

Untersuchungen zur Erkennbarkeit von Wildtieren mit Flugzeug-Thermaldaten

STEFAN DORNA¹, GÖRRES GRENZDÖRFFER² & KAI JÜTTE³

Zusammenfassung: Die Erfassung von Wildtieren im Wald ist nicht trivial. In dem Beitrag wird untersucht, ob Thermalaufnahmen eine Möglichkeit darstellen und welche Rahmenbedingungen dafür erfüllt sein müssen. Dazu wurde am 14.04.2012 ein Thermaler Bildflug mit einem GSD von 22 cm / Pixel durchgeführt. Umfangreiche Referenzmessungen an verschiedenen Standorten liefern die notwendigen Grundlagen für die Auswertung und Interpretation der Thermaldaten.

Die Erkennbarkeit der Wildtiere im Wald hängt dabei von verschiedenen Faktoren ab, die sich aus den Tiereigenschaften (Größe, Körperposition), der Umgebung (Sonne, Bäume) und den technischen Eigenschaften der Wärmebildkamera ergeben. Grundsätzlich gilt, je größer das Tier und je größer der Temperaturunterschied zu seiner Umgebung ist, desto wahrscheinlicher kann dieses erkannt werden. Es hat sich gezeigt, dass im dichten (Nadel)Wald mit einem Kronenschlussgrad von 0,7 und größer keine Tiere mehr erkennbar sind.

1 Einleitung

Die Regulierung von Wildtierbeständen ist in unserer Kulturlandschaft eine Aufgabe des Menschen geworden, da natürliche Prädatoren fehlen. Wildtiere können im Wald zu Beeinträchtigungen in Form von Verbiss-, Schäl-, Schlag- und Fegeschäden führen, die durch zu hohe Wilddichten von Rot-, Dam-, Reh- und Muffelwild verursacht werden. Problematisch ist, dass sich die Tiere nur schlecht zählen lassen, um einen Bestandesplan / Abschussplan zu erstellen zu können. Hier könnte die Thermalfernerkundung ansetzen (CHRISTIANSEN et al. 2014). Durch die technische Weiterentwicklung von Thermalkameras und deren zunehmende Verbreitung auf dem zivilen Markt gab es in den letzten Jahren schon mehrere Untersuchungen in verschiedenen Teilen der Welt, in denen nachgewiesen werden konnte, dass Tiere in Thermalbildern zu erkennen sind, da sie als Säugetiere wärmer als ihre Umgebung sind, z.B. OISHIA et al. (2014). Dieses ist jedoch abhängig von der unterschiedliche Isolierungsrate und hängt stark von der geographischen Region, in der die Tiere natürlich vorkommen/ verbreitet sind ab. Besonders deutlich wird dieser Nord/ Süd Gradient, des Isolationsvermögen der Tiere, in der Arbeit von HILSBURG, 2000. So hat der Damhirsch (*Dama dama*) eine höhere Isolationsrate als der Prinz-Alfred-Hirsch (*Cervus mariannus alfredi*).

Auch für spezielle Fälle, wie der Rehkitzerkennung mit Hilfe von UAS wird Thermalfernerkundung schon eingesetzt, z.B. ISRAEL (2011).

¹ Landesforst Mecklenburg-Vorpommern -AöR- Betriebsteil FVI, Zeppelinstraße 3, 19061 Schwerin;
E-Mail: stefan.dorna@lfoa-mv.de

² Universität Rostock, Professur für Geodäsie und Geoinformatik, J.-v.-Liebig Weg 6, 18059 Rostock;
E-Mail: goerres.grenzdoerffer@uni-rostock.de

³ Landesforst Mecklenburg-Vorpommern -AöR- Betriebsteil Forstplanung, Versuchswesen, Forstliche Informationssysteme, SG Fernerkundung, Zeppelinstraße 3, 19061 Schwerin;
E-Mail: kai.juette@lfoa-mv.de

Viele der oben genannten Tiere haben ihren Lebensschwerpunkt im Wald, was für die Thermalfernerkundung eine zusätzliche Herausforderung darstellt, da bekannter Maßen die thermale Signatur von Tieren durch Bäume, Äste und Blattwerk abgeschwächt, bzw. unterdrückt wird.

Die Auflösung von Thermalkameras ist aufgrund technischer und vor allem rechtlicher Rahmenbedingungen für zivile Zwecke leider auf 640 x 480 Pixel beschränkt. Das führt dazu, dass bei Flugzeugbefliegungen die räumliche Auflösung, verglichen mit hochaufgelösten großformatigen Digitalkamera recht gering ist und somit die Erkennbarkeit von Tieren eine besondere Herausforderung darstellt. Hier würden sich UAS aufgrund der geringen Flughöhe als Trägerplattformen für die thermale Wildtierforschung anbieten (JONES et al. 2006, MALCHOW 2011). Jedoch haben die genannten Wildtiere ein sehr großes Einzugsgebiet/Streifgebiet. Um sinnvolle Populationsdichten ableiten zu können müssen Einzugsgebiete von mehreren Quadratkilometer aufgenommen werden, die deutlich über den derzeitigen Operationsradius der UAS hinausgehen.

