

# BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Nutzung von Wärmebildkameras zur  
Personensuche und Lageerkundung im  
Feuerwehreinsatz über größere  
Entfernungen

172

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,  
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,  
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung



Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,  
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,  
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Forschungsbericht Nr. 172

**Nutzung von Wärmebildkameras zur Personensuche  
und Lageerkundung im Feuerwehreinsatz über  
größere Entfernungen**

von

Dipl.-Phys. Friedrich Wienecke

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt

Heyrothsberge

November 2013

FA-Nr.: 77 (2/2012) IdF

ISSN 170-0060



# BERICHTS-KENNBLATT

1. BERICHTSNUMMER

172

2. TITEL DES BERICHTES (KURZ)

Nutzung von Wärmebildkameras zur Personensuche und Lageerkundung im Feuerwehreinsatz über größere Entfernungen

3. AUTOR(EN)

Dipl.-Phys. Friedrich Wienecke

4. DURCHFÜHRENDE INSTITUTION (NAME/ANSCHRIFT)

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt  
Biederitzer Straße 5

D-39175 Heyrothsberge

Direktor: Dr. rer. nat. Starke      Branddirektor

5. FÖRDERNDE INSTITUTION/AUFTRAGGEBER (NAME/ANSCHRIFT)

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, Arbeitskreis V,  
Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile  
Verteidigung

6. ABSCHLUSSDATUM

November 2013

7. FÖRDER-/ AUFTRAGS-NR.

77 (2/2012) IdF

8. SEITENZAHL

184

9. ABB.EN

100

10. TABELLEN/DIAGRAMME

27

11. LITERATURANGABEN

26

12. KURZFASSUNG

Wärmebildkameras sind ursprünglich für den Inneneinsatz und Nahbereichsanwendungen konzipiert worden. Hier kommen sie auch hauptsächlich zum Einsatz. Einsatzserfolge und Verfügbarkeit haben die Feuerwehren veranlasst, nach weiteren Einsatzmöglichkeiten außerhalb von Gebäuden und auch Fernanwendungen zu suchen. Der Fragestellung nach der Reichweite bzw. der Einsatzgrenze einer Wärmebildkamera kommt so eine wachsende Bedeutung zu. Sie kann weder mit Zahlen belegt, noch sonst wie befriedigend beantwortet werden. Die Thematik ist für den Feuerwehrbereich noch nicht wissenschaftlich untersucht worden.

Wärmebildkameras werden hinsichtlich ihrer Eignung für Fernanwendungen untersucht. Dabei steht die Suche nach vermissten Personen im Mittelpunkt. Hauptgegenstand der Arbeit ist die Bestimmung der Grenzreichweiten bzw. der Einsatzgrenze der Wärmebildkameras bei der Personensuche unter den unterschiedlichsten Einsatzbedingungen. Hierbei werden alle Einflussgrößen betrachtet, die auf die Reichweite Einfluss haben, das betrifft sowohl die Parameter der Kameras selbst als auch die Umgebungsbedingungen, die durch das Wetter, sowie Jahres- und Tageszeit im starken Maße bestimmt werden. Ebenso spielen die Eigenschaften des zu suchenden Objektes, die taktische Herangehensweise und nicht zuletzt das eingesetzte Personal eine wichtige Rolle. Es wurden gerätetechnisch bedingte Grenzreichweiten berechnet und den tatsächlich im Experiment ermittelten Ergebnissen gegenüber gestellt. In die Reichweitenuntersuchung wurden Kameramodelle verschiedener Hersteller mit einbezogen, um Leistungsunterschiede zu bestimmen und Grundanforderungen an die Gerätetechnik festlegen zu können. Zusätzlich zu den zahlreichen Basisversuchen am Boden wurden mögliche Einsatzvorteile durch den Einsatz von Drehleiter und Hubschrauber untersucht. Für die Feuerwehren sind die Ergebnisse in Form von Einsatzhinweisen aufbereitet worden.

13. SCHLAGWÖRTER

Wärmebildkamera, Fernanwendungen, Einsatzgrenze, Reichweite, Personensuche, Umgebungsbedingungen, Drehleiter, Hubschrauber, Experimente

14. VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

Dezember 2013



# INHALTSVERZEICHNIS

VERZEICHNIS DER BILDER .....	V
VERZEICHNIS DER TABELLEN.....	X
1    EINLEITUNG.....	1
2    AUSGANGSLAGE .....	5
2.1  Stand der Erkenntnisse aus Zeitschriften und anderen Medien ....	6
2.2  Arbeitsstand am IdF Sachsen-Anhalt .....	7
2.2.1  Ausgangsbasis.....	7
2.2.2  Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen .....	8
2.2.3  Bearbeitungsstand zur Reichweitenproblematik.....	9
2.3  Einsatzspektrum der Wärmebildkameras .....	11
2.3.1  Allgemeine Zustandsanalyse .....	11
2.3.2  Einsatz bei Fernanwendungen .....	12
2.4  Leistungsangebot der Kameratechnik .....	14
3    THEORETISCHE VORBETRACHTUNGEN .....	17
3.1  Umgang mit dem Begriff „Reichweite“ .....	17
3.2  Begriffsbestimmung Reichweite.....	18
3.3  Beeinflussung der Reichweite.....	20
3.3.1  Rolle der Kameraparameter.....	22
3.3.1.1  Bildaufösungen .....	22
3.3.1.2  Bildöffnungswinkel .....	24
3.3.1.3  Thermisches Auflösungsvermögen.....	26
3.3.1.4  Bildschirm und Speicherabbild.....	27
3.3.2  Objekteigenschaften .....	29

3.3.2.1	Objektgrößen .....	30
3.3.2.2	Objekttemperatur und thermischer Kontrast.....	30
3.3.2.3	Strahlungseigenschaften .....	32
3.3.2.4	Lage und Position .....	33
3.3.3	Meteorologische Bedingungen .....	33
3.3.3.1	Tag und Nacht .....	35
3.3.3.2	Nebel .....	37
3.3.3.3	Niederschläge.....	38
3.3.3.4	Luftdruck, Luftfeuchte und Windeinfluss.....	40
3.3.4	Personal und Einsatztaktik .....	41
3.4	Berechnungsgrundlagen.....	42
3.4.1	Bestimmung der Öffnungswinkel .....	42
3.4.2	Experimentelle Bestimmung der Öffnungswinkel .....	45
3.4.3	Bestimmung der Sichtfeldbreite.....	47
3.4.4	Berechnung der theoretischen Reichweite .....	48
4	EXPERIMENTELLE VORUNTERSUCHUNGEN (MESSKAMPAGNE1) .	51
4.1	Aufbau eines Versuchsstandes .....	51
4.2	Auswahl der Kamertechnik .....	53
4.3	Versuchsplätze mit größerer Reichweite .....	54
4.3.1	Künstliche Testobjekte.....	54
4.3.1.1	Kanister-Testobjekte.....	55
4.3.1.2	Testdummy .....	58
4.3.2	Natürliche Testpersonen.....	59
4.4	Erste Reichweitenbestimmungen .....	63
4.4.1	Stationäre künstliche Messobjekte .....	63
4.4.2	Personenläufe.....	66
4.4.2.1	Messtrecke „Gerader Deich“ .....	66



4.4.2.2	Messtrecke bei Nacht und Nebel .....	69
4.5	Test zur Auswahl der Kameras.....	70
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	72
5	REICHWEITENUNTERSUCHUNGEN (MESSKAMPAGNE 2).....	75
5.1	Bewertungsverfahren für Wärmebildkameras.....	76
5.1.1	Subjektive Betrachtungsweise .....	77
5.1.2	Objektive Bewertungen.....	78
5.1.3	Festlegungen .....	81
5.2	Experimentelle Basis .....	82
5.3	Reichweitenbestimmung für Bodeneinsätze.....	86
5.3.1	Versuchsaufbau und –durchführung.....	86
5.3.2	Versuchsergebnisse .....	87
5.4	Reichweitenuntersuchung vom Drehleiterfahrzeug .....	91
5.4.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung.....	91
5.4.2	Versuchsergebnisse .....	93
5.5	Reichweitenbestimmung bei Hubschraubereinsätze .....	99
5.5.1	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung.....	101
5.5.2	Versuchsergebnisse .....	105
5.6	Einfluss der Rahmenbedingungen auf die Reichweite .....	109
5.6.1	Kameratechnische Parameter .....	109
5.6.1.1	Bildauflösung .....	109
5.6.1.2	Sichtfeld .....	110
5.6.1.3	Temperaturauflösung.....	111
5.6.1.4	Bildschirm und Speicherabbild.....	112
5.6.1.5	Konzept der Kamerasteuerung.....	112
5.6.2	Umgebungsspezifische und meteorologische Bedingungen .....	114
5.6.2.1	Tag und Nacht .....	114

5.6.2.2	Bewölkung .....	116
5.6.2.3	Geländeprofile und Bewuchsformen.....	116
5.6.2.4	Niederschläge.....	119
5.6.2.5	Luftfeuchte und Nebel.....	120
5.6.2.6	Wind.....	121
5.6.3	Objekteigenschaften .....	121
5.6.3.1	Objektgröße .....	121
5.6.3.2	Thermischer Kontrast zum Hintergrund.....	125
6	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND DISKUSSION.....	129
7	EINSATZHINWEISE FÜR DIE FEUERWEHR .....	135
8	LITERATURVERZEICHNIS .....	141
ANLAGE A .....		A-1
ANLAGE B .....		B-1

## VERZEICHNIS DER BILDER

1	Zusammenstellung der bearbeiteten Themenbereiche .....	9
2	Einsatzverteilung von Wärmebildkameras.....	12
3	Handelsübliche Kameramodelle (Auswahl) .....	14
4	Einflussgrößen auf die Reichweite einer Wärmebildkamera .....	21
5	Vergleich verschiedener Detektorauflösungen .....	24
6	Vergrößerungen Bilder aus Abbildung 5.....	24
7	Das Sichtfeld einer Wärmebildkamera .....	25
8	Wirkung verschiedener Bildschirmgrößen .....	28
9	Einsatzvorteil bei Personensuche am Steinbruchsee.....	36
10	Suche nach Tieren.....	37
11	Extreme Wettersituation – Schneefall.....	39
12	Sommerlandschaft und Regen .....	40
13	Geometrische Verhältnisse an der Bildeingangsoptik .....	43
14	Versuchsaufbau zur Sichtfeldbestimmung .....	45
15	Sichtfeldbreite in Abhängigkeit der Entfernung.....	47
16	Berechnete „theoretische“ Reichweiten auf Basis der Öffnungswinkelangaben für ausgewählte Kameramodelle.....	49
17	Experiment Reichweitentest mit Einzelkanistern .....	52
18	Ausgewählte Abkühlungsverläufe der positionierten Kanister .....	53
19	Versuchsaufbau Kanister-Abkühlungskurve.....	56
20	Abkühlungsverlauf der Kanisteroberfläche .....	56
21	Messobjekt „Rechteck“ aus Einzel-Kanistern zusammengesetzt ....	57
22	Testobjekt „Kanistermann“ mit zehn Kanistern.....	57
23	Bekleidungsvariationen des „Thermoman“ .....	58
24	Thermografischer Vergleich „Thermoman“ – Person .....	59
25	Voll ausgestattete Versuchsperson .....	60
26	Konkrete Messorte auf der Oberfläche von Körper und Kleidung ...	60

27	Temperaturverläufe Abkühlung einer Person .....	61
28	Versuchsfeld für die Reichweitenversuche.....	63
29	Kanistermann-Versuche (Kamera mit 320 x 240 Pixel).....	64
30	Rechteck-Versuche (Kamera mit 160 x 120 Pixel).....	65
31	Versuchsstand „Gerader Deich“ .....	67
32	Reichweitendarstellung einer Testperson im Wärmebild.....	68
33	Versuchslauf bei Nacht und dichtem Nebel.....	69
34	Zusammenstellung Bilddarstellungen Kameravergleich.....	71
35	Stehende Person in 200 m Entfernung auf einem Feld (Bodenaufnahme) .....	77
36	Pixeldarstellung einer stehenden Person in 100 m Entfernung bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen.....	79
37	Gemittelte Pixelzahlen der einzelnen Versuche aus 1 .....	80
38	Pixeldarstellungen einer stehenden Person in 200 m Entfernung mit inhomogener Umgebung .....	80
39	Definierte Erkennungsreichweite nach Pixelkriterium am Boden ....	81
40	Definierte Wahrnehmungsreichweite nach Pixelkriterium (Drehleiter) .....	82
41	Mikroprozessor- Wetterstation.....	83
42	Aufzeichnung der Umgebungsbedingungen (Bodenversuch 5) .....	84
43	Aufzeichnung der Umgebungsbedingungen (Bodenversuch 15) ....	84
44	Temperaturmessung auf der Jackenoberfläche mit dem Handmessgerät .....	85
45	Aufbau des Messplatzes für die Bodenversuche.....	87
46	Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Bodenversuch 14 .....	88
47	Erkennungsreichweite Kamera 1 - Bodenversuch 5.....	88
48	Wahrnehmungsreichweite Kamera 2 - Bodenversuch 14 .....	89
49	Wahrnehmungsreichweite Kamera 3 - Bodenversuch 14 .....	89
50	Erkennungsreichweite Kamera 2 - Bodenversuch 8.....	89
51	Erkennungsreichweite Kamera 3 - Bodenversuch 8.....	90

52	Darstellung der Reichweiten für Bodeneinsätze aller Kameras.....	90
53	Versuchsaufbau und Versuchsmessstrecke – Drehleiterversuche 1-3 .....	92
54	Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Drehleiterversuch 3 (Höhe 20 m).....	95
55	Pixeldarstellung einer Person in 300 m Entfernung, Kamera 2 – Drehleiterversuch 3.....	95
56	Anzahl der Personenpixel im Zusammenhang mit der Entfernung von Kamera 2 - Drehleiterversuch 3 .....	96
57	Wahrnehmungsreichweite Kamera 3 - Drehleiterversuch 3 (Entfernung 300 m).....	97
58	Erkennungsreichweite Kamera 2 - Drehleiterversuch 2 (Höhe: 20 m).....	97
59	Erkennungsreichweite Kamera 3 - Drehleiterversuch 1 (Höhe: 20 m).....	98
60	Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Drehleiterversuch 2 (Höhe: 20 m).....	98
61	Pixeldarstellung einer Person in 100 m Entfernung - Kamera 1 (Drehleiterversuch 3) .....	98
62	Reichweiten von Drehleiterfahrzeugen aller Kameras.....	99
63	Hubschrauber Eurocopter BK 117 B-2 mit Star Safire HD .....	102
64	Versuchsplatz im Hubschrauber .....	103
65	Versuchsmessstrecke der Hubschrauberversuche .....	103
66	Messpositionen der Hubschrauberversuche .....	104
67	Pixeldarstellungen einer Person in 500 m - Kamera 1 (Hubschrauberversuch 1) .....	105
68	Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Hubschrauberversuch 3 (Höhe: 200 m).....	106
69	Pixeldarstellungen der 7 Messpunkte der Kamera 1 (Hubschrauberversuch 3) .....	106
70	Wahrnehmungsreichweite Kamera 2 – Hubschrauberversuch 3 (Höhe: 200 m).....	107
71	Pixeldarstellungen der 5 Messpunkte, Kamera 2 (Hubschrauberversuch 3) .....	107

72	Wahrnehmungreichweite Kamera 3 – Hubschrauberversuch 3 (Höhe: 100 m).....	108
73	Pixeldarstellungen aus den Wärmebildern der 5 Messpunkte - Kamera 3 (Hubschrauberversuch 3).....	108
74	Darstellung der Wahrnehmungreichweite aus Hubschraubern für alle Kameras.....	109
75	Vergleich theoretisch berechneter Reichweiten mit den im Experiment „Thermoman“ tatsächlich ermittelten Werten für verschiedene Kameras.....	111
76	Veränderung der Bildschärfe durch Unterschiede im Handling und der Bildschärfe am Beispiel der Kamera 3 (Bodenversuch 8)	113
77	Vergleich "Bloßes Auge" und Wärmebildkamera bei Nacht (Kamera 1 - Bodenversuch 4).....	114
78	Vergleich "Bloßes Auge" und Wärmebild bei Tag (Kamera 1 - Bodenversuch 12).....	115
79	Stehende Person in 200 m Entfernung auf ebenen Feld (Kamera 1 – Bodenversuch 12).....	117
80	Stehende Person in 200 m Entfernung auf unebenem Gelände (Bodenversuch 13) .....	117
81	Vergleich liegende Person in 60 m Entfernung auf einem Versorgungsweg und zwischen hohen Gräsern (Kamera 1 - Bodenversuch 8).....	118
82	Liegende Person hinter einem Busch an einem Versorgungsweg (Kamera 1 – Bodenversuch 4).....	118
83	Stehende Person in 200 m Entfernung in zwei Positionen am Rand eines Kanals (Kamera 3 – Bodenversuch 4).....	119
84	Im Nebel versinkende Messstrecke aus verschiedenen Höhen (Drehleiterversuch 2) .....	120
85	Größenvergleich beider Testpersonen auf einem Versorgungsweg im Realbild (Bodenversuch 8).....	122
86	Wärmebildvergleich der Personen in 100 m mit Kamera 1 (Bodenversuch 8) .....	123
87	Wärmebildvergleich mit stehender und liegender Person (Kamera 2 – Bodenversuch 8).....	124
88	Wärmebildvergleich stehende und liegende Person (Kamera 1 – Drehleiterversuch 1) .....	124

89	Wärmebildvergleich Maximal- und Minimaltemperaturdifferenz – Kamera 1 .....	127
90	Gesamtübersicht der experimentell ermittelten Reichweiten .....	132
91	Wärmebildaufnahmen einer stehenden Person in 500 m Entfernung – Kamera Star Safire HD mit Zoom-Optiken (Höhe: 300 m) .....	135
A.1	Abkühlungsverlauf einer Person II (im Februar) .....	A-11
A.2	Abkühlungsverlauf einer Person III (im Januar) .....	A-11
A.3	Unterschiede in den Bilddarstellungen der Kameras unter gleichen Bedingungen in verschiedenen Entfernungen .....	A-12
B.1	Darstellung der Personenpixel in 100 m und 200 m Entfernung - Kamera 1 .....	B-4
B.2	Darstellung der Personenpixel in 100 m und 200 m Entfernung - Kamera 2 .....	B-5
B.3	Handlungsablaufschemata für Feuerwehren .....	B-6
B.4	Versuchsreihenvergleich stehende Person und liegende Person – Kamera 1 (Versuch 4) .....	B-7
B.5	Versuchsreihenvergleich stehende Person - Bodenversuch 14 .....	B-8
B.6	Versuchsreihenvergleich stehende Person - Drehleiterversuch 3 (Höhe: 20 m) .....	B-9

## VERZEICHNIS DER TABELLEN

1	Detektorformate für Feuerwehr-Wärmebildkamas -Stand 2013.....	23
2	Sichtfeldabmessungen [cm] .....	46
3	Experimentell bestimmte Sichtfeldwinkel [°].....	46
4	Kameramodelle mit ausgewählten Daten.....	54
5	Versuchsbedingungen Freilanduntersuchung 4 .....	66
6	Versuchsdaten Versuchsgang „Nacht und Nebel“ .....	70
7	Anzahl der Personenpixel der einzelnen Versuche - Kamera 1 .....	79
8	Versuchsbedingungen der einzelnen Drehleiterversuche .....	93
9	Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Drehleiterversuch 1 ..	93
10	Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Drehleiterversuch 2 ..	93
11	Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Drehleiterversuch 3 ..	93
12	Versuchsbedingungen der einzelnen Hubschrauberversuche	101
13	Oberflächentemperaturen des Messobjektes – Hubschrauberversuch 1 .....	105
14	Oberflächentemperaturen des Messobjektes – Hubschrauberversuch 2 .....	105
15	Oberflächentemperaturen des Messobjektes – Hubschrauberversuch 3 .....	105
16	Maximaltemperaturdifferenz aller Bodenversuche (Bodenversuch 5) .....	127
17	Minimaltemperaturdifferenz aller Bodenversuche (Bodenversuch 13) .....	127
18	Faktoren für den Wärmebildkameraeinsatz im freien Gelände	136



A.1	Zusammenstellung der Firmen-Angaben zu den Sichtfeldern (FOV) aller auf dem deutschen Markt angebotener Wärmebildkamas (Stand Anfang 2012). Die Angaben der hinterlegten Spalte wurden entsprechend den Vorgaben aus 3.4.1 berechnet.....	A-1
A.2	Sichtfeldgröße in Abhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 1 von 2) .....	A-3
A.3	Sichtfeldgröße in Abhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 2 von 2) .....	A-5
A.4	Abbildungsgröße eines einzelnen Bildpunktes (Pixel) in Abhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 1 von 2).....	A-7
A.5	Abbildungsgröße eines einzelnen Bildpunktes (Pixel) in Abhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 2 von 2).....	A-9
B.1	Eingesetzte Wärmebildkamas in den einzelnen Freilandversuchen .....	B-1
B.2	Objektentfernungen und Umgebungsbedingungen der einzelnen Bodenversuche.....	B-2
B.3	Anzahl der Pixelpunkte in den jeweiligen Entfernungen und unterschiedlichen Höhen der einzelnen Drehleiterversuche – Kamera 1 .....	B-3
B.4	Umgebungstemperaturen aller durchgeführten Bodenversuche	B-3



# 1 EINLEITUNG

Wärmebildkamas sind populär und haben sich einen festen Platz im Ausrüstungsbestand der Feuerwehren erobert. Sie stehen seit Mitte der 1990er Jahre den Feuerwehren in Deutschland zur Verfügung und haben seitdem einen rasanten Entwicklungsweg zurückgelegt. Auf der Interschutz-Feuerwehrmesse 1995 in Hannover wurde mit der englischen Kamera ARGUS die erste Wärmebildkamera für Feuerwehranwendungen vorgestellt. Bald darauf entwickelte sich ein regelrechter Beschaffungswettbewerb, der bis heute anhält und gegenwärtig noch an Dynamik zugelegt hat.

Die erste Kamera wurde treffend als „Rauchsichtgerät“ für den Innenangriff angeboten, denn hier bestand das große Übel, Einsatzhandlungen unter starker Verrauchung und enormer thermischer Belastung durchführen zu müssen. Hier kamen die ersten Kameras vornehmlich zum Einsatz und haben ihre ersten großen Einsatzerfolge gefeiert und der Technik hier letztendlich zum Durchbruch verholfen. Gleiches trifft für die nachfolgenden Kameragenerationen mit den unzähligen Modellen zu, die bis heute entwickelt wurden. Sie sind eleganter und leistungsfähiger und bringen unter nahezu allen Bedingungen kristallklare Wärmebilder zustande. Sie sind mit vielen nutzbringenden Zusatzfunktionen ausgestattet worden, die weit über die reine Rauchsichtfunktion der Argus hinausgehen und heute kaum noch Wünsche offen lassen.

Trotzdem ist das Grundkonzept der Kameras aller Fabrikate bis heute unverändert beibehalten worden: Es sind Kameras für den Innenangriff mit seinen räumlichen Dimensionen und bestenfalls Nahbereichsanwendungen. Hierfür spricht allein die einfache Bildeingangsoptik der Kameras, die für diese Anforderungen ausgelegt ist und voll genügt. Spezielle Wärmebildkamas mit Fernoptiken für den Bereich Feuerwehr gibt es bislang nicht. Einige Entwicklungen in diesem Sinne sind nie aus dem Versuchsstadium herausgekommen und scheiterten an den hohen Kosten und wohl auch am Bedarf. Die Frage nach der Reichweite, das heißt, die

Entfernungen über die man die Kameras noch erfolgreich einsetzen kann, bestand so lange Zeit nicht.

Mittlerweile sind die Wärmebildkameras bei den Feuerwehren angekommen, der Ausstattungsgrad kann als flächendeckend charakterisiert werden.

Einsatzwillen und Einsatzhäufigkeit haben im Laufe der Zeit zu mehr Sicherheit im Umgang mit Wärmebildkameras geführt, sodass Einsatzerfolge nicht ausgeblieben sind. So sehen sich die Feuerwehren verstärkt veranlasst, nach weiteren Anwendungen für Wärmebildkameras auch außerhalb von Gebäuden und über größere Entfernungen zu suchen. Dazu zählen Anwendungen, wie die Lageaufklärung über größere Arieale, das Suchen nach Schadstoffeinleitungen in Flüsse, Deponiebrände oder Suchvorgänge von Personen und Tieren bei Nacht und schlechter Sicht nicht selten zu Aufgaben der Feuerwehr. Bislang kommen Wärmebildkameras hier aber kaum zum Einsatz. Und so stellt sich die Frage, über welche Entfernungen hinweg Wärmebildkameras prinzipiell einsetzbar sind.

Weder in der landläufigen Literatur noch in den technischen Datenblättern zu den Kameras sind konkrete Angaben zur Reichweite zu finden. Das haben die Recherchen ergeben. Die Materie scheint auch anspruchsvoll genug zu sein, um sie definiert in Metern angeben zu können. Somit wurde offenbar, dass die Reichweitenproblematik zumindest für den Feuerwehrbereich noch nicht auf wissenschaftlicher Basis untersucht worden ist. Folglich stehen die Bemühungen noch ganz am Anfang.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit grundlegenden Untersuchungen zur Bestimmung der Einsatzgrenze bzw. der Grenzreichweite von Wärmebildkameras und damit ihrer generellen Eignung für Fernanwendungen. Als Sonderfall steht die Suche nach vermissten Personen im Vordergrund. Ziel ist es, Zusammenhänge aufzuzeigen und Größenordnungen für die Reichweite zu bestimmen. Hierbei werden alle Einflussgrößen betrachtet, die auf die Reichweite einen Einfluss haben. Das betrifft die Parameter der Kamera selbst als auch die Umgebungsbedingungen, die durch das Wetter sowie die Jahres- und

Tageszeit bestimmt werden. Ebenso spielen die Eigenschaften des zu suchenden Objektes, die taktische Herangehensweise und nicht zuletzt das eingesetzte Personal eine entscheidende Rolle.

In die Reichweitenuntersuchung werden Kameramodelle verschiedener Hersteller mit einbezogen, um ihre Leistungsunterschiede zu bestimmen und Grundanforderungen an die Technik stellen zu können. Von besonderem Interesse sind gegenüber der „normalen“ Verwendung am Boden auch mögliche Einsatzvorteile durch die Nutzung von Drehleiterfahrzeugen und Hubschraubern in Sonderfällen. Der Bericht schließt mit ersten Einsatzhinweisen für die Feuerwehren ab.



## **2. AUSGANGSLAGE**

### **2.1 Stand der Erkenntnisse aus Zeitschriften und anderen Medien**

Eine erste Recherche zu den Einsatzmöglichkeiten von Wärmebildkameras bei den Feuerwehren in Feuerwehrzeitschriften, Fachliteratur und Internet ergab einen sehr hohen Anteil von Einsatzberichten, die sich im Wesentlichen mit den Brandeinsätzen und den erzielten Einsatzerfolgen befassen. Die Veröffentlichungen dienen in erster Linie der Information zur Tatsache, dass Wärmebildkameras zum Einsatz kamen und welche Einsatzvorteile erzielt wurden. Die Berichte sind oftmals ereignisbezogen und gehen kaum in die Tiefe, sodass nur selten grundlegende Lehren ableitbar sind. So ist dringend benötigte Basisliteratur auch heute noch Mangelware.

Weitere Recherchen im Internet mit entsprechenden Suchbegriffen lieferten leider nur einige Textstellen, die auf die Möglichkeit eines Wärmebildkameraeinsatzes bei Personensuchen im freien Gelände, insbesondere bei Bodeneinsätzen in der Nacht, verweisen. Konkrete Angaben zu Reichweiten oder weitere Einsatzhinweise waren den Quellen nicht zu entnehmen. Lediglich eine Textpassage „...Personensuche in der freien Natur, wobei es sich da auch um Unfallopfer handeln kann, gehören zum Aufgabenbereich einer Wärmebildkamera egal ob vom Boden oder aus der Luft.“ war in [1] unter ferner liefen im Abschnitt „Weitere Anwendungen zu finden“. In [2] werden zwar genauere Hinweise gegeben, jedoch werden auch hier keine fundierten Erkenntnisse weiter gegeben, sondern nur eigene Anwendersichten beim Gebrauch der Kamera bei „Dunkelheit“ und bei „normalen Umgebungstemperaturen“ erwähnt.

Des Weiteren waren im Internet einige Einsatzberichte von Feuerwehren zur Thematik Höheneinsatz zu finden, die von Einsätzen von Wärmebildkameras vom Drehleiterfahrzeug aus berichten. Dabei lagen die Schwerpunkte häufig bei Personensuchen im freien Gelände zur Unterstützung polizeilicher Ermittlungen, wie aus [3] und [4] hervorgeht, oder auf Überwachungs- und Kontrollarbeiten bei Silobränden. In [5] wird beispielsweise von einem

Einsatz beim Brand einer Maistrocknungsanlage in Triftern berichtet. Hier wurden die Entleerungsarbeiten durch Temperaturmessungen mithilfe einer Wärmebildkamera vom Drehleiterfahrzeug aus überwacht. Von einer Fernanwendung kann jedoch nicht die Rede sein.

Weitere Recherchen nach Textpassagen über den Einsatz von Wärmebildkameras aus Hubschraubern heraus ergaben überraschender Weise einen Teilerfolg. Hintergrund ist sicherlich, dass Hubschraubereinsätze einerseits noch als spektakulär angesehen werden und über sie vermehrt auch in der örtlichen Presse berichtet wird. Somit finden sich eine Reihe von Artikeln in Fachzeitschriften der Feuerwehr, die über den Einsatz von Hubschraubern mit fest installierter Thermografie-Kamera zur Unterstützung und Lenkung von Löscharbeiten berichten.

So wurden Polizeihubschrauber mit einer solchen Kamera eingesetzt, um bei Großbränden Temperaturmessungen durchzuführen und die Löscharbeiten von der Luft aus zu navigieren [6]. Als ein weiteres Einsatzgebiet wird in [7] die Waldbrandbekämpfung angeführt, bei der Wärmebildgeräte zum Auffinden von Brandstellen und Glutnestern eingesetzt werden und zur schnelleren Aufklärung der Brandsituation durch Rauchschwaden hindurch beitragen und helfen, den Löscheinsatz besser zu koordinieren.

Diese Beispiele beschreiben jedoch ausschließlich Feuerwehreinätze, die durch Hubschrauber mit integrierter Thermografie-Kamera unterstützt wurden. Berichte und Artikel über den Einsatz von Wärmebildkameras der Feuerwehr aus Hubschraubern wurden jedoch nicht gefunden und sind folglich wohl noch nicht üblich. Auch in internationalen Fachzeitschriften der Feuerwehr wurden ausschließlich Publikationen über Hubschraubereinsätze zur Unterstützung der Feuerwehr mit „eigener Wärmebildkamera“ ausgemacht ([8], [9]).

Erkenntnisse und fundierte Aussagen zum Einsatz von feuerwehrspezifischen Wärmebildkameras im Freien wurden weder in nationaler, noch in internationaler Fachliteratur gefunden. Der Kenntnisstand auf diesem Gebiet scheint demnach sehr gering zu sein. Hierin bestätigt sich



nochmals die enorme Wichtigkeit der jetzt angegangenen Untersuchungen, mit dem Ziel, die Feuerwehren auf diese Möglichkeiten der Anwendung von Wärmebildkameras hinzuweisen und mit den erzielten Resultaten erste grundsätzliche Einsatzhinweise geben zu können.

## **2.2 Erkenntnisstand am IdF Sachsen-Anhalt**

### **2.2.1 Ausgangsbasis**

Das Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt besitzt langjährige Erfahrungen im Umgang mit Wärmebildkameras. Erste Einsätze reichen bis in das Jahr 1986 zurück, als die noch für militärische Anwendungen entwickelte englische Kamera P4428 in den Besitz des Institutes gelangte. Sie wurde als Rauchsichtgerät bei Brandversuchen eingesetzt und ermöglichte erstmal die Verfolgung von Brand- und Löschprozessen durch dichte Rauchschwaden hindurch. Diese Geräte erwiesen sich bei Versuchen in der Brandschutzforschung als unentbehrlich.

Das Nebeneinander von Video- und Wärmebildaufzeichnung gehört bis heute mit zum messtechnischen Standard bei Brandversuchen. Dabei kamen auch unterschiedlichste Feuerwehr-Wärmebildkameras unmittelbar im Brandraum zum Einsatz, da sie den extremen Bedingungen Stand halten. Durch diese forschungsbezogene Verwendung konnte die Eignung der einzelnen Modelle unter extremen thermischen Belastungen getestet werden. Beiläufig wuchs der Erfahrungsschatz im Umgang mit Wärmebildkameras. Im Ergebnis dessen konnte umfangreiches praxisorientiertes Datenmaterial zusammengetragen werden, das als außergewöhnlich bezeichnet werden darf. Im Rahmen von zahlreichen Feuerwehreinsätzen mit dem mobilen Brandlabor „MOBLAB“ zur Unterstützung der Feuerwehren bei Großereignissen über mehr als zehn Jahre hinweg, kam weiteres praxisbezogenes Datenmaterial hinzu.

Parallel dazu konnten sich auch viele Feuerwehren selbst mit Wärmebildkameras ausrüsten und es entstand ein enormer Informationsbedarf. Da aber kaum Lehr- und Ausbildungsmaterial zur

Verfügung stand, galt es, das Wissen und Erfahrungen den Feuerwehren auf direktem Wege zukommen zu lassen. So wurde Anfang 2000 als Gemeinschaftsprojekt zwischen der Brandschutz- und Katastrophenschutzschule Heyrothsberge (heute: Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge - IBK) und dem Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt ein Dreitage-Fortbildungslehrgang „Wärmebildkamera im Feuerwehreinsatz“ aufgebaut, der umfassend und komplex über Technik und Einsatz der Wärmebildkameras informiert. Der Unterricht schließt auch kleinere praktische Trainingseinheiten mit ein. Ein darauf aufbauender „reiner“ Trainingslehrgang ist in Erarbeitung. Bislang ist dieser Lehrgang einzigartig und wird in dieser Form in Deutschland nur am Standort Heyrothsberge angeboten [10].

### **2.2.2 Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Einrichtungen**

Um den vielen Fragestellungen der Anwender bei den Feuerwehren besser gerecht zu werden, wurden am Institut zunehmend mehr Forschungsthemen bearbeitet, die sich mit aktuellen Themen zum Einsatz der Wärmebildkamera befