text{m}$. Zum Vergleich: Rotes Licht mit einer Wellenlänge von $0,7\ \mu\text{m}$ entspricht einer Temperatur von mehr als 4000°C . IR-Licht mit einer Wellenlänge von $15\ \mu\text{m}$ besitzt eine sehr geringe Strahlungstemperatur von -66°C .

Vorteile der berührungslosen Temperaturmessung

Da sich elektromagnetische Wellen frei im Raum ausbreiten, kann die Strahlungswärme ohne berührende Sensoren auskommen und über größere Entfernung hinweg gemessen werden. Wie bei der Beobachtung mit dem bloßen Auge, gibt es keine Beeinflussung des Objektes oder Tieres durch die berührungslose Messung. Sie findet aus der Distanz statt und liefert Temperaturinformationen aus unzugänglichen Orten wie Gestrüpp, Bäumen, Felswänden und Höhlen. Allerdings unter der Bedingung, dass die Wärmestrahlung nicht durch Hindernisse absorbiert wird und die Sichtlinie quasi-optisch ist.

Die Messung mit Wärmebildkameras ist nicht-invasiv. Es müssen keinerlei Sensoren am Objekt angebracht werden. Die Wärmebildaufnahmen sind deshalb schmerzfrei für das Tier. Eine Messung ist auch in der Nacht ohne jegliches Licht oder eine Infrarotbeleuchtung möglich – und bringt häufig überraschende Erkenntnisse über das Verhalten von Tieren, die sich unbeobachtet fühlen. Beispielsweise sind Schlaf- und Ruheplätze von Vögeln in unbelaubten Bäumen im Herbst und Winter sehr einfach auszumachen (Abb. 2). Sowohl unbewegte als auch bewegte oder schwer zugängliche Objekte können vermessen werden. Allerdings dürfen diese nicht durch Blattwerk, Geäst oder ähnliches verdeckt werden. Vorteilhaft sind zudem die sehr kurzen Messzeiten der Detektoren, die fast eine live-Messung zulassen.

Hochauflöste Bilder, wie sie uns von der Digitalfotografie vertraut sind, liefern nur sehr teure IR-Kameras. Wir arbeiten mit Kameras im Preissegment von 700 bis 10.000 Euro, deren Pixelzahlen bei 120×160 bis 240×320 liegen. Vergrößerungen davon wirken allerdings „verpixelt“.

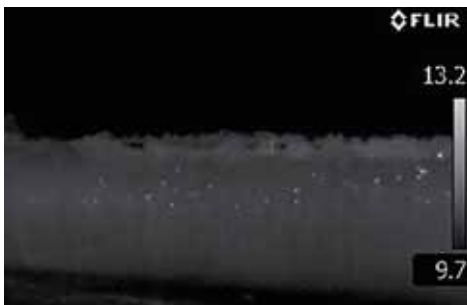


Abb. 2: Schlafplatz von Staren (*Sturnus vulgaris*) im Schilfgürtel eines Sees. Dieses Thermografiebild ist in Schwarz-weiß-Darstellung aufgenommen, die Vögel imponieren als helle Punkte.

Funktionsprinzip einer Wärmebildkamera

Die Wärmestrahlung durchdringt eine für infrarotes Licht transparente Optik und wird auf einem empfindlichen Sensor gesammelt. Das Sensorelement besteht entweder aus einer Vielzahl von Thermoelementen oder aus temperaturabhängigen Widerständen. Nicht zu vergessen sind pyroelektrische Detektoren. Die Infrarotstrahlung ändert den elektrischen Ladungszustand des pyroelektrischen Materials. Die so erzeugte Spannung kann gemessen werden. In Serie geschaltete, miniaturisierte Thermoelemente liefern gemäß dem Seebeck-Effekt eine elektrische Spannung, die über elektronische Brücken- und Verstärkerschaltungen eine ausreichend hohe Thermospannung erzeugen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Thermopiles. Alternativ kann das Sensorelement aus kleinen elektrischen Widerständen bestehen, die ihren Ohmschen Widerstandswert abhängig von der Strahlungsintensität verändern (Bolometer). Die elektrischen Signale sind schwach, die erzeugten Spannungen gering und zudem analog. Sie müssen daher verstärkt und schließlich digitalisiert werden. Jedes einzelne Sensorelement, also jedes Bildelement (Pixel), erzeugt ein Ausgangssignal und lässt sich in einem Display als Wärme-Abbild des Objektes darstellen.

