

Dem Täter auf der (Wärme-)Spur – Eine kriminaltechnische Studie

Abstract

Jeder Mensch, der sich an einem Handlungsort, also auch an einem Tatort eines kriminellen Deliktes bewegt, hinterlässt dort Wärmespuren. So wird zum einen Körperwärme durch Sitzen, Liegen, Gehen, Stehen oder durch das Ergreifen von Gegenständen auf Objekte übertragen. Zum anderen führt die Benutzung technischer Einrichtungen wie Waschbecken mit Warmwasserzulauf, die Benutzung von Kaffeemaschinen, Herden, Lampen, Schusswaffen, Kraftfahrzeugen oder anderen Gegenständen zu einer Erwärmung von Objekten. Solche Wärmespuren lassen sich durch Wärmebildkameras messen und dokumentieren, da erwärmte Objekte Infrarotstrahlungen abgeben, die von solchen Kameras erfasst, in Temperaturen gemessen und in Bildsignale umgesetzt werden können. Sie geben dem Betrachter einen visuellen Eindruck davon, welche Objekte an einem Ort warm oder kalt sind. Der große Vorteil von Wärmespuren liegt darin, dass sie weitgehend Auskunft über ihren Entstehungszeitpunkt geben und damit Rückschlüsse zulassen, wann sich bestimmte Handlungen am Tatort ereignet haben, und unter Umständen auch, wie viele Menschen dort agiert haben. Ihr größter Nachteil ist ihre hohe Flüchtigkeit, da sie sich je nach Umständen nur wenige Minuten bis hin zu halben Tagen nachweisen lassen. Die Arbeit mit Wärmespuren findet in der kriminalistischen Tatortarbeit noch keinerlei Anwendung und ist auch bei weitem noch nicht auserforscht. Der Verfasser hat sich in einer Reihe von Wärmespur-Experimenten, von denen einige hier vorgestellt werden sollen, bemüht, etwas Licht ins Dunkel zu bringen. Es könnte lohnenswert sein, sich mit dieser Spurenart in den nächsten Jahren wissenschaftlich und praktisch auseinanderzusetzen, da sie durch ihre Eigenheiten das bisherige Standardrepertoire der Tatortspuren und damit die Aufklärung von Straftaten bereichern kann. Der Verfasser erhofft sich, mit diesem Aufsatz einen Anstoß für weitere Forschung zu geben.

1. Wärmerückstände menschlichen Handelns und ihre Messung

Der französische Forensiker Edmond Locard stellte schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts fest, dass jedes menschliche Handeln Spuren zurücklässt (Locard'sche Regel). Wer sich auf einen Sessel setzt, lässt Fasern seiner Hose auf der Sitzfläche zurück und nimmt mit dem Hosenstoff je nach Sitzbezug auch Material des Sessels auf. Die Berührung eines Gegenstandes mit der bloßen Hand verursacht Finger- und Handflächenabdrücke und beim Durchschreiten eines Raumes hinterlässt der Mensch Hautschuppen und Haare oder beim Sprechen, Niesen oder Husten dna-haltiges Material. Der Betroffene hat je nach Spurenart wenig Einfluss darauf, ob er diese Substanzen zurücklässt oder nicht und kann sich nur bedingt gegen das Legen solcher Spuren schützen.

Ein physikalisches Phänomen, das bisher kaum Beachtung gefunden hat, auf das sich aber die Locard'sche Regel durchaus auch anwenden lässt, sind so genannte Thermospuren. Damit sind Wärmerückstände gemeint, die jeder Mensch zum einen durch seine Körperwärme und zum anderen durch den Betrieb technischer Einrichtungen zurücklässt. Thermospuren haben einen großen Nachteil, aber auch einen sehr großen Vorteil, den man bei anderen Spuren nicht oder kaum beobachten kann. Wärmespuren sind schnell flüchtig. Je nach Dauer und Intensität der Wärmeeinwirkung schwächen sie sich mehr oder weniger schnell ab, so dass die Suche und Sicherung solcher Spuren am Tatort Eilbedarf hat. Ihr beachtlicher Vorteil ist

allerdings, dass sie – anders als die meisten anderen Tatortspuren – Auskunft darüber geben, wann sie gelegt worden sind, so dass man Vorgänge, die sich am Tatort ereignet haben, im günstigsten Fall auf ihren Verursachungszeitpunkt zurückführen kann und damit Klarheit darüber gewinnen kann, wann und ggf. auch in welcher Reihenfolge sich bestimmte Abläufe vollzogen haben. Instrument der Spurensuche und -sicherung sind dabei Wärmebildkameras.

Physikalisch grundlegend für die Feststellung von Thermospuren ist die Tatsache, dass Menschen beim Gehen, Stehen, Sitzen, Liegen, aber auch beim Anfassen von Gegenständen Wärme auf die jeweiligen Flächen der berührten Objekte übertragen. Wärmeübertragung von einem Objekte zum anderen findet auf drei Arten statt: Leitung, Konvektion und Strahlung. Bei der Wärmeleitung berühren sich zwei Objekte unmittelbar und die Wärme des einen Objektes geht auf das anderen über. Dabei sieht die Natur die Herstellung eines thermischen Gleichgewichtes vor. Die Objekte nähern sich mit fortschreitender Zeit in ihrer Temperatur einander an. Das wärmere Objekt wird bei unterschiedlicher Temperatur also kälter und das kältere wärmer. Die Wärmeleitung als Unterfall der Wärmeübertragung ist bei der Vermittlung von Körperwärme der Normalfall. Wenn man auf einem Stuhl sitzt, fühlt sich die Sitzfläche nach einiger Zeit warm an, während das Gesäß durch den kälteren Stuhl etwas heruntergekühlt ist. Bei der Konvektion wird Masse an einem bestimmten Punkt erwärmt, die erwärmten Anteile der Masse bewegen sich in Richtung der kälteren Anteile und erwärmen diese wiederum. Das ist etwa der Fall, wenn ein Topf mit Wasser auf einen Herd gestellt wird. Erwärmt wird zwar nur der Teil des Wassers, der dem Topfboden am nächsten ist, aber die erwärmten Moleküle bewegen sich in Richtung der kälteren im oberen Bereich der Wassermasse und wärmen diese auf. Der dritte Unterfall der Wärmeübertragung ist schließlich die Strahlung. Hier werden von einem Objekt elektromagnetische Strahlen zum anderen geschickt. Zwar berühren sich die Objekte nicht, aber die Strahlen, die von dem wärmeabgebenden Objekt losgeschickt werden, werden von dem anderen Objekt in Wärme umgewandelt. Hier möge man sich das Verhältnis zwischen Sonne und Erde vorstellen. Die Sonne schickt ihre Strahlen zur Erde, dort werden sie absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt.

Münzen wir nun diese theoretischen Erkenntnisse der Wärmelehre auf das Geschehen an einem Tatort um, so entstehen Thermospuren auch hier durch Übertragung von Körperwärme und durch den Betrieb technischer Einrichtungen durch Menschenhand. So wird der Sexualmörder, der Bekanntschaft mit seinem Opfer geschlossen hat, vor der Tat möglicherweise zu einem Kaffee mit ihm zusammensitzen, um dann überraschend zur Gewalthandlung und zur Tötung überzugehen. Er wie auch das Opfer hinterlassen dabei auf ihren Sitzgelegenheiten Wärmespuren. Das Opfer wird zuvor im Bett, in dem es die Nacht verbracht hat, eine Wärmesignatur in Form seiner Körpersilhouette hinterlassen. Die Kaffeemaschine, die zum Aufbrühen des Kaffees benutzt wurde, zeigt noch Stunden nach ihrer Benutzung Wärmespuren, ebenso die benutzten Kaffeetassen, und wenn sich der Täter nach seiner Tat im Badezimmer die Hände wäscht, um sich vom Blut seines Opfers zu reinigen, erwärmt er durch die Benutzung des Warmwasserzuflusses den Wasserhahn wie auch das Waschbecken. Diese Objekte zeigen noch über längere Zeit Wärmeabstrahlungen, die einen Rückschluss auf das Geschehen und den Zeitpunkt ihrer Entstehung zulassen.

Eine Feststellung und Dokumentation solcher Thermospuren ist mit Wärmebildkameras möglich. Die Arbeit solcher Kameras basiert auf dem Empfang infraroter Strahlungen, die von der Wärme eines Objektes ausgehen. Von jedem Objekt gehen elektromagnetische Strahlungen unterschiedlicher Wellenlänge aus. Nur in einem sehr schmalen Bereich sind diese Strahlungen für das menschliche Auge sichtbar und sorgen dafür, dass Oberflächen und Formen wahrgenommen werden. Die Mehrzahl der Strahlen ist nicht sichtbar. Infrarotstrahlen liegen in

einem Wellenbereich, der für den Menschen nicht wahrnehmbar ist, jedoch von einem Infrarotthermometer in einer Wärmebildkamera. Bei der kontaktlosen Temperaturmessung mit einer solchen Kamera bündelt eine Linse die abgestrahlte Energie. Ein Detektor wandelt die Strahlungsenergie in ein elektrisches Signal um, das von der Kamera in ein mehrfarbiges Bild übersetzt wird.¹ Die Kamera misst alle Objekte in dem Bereich, auf den sie gerichtet wird, und stellt sie je nach Wärmewert in unterschiedlichen Farben dar. Auch Objekte, die subjektiv als kalt empfunden werden geben noch Infrarotstrahlungen ab. Die Temperaturen dieser Objekte müssen lediglich über dem absoluten Nullpunkt von -273,15 Grad Celsius liegen.²

2. Wärmeabstrahlungen als Tatortspuren

Was haben solche Thermospuren nun mit der Verfolgung von Straftaten zu tun? Zur Beantwortung dieser Frage sollen hier kurz einige Szenarien vorgestellt werden, anhand derer deutlich wird, mit welchen Wärmerückständen von Tätern und Opfern an Tatorten zu rechnen ist und welche Aussage diese Spuren möglicherweise über das Tatgeschehen treffen. Grundsätzlich soll dabei zwischen solchen Spuren unterschieden werden, die unmittelbar durch Körperwärme erzeugt wurden und solche, die durch die Benutzung technischer Einrichtungen durch einen Menschen angefallen sind.

Durch Körperwärme verursachte Thermospuren

Gehspuren

Die Feststellung von Fuß- oder Schuhspuren können im günstigsten Fall die Gehstrecke einer Person nachvollziehbar machen, so dass sich feststellen lässt, wo sich eine Person am Tatort entlangbewegt hat. Ggf. können auch Fluchtwege nachvollzogen werden können. Die Chance, durch unbeschuhte oder beschuhte Füße verursachte Wärmespuren zu finden, ist allerdings von einem sehr schnell Erreichen des Tatortes durch die Einsatzkräfte abhängig, da sich Gehspuren aufgrund der geringen Einwirkungszeit auf den Untergrund sehr schnell verflüchtigen. Dies gilt für Schuhspuren noch mehr als für Spuren nackter oder bestrumpfter Füße, da Schuhe eine wärmeisolierende Wirkung haben und damit noch weniger Wärmeenergie an den Untergrund abgeben als nackte Füße.