Neben der räumlichen Auflösung ist natürlich auch die thermale Auflösung von Bedeutung. Hierbei wird zudem zwischen der Temperaturlösung, d.h. der thermalen Differenzierbarkeit des Sensors und der absoluten Messgenauigkeit unterschieden.

In der hier vorgestellten Studie, durchgeführt von der Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, wurde untersucht in wie weit sich die Ergebnisse auf die deutschen Verhältnisse übertragen lassen. Primäres Ziel war es zu prüfen unter welchen Bedingungen sich die Wildarten Schwarzwild, Rehwild, Damwild, Muffelwild und Rotwild auf Freiflächen und wenn möglich auch im Wald erkennen lassen. Dazu wurden vier Gebiete in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg zu verschiedenen Uhrzeiten im April 2012 mit einer Längs- und Querüberlappung von 60 / 30 % und einer Bodenauflösung von 20 - 22 cm / Pixel überflogen. Als Testgebiete wurden der Zoo Schwerin mit einem starken Laubholzschirm und definierten Tierbestand (51 ha), der Zoo Eberswalde mit Freiflächen, bzw. einem lichten Kiefernschirm und einem definierten Tierbestand, das Dammwildgehege des Landeskompetenzzentrum Eberswalde mit einem dichten Kiefernbestand und ebenfalls definierten Tierbestand sowie das Revier Satow im Forstamt Wredenhagen mit unbekanntem Tierbestand (570 ha) überflogen.

2 Thermaler Bildflug

Die Thermalbefliegung der im nachfolgenden noch detaillierter vorgestellten Untersuchungsgebiete fand am 14.04.2012 in den Vormittagsstunden statt. Der Himmel war während des Überflugs wolkenfrei. Geflogen wurde in einer Höhe über Grund von ca. 435 m mit einer Längsüberlappung von 60% und einer Querüberlappung von 30%. Dabei wurden insgesamt 10.284 Thermalbilder mit einer Auflösung von jeweils 640 x 480 Pixel erzeugt. Zum Einsatz kam eine DiGiTHERM der Firma IGI. Die Temperaturlösung (NETD) der Kamera beträgt 0,05 K. Die Messgenauigkeit (absolute Temperatur) ist vom gewählten Temperaturbereich abhängig und hat in dem vorliegenden Fall eine Absolutgenauigkeit von 1,5 -2 K. Ausgehend von der Flughöhe und der Brennweite der Kamera wurde ein nominelles GSD von 22 cm/Pixel erreicht. Bei starken Turbulenzen kam es zu deutlich sichtbaren Bewegungsunschärfen. Die Bilder wurden über das GPS/INS direkt georeferenziert.

3 Untersuchungsgebiete und Referenzmessungen

Für die Untersuchung war es wichtig, neben den eigentlichen Objekteigenschaften der Tiere auch die Einflüsse der Umgebung zu untersuchen. Aus bisherigen Untersuchungen ging dabei die Baumschicht als wesentlicher Störfaktor hervor (TAPPE et al. 2003, CILULKO et al. 2013). Da sich Laub- und Nadelbäume hinsichtlich ihrer Morphologie und der jahreszeitlichen Anpassung stark unterscheiden, war es erforderlich, diesen Umstand zu berücksichtigen. Zugleich sollten nur Gebiete in die Untersuchung mit einbezogen werden, die eine ausreichende Wilddichte aufweisen. Als geeignet erwies sich hierfür der Zoo Schwerin mit seinem ausgeprägten Laubholzbestand. Zur Abschätzung des Einflusses von Nadelholzbeständen wurden Wildeinstandsgebiete im Forstamt Wredenhagen, Revier Satow, in die Untersuchung mit einbezogen. Mit den dortigen Waldbeständen ist es möglich für Mecklenburg typische Nadelholzbestände unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Bestandesdichte repräsentativ abzudecken. Zusätzlich wurde im Revier Satow ein dort befindliches Damwildgehege in die Untersuchung mit aufgenommen.

Die Untersuchungsflächen liegen im Revier Satow, das einen hohen Kierfernanteil aufweist, aber auch zusammenhängende Laubholzblöcke verschiedenen Alters. Zudem wird das Gebiet von landwirtschaftlichen Flächen teilweise begrenzt

Für die vorliegende Untersuchung ergeben sich daraus Vergleichsmöglichkeiten zwischen den Nadelholzbeständen und Freiflächen und zwischen Laub- und Nadelhölzern.

Um eine repräsentative Aussage treffen zu können, werden Nadelbaumbestände unterschiedlichen Alters und Bestandesdichte in die Untersuchung mit einbezogen. Charakterisieren lässt sich die Bestandesdichte unter anderem über den Kronenschlussgrad, der Auskunft über die Abstände der Kronenränder gibt. Dabei bedeuten geringere Werte (z.B. 0,4) Lücken im Kronendach. Größerer Werte (z.B. 1,0) stehen für ein sehr dichtes Kronendach.