Störeinflüsse, Möglichkeiten und Grenzen der Thermografie

Einfache Übersichtsbilder zur ersten Orientierung und ohne Anspruch auf Wissenschaftlichkeit sind schnell erstellt. Dennoch sind Messungen mit Wärmebildkameras sorgfältig durchzuführen und benötigen eine Deutung. Ein Grund hierfür liegt im unterschiedlichen Abstrahlverhalten von Objekten. Dies wird durch den sogenannten Emissionskoeffizienten oder -grad beschrieben. Er kann theoretisch zwischen 0 (keine Emission) und 1 (vollständige Emission) liegen. Haut besitzt einen Emissionsgrad von 0,98. Zu fehlerhaften Messungen kommt es bei falsch eingestelltem Emissionsgrad. Dann entspricht nicht jede angezeigte Farbe (Temperatur) der wahren Objekttemperatur.

Je nach Fragestellung ist es erforderlich, den Kontrast der Wärmebilder zu verändern oder anzupassen. Dabei helfen die so genannten Farbpaletten mit Farb- oder Schwarzweiß-Darstellungen. Die verschiedenen Kamerahersteller bieten z.B. „Graustufen“, „Regenbogen“ oder „Arktis“ als Farbpalette an. Gerade die Möglichkeit der Falschfarben- oder Regenbogendarstellung verbunden mit einer Spreizung der Temperaturskala verleitet ebenso zu falschen Interpretationen. Wärmebilder mit oranger oder roter Farbe werden als warm und mit grüner oder blauer Farbe als kalt gedeutet. Diese Assoziationen können in die Irre führen, denn manchmal sind die Temperaturunterschiede in einem Wärmebild durch eine Spreizung der Temperaturskala nur sehr gering.

Zu berücksichtigen ist ebenfalls, dass mit der Technik der Thermografie nur Oberflächentemperaturen gemessen werden können. Die Temperatur im Inneren eines Objektes oder die

Kerntemperatur eines Tieres bleiben uns verschlossen – höchstens wir finden einen Zugang, der der Kerntemperatur nahekommt, wie beispielsweise Augen, Nasenschleimhaut oder die Mundhöhle (Abb. 3).

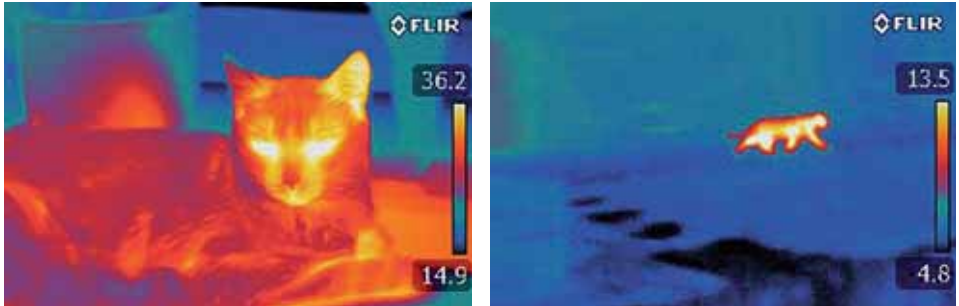


Abb. 3 – A (links): Portrait einer Hauskatze (*Felis silvestris catus*). Die Augenböhlen sind die wärmsten Körperpartien. – B (rechts): Dieselbe Katze auf Distanz bei Nacht im Garten.

Erschwerend kommt hinzu, dass die Emission einer Oberfläche auch von deren Beschaffenheit abhängt. Raue Körper strahlen anders als glatte Oberflächen (Abb. 16), behaarte oder befiederte Tiere anders als Tiere mit nackter Haut. Der Versuch, Tiere durch Fensterglas oder transparenten Kunststoff (Plexiglas) hindurch mit einer Wärmebildkamera zu beobachten, ist leider zum Scheitern verurteilt. Diese Materialien transmittieren die IR-Strahlung nicht. Aber Gläser reflektieren die Wärmestrahlung gut, und so kann es vorkommen, dass der Beobachter seine eigene Temperatur misst. Sie wurde vom Fensterglas reflektiert und fällt in den Detektor (Abb. 4). Das Resultat kann zu einer fehlerhaften Messung führen.



Abb. 4: Glas reflektiert Wärmestrahlung, so dass man nicht durch die Scheibe hindurch beobachten kann. Hier ein unbeabsichtigtes Selbstportrait des erstgenannten Autors mit Wärmebildkamera (FLIR T420) im Fensterglas.

Besonderheiten der „Außenthmografie“

Allgemeine Regeln der Thermografie, wie sie für technische Anwendungen empfohlen werden, sind bei der Außenthmografie oft nicht bzw. erschwert anwendbar: Ein Abschirmen

sehr warmer oder kalter Objekte, die das Messverhalten und die Darstellung verfälschen können, ist draußen kaum möglich. Direkte Sonneneinstrahlung sowie absorbierte Sonneneinstrahlung (auf Baumstämmen, Steinen, exponierten Hängen, Böschungen etc.) kann Messungen erheblich beeinflussen. Da diese ihre eigene Wärmestrahlung liefern, kann sie auf den von uns zu beobachtenden Objekten reflektiert werden. Absorbierte Wärme kann aber auch von gezieltem Interesse sein, z. B. bei der Landschaftsthermografie, um „Wärmeinseln“ im Lebensraum zu identifizieren.