Sitzspuren

Insbesondere an Tatorten, an denen sich Beziehungsdelikte ereignet haben, erscheint es nicht unwahrscheinlich, dass sich Täter, Opfer und Tatzeugen vor der Tat zum Sitzen niedergelassen haben. Gesäße und Oberschenkel hinterlassen auf den Sitzflächen dann Wärme. Die Feststellung von Sitzspuren durch Infrarotabstrahlungen lässt einerseits Rückschlüsse auf den Entstehungszeitpunkt dieser Spuren und zum anderen auf die Zahl der Personen, die sich am Tatort aufgehalten haben, zu. Zu beachten ist allerdings, ob Wärmespuren auf mehreren Sitzflächen etwa die gleiche Intensität haben, da es sonst in Bezug auf die Zahl der Anwesenden Fehlschlüsse geben könnte. Wechselt nämlich eine Person im Laufe des Geschehens von einer Sitzfläche zur anderen, so erzeugt sich auf zwei Flächen Sitzspuren, was irrtümlich zu der Annahme führen könnte, es habe sich auch um zwei Personen gehandelt. Hier ist zu prüfen, ob die Sitzflächen möglicherweise eine unterschiedliche Wärmeintensität aufweisen, da die früher benutzte Fläche gegenüber der später benutzten bereits heruntergekühlt sein wird und damit eine schwächere Wärmesignatur zeigen wird als die zuletzt benutzte.

¹ Fäßler, Andrea (2012), S. 11 f.

² InfrarotTec Systems. FLIR Distribution (o. J.), S. 7.

Sitzspuren können aber auch bei der Auffindung von inkriminierten Kraftfahrzeugen eine Rolle spielen, die erst kurz vor der Auffindung verlassen worden sind. Hier lässt sich gleichfalls feststellen, wie lange die Benutzung etwa zurückliegt und vor allem wie viele Personen in dem Fahrzeug gesessen haben.

Liegespuren

Ebenfalls bei Beziehungsdelikten können Liegespuren eine Rolle spielen. Die Einwirkung der Körperwärme über eine ganze Nacht hinweg ist großflächig und intensiv. Unter Umständen wird die erwärmte Fläche auch noch durch Bettdecken oder Ähnliches vor einer schnellen Abkühlung geschützt, so dass man hier länger mit messbaren Spuren rechnen kann als etwa auf Geh- und Sitzflächen. So ließe sich an einem Tatort, an dem sich ein Tötungsdelikt oder ein anderes schweres Gewalt- oder Sexualdelikt ereignet hat, feststellen, ob von zwei vorhandenen Betten möglicherweise beide eine starke Erwärmung aufweisen und damit anzunehmen ist, dass zwei Personen in den Betten genächtigt haben, was wiederum für eine große soziale Nähe dieser Personen spricht.

Griffspuren

An Tatorten werden Tatwaffen und Tatwerkzeuge angefasst oder auch Gebrauchsgegenstände wie Tassen, Besteck oder Ähnliches. Wärmesignaturen an entsprechenden Gegenständen können ein starkes Indiz für ihre Tatrelevanz sein, wenn sie kurz nach einer Straftat mit Wärmespuren an einem Tatort gefunden werden. Zu denken ist hier etwa an ein Messer nach einer Körperverletzung. So ließe sich bei einer Mehrzahl von Messern an einem Tatort unter Umständen eines mit einer besonders hohen Wärmeabstrahlung am Griff feststellen. Die Wärmemessung würde damit die Selektion mehrerer potentiell infrage kommender Gegenstände erheblich vereinfachen. Zu denken wäre aber auch an das Auffinden eines Schraubendrehers in der Nähe eines Einbruchstatortes, wenn an dem Griff des Werkzeugs noch Wärme zu messen ist. Auch Kugelschreiber, ein Trinkglas oder andere Gebrauchsgegenstände können als tatrelevant erkannt werden, wenn sie kurz nach der Tat Wärmespuren zeigen.

Sonstige durch den Körperwärme verursachte Spuren

Auch Gegenstände, die nahe am Körper getragen werden, etwa in einer Hosen-, Hemd- oder Jackentasche, nehmen durch die übertragene Körperwärme Energie auf. Daher lässt sich über einen bestimmten Zeitraum nachweisen, dass z. B. ein Portemonnaie in einer Hosentasche gesteckt haben muss und noch nicht lange dort liegen kann, wo es gefunden wird. Kleingegenstände wie Rauschgiftpäckchen, die am Ort einer Polizeikontrolle auf dem Boden gefunden werden, geben durch ihre Wärme einen Hinweis darauf, dass sie offenbar unmittelbar vor der polizeilichen Maßnahme von den Kontrollierten weggeworfen worden sind. Genauso lässt sich bei Schuhen oder Kleidungsstücken am Tatort nachvollziehen, dass sie kurz zuvor noch von einem Menschen getragen worden sein müssen.

Durch technische Handlungen verursachte Thermospuren

Hitzeerzeugende Geräte des täglichen Gebrauchs

Genauso wie Körperwärmeübertragung zu Wärmesignaturen an Objekten führt, sorgt auch die Benutzung von technischen Einrichtungen in einer Wohnung, einem Büro, einer Werkstatt oder einem anderen Ort für eine vorübergehende und nachweisbare Erwärmung von Objekten. Wie bei der Körperwärme sind auch bei der Suche nach technisch erwärmten Gegenständen die Fragestellungen immer: Wurde an diesem Ort in der letzten Zeit gehandelt – und

damit Thermospuren erzeugt? Wie lange liegen diese Handlungen ungefähr zurück? Wie viele Personen dürften sich am Tatort aufgehalten haben?

Technische Einrichtungen, die mit einer Wärmebildkamera auf Thermospuren kurz zurückliegender Aktivitäten detektiert werden sollten, sind z. B. Lampen, insbesondere auch solche, die ausgeschaltet vorgefunden werden. Von Interesse sind aber auch Herde und die darauf befindlichen Töpfe, Kaffeemaschinen und Wasserkocher, Bügeleisen, Heizungen, Waschbecken und Badewannen mit Warmwasserzufuhr, ob mit Wasserbefüllung oder ohne, und alle anderen Gegenstände, die regelmäßig nur für eine kurze Zeit und aus akutem Anlass heraus benutzt werden. Solche wärmeerzeugenden Einrichtungen strahlen erheblich länger Wärme ab als Objekte, die durch Körperwärme erwärmt worden sind. In Waschbecken und Badewannen, die mit warmem/heißen Wasser befüllt wurden oder durch die erwärmtes Wasser durchgelaufen ist, zeigen nicht nur die Armaturen Wärmespuren, sondern auch die Becken und Wannen selbst, die mit dem Wasser in Berührung gekommen sind.

Kraftfahrzeuge

Die Benutzung von Kraftfahrzeugen bringt eine recht schnelle und starke Erwärmung bestimmter Bauteile mit sich. So wärmt sich der Motor bei der Fahrt zügig auf. Er strahlt seine Wärme ebenso schnell an die ihn umgebenden Bauteile, vor allem die Motorhaube und die Kotflügel, ab. Auch die Räder und hier insbesondere die Bremsscheiben zeigen nach einer Fahrt starke Erwärmungsspuren auf, die auch viele Stunden brauchen, bis sie wieder erkaltet sind und die Umgebungstemperatur erreicht haben. Dies kann bei Polizeieinsätzen vor allem dann hilfreich sein, wenn unauffällig festgestellt werden muss, welches Fahrzeug in einem kontrollierten Gebiet möglicherweise erst vor kurzem abgestellt worden ist. Hier lässt sich mit einer Wärmebildkamera im Rahmen einer unauffälligen und zügigen Vorbeifahrt an geparkten Fahrzeugreihen feststellen, welche Fahrzeuge relevant sein können und welche nicht. Ggf. lassen sich so auch gezielt Fahrzeuge detektieren, die für eine Observation infrage kommen. Nach Unfallfluchten lässt sich so wiederum auch schnell erkennen, ob ein fluchtverdächtiges Fahrzeug für einen kurz zurückliegenden Unfall überhaupt infrage kommt oder nicht.

Sonstige erwärmte Gegenstände

Bei einer Wärmebilddetektion können an einem Tatort auch solche Gegenstände von Interesse sein, die nur mittelbar durch den Betrieb technischer Einrichtungen erwärmt worden sind. Zu denken sei hier etwa an Tassen für Warmgetränke, an Kochtöpfe mit und ohne Inhalt, an Wärmflaschen, Thermoskannen etc. Auch sie können mit einer entsprechenden Wärmesignatur darüber Auskunft geben, dass innerhalb eines nachvollziehbaren Zeitraums noch eine Benutzung stattgefunden hat. Eine Mehrzahl von Trinkgefäßen kann aber auch über die Anzahl der Personen, die sich zu einer bestimmten Zeit an einem Tatort befunden haben, Auskunft geben. Bei der Wärmedetektion sollte jedoch nicht nur an Gegenstände gedacht werden, die besonders warm sind, sondern auch an solche, die eine – im Verhältnis zur Umgebungstemperatur – deutlich unterdurchschnittliche Temperatur aufweisen. Das kann z. B. bei Trinkgefäßen mit stark gekühlten Getränken der Fall. Auch eine Mindertemperatur im Verhältnis zur Umgebungswärme kann mit einer Wärmebildkamera gestellt werden.

Schusswaffengebrauch

Nach dem Gebrauch von Schusswaffen bei Gewaltdelikten tun sich nicht selten zwei Probleme auf. Zum einen müssen abgefeuerte Geschosse und Patronenhülsen als Beweismittel aufgefunden werden und zum anderen gilt es unter Umständen, eine weggeworfene Schusswaffe zu finden. Das Problem bei den Munitionsteilen besteht darin, dass sie besonders klein sind

und vor allem im Freien leicht für das menschliche Auge verloren sein können, weil sie sich optisch zwischen Steinen, Vegetation und Unrat nicht herausheben. Eine schnelle Detektion mit einer Wärmebildkamera kann in einem frühen Stadium des Geschehens zu einer schnellen Auffindung solcher Objekte führen, die für die weitere Tataufklärung von größtem Interesse sind. Auch eine in unübersichtlichem Gelände weggeworfene Schusswaffe, die kurz zuvor durch eine Schussabgabe stark erhitzt worden ist, ist für eine begrenzte Zeit thermografisch noch auffindbar. Für alle Thermospuren gilt jedoch: Die Spuren sind flüchtig und das Zeitfenster für eine erfolgreiche Auffindung eng. Es gilt also, zügig mit der Suche zu beginnen.