3.1 Referenzmessungen

Während des Überflugs wurden an beiden Gehegen im Schweriner Zoo Beobachter postiert, die die Lage der einzelnen Tiere in 5 minütigem Abstand kartierten. Zusätzlich erfolgte eine Dokumentation mittels Digitalkamera. Mit dieser Vorgehensweise sollte die spätere Auswertung am PC unterstützt und möglichen Verwechslungen mit anderen Objekten vorgebeugt werden.

Während für die Untersuchungsflächen im Zoo Angaben zur Art und Anzahl vorlagen, musste in den Nadelholzbeständen im Revier Satow mit einer gewissen Unsicherheit gerechnet werden, welche Arten und vor allem wie viele Tiere sich tatsächlich in den Waldbeständen bzw. auf den dazwischen befindlichen Freiflächen aufhielten. Um die Untersuchung standardisiert durchzuführen, wurden in den Beständen Wärmepads als künstlicher Ersatz für die Wildtiere ausgelegt. Die Anordnung der Wärmepads war der Körperform und Größe der Wildtiere nachempfunden. Zusätzlich wurde jeweils eine Person in zwei Beständen postiert. In einem weiteren Bestand wurden darüber hinaus drei Pferde postiert, diese sind recht groß und haben eine im Vergleich zu unseren heimischen Wildtieren eine schlechte Isolation und müssten somit gut zu erkennen sein.

4 Auswertung der Thermaldaten

4.1 Vorgehensweise - verwendete Software

Die Rohdaten (thermografische Bilder) lagen in einem proprietären Datenformat vor. Diese enthalten pixelweise den strahldichte-proportionalen Signalwert des Detektors. Außerdem beinhalten sie im Header kameraspezifische Einstellungsparameter wie z.B. die verwendete Blende. Aufgrund des Datenformats ist eine direkte Weiterverarbeitung in üblicher Grafiksoftware nicht möglich. Die Daten müssen in ein Standardgrafikformat exportiert werden. Im vorliegenden Fall erfolgte der Export der Daten mittels der Software AEROOffice der Firma IGI, Kreuztal, als 8-bit Graustufenbild im Tiff-Format. Die Bildgröße beträgt 640 x 480 Pixel. Anschließend wurden die Bilder mit der Software LPS der Firma Hexagon trianguliert, so dass diese dann stereoskopisch ausgewertet werden konnten. Der eigentlichen Auswertung wurden noch einige Tests zur Farbdarstellung der Temperatur in den vorangestellt, die mittels der Thermalsoftware IRBIS 3 Pro erfolgten (INFRA TEC 2012).

Um einen besseren Fokus auf die Erkennbarkeit der Tiere zu bekommen, gerade hinsichtlich der geringen Temperaturunterschiede zwischen der Umgebung und der Oberflächentemperatur der Tiere, wurde die Daten in einem Temperaturbereich von 5 °C als Minimumwert und 30 °C als Maximalwert auf die die 256 möglichen Grauwerte eines 8-bit Bildes auf gespreitet. Damit lag nun die Auflösung bei ca. 0,1 °C pro Grauwertstufe und alle Bilder wurden auf den gleichen Temperaturbereich festgelegt. Zur Bestimmung der Ober- und Untergrenzen wurden vergleichbare Oberflächentemperaturmessungen an Tieren hinzugezogen (GLEICH 2012).

Für die drei repräsentativ gewählten Standorte erfolgte nun die Feststellung, wie viele Tiere unter den gegebenen Bedingungen (Laub- oder Nadelwald) in den Bildern erkennbar waren und welche Eigenschaften der Tiere dazu führten, dass sie erkannt wurden. Dazu wurden die einzelnen Tiere an einem Stereoarbeitsplatz erfasst. Im Verlauf der Untersuchung zeigte sich, dass die Erkennbarkeit der Objekte in 3D deutlich erhöht und die Tiere gerade erst hierdurch erkennbar wurden. Zudem wurde durch die Stereobetrachtung die Orientierung bzw. das Zurechtfinden im Bild merklich erleichtert. Im nachfolgenden werden einzelne Aspekte der umfangreichen Untersuchungen vorgestellt.

4.2 Zoo Schwerin

In den beiden untersuchten Gehegen des Schweriner Zoos befanden sich zum Zeitpunkt des Überflugs 37 Tiere, verteilt auf vier Wildarten. Von diesen theoretisch möglich erkennbaren Tieren, wurden 10 (35 %) in den Thermalbildern erkannt. Tabelle 1 enthält eine Gegenüberstellung der möglich erkennbaren, der terrestrisch erfassten und der im Thermalbild erkannten Tiere.