Bei Messungen im Freien kommt der Sonne, dem Himmel und vor allem dem Nachthimmel eine besondere Bedeutung zu – sie können das Messergebnis ebenfalls verfälschen. Das Wärmebild des Nachthimmels liefert Negativtemperaturen. Man kann bei der „kalten Himmelsstrahlung“ Werte von -40°C , -50°C oder tiefer messen. Günstiger sind Messungen bei bedecktem, bewölktem Himmel (Abb. 5).

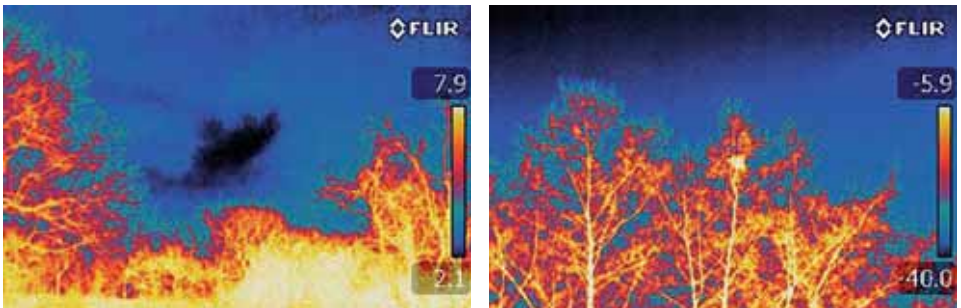


Abb. 5 – A (links): Himmelsstrahlung bei bewölktem Himmel: unterschiedliche Wolkenstrukturen mit geringer Wärmestrahlung sind über den Bäumen zu erkennen. – B (rechts): Bäume bei klarem Nachthimmel: die Temperaturskala misst bis -40°C die „kalte Himmelsstrahlung“.

Eigene Erfahrungen bei der Erfassung von Säugetieren

Für orientierende Feldversuche haben wir in den vergangenen Jahren mit drei Wärmebildkameras (FLIR i7, FLIR T420, Optris PI) im Freien gearbeitet und die Abbildungen in diesem Beitrag angefertigt.

Sichtbeobachtungen

Bei der Thermografie endothermer Tiere wie Säugetiere und Vögel wird die Temperatur der Körperoberfläche erfasst. Bei Säugetieren sind alle frei liegenden, nicht oder nur spärlich von Haaren bedeckten Körperpartien, wie Extremitäten und vor allem der Kopf mit den Augenhöhlen, Ohrmuscheln und Nasenschleimhäuten, die wärmsten Punkte, die sich mit Maxi-

malwerten darstellen. Davon können sich behaarte bzw. befiederte Partien deutlich unterscheiden.

Da Thermografiebilder gemessene Temperaturen farblich darstellen können, sind endotherme Tiere als „Hitze-Punkte“ im Thermografiebild sofort erkennbar (Abb. 6-11). Manchmal lassen Umrisse und Verhaltensweisen wie die Fortbewegung Rückschlüsse auf die Art zu. Relativ gut kann bei Erfahrung mit Wärmebildkameras die Anwesenheit endothermer Tiere und deren Position in der Landschaft ermittelt werden.

Allerdings sind für Beobachtungen eine ausreichend freie, unverstellte Sicht auf das anvisierte Tier und eine möglichst geringe Distanz erforderlich. Mit guten Kameras kann man noch auf 20-40 Meter Vögel im Gebüsch erkennen (Abb. 8), günstiger sind jedoch Abstände von wenigen Metern (Abb. 6).

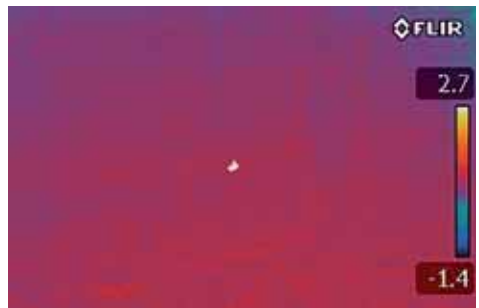
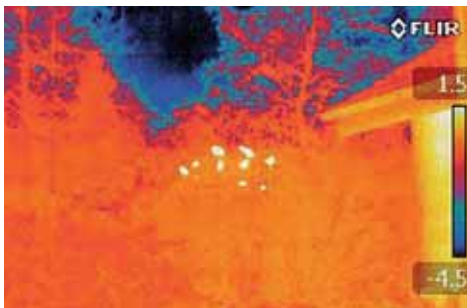


Abb. 6 (links): Ein Schwarm Haussperlinge (*Passer domesticus*) in der Krone eines Busches im Vorgarten. – Abb. 7/A (rechts): Feldbase (*Lepus europaeus*) nachts auf einer Streuobstwiese. Nur zusammen mit der beobachteten Fortbewegungsweise ist eine eindeutige Artenbestimmung möglich. Auf das Anleuchten identifizierter Tiere mit Scheinwerfern wurde zur Vermeidung von Störungen bewusst verzichtet.