Todeszeitermittlung bei Leichen

Die sichere Feststellung, wann ein Mensch verstorben ist, spielt insbesondere bei vorsätzlichen Tötungsdelikten eine große Rolle. Wenn die Polizei am Leichenfundort erscheint, werden die Ermittler in aller Regel mit der Hand eine Fühlprobe nehmen, um festzustellen, ob sich die Leiche noch warm oder schon kalt anfühlt. Im günstigeren Fall wird ein Leichenthermometer mitgeführt, um die Temperatur zu messen. Dieses Vorgehen ist aber immer damit verbunden, dass an der Leiche manipuliert werden muss und möglicherweise durch das Abregnen von Hautschuppen, Haaren, Speichel und textilen Fasern vom Körper des Ermittlers Trugspuren gelegt werden. Die Feststellung der Leichentemperatur mittels Wärmebildkamera ermöglicht, solche Trugspuren zu vermeiden, da die Temperaturmessung aus einer größeren Entfernung vorgenommen werden kann. Einschränkend ist hier allerdings festzustellen, dass für die Feststellung des Todeszeitpunktes nicht die Oberflächentemperatur der Leiche, sondern deren Körperkerntemperatur maßgeblich ist. Hier bedarf es noch der Entwicklung eines Umrechnungsmodells, mit dem von der Körperoberflächentemperatur auf die Körperkerntemperatur geschlossen werden kann.

3. Wärmespuren als sonstige Hilfsmittel polizeilicher Arbeit

Im polizeilichen Einsatzgeschehen spielt die Suche nach Personen, die sich bewusst verbergen oder ungewollt in eine unwegsame Umgebung geraten sind, immer wieder eine Rolle. In diesen Fällen können Wärmebildkameras ebenfalls gute Hilfe leisten. Wird in geschlossenen, unübersichtlichen oder schlecht bzw. nicht beleuchteten Räumen (z. B. Werkshalle, Warenlager) nach Personen gesucht, die sich vor der Polizei verbergen, so besteht für die eingesetzten Beamten ein hohes Eigensicherungsrisiko, da sie von den verborgenen Personen überwältigt und verletzt werden können. Zumindest unter bestimmten Bedingungen lassen sich solche Personen mit einer Wärmebildkamera auffinden. Versteckt sich jemand hinter einem Vorhang, so wird er diesen Vorhang durch seine Körperwärmeabstrahlung aufheizen. In diesem Fall lässt sich ggf. die Silhouette der Person hinter dem Vorhang feststellen. Verbirgt sich die Person hinter stärker isolierendem Material wie etwa einer Tür, so stößt die Wärmebildkamera allerdings an ihre Grenzen und wird die Person wahrscheinlich nicht anzeigen, da die Tür einer starker Wärmeisolator ist und das Material Holz Wärme schlecht leitet. Verbirgt die Person sich allerdings so, dass ein geringer Ausschnitt ihres Körpers nicht durch isolierendes Material geschützt ist, so ist sie wieder auffindbar. So ist z. B. eine Person hinter einer Tür detektierbar, die im unteren Bereich Lüftungsschlitze aufweist. Durch die Schlitze hindurch wird die Thermografiekamera die Körperwärme erfassen. Doch nicht nur Personen, die sich vor einem polizeilichen Zugriffe verbergen wollen, sondern auch solche, die in unwegsamer Umgebung in Not geraten sind, können durch ihre Körperwärmeabstrahlung gefunden und gerettet werden. Nicht immer steht ein Polizeihubschrauber mit einer Wärmebildkamera zur Verfügung und in bestimmten Umgebungen wäre er die Person aus der Höhe möglicherweise auch gar nicht wahrnehmbar.

Gute Erfolge zeigen Wärmebildkameras im Freien, wenn sich Personen in Sträuchern verbergen. Auch dort, wo die Person mit bloßem Auge nicht mehr erkennbar ist, kann die Wärmebildkamera sie durch Lücken im Laubwerk hindurch sichtbar machen und die Konturen so gut nachzeichnen, dass sich für den Benutzer der Kamera kein Zweifel ergibt, dass sich in dem Gebüsch eine Person versteckt. Auch bei der Suche nach gefährlichen Tieren kann sich eine Wärmebildkamera bewähren. Immer wieder führt das Entweichen von giftigen Schlangen, Großspinnen oder anderen Tieren zu umfangreichen Suchaktionen, bei denen unter Umständen ganze Mehrfamilienhäuser für längere Zeit evakuiert werden müssen, um die Tiere zu finden und die Gefahr für die Gebäudebenutzer zu beheben. Da auch Tiere Körperwärme abstrahlen, kann auch hier der Einsatz von Wärmebildkameras angezeigt sein.

Eine Feststellung von Wärmestrahlungen findet an Tatorten immer wieder durch das Befühlen mit der bloßen Hand des Ermittlers statt. An einer Motorhaube eines Autos wird geprüft, ob sie noch warm ist und damit die vorherige Benutzung eines Wagens festgestellt werden kann. Am Körper einer Leiche wird die Temperatur erfühlt, um festzustellen, ob der Tod möglicherweise schon länger oder aber noch nicht so lange zurückliegt. Diese rein haptische Erfahrung von Wärme ist aber zu ungenau und lässt, anders als mit einem Thermometer oder der wärme-visualisierenden Thermografiekamera, keine objektive und exakte Feststellung eines Wärmewertes zu. Auch ist die Frage, ob ein Objekt oder eine Masse durch Befühlen als warm oder kalt wahrgenommen wird, davon abhängig, welchen Reizen die Nerven, mit denen Wärme erfühlt wird, zuvor ausgesetzt waren. Halten wir unsere Hand eine Zeitlang in einen Kübel mit Eiswasser, so wird sich ein Trinkglas, das wir danach aus dem Schrank nehmen, warm anfühlen. Haben wir mit derselben Hand stattdessen zuvor eine heiße Wärmflasche gehalten, so empfinden wir dasselbe Glas als kalt.³

4. Derzeitige Arbeitsgebiete von Wärmebildkameras

Bevor nachfolgend die Ergebnisse einer Studie zu Thermospuren vorgestellt werden, soll noch kurz der Blick darauf gerichtet werden, wo die Instrumente, die bei der Detektion und der Sicherung von Thermospuren benötigt werden, jetzt schon zum Einsatz kommen.

Wärmebildkameras haben bereits in einer frühen Phase ihrer Nutzung Verwendung für militärische Zwecke gefunden. Dieser Verwendungszweck besteht auch heute noch. Jeder kennt Fernsehbilder, die die Detektion von wärmeabstrahlenden Objekten wie Gebäuden oder Panzern aus einem Flugzeug heraus und deren anschließende Bombardierung zeigen. Ein wichtiges Einsatzgebiet für solche Kameras ist auch die Gebäudethermografie, die heute zur Feststellung von Wärmeverlusten an Wohn- und Gewerbebauten zum Einsatz kommen und mit deren Hilfe thermische Schwachstellen gefunden werden sollen. Zum Einsatz kommen Wärmebildkameras auch in der Medizin, indem etwa Entzündungsherde im Körper lokalisiert und für therapeutische Zwecke kartografiert werden können.⁴ Weitere Einsatzgebiete sind auch die Fehlersuche an technischen Geräten – hier können etwa überhitzte, von Kurzschluss oder Schmorbrand bedrohte Bauteile festgestellt werden⁵ – oder auch die moderne Kraftfahrzeugtechnik, mit der Hindernisse wie Menschen oder Tiere auf der Fahrbahn frühzeitig registriert und automatische Bremsungen eingeleitet werden können. Aber auch in der Luft- und Raumfahrttechnik, in der chemischen Industrie oder in der Geologie finden derartige Kameras heute ihre Verwendung.

³ Stuart et al. (2010), S. 87.

⁴ Roman, Jean-Philippe (2010), S. 40.

⁵ FLIR Systems Inc. (Hrsg., 2011), S. 81 f.

Bei der Polizei im In- und Ausland werden Wärmebildkameras schon seit etlichen Jahren in Einsatz-Hubschraubern und -flugzeugen eingesetzt. Benötigt werden sie regelmäßig bei der Suche nach vermissten oder flüchtigen Personen. Da Menschen im Freien zumeist eine Temperatur abstrahlen, die sich von ihrer Umgebung abhebt, sind sie in den Displays von Wärmebildkameras gut zu erkennen, so dass am Boden operierende Polizeikräfte von den Besatzungen der Maschinen gezielt zu den gesuchten Personen dirigiert werden können. Eine weitere Verwendung finden Wärmebildkameras seit wenigen Jahren im kriminaltechnischen Bereich. Dabei geht es in aller Regel darum, auf bestimmten Objekten wie Textilien latentes Blut sichtbar zu machen, das mit bloßen Auge nicht zu erkennen ist, weil etwa die Oberfläche der Spurenräger dunkel ist oder ein unruhiges Muster hat, das das Auffinden von Blutspuren ohne Hilfsmittel nicht erlaubt. Zur Detektion solcher Spuren wird Wasserdampf in den Spurenräger eingebracht, um die dadurch beeinflusste Infrarotstrahlung der Spuren, die sich nun von der des Spurenrägers unterscheidet, zu erkennen. Eine Nutzung von Wärmeabstrahlungen als Tatortspuren zur Rekonstruktion von Geschehensabläufen findet nach Feststellung des Verfassers dieses Aufsatzes bislang aber nicht statt.⁶ In dieser Möglichkeit wird allerdings eine neue Chance gesehen, Straftaten in ihren Abläufen nachvollziehbar zu machen, sie aufzuklären und die Täter dadurch zu überführen.

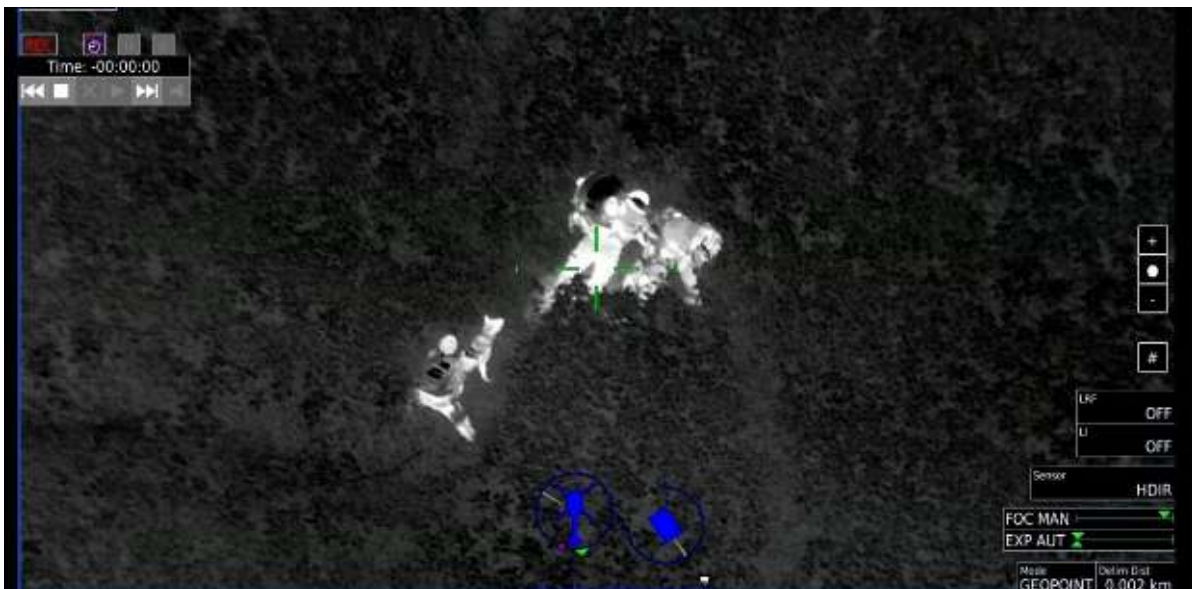


Abb. 1. Ein flüchtiger Motorradfahrer, der sich liegend in einem Gebüsch verborgen hat, ist von einer Wärmebildkamera aus einem Polizeihubschrauber heraus erfasst worden. In der Bildmitte erkennt man den Gesuchten. Das Visier seines Helms hat offensichtlich eine stark isolierende Wirkung, da in diesem Bereich kaum Wärme abgestrahlt wird. Links unterhalb des Mannes steht ein Polizeidiensthundeführer mit seinem Tier, rechts neben dem Mann beugt sich ein zweiter Polizeibeamter zu ihm herunter (Quelle: LZPD NRW)

⁶ Die Forschung auf diesem Gebiet ist weltweit bisher gering. So befasste sich eine niederländische Studie mit der Detektion von Blut-, Speichel-, Sperma- und Urinspuren mit Wärmebildkameras (Edelman et al. (2013)). Eine Untersuchung von Xu et al. (2020) richtete sich auf Wärmeabstrahlungen von Fußspuren. Matzdorf und Reußner (2021) stellen in einem Aufsatz in der Zeitschrift „Kriminalistik“ eine Untersuchung vor, in der sie der Frage nachgegangen sind, welche Arten von Wärmespuren Menschen an Tatorten zurücklassen und wie lange diese Spuren nachweisbar sind (Matzdorf et al. (2021)).