Gegenüber der terrestrischen Erfassung reduzierte sich der Anteil der erkannten Tiere, bei denen es sich fast ausschließlich um adulte Tiere handelte, erheblich. Rehe, Frischlinge und Lämmer wurden nicht eindeutig erkannt oder nur erkannt da man durch die terrestrische Aufnahme den Standort kannte. Neben den vorgenannten Tierarten konnten die großen Säuger wie Giraffen, Steppenzebra und Breitmaulnashorn vollständig entdeckt werden.

In den Gehegen mit Laubbäumen (Kronenschlussgrad 0,8) konnten Tiere wesentlich schlechter erkannt werden, als in Gehegen mit Freiflächen. Vor allem stärker dimensionierte Stämme und

Kronen verdeckten die Tiere ganz oder teilweise. Die entdeckten Tiere standen vornehmlich am Kronenrand oder unter kleineren Lücken im Kronendach.

Tab. 1: Gegenüberstellung möglich erkennbarer, erfasster und erkannter Tiere im Schweriner Zoo

Wildart	Schwarzwild		Rehwild	Damwild		Muffelwild	
	juvenil	adult	adult	juvenil	adult	juvenil	adult
N möglich erkennbar	13	5	3	2	5	2	7
N terrestrisch erfasst	8	5	3	2	5	-	5
% terrestrisch erfasst	62 %	100%	100%	100%	100%	-	71%
N Thermalbild erkannt	-	3	-	-	4	-	3
% Thermalbild erkannt	-	60%	-	-	60%	-	43%

Große Tiere und Tiere mit größeren Temperaturdifferenzen gegenüber ihrer Umgebung waren am einfachsten zu erkennen. Je kleiner das Tier, desto wichtiger ist Form der Tiere. Als günstig erwies sich dabei langgestreckte Tiere, wie sie das Damwild aufgrund des schmalen Körperbaus aufwies. Muffel- und Schwarzwild konnten keiner speziellen geometrischen Form zugeordnet werden. Giraffen und Nashörner zeigten eine ovale Gestalt. Interessanterweise konnte in den Bildern der Wärmeschatten einer Giraffe genau erkannt werden. Wie vermutet, waren Nashörner die größten Tiere. Ein Mufflon mit nur fünf "signifikanten" Pixeln war das kleinste erkennbare Tier. Dies stellt auch die unterste wahrnehmbare Grenze für die Erkennbarkeit dar.

Neben der Größe und Form trug die Temperaturdifferenz zwischen Felloberfläche und Umgebungstemperatur maßgeblich zur Erkennung bei. Wobei unter der Umgebungstemperatur immer die Bodentemperatur verstanden wird. Die mittleren Temperaturen von Muffel-, Dam- und Schwarzwild fielen nur geringfügig höher als die Umgebungstemperatur aus. Beim Muffelwild, das am schwersten zu erkennen war, betrug bei einem Stück die Temperaturdifferenz gerade 0,7 K. Dieser Wert ist als absolute Untergrenze zu betrachten. Eine gute Erkennbarkeit war ab einer Temperaturdifferenz von mindestens 2 K gegeben.

4.3 Damwildgehege Satow

Das Damwildgehege in Satow wurde durch zwei Flugstreifen erfasst. Zwischen diesen wechselte das Wild aus der liegenden in eine stehende Position. Insgesamt befanden sich 27 Tiere im Gatter (2 juvenil und 25 adult). In Abbildung 1 sind die unterschiedlichen Positionen dargestellt.

Abbildung 1 verdeutlicht, dass eine Bewertung hinsichtlich der besseren Erkennbarkeit nur schwer möglich ist. In der liegenden Position stellte sich das Damwild größer dar. Außerdem konnten die Einzeltiere besser unterschieden werden, da die Abstände der Tiere zueinander größer waren, als in der stehenden Position. Diese bewirkte dagegen, begünstigt durch die Sonne, einen Wärmeschatten, der merklich zur Erkennung beitrug. Durch die stereoskopische Betrachtung verstärkte sich dieser Effekt. Mit Hilfe der 3D Betrachtung konnten auch die Schatten (S) von den weniger erwärmten Liegeplätzen (L) der größeren Tiere unterschieden werden. Eine Angabe der absoluten Anzahl der erkannten Tiere ist sowohl für die liegende, als auch die stehende Position nur bedingt möglich, da im ersten Flugstreifen (liegend) die entsprechende Szene

genau im Randbereich lag. In der aufrechten Position standen einige der Tiere sehr engzusammen. Eine eindeutige Abgrenzung über den Rand war somit nicht möglich, so dass zur Ermittlung der Anzahl die jeweils wärmsten Bereiche eines Tieres herangezogen wurden. Auf diese Weise konnten für die stehende Position eine Erkennungsrate von 92 % ermittelt werden. Für die weitere Ermittlung der Pixelanzahl, Größe und Temperatur wurden nur Tiere berücksichtigt, die eindeutig über den Rand zueinander abgrenzbar waren. Die Gruppenbildung, die einerseits ein schnelles Detektieren im Bild ermöglichte, erwies sich bei der Detektion des Einzeltieres als hinderlich. In liegender Position betrug die Anzahl 14 und in der stehenden Position 15.