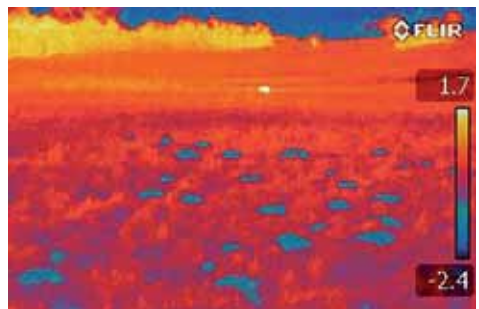
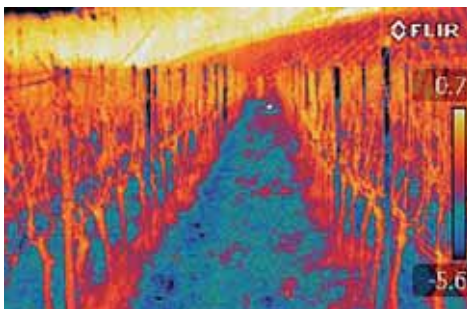


Abb. 7/B (links): Feldbase (*Lepus europaeus*) in einer Winternacht am Ende einer Weinbergzeile. – Abb. 7/C (rechts): Feldbase (*Lepus europaeus*) in einer kalten Winternacht auf einer Wiese. Im Vordergrund sind Maulwurfshügel, im Hintergrund Gebüschstreifen und Bäume erkennbar.

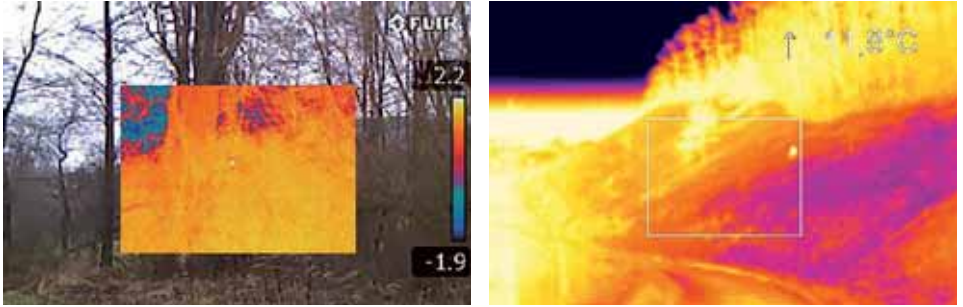


Abb. 8 (links): Eine Amsel (*Turdus merula*) vormittags in einem Hagebuttenstrauch am Bachufer ist Lichtpunkt in der Bildmitte erkennbar. Diese Wärmebild-im-Bild-Funktion überlagert ein herkömmliches Tageslichtbild mit einem Wärmebild. Das Auffinden und Hervorheben von Details wird verbessert und liefert dem Betrachter weitere Informationen. – Abb. 9/A (rechts): Landschaftsthermografie mit einem äsenden Reb (*Capreolus capreolus*) in einer warmen Sommernacht auf einer Trockenrasenfläche zwischen Wald (rechts) und Weinbergen (links).

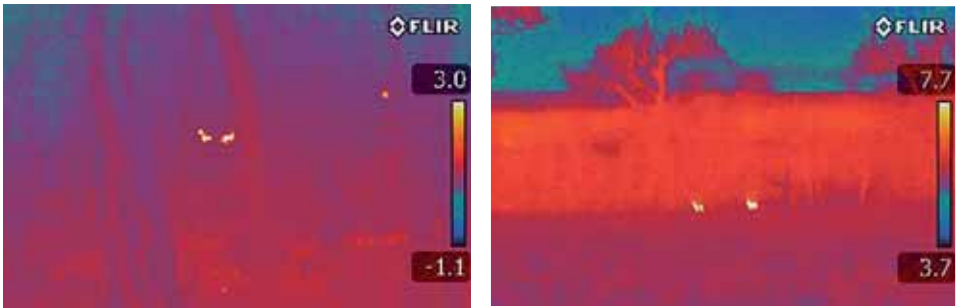


Abb. 9/B (links): Drei Rebe (*Capreolus capreolus*) nachts im Wald. Zwei Tiere sind gut zu erkennen, das Tier rechts steht abgewandt senkrecht zur Blickrichtung. – Abb. 9/C (rechts): Zwei Rebe (*Capreolus capreolus*) in einer Winternacht am Rand einer Obstbaumwiese.