5. Experimentelle Erforschung von Wärmespuren – die Ergebnisse einer Untersuchung

Der Verfasser dieses Artikels ist der Frage, unter welchen Umständen Thermospuren erzeugt werden und wie lange der Wärmeabfluss dauert, experimentell nachgegangen. Ein führender Hersteller von Wärmebildkameras, die Fa. FLIR Systems, hat dem Verfasser zwei Monate lang zwei Kameras für seine Versuche zur Verfügung gestellt. Es handelte sich dabei ein Gerät des Typs E6 sowie eine Kleinkamera im Pocketformat des Typs C5. Die Mehrzahl der Experimente wurde mit dem Kameratypen E6 durchgeführt. Nur zu Vergleichszwecken wurde bei einigen Versuchen auch das Modell C5 eingesetzt. Um hier dem Ergebnis schon vorzugreifen: Auch mit der kleineren und preiswerteren Kamera (ca. 600 Euro) wurden gute, für den forensischen Zweck brauchbare Ergebnisse erzielt. Die größere Kamera E6 wird in der Preisklasse um 2.000 Euro herum gehandelt. Auch mit noch kleineren Geräten, bei denen es sich um Smartphone-Aufsätze handelt und die mit einer App betrieben werden (Kosten ca. 200 Euro), werden nach Matzdorf und Reußner gute Ergebnisse erzielt.

Bei den Versuchen wurden Situationen simuliert, wie sie auch an Tatorten angetroffen werden können. So wurden Warmwasserhähne von Handwaschbecken benutzt, Kaffee in Kaffeemaschinen gekocht und in Steinguttassen eingefüllt, auf Sitzflächen, Gehflächen und Betten wurden Körperwärme übertragen und genauso wurden Kraftfahrzeuge benutzt oder Personen, die sich versteckt haben, detektiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden in einer größeren Arbeit zusammengefasst und können dort nachgelesen werden.⁷ Hier sollen nur einige wenige Versuche mit einer kleinen Auswahl von Thermografieaufnahmen vorgestellt werden, um dem Leser eine ungefähre Vorstellung davon zu geben, was mit einer Wärmebildkamera festgestellt werden kann. Nachfolgend werden die Benutzung eines Handwaschbeckens, eines Kochtopfes auf einem Herd, die Befüllung einer Kaffeetasse, die Benutzung eines Bettes sowie die Messung von Fußspuren und die Erkennung einer verborgenen Personen dokumentiert. Grundlegende Feststellungen der Messungen waren, dass

- sich die Intensität der Wärme an den betroffenen Objekten sukzessive abbaut
- konzentrierte Wärmespuren sich nach und nach diffus auf ihre Umgebungen verteilen, da sie diese mit aufwärmen und dass
- sich Körperwärmespuren deutlich schneller abbauen als Wärmespuren, die durch die Benutzung technischer Geräte erzeugt worden sind. Körperwärmespuren verloren sich in einem Zeitrahmen von wenigen Minuten bis hin zu einer Stunde. Wärmesignaturen an technischen Einrichtungen waren zwischen einer Stunde und zum Teil sogar bis zu halben Tagen sichtbar zu machen.

Die Versuche im Einzelnen, zu denen nachfolgend Thermografie-Aufnahmen gezeigt werden:

Versuch 1: Benutzung Handwaschbecken

In ein Handwaschbecken wird ca. 61 Grad Celsius warmes Wasser einlaufen gelassen. Das Wasser wird nicht im Becken gesammelt, sondern läuft direkt in den Abfluss durch. Das Wasser wird ca. 15 sek. laufen gelassen und dann abgestellt. Fotografiert wurde während des Wasserlaufes und danach. 75 min. lang war eine deutliche Erwärmung des Wasserhahns und des Waschbeckens erkennbar. Die sichtbare Wärmeabstrahlung dürfte auch deutlich über diese Zeit hinaus bestanden haben. Das Experiment musste allerdings nach 75 min. aus organisatorischen Gründen abgebrochen werden.

⁷ Kawelovski (2021)

Versuch 2: Benutzung eines Kochtopfes auf einem Herd

Ein Kochtopf mit einem Fassungsvermögen von 3 Litern wird mit 2 Litern Wasser befüllt. Das Wasser wird zum Kochen gebracht und danach sofort abgeschaltet. Das Wasser wird im Topf belassen. Auch nach mehr als 12 Stunden zeigen sich an der Herdplatte und der Unterseite des Topfes deutliche Wärmeabstrahlungen. Auch dieser Versuch wurde nach 12,5 Stunden vorzeitig beendet. Die Wärmeabstrahlung dürfte auch deutlich über diese Zeit hinaus noch messbar gewesen sein.

Versuch 3: Befüllung Kaffeebecher

Drei Tassen werden in einem Abstand von 5-7 cm nebeneinander aufgestellt. Die linke Tasse wird bis 2 cm unterhalb des Randes mit kochendem Wasser befüllt und das Wasser wird in der Tasse belassen. In die mittlere Tasse wird kochendes Wasser gefüllt, aber sofort wieder ausgegossen. In die rechte Tasse wird kaltes Leitungswasser gefüllt und in der Tasse belassen. Nach Versuchsbeginn zeigen die linke und die mittlere Tasse deutliche Wärmeabstrahlungen, während die Wärmesignatur der Tasse mit dem kalten Wasser auf eine unterdurchschnittliche, also deutlich unter der Umgebungstemperatur liegende Temperatur hinweist. Die Erwärmung der linken Tasse, in der das heiße Wasser belassen wurde, zeigt auch nach vier Stunden noch eine erhöhte Wärmeabstrahlung. Bei der mittleren, geleerten Tasse verliert sich diese Abstrahlung nach etwa einer halben Stunde.

Versuch 4: Benutzung eines Bettes

Eine Versuchsperson verbringt 9 Stunden liegend auf einer Kaltschaummatratze. Unmittelbar nach dem Aufstehen werden die ersten Aufnahmen gemacht. Dabei sind die Konturen der Person deutlich erkennbar. An einer unterschiedlichen Intensität der Wärmesignaturen auf der Matratze ist auch ablesbar, dass die Person zuletzt in Rückenlage und zuvor in Seitenlage rechts war. Die Konturen der Person verlieren sich ungefähr nach einer halben Stunde, die Matratze zeigt allerdings auch nach einer Stunde noch eine deutliche, wenn nun auch diffuse Erwärmung.

Versuch 5: Fußspuren

Eine Versuchsperson steht 1 min. mit bestrumpften Füßen auf einem Fliesenboden. Die Spuren konnten nach 10 min. noch deutlich und nach 15 min. nur noch sehr schwach nachgewiesen werden.

Versuch 6: Versteckte Person in Gebüsch

Eine Person versteckt sich in einem Gebüsch, das eine Gesamttiefe von rund 6 Metern hat. Bei einer Positionierung 1,5 m von der Front des Gebüsches entfernt ist die Person trotz Belaubung des Gebüsches auf der Wärmebildkamera eindeutig in ihren Konturen zu erkennen. Obwohl gutes Tageslicht herrscht, ist die Person bei einem direkten Blick auf das Gebüsch nicht mehr zu erkennen. Mit zunehmend tieferer Positionierung der Person im Gebüsch ist die Person auf dem Display der Wärmebildkamera in ihren Konturen schlechter erkennbar, da sie jeweils von mehr Laub und Geäst, das die Infrarotstrahlung behindert, verdeckt ist. Bei einer Positionstiefe von 4,5 m sind auf dem Wärmebild nur noch wenige helle Flecken erkennbar, die nicht mehr zwingend als Person gedeutet werden müssen. Die Person trägt eine dunkle Hose und einen hellen Kapuzenpullover.

Fotos Versuch 1: Benutzung Handwaschbecken

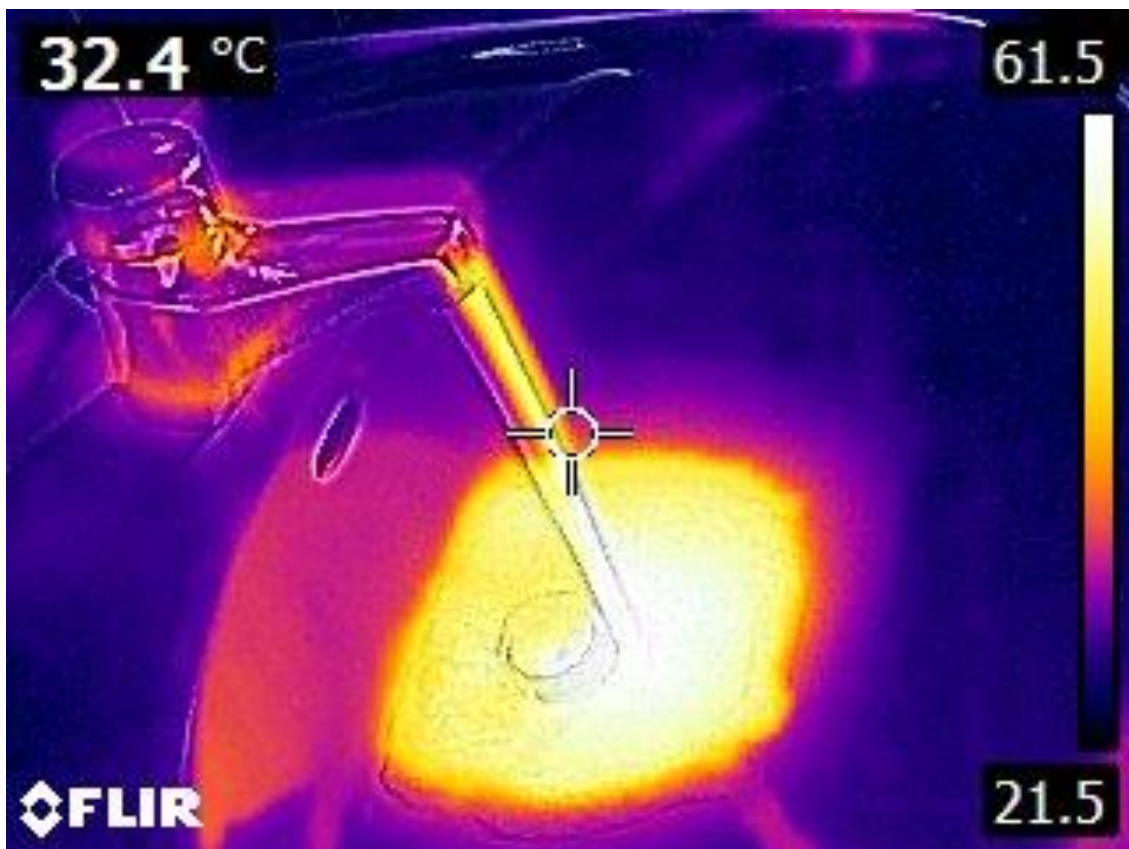


Abb. 2. Situation des Wassereinflusses.