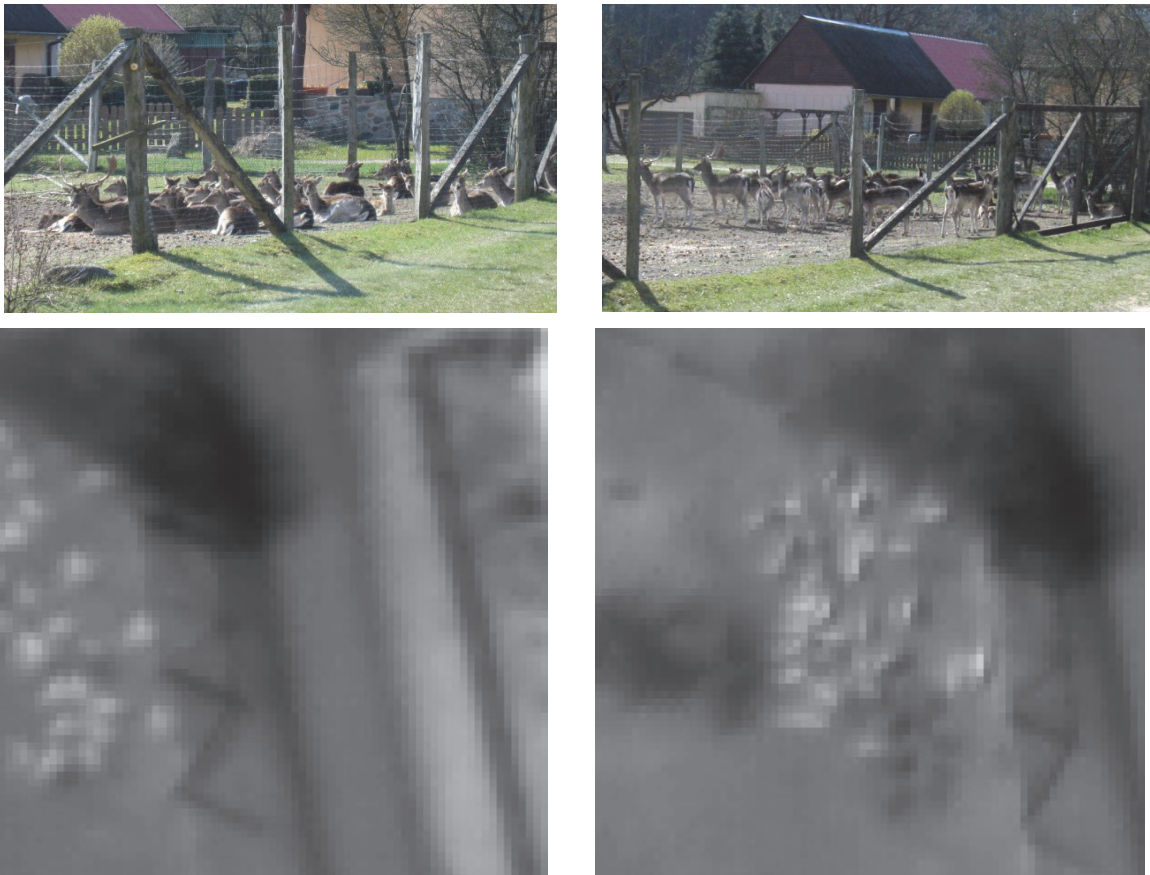


Abb. 1: Damwild - Vergleich liegende und stehende Position

Es fällt auf, dass das stehende gegenüber dem liegenden Damwild höhere Temperaturen aufweist. Es wird angenommen, dass in der stehenden Position der Rückenbereich der Tiere den größten Anteil an der von der Kamera erfassten Thermalstrahlung aufweist. Gegenüber der liegenden Position, bei der der überwiegende Anteil der emittierten Thermalstrahlung vom Flankenbereich ausgeht, scheint der Winkel, in dem die Strahlung in Richtung Kamera emittiert wird von größerer Bedeutung zu sein, als die emittierende Oberfläche. Nach FOUAD & RICHTER (2012) ist der Emissionsgrad von der Beobachtungsrichtung abhängig. Mit größer werdendem Beobachtungswinkel steigt auch die ermittelte Temperatur. Da bereits festgestellt wurde, dass mit zunehmenden Temperaturdifferenzen eine bessere Erkennbarkeit einhergeht, würde sich

demnach die Erkennbarkeit liegenden Wildes verschlechtern. Andererseits trägt aber auch eine größere erfassbare Oberfläche zu einer verbesserten Erkennbarkeit bei. Eine Wichtung der Temperatur und der wahrnehmbaren Größe des Tieres scheint damit nicht möglich. Es bleibt festzuhalten, dass die Körperposition entscheidenden Einfluss auf die Erkennbarkeit hat. Bei der Auswertung sollte daher die Aufnahmezeit berücksichtigt werden, da die Tierarten unterschiedliche Aktivitätszyklen aufweisen und in Abhängigkeit hiervon die Körperposition variiert. Störungen des Wildes sollten dabei ebenso berücksichtigt werden.

Tab. 2: Größen- und Temperaturwerte Damwild Satow

Wildart Merkmal	Damwild stehend	Damwild liegend
Anzahl Pixel \bar{x}	9	12
Temp. Tier \bar{x} [°C]	19,2	18,4
Temp. Umgebung \bar{x} [°C]	16	16,2
Δ Temp. [K]	3,2	2,2

Die Temperaturen des Damwildes im Zoo fielen trotz der späteren Befliegung durchweg geringer aus, als die des Damwildes in Satow. Die Differenz betrug 3,6 °C. Als Ursache wird ist die Beschattung durch die Kronen der Laubbäume im Zoo gesehen. Daran wird deutlich, wie stark der Einfluss der Sonne auf die Oberflächentemperatur der Tiere ist.

4.4 Forstamt Satow

Die aufgestellten Pferde waren im Kiefernwald trotz Ihrer Größe und ihrer schlechten Isolation nicht zu erkennen. Zum Vergleich zeigt Abbildung 2 Pferde auf einer Weide. Sämtliche Pferde sind gut erkennbar.

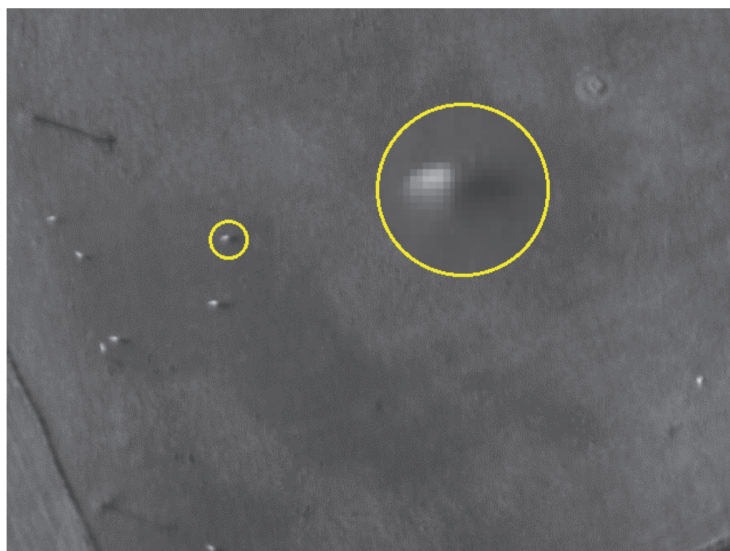


Abb. 2: Freifläche mit Pferden

Ihre Erkennbarkeit wird zusätzlich durch den Schatteneffekt erhöht, der einen räumlichen Eindruck vermittelt. Begünstigend wirkt sich aber auch der homogene Untergrund aus, der im Mittel 14 °C betrug. Die Tiere waren etwa 28 Pixel groß. Wie schon bei den großen Säugern im Zoo (Giraffen und Nashörner), zeigte sich, dass die größere Pixelanzahl eine gute Erkennbarkeit ermöglicht. Die mittlere Temperatur der Pferde betrug 19,5 °C, so dass sich eine Differenz zur mittleren Untergrundtemperatur von 5,5 K ergab.

Im Anschluss der Auswertung für die Standorte mit bekannten Tieren erfolgte die Sichtung der übrigen Waldflächen. Trotz der bereits gesammelten Erfahrung war es aufgrund der fehlenden terrestrischen Bestätigung nicht möglich, ein Objekt eindeutig als Tier auszuweisen. Durch die geringe Auflösung bestand immer eine Verwechslungsgefahr mit anderen Objekten.

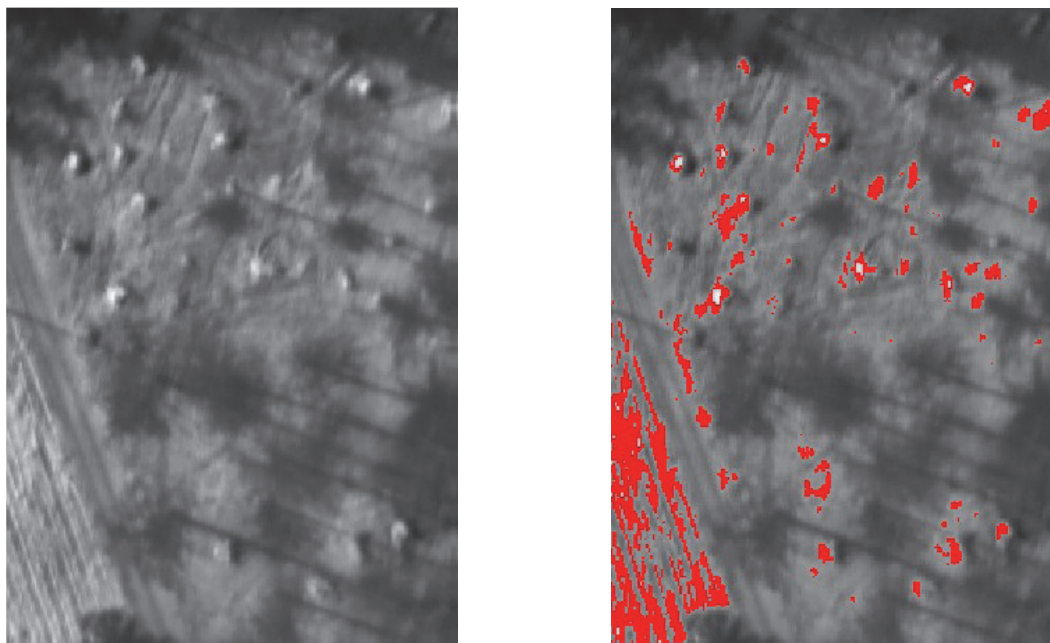


Abb. 3: Beispiel problematischer Schwellenwertfilter zur Differenzierung von Tieren und Boden

4.5 Diskussion

Die künstlichen Wärmequellen konnten weder auf den Freiflächen noch in den verschiedenen Beständen erkannt werden. Gleiches gilt für die im Bestand postierten Personen und Pferde. Als eine Ursache hierfür werden die zu geringen Temperaturdifferenzen zwischen Freiflächen (14 - 15 °C) und Wärmepads vermutet. Die Fläche eines einzelnen Wärmepads war kleiner als die von einem Detektor (Pixel) erfassbare Fläche. Zur Temperaturermittlung werden deshalb die kühleren umgebenden Bereiche hinzugezogen (FOUAD & RICHTER 2012). Da die genaue Berechnung kameraspezifisch erfolgt, kann deshalb nur vermutet werden, dass die Temperaturdifferenz zu gering ausfiel und der sich ergebende Mittelwert nicht mehr wahrnehmbar war. Für die Waldbestände (Bodentemperatur 4,5 °C) war mit größeren Temperaturdifferenzen zu rechnen, die in den Bildern erkennbar wären. Die Hauptursache für das Nichterkennen der Pads in den Beständen wird deshalb in der Überschilderung durch die Kronen gesehen. Ähnliche Versuche zur Erkennbarkeit von Tieren mit Hilfe künstlicher Wärmequellen bestätigen die Vermutung. Danach ver-

mindert sich die Entdeckungswahrscheinlichkeit mit zunehmenden Kronenschlussgrad (EYHOLZER et al. 2002). Gestützt wird die Vermutung auch durch die Feststellung, dass die Pferde auf der Weide sehr gut erkennbar waren, während Pferde der gleichen Größe im Bestand nicht erkannt wurden.

Die beeinträchtigende Wirkung der Kronen konnte bereits für die unbelaubten Bestände des Zoos (KSG 0,8) aufgezeigt werden. Für Nadelholzbestände scheint dieser Einfluss noch größer zu sein. Es wird deshalb geschlussfolgert, dass die Nadelholzbestände, die im Minimum einen Kronenschlussgrad von 0,7 aufwiesen, gegenüber den Laubholzbeständen eine geringere Erkennbarkeit zulassen. Demgegenüber eignen sich Freiflächen am besten, um Tiere zu erkennen.

5 Schlussbetrachtung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass eine thermale Erkennbarkeit von Wildtieren in für Mecklenburg typischen Nadel- und Laubholzbeständen unter gewissen Umständen gegeben ist. Eine Zuordnung zur Art konnte nur unter Zuhilfenahme umfangreicher terrestrischer Referenzinformationen erfolgen. Konkret gilt dies für die Wildarten Schwarz-, Dam- und Muffelwild. Rehwild konnte aufgrund der Baumkronen nicht erkannt werden. Für Rotwild kann keine Aussage getroffen werden, da es im Zoo nicht vorhanden ist. Aufgrund der geschilderten Unsicherheiten in den Satower Waldbeständen ist für diese Flächen ebenfalls keine Aussage zum Rotwild möglich. Es konnte weiterhin festgestellt werden, dass die Erkennbarkeit von Tieren innerhalb des Waldes gegenüber Freiflächen signifikant abnimmt. Dabei muss zwischen Laub- und Nadelholzbeständen, dem Baumalter und dem Kronenschlussgrad differenziert werden. Mit zunehmendem Alter und höherem Kronenschlussgrad verschlechtert sich die Erkennbarkeit. Entscheidend trugen die Größe des Tieres und die Temperaturdifferenz zur Umgebung zur Erkennbarkeit bei. Voraussetzung ist eine genügend große Auflösung der Wärmebildkamera. Die im vorliegenden Fall verwendete Auflösung von 640 x 480 Pixel bei einer GSD von 0,22 m ist nur bedingt ausreichend. Die Erkennbarkeit hat sich in der vorliegenden Arbeit als Faktorenkomplex aus den Tiereigenschaften (Größe, Körperposition), der Umgebung (Sonne, Bäume) und den technischen Eigenschaften der Wärmebildkamera ergeben. Eine Gewichtung der einzelnen Faktoren ist damit nur bedingt möglich. Bei der Untersuchung ist auch deutlich geworden, dass die in der Einleitung genannte hohe Isolierungsfähigkeit der heimischen Wildarten eine Erkennung erschwert. Dieses wurde durch terrestrische Vergleichsmessungen von Gleich an betäubten Damhirschen bestätigt, hier betrug die maximale Temperaturdifferenz von Tieroberfläche und Außentemperatur nur 1° Kelvin.

Wie unsere Untersuchungen zeigen, ist es nicht unbedingt vorteilhaft, in den Nacht- oder frühen kalten Morgenstunden Thermalaufnahmen durchzuführen, sondern gerade danach. Nach einer kalten Nacht versuchen die Wildtiere nach der ersten Nahrungsaufnahme, möglichst in der Sonne sich zu wärmen, dann steigt die Oberflächentemperatur deutlich an und die Temperaturdifferenz zur Umgebung erhöht sich deutlich. Hierzu verlassen die Tiere dann die dichten Einstände um sonnigere Plätze aufzusuchen. Dieser Umstand erleichtert auch die bessere Erkennbarkeit.

6 Ausblick

Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Bilder einzeln ausgewertet. Eine automatisierte Auswertung wäre erstrebenswert. Hierzu bedarf es aber mehr belastbaren Datenmaterials. Der Focus sollte dabei auf den Temperaturdifferenzen Tier - Umgebung liegen, da die Untersuchungen für die einheimischen Arten einen Zusammenhang zwischen der Temperatur der Felloberfläche und der Temperatur der Umgebung vermuten lassen. Damit könnten in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur Aussagen zum zu erwartenden Temperaturbereich der einzelnen Tierarten getroffen werden und so eine Vorgabe für mögliche Schwellenwerte im Rahmen einer automatisierten Auswertung erfolgen. Die zum Einsatz gekommene Technik hat grundsätzliche Möglichkeiten zur Erkennung von Tieren mittels Thermalbildern aufgezeigt, stieß jedoch insbesondere bei der geometrischen Auflösung an ihre Grenzen. Eine mögliche Alternative, bei der die Flughöhe reduziert wird, scheidet aufgrund der geringeren Flächenleistung und der höheren Kosten aus. Für zukünftige Untersuchungen muss daher die technische Weiterentwicklung vor allem aber auch die wirtschaftliche Entwicklung beobachtet werden.

7 Literaturverzeichnis

- CHRISTIANSEN, P., STEEN, K. A., JØRGENSEN, R. N. & KARSTOFT, H., 2014: Automated Detection and Recognition of Wildlife Using Thermal Cameras. *Sensors* **14** (8), S. 13778-13793
- CILULKO, J., JANISZEWSKI, P., BOGDASZEWSKI, M. & SZCZYGIELSKA, E., 2013: Infrared thermal imaging in studies of wild animals. *European Journal of Wildlife Research* **59** (1), S. 17-23
- EYHOLZER, R., BAUMANN, M., JÄGGI, C., WILLNEFF, J., BALTSAVIAS, J. & BALTSAVIAS, M., 2002: Bericht FLIR: Methodenentwicklung für den Einsatz von luftgestützten Wärmebildgeräten zum Monitoring von freilebenden Huftieren. – Studie. Bern & Zürich
- FOUAD, N. A. & RICHTER, T., 2012: Leitfaden Thermografie im Bauwesen. Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung. 4. Aufl., Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 172 S.
- GLEICH, E., 2012: Ergebnisse Oberflächentemperaturen Damwild. Mündliche Mitteilung, 8.5.12
- HILSBURG, S., 2000: Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin. Dissertation, Universität Leipzig.
- IGI, 2012a: http://www.igi.eu/digitherm.html?file=tl_files/IGI/Brochures/DigiTHERM/DigiTHERM.pdf. Aufruf am: 14.12.2014.
- ISRAEL, M., 2011: A UAV-based roe deer fawn detection system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **38** (1/C22), S. 51-55 www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1-C22/papers/israel.pdf.
- JONES, G. P., PEARLSTINE, L. G. & PERCIVAL, H. F., 2006: An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research. *Wildlife Society Bulletin* **34** (3), S. 750-758.
- MALCHOW, J. (2011): Erkennbarkeit von Wildtieren mittels Wärmebildtechnik für den zukünftigen Einsatz eines Multikopters. Bachelorarbeit, Universität Rostock.
- OISHIA, Y. & MATSUNAGA, T. (2014): Support system for surveying moving wild animals in the snow using aerial remote-sensing images. *International Journal of Remote Sensing* **35** (4), S. 1374-1394.
- TAPPE, P., KISSEL JR., R. E. & MCCAMMON, E. E. (2003): Ground-Based and Aerial Thermal Infrared Imaging for Estimating White-Tailed Deer Population Densities. Final Report, Arkansas Game and Fish Commission, Monticello, Arkansas, USA.