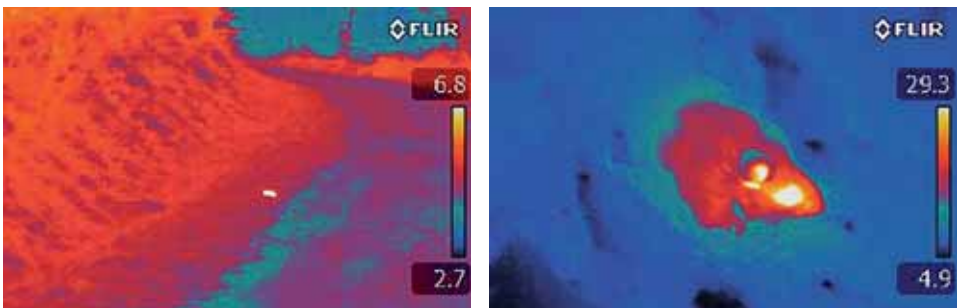
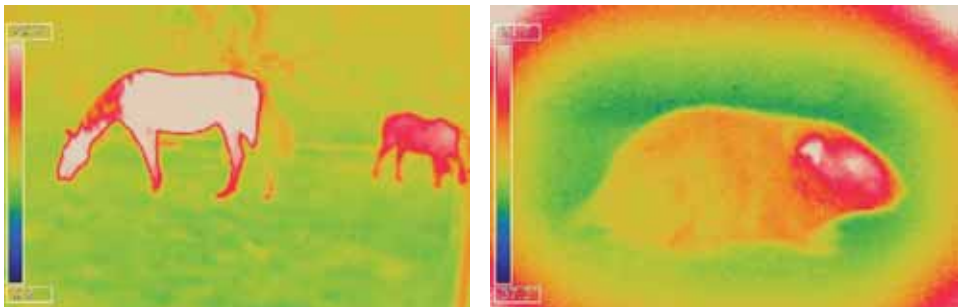


Abb. 10: Annäherung an eine Maus (*Apodemus* spp.) an einer Waldböschung. – A (links): Das Tier verlässt die warme Böschung, überquert den kälteren Weg und versteckt sich auf der anderen Seite des Weges im Laub. – B (rechts): Im Versteck sind die Augen- und Obrenöffnungen als wärmste Körperpartien erkennbar.



Abb. 11: Maus in einem Gebüsch. Aus der Ferne ist die Unterscheidung Maus oder Singvogel kaum möglich. Erst die Beobachtung der Fortbewegung oder eine behutsame Annäherung, die wie in diesem Schwarz-weiß-Thermografiebild Details erkennen lässt, ermöglichen eine Unterscheidung.

An Rahmenbedingungen spielen neben der Aktivität der Art (viele Säugetiere sind wegen vermehrten Störungen während der Tageshelligkeit mehr nachts aktiv) auch die Sonneneinstrahlung (Erwärmung von Oberflächen durch Sonneneinstrahlung; bei bedecktem Himmel oder nachts sind die Bedingungen günstiger), die Fellfarbe (Abb. 12) sowie die freie Sicht und die Körperposition des Tieres (z. B. Abb. 9/B) zur Kamera eine Rolle. Bei endothermen Tieren nimmt der Wachheits- und Aktivitätsgrad (Abb. 13) Einfluss auf die Körpertemperatur und deren Detektierbarkeit.



*Abb. 12 (links): Unterschiede in der Wärmestrahlung: Fellfarbe von Pferden (*Equus ferus*) an einem Sommertag bei Sonne: links Schimmel, rechts Schecke. – Abb. 13 (rechts): Erwachende Haselmaus (*Muscardinus avellanarius*; Pflegling), die rot-weißen Partien am Kopf sind am wärmsten.*

Lebensraum-Thermografie

Thermografiebilder von Landschaften geben zudem Hinweise auf die Temperaturverhältnisse im Lebensraum wie z.B. Wärmeinseln entlang von Wegen, an Böschungen oder Mauern (Abb. 9/A u. 14-16). Zudem werden alle Prozesse erfasst, bei denen Wärme entsteht, z.B. auch geringfügig wärmere Luftpolster unter Blättern, verrottende Laubstreu, grüne Pflanzen mit Photosynthese etc.

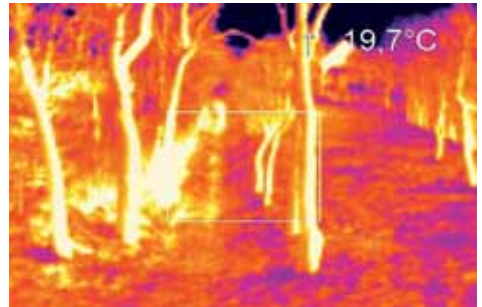
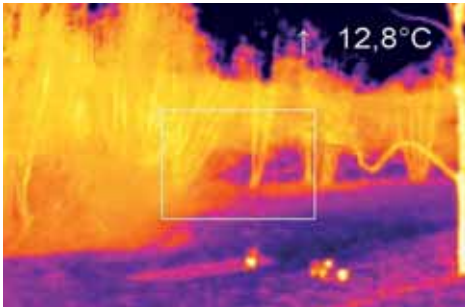


Abb. 14 (links): Drei Schafe (*Ovis gmelini*) auf einer Weide am Bachlauf im Sommer. – Abb. 15 (rechts): Obstbaumwiese mit Hohlweg links an einem Sommerabend. Die weißen Partien zeigen von der Sonne erwärmte Stellen (Böschung, Baumrinden).



Abb. 16 (links): Bei der Interpretation dieses Bildes ist Vorsicht geboten: Die Temperaturunterschiede zwischen dem wärmer wirkenden Wald im Hinter- und der Wiese im Vordergrund sowie der frisch umgebrochenen Ackerfläche (lilafarbene Fläche in der Mitte; eingesetztes Thermografiebild) können durch die Landbearbeitung, aber auch durch unterschiedliches Emissionsverhalten entstanden sein. – Abb. 17 (rechts): Pappeln am Bachufer mit einem Kobel des Eichbörnchens (*Sciurus vulgaris*) in Bildmitte, Rindenpartien und Kobel erscheinen heller; der Kobel ist nicht besetzt (Aufnahme am Tag bei bedecktem Himmel mit eingesetztem Thermografiebild).

Quartiersuche mit Thermografie

Zur Erfassung von Kleinsäugerquartieren haben wir die Kameras im Laub-, Misch-, Nadelwald und in einer Parkanlage getestet, um belegte Eichhörnchenkobel zu entdecken (Abb. 17). Neben der Distanz zum Kobelstandort und der Sichtbehinderung durch Laub oder Nadeln reicht auch die vom Kobel nach außen abgegebene Wärme kaum aus, um einen nennenswerten Temperaturgradienten zur Umgebung zu erreichen. Neben dem Fell isoliert auch die Innenauskleidung und Außenhülle des Kobels und verhindert eine Wärmeabgabe (vgl. Abb. 18/C). Sonneneinstrahlung am Tag kann den Kobel von außen erwärmen und eine Belegung vortäuschen. Zudem nehmen ruhende Tiere eine Körperposition ein, die wärmeemittierende Körperpartien wie den Kopf bedeckt.

Ein Versuch mit einem gängigen Taschenhandwärmer, dessen flüssiges Gel nach Aktivierung mit einer exothermen Reaktion auskristallisiert, demonstriert die wichtigen Faktoren hohe Wärmeabstrahlung (ca. 40° C Oberflächentemperatur), freie Sicht und Nähe zum Objekt bei der Thermografie von Kleinsäufern im Gelände. Im kühlen Frühlingwald ist der Taschenwärmer in fünf Metern noch gut erkennbar. Bereits eine geringe Bedeckung mit dünnen Zweigen und wenig Laub verhindert die sichere Erkennung (Abb. 17).



Abb. 18/A (links): Offenliegender 40° warmer Taschenwärmer im Laub einer Waldwegböschung. – Abb. 18/B (rechts): Ein mit Laub bedeckter 40°C warmer Taschenwärmer ist nicht mehr zu erkennen.

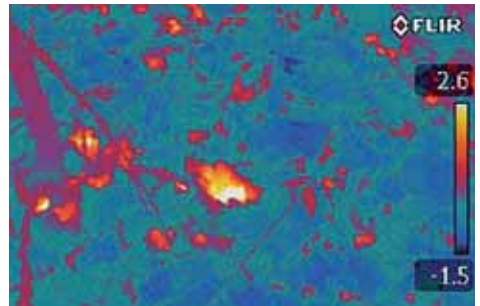
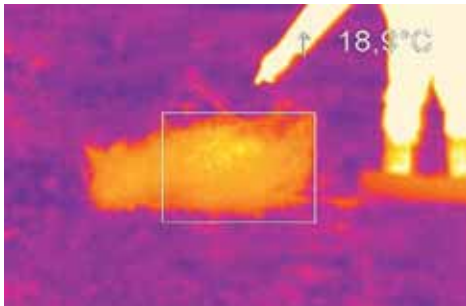


Abb. 18/C (links): Der in einem alten Kobel platzierte, 40°C warme Taschenwärmer ist thermografisch kaum erkennbar. – Abb. 19 (rechts): Eingang zu einer Maushöhle an einer mit Laub bedeckten Böschung. Die Wärmeabstrahlung nach Einschlüpfen des Tieres ist thermografisch gut erkennbar.

Bei der Thermografie von Mauslöchern an Böschungen zeigen sich Stellen mit vermehrter Wärmeabstrahlung (Abb. 19). Diese gehen nicht immer auf die Anwesenheit eines „warmen Tieres“ im Loch zurück, sondern auf Bearbeitung des Erdreiches. Frisch ausgeworfene oder umgegrabene Erde sowie Laub zeigen eine Wärmeabstrahlung und können Hinweise auf Kleinsäugeraktivitäten geben. Allerdings laufen auch an Baumstubben, Wurzelstöcken und in Laubhaufen auffällige exotherme Prozesse ab, die sich ebenfalls als „Wärmeinseln“ in der Thermografie abbilden (vgl. Komposthaufen Abb. 20). Hier muss ausreichend lange beobachtet werden, ob sich aktive Tiere zeigen.

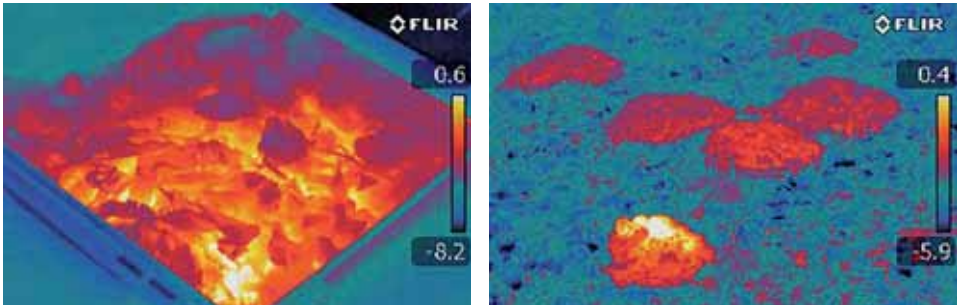


Abb. 20 (links): Wärme produzierende Vorgänge in einer Komposttonne an einem Dezemberabend. – Abb. 21 (rechts): Zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgeworfene Erdbaufen des Maulwurfs (*Talpa talpa*) auf einer Wiese im Dezember. Der „glühend“ wirkende Haufen links vorne ist neu.

Ein weiteres Beispiel für Erdbewegungen und exothermen Prozessen sind von Maulwürfen aufgeworfene Erdhügel (Abb. 7/C u. 21). Frische Maulwurfshügel zeigen erhöhte Aktivität und bei einer orientierenden Landschaftsaufnahme kann man schnell die jüngst aufgeworfenen Hügel identifizieren. Allerdings muss der abgebildete neue Haufen nicht wärmer sein, sondern die frisch aufgeworfene Erde hat auch ein anderes Emissionsverhalten.

Zusammenfassende Bewertung

Aufgrund unserer Erfahrungen eignet sich der Einsatz von Wärmebildkameras zwar grundsätzlich, jedoch mit gewissen Einschränkungen zum Aufspüren wildlebender Kleinsäuger in der Landschaft. Da sich die Tiere möglichst nah, d.h. wenige Meter und mit direkter Sicht vor der Kamera befinden sollten, sind sie zumindest am Tag in vielen Fällen auch ohne diese Hilfsmittel erkennbar. Thermografie liefert bei speziellen Fragestellungen jedoch wertvolle zusätzliche Informationen zum Wärmehaushalt des Tieres.

Bedingungen zur Detektion von Kleinsäugetern in der Landschaft:

- Thermografie kann helfen, endotherme Tiere in der Landschaft aufzuspüren und ihre Anwesenheit nachzuweisen.
- Thermografie in der Landschaft und zum Tiernachweis erfordert Kenntnisse, Erfahrung und Einarbeitungszeit, insbesondere um Fehlinterpretationen zu vermeiden.
- Um ein Säugetier mittels Thermografie zu detektieren ist eine freie, ungestörte, direkte, quasi-optische Sicht auf das Tier erforderlich.
- Kleinsäuger sollten sich idealerweise in geringer Distanz zur Kamera befinden.
- Verdeckten Strukturen wie Steine oder Vegetation mit Zweigen, Ästen, Blättern und Nadeln die Tiere, sind sie mit der Thermografie nur erfassbar, wenn sie sich fortbewegen oder der

- Untersucher seinen Standort und Blickwinkel mehrfach verändern kann (was unfallträchtig sein kann, wenn man nachts mit auf den Monitor fixiertem Blick umherläuft).
- Um gute Kontraste in der Thermografie zu erreichen sind deutliche bzw. hohe Temperaturunterschiede erforderlich. Ein warmes Säugetier in warmer Umgebung ist schwierig darstell- und erkennbar.
 - Seitens des Säugetieres spielt dessen Verhalten und Position zur Wärmebildkamera eine wichtige Rolle. Werden in Ruhephasen wärmeemittierende Körperpartien wie Nasenschleimhaut und Augenhöhlen verdeckt oder steht das Tier mit dem Kopf abgewandt zur Kamera ist es schwieriger oder überhaupt nicht zu detektieren. Ektotherme Tiere mit reduziertem Stoffwechsel geben wenig Wärme ab und sind kaum erkennbar.
 - Auch die Sonneneinstrahlung auf das Tier und die resultierende Fell-/ Gefiedererwärmung spielen eine Rolle. An sonnigen Tagen wird die Landschaft „wärmer“ dargestellt und Kontraste zu wärmeabgebenden Tieren verringern sich.
 - Eine Artbestimmung aufgrund typischer Merkmale ist selten, oft nur bei teuren hochauflösenden Kameras bzw. in Ergänzung mit beobachteten Verhaltensweisen sicher möglich.
 - Kleinsäugerquartiere sind oft gut isoliert (Kobel) oder in der Tiefe verborgen (Erdlöcher, unterirdische Gänge), so dass kaum Wärme nach außen dringen und detektiert werden kann.
 - Landschafts-Thermografie kann z.B. durch Erkennen warmer und kalter Strukturen zum besseren Verständnis der Lebensraumnutzung von Kleinsäugetern beitragen.

Ausblick

Unsere Experimente wurden mit hochwertigen und entsprechend hochpreisigen Wärmebildkameras durchgeführt. Inzwischen sind am Markt auch zahlreiche „low budget“-Geräte im Preissegment um mehrere hundert Euro z.B. für Heimwerker erhältlich. Um diese günstigen Geräte auch für interessierte Laien nutzbar zu machen, beschäftigen wir uns seit kurzem mit der Einsatztauglichkeit von low-cost-Wärmebildkameras mit Preisen zwischen 200 und 400 Euro.

Literatur

- FLIR (Hrsg.) (2016): Wärmebildtechnik für elektrische/ mechanische Inspektionen. 44 pp. <http://www.flir-infrarotkameras.de/Produkte/Handbuecher-Thermografie>.
- Fluke Corporation und The Snell Group (Hrsg.) (2016): Einführung zu den Thermografie-Prinzipien. 72 pp. Download 20.12.2016 <http://www.fluke.com/fluke/chde/zubehor/thermal-imaging-accessories/book-itp.htm?pid=55774>

- MESCHEDE, D. (2015): Gerthsen Physik, 25. Auflage, Springer-Verlag, Stuttgart.
- LUDWIG, N., GARGANO, M., LUZI, F., CARENZI, C., VERGA, M. (2007): Technical Note: Applicability of infrared thermography as a non invasive measurement of stress in rabbit. *World Rabbit Sci.* 2007, 15: 199–206.
- LUZI, F., MITCHELL, M., COSTA, L. N., REDAELLI, V. (Hrsg.) (2013): Thermography: current status and advances in livestock animals and veterinary medicine. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche e Zootecniche, Brescia/Italien. <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/animalwelfare/92.pdf>
- MAYYA, M., DOIGNON, C. (2011): Visual tracking of small animals based on real-time Level Set Method with fast infra-red thermographic imaging. 2011 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE).
- Optris Infrared thermometers (Hrsg.) (2016): Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung. 40 pp. Download 20.12.2016 www.optris.de/karriere?file=tl_files/pdf/Downloads/Zubehoer/IR-Grundlagen.pdf.
- Pocket-Guide Thermografie, testo AG, Lenzkirch.

Anschriften der Verfasser

- Stefan Bosch, Metterstraße 16, 75447 Sternenfels (E-Mail: Stefan-Bosch@web.de)
- Thomas Haalboom, Duale Hochschule Baden-Württemberg, Standort Karlsruhe, Studiengang Mechatronik, Erzbergerstraße 121, 76133 Karlsruhe
- Peter Lurz, Lurzengasse 3, 97236 Randersacker

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Maus - Mitteilungen aus unserer Säugetierwelt](#)

Jahr/Year: 2017

Band/Volume: [20](#)

Autor(en)/Author(s): Bosch Stefan

Artikel/Article: [„Thermal imaging of mammals“: Eignet sich Thermografie zum Aufspüren von Kleinsäugetern in der Landschaft? – Erfahrungen und Experimente 5-18](#)