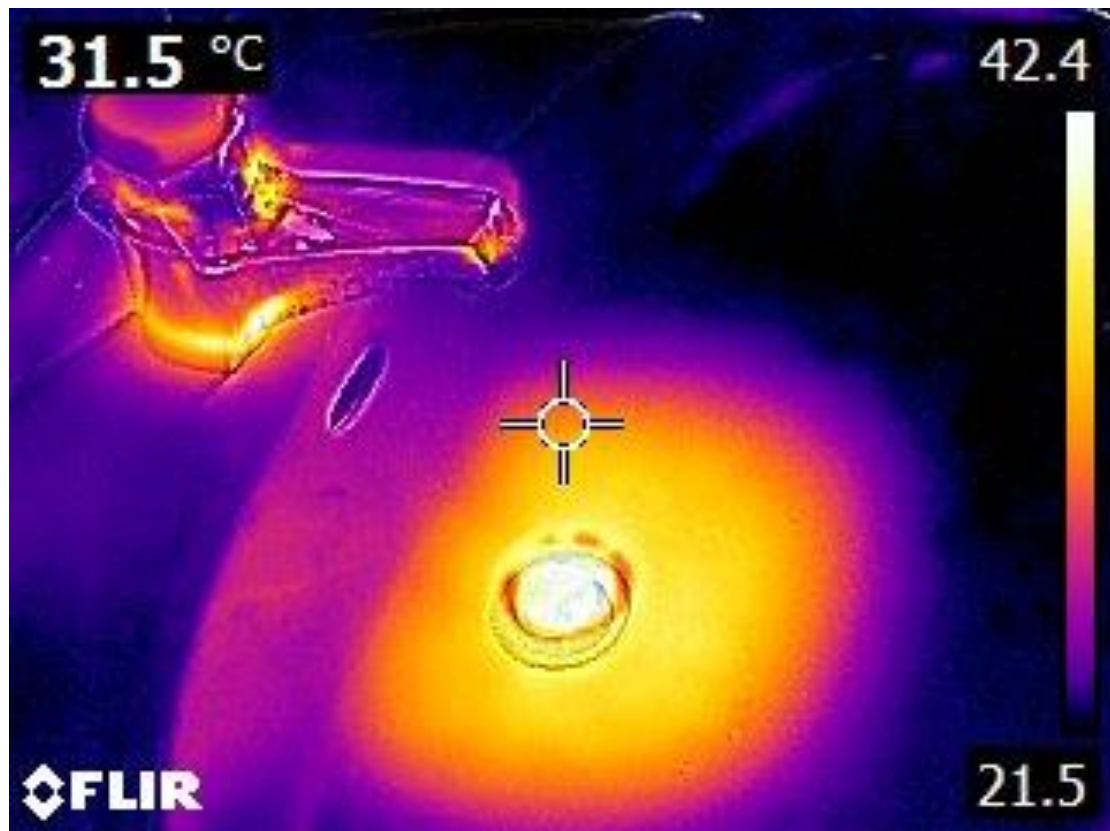


Abb. 3. Das Waschbecken 2 min. nach dem Abstellen des Wassers

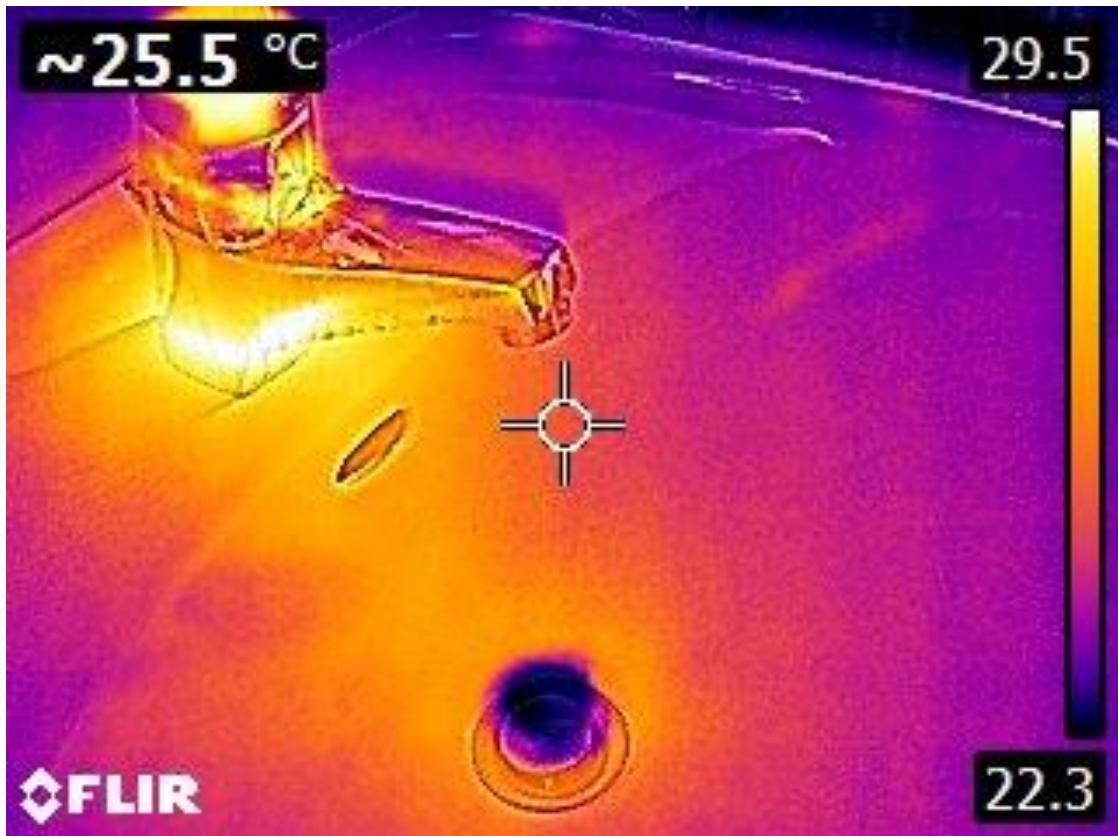


Abb. 4. Das Waschbecken 75 min. nach dem Abstellen des Wassers

Fotos Versuch 2: Benutzung eines Kochtopfes auf einem Herd

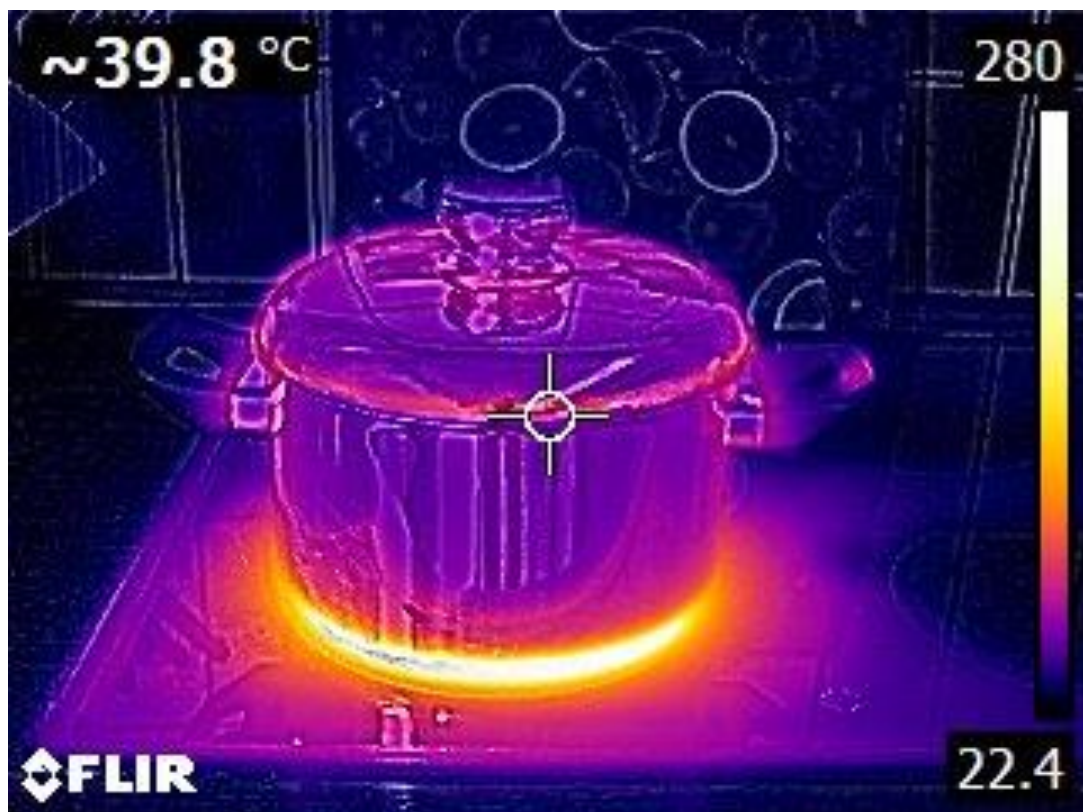


Abb. 5. Herd und Kochtopf 12 min. nach dem Ausstellen der Herdplatte

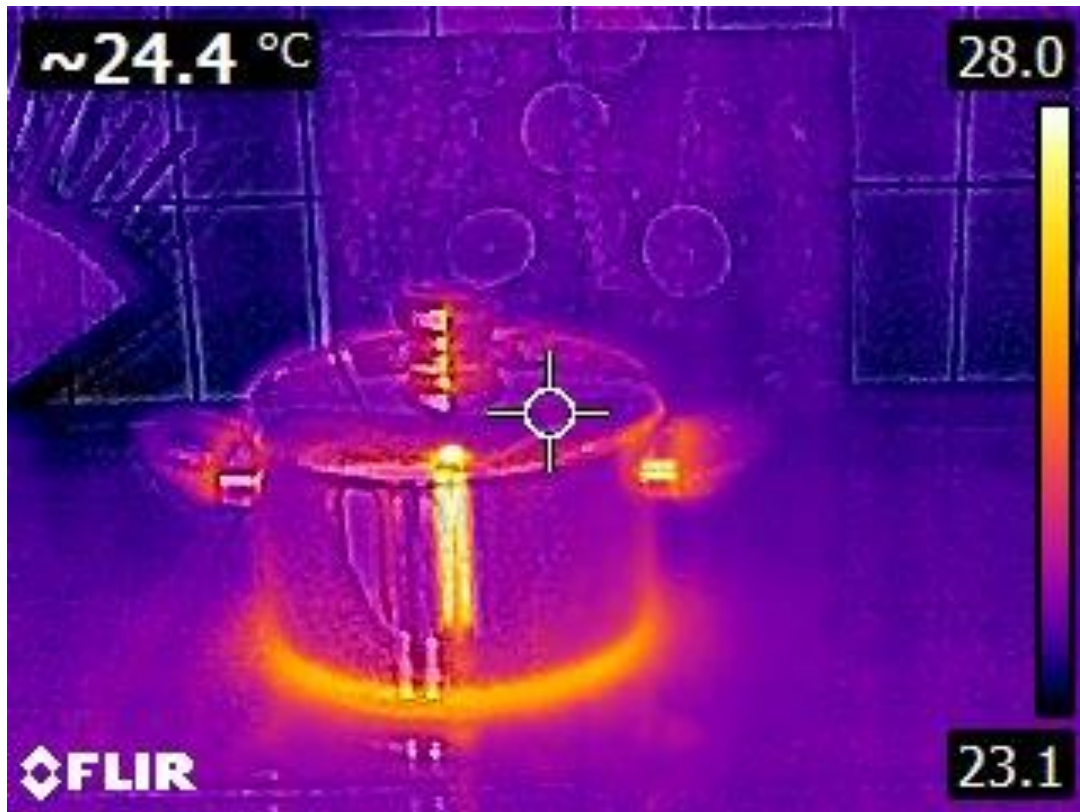


Abb. 6. Herd und Kochtopf mehr als 12 Stunden nach dem Ausstellen der Herdplatte

Fots Versuch 3: Befüllung Kaffeebecher

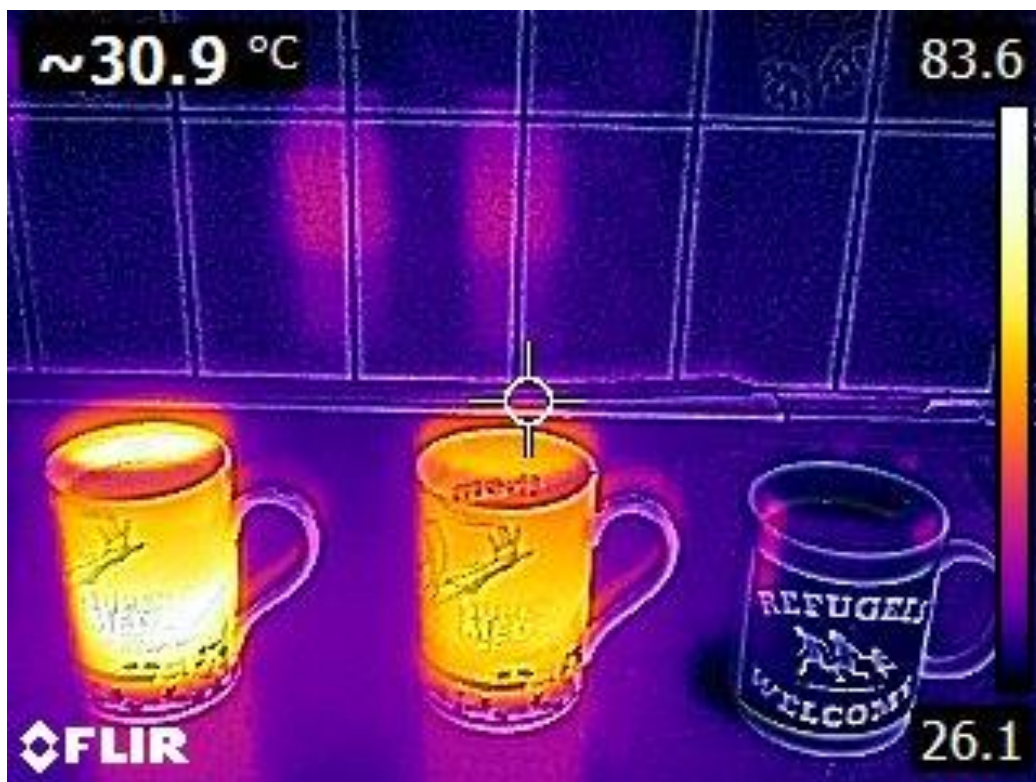


Abb. 7. Tassen unmittelbar nach Befüllung der beiden äußeren und Entleerung der mittleren Tasse

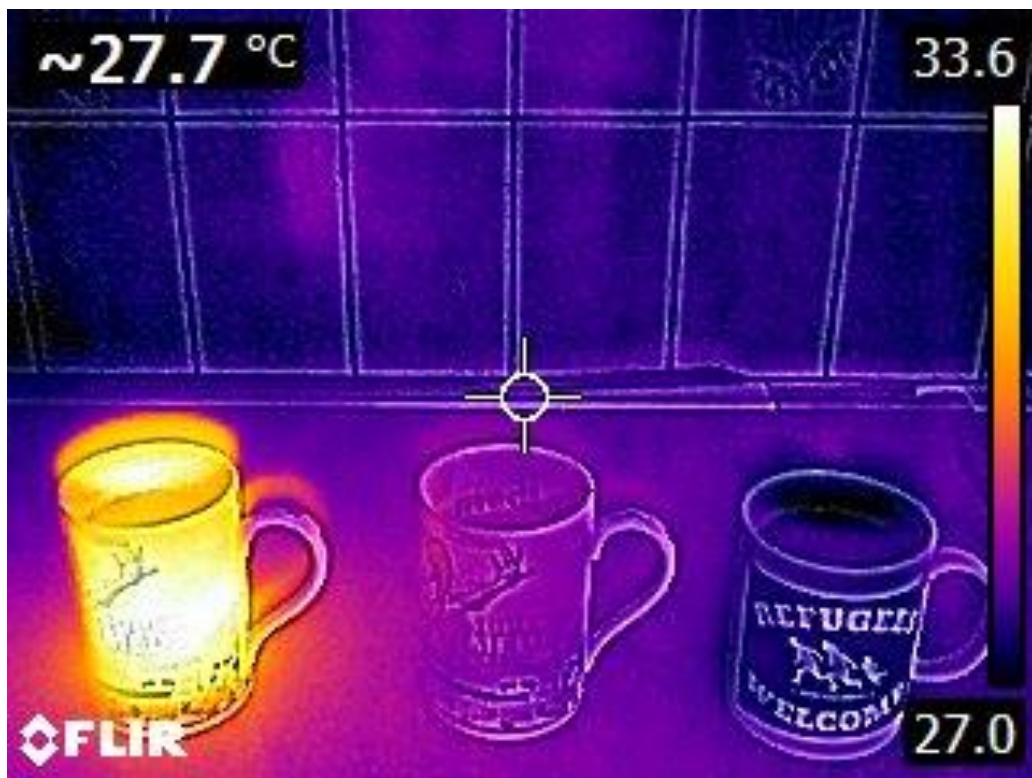


Abb. 8. Tassen nach 2 Stunden



Abb. 9. Die Tassen nach 4 Stunden

Fotos Versuch 4: Benutzung eines Bettes

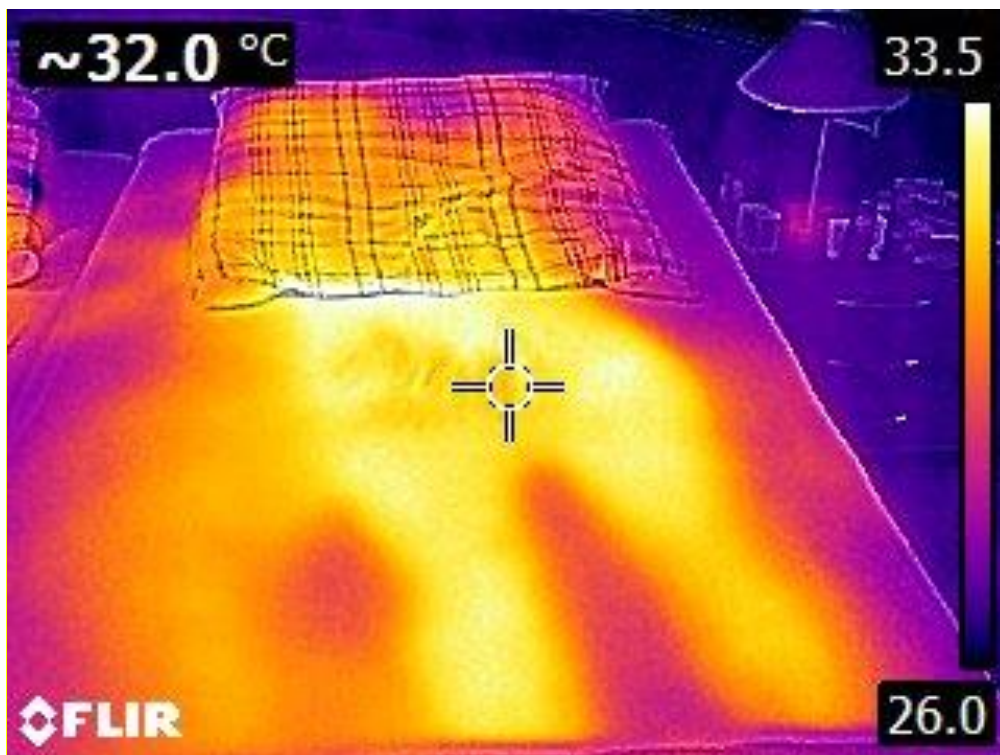


Abb. 11. Matratze unmittelbar nach dem Verlassen durch die Versuchsperson nach 9 Stunden Liegezeit. Es sind zwei verschiedene Liegespuren erkennbar und zwar die Rückenlage als letzte Position (starke Wärmeabstrahlung) und die vorherige Seitenlage (schwächere Wärmeabstrahlung)

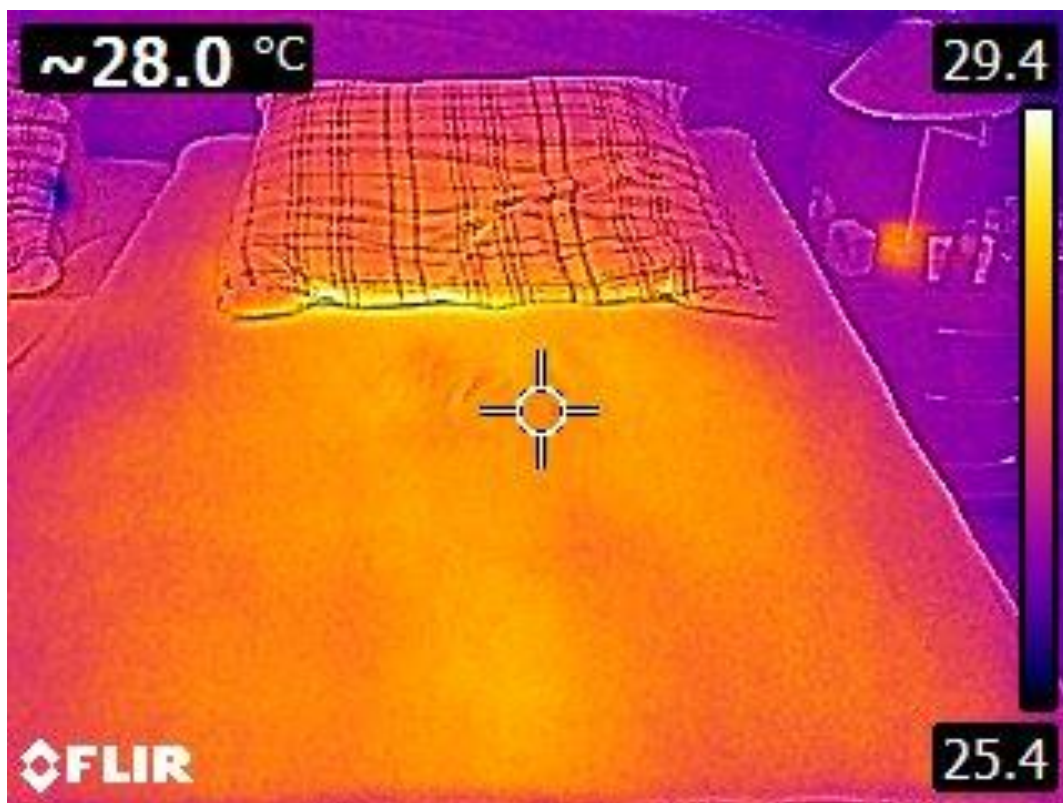


Abb. 10. Die Matratze 30 min. nach Verlassen der Liegefläche. Die Konturen der Person sind noch schwach erkennbar.

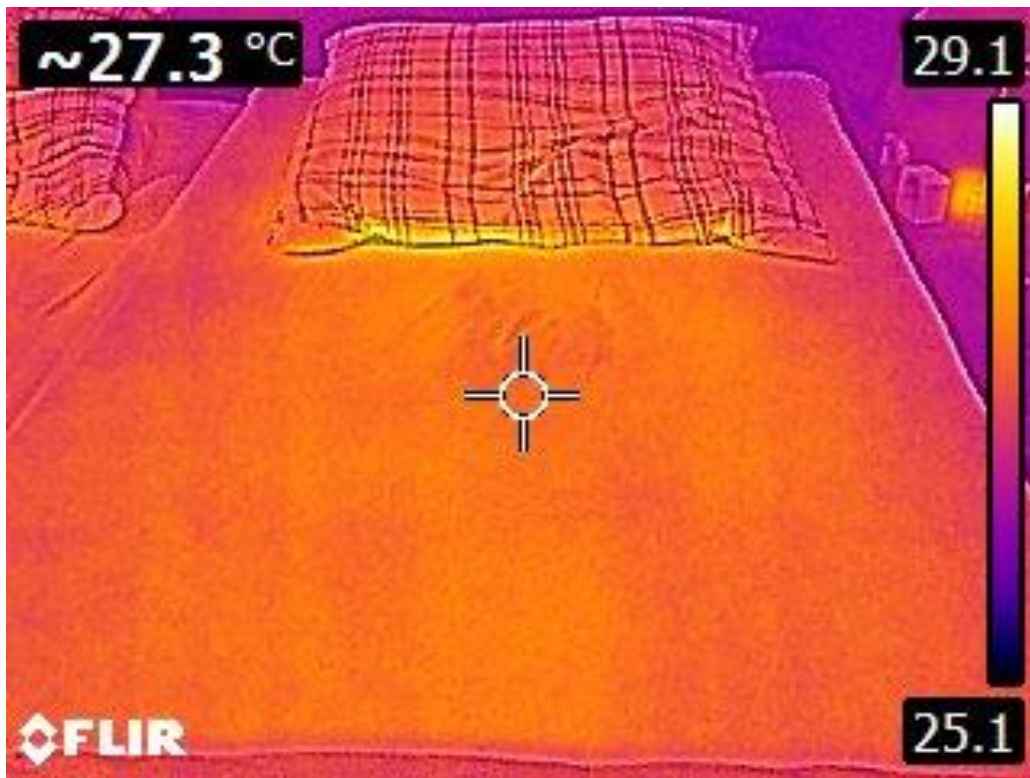


Abb. 12. Die Matratze nach 60 min. Es ist jetzt eine diffuse Erwärmung der Fläche erkennbar, allerdings sind die Konturen der Versuchsperson nicht mehr nachzuvollziehen.

Fotos Versuch 5: Fußspuren

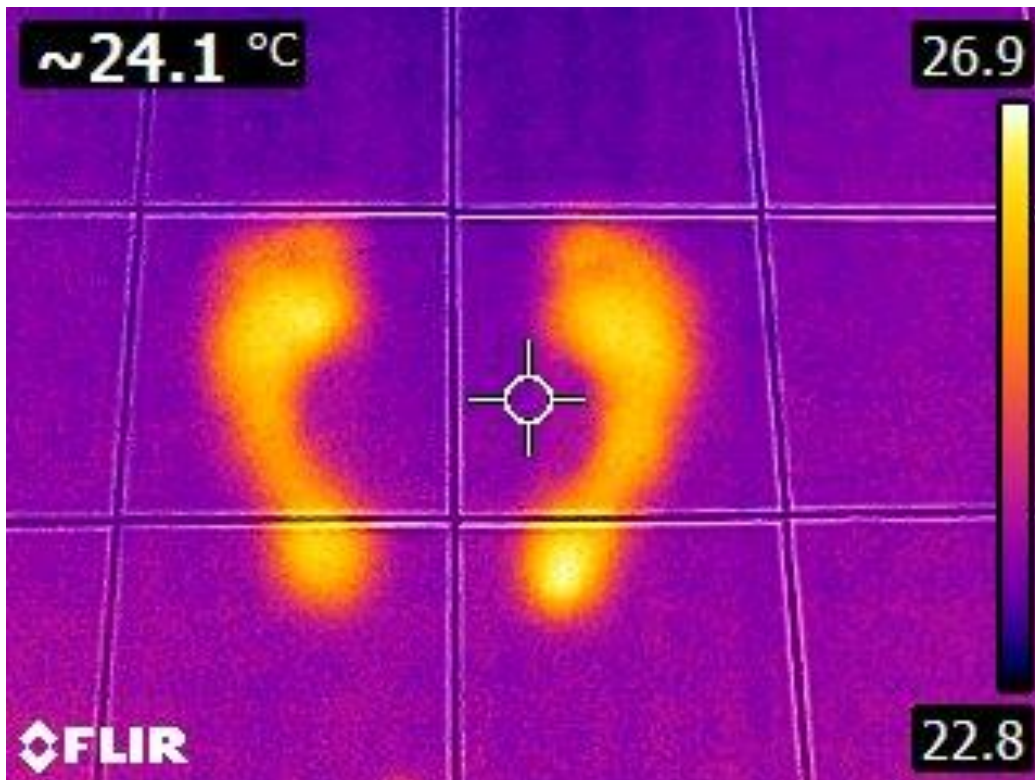


Abb. 13. Standfläche unmittelbar nach dem Verlassen durch die Versuchsperson

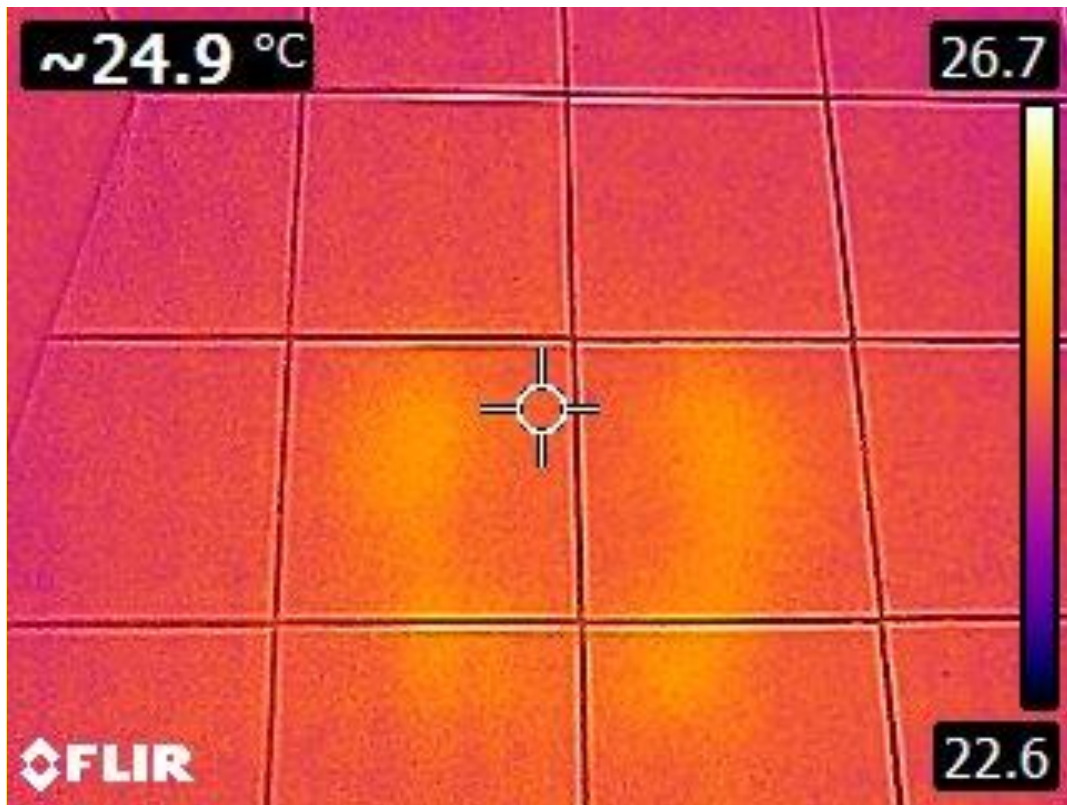


Abb. 14. Standfläche nach 10 min.

Versuch 6: Versteckte Person in Gebüsch



Abb. 15. Unverdeckte Person vor Gebüsch (Normalaufnahme)



Abb. 16. Person im Gebüsch. 1,5 Meter von der Front entfernt (Normalaufnahme)

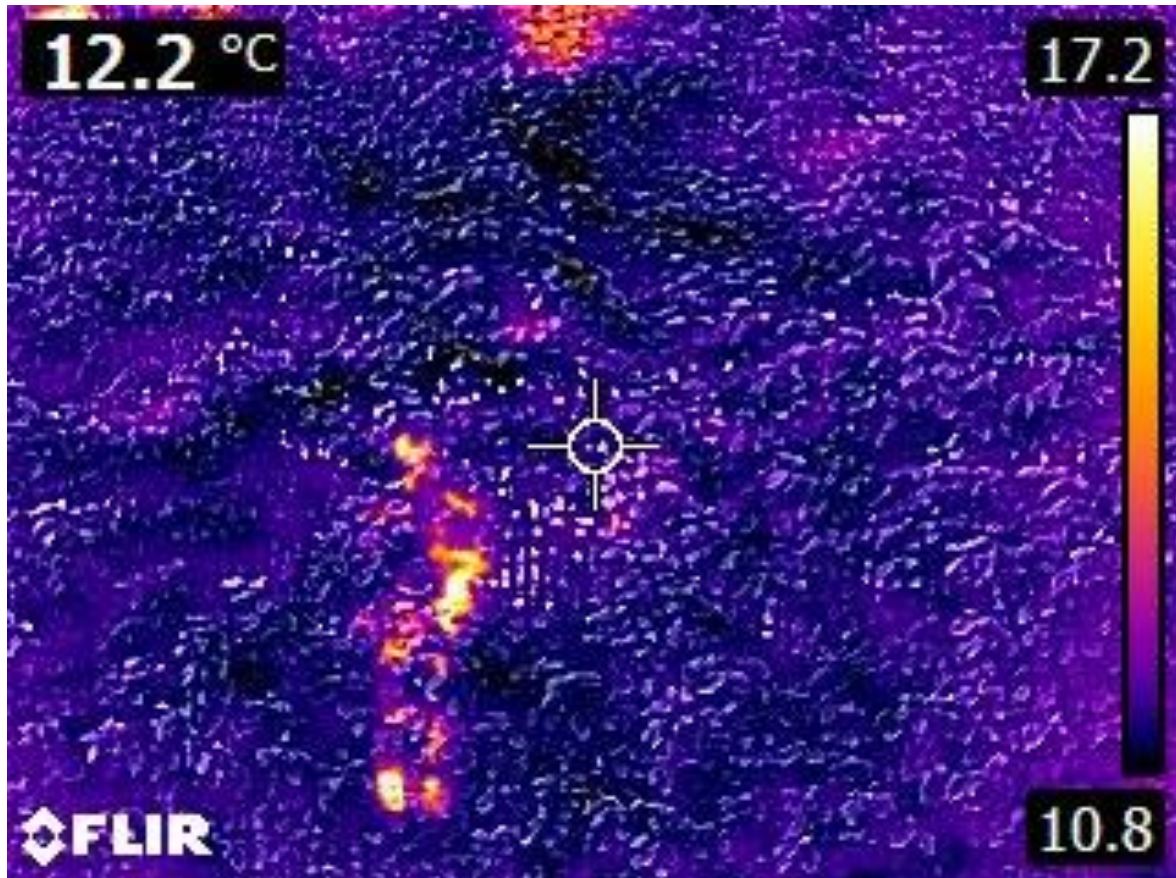


Abb. 17. Person im Gebüsch. 1,5 Meter von der Front entfernt (Wärmebildaufnahme)

Hier einige Messwerte der Versuchsreihe im Überblick:

Objekt	Dauer der Wärmeeinwirkung	Beginn der Wärmemes- sung	Maximale Er- wärmung auf der Objekt- oberfläche bei Messbe- ginn	Maximale zeitli- che Sichtbarkeit der Thermospur
Sitzfläche Kunstleder- couch	5 min.	nach dem Auf- stehen der Testperson	34,1° C.	13 min.
Stehspur Fliesenboden bestrumpft	2 min.	nach Verlassen der Fläche	26,9° C.	15 min.
Stehspur Tep- pich beschuht	1 min.	nach Verlassen der Fläche	24,5° C.	< 2 min.
Stehspur im Freien be- schuht	1 min.	nach Verlassen der Fläche	15,3° C.	3 min.
Stehspur im Freien be- schuht	2 min.	nach Verlassen der Fläche	14,5° C.	4 min.
Liegespur Kaltschaum- matratze	9 Std.	nach Verlassen des Bettes	33,5° C.	ca. 60 min.
Greifspur Küchenmesser	1 min.	nach dem Los- lassen des Messers	31,4° C.	> 20 min.
Wasserhahn und Hand- waschbecken	90 sek.	nach Abstellen des Wasserzu- flusses	61,5° C.	> 75 min.
Tragen von Schuhen	30 min.	nach Ausziehen der Schuhe	29,9° C.	> 80 min.
In Hosenta- sche getragene Geldbörse	60 min.	nach entfernen der Geldbörse aus der Hosent- tasche	32,6° C.	> 33 min
Pkw-Benut- zung (Motor- und Reifen- wärme)	30 min.	nach Fahrt- ende	42,3° C. Mo- torhaube / ca. 30° C. Reifen	> 6,5 Std. Mo- torhaube / > 50 min. Reifen
Heizungs- wärme nach Abschaltung	Aufheizen auf Höchsttemperatur	nach Abschal- ten der Hei- zung	64,7° C.	> 3,5 Std.
Befüllte Bade- wanne	Ca. 10 min. (häf- tige Befüllung der Wanne)	nach Abstellen des Wasserzu- laufs	48,0° C.	> 7 Std.

Tassen mit heißem Wasser	1. Tasse Befüllung gelassen / 2. Tasse sofort ausgegossen	nach Befüllen der Tassen	83,6° C. bei 1. Tasse / ca. 50° C. bei 2. Tasse	> 6 Std. bei 1. Tasse / > 1 Std. bei 2. Tasse
Kochtopf mit kochendem Wasser auf Herdplatte	Wasser zum Kochen gebracht	nach Ausschalten der Herdplatte	280° C.	> 12 Std.
Benutztes Bügeleisen	Aufheizen auf Höchsttemperatur	nach Abschalten des Bügeleisens	215° C.	> 9 Std.
Benutzte Kaffeemaschine	Wasser gekocht und in Kaffeemaschine belassen	nach Durchlauf des heißen Wassers	69,7° C.	> 7 Std.
Metalllampe mit Glühbirne	5 min.	nach Ausschalten der Lampe	69° C.	ca. 30 min.

6. Fazit und Ausblick

Menschen lassen dort, wo sie sich aufhalten, Wärmespuren zurück. Sie erzeugen diese Spuren zum einen durch Übertragung von Körperwärme und zum anderen durch die Benutzung technischer Einrichtung. Wärmespuren haben den Nachteil, dass sie flüchtig sind und je nach Entstehung nur wenige Minuten bis hin zu etwa 12 Stunden messbar sind. Mit Wärmebildkameras lassen sich solche Spuren an Tatorten nicht nur messen, sondern auch so visualisieren, dass sie auch von ungeübten Personen erkannt werden können. Der Vorteil von Wärmespuren ist, dass sie über den Zeitpunkt ihrer Entstehung Auskunft geben können, mit Wärmebildkameras leicht zu finden sind und weder die Suche nach solchen Spuren noch deren Sicherung einer physischen Einwirkung auf den Spurenträger bedarf. Spurenträger werden im Rahmen der Spurensicherung also weder kontaminiert, noch verändert. Zudem sind Thermospuren auch unter ungünstigen Sichtverhältnissen oder sogar bei völliger Dunkelheit gut zu finden und zu sichern. Abgesehen von der Detektion von Thermospuren kann die Arbeit mit Wärmebildkameras bei der Polizei auch zu einer Erhöhung der Eigensicherung bei der Suche nach Personen beitragen und die Erfolgsaussichten bei der Suche nach flüchtigen oder vermissten Personen erheblich erhöhen.

Thermospuren spielen bisher bei der Tatortarbeit keine Rolle. Ihre Potentiale scheinen weder erkannt noch auserforscht zu sein. Ein Problem bei der Arbeit mit solchen Spuren ist, dass es bei den Polizeien einer ausreichenden Ausstattung mit Wärmebildkameras bedarf. Dies ist allerdings derzeit noch nicht der Fall. Auch bestehen noch viele offene Forschungsfragen zu diesem Thema, die durch weitere Studien, die über die des Verfassers hinausgehen, beantwortet werden müssten. Insbesondere wäre es hilfreich, Berechnungsmodelle für den Wärmeabfluss an verschiedenen Materialien zu entwickeln, um sichere Rückrechnungen auf den Entstehungszeitpunkt von Wärmespuren vornehmen zu können. Es dürfte sich allerdings lohnen, dem Phänomen der Thermospuren weiter nachzugehen und sie zukünftig in das Portfolio der Beweismittel zu implementieren. Hier wäre sicherlich eine Zusammenarbeit zwischen Kriminalisten und Physikern angezeigt. Es bleibt zu hoffen, dass der vorliegende Forschungsansatz von interessierten Stellen aufgegriffen wird.

Die gesamte Untersuchung ist in einem im Mai 2021 erschienenen Buch dargestellt:

Kawelovski, Frank, Thermospuren. Wärmeabstrahlungen als Tatortspuren und Hilfsmittel der Polizeiarbeit, Mülheim 2021, 124 S. , 127 Fotos, ISBN 978-3-9822560-1-6

Über den Autor: Frank Kawelovski, Polizeibeamter seit 1980, Dozent für Kriminalistik und Kriminaltechnik an der Hochschule für Polizei und öffentliche Verwaltung in Nordrhein-Westfalen seit 2014.

E-Mail: frank.kawelovski@hspv.nrw.de

Quellenverzeichnis

Fäßler, Andrea (2012)

Intraoperative Infrarot-Thermografie zur Erfassung der Hirnoberflächentemperatur bei Hirntumoroperationen, Dissertation, Rostock, Universität Rostock

Edelman, Gerda J.; Hoveling, Richelle J.M.; Roos, Martin; van Leeuwen, Ton G.; Aalders, Maurice C.G (2013)

Infrared Imaging of the Crime Scene: Possibilities and Pitfalls, Forensic Sci., Vol. 58, Nr. 5, S. 1156-1162

FLIR Systems Inc. (Hrsg., 2011)

Benutzerhandbuch FLIR Exx series, Wilsonville, FLIR Systems Inc.

InfrarotTec Systems. FLIR Distribution (o. J.)

Wärmebildtechnik für elektrische/mechanische Inspektionen, Ranstadt

Kawelovski, Frank (2021)

Thermospuren. Wärmeabstrahlungen als Tatortspuren und Hilfsmittel der Polizeiarbeit, Mülheim an der Ruhr, Kawelovski Eigenverlag

Matzdorf, Christian Friedrich; Reußner, Markus (2021)

Mobile Thermografie. Polizeiliche Einsatzmöglichkeiten mobiler Thermografiekameras, Kriminalistik, (75), 4., S. 233-238

Roman, Jean-Philippe (2010)

Bildverarbeitung in der Medizin. Digitalkameras etablieren sich in immer mehr medizinischen Applikationen, Optik und Photonik, Nr. 3, Oktober, S. 40-42

Stuart, Herbert A.; Klages, Gerhard (2010)

Kurzes Lehrbuch der Physik, 19. Aufl., Berlin, Heidelberg, Springer Verlag

Xu, Ziyi; Wang, Quchao; Li, Duo; Hu, Meghan; Yao, Nan; Zhai, Guantao (2020)

Estimating Departure Time Using Thermal Camera and Heat Traces Tracking Technique, Sensors, 20, 782, S. 1-22, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32023963/>, zuletzt eingesehen am 27.4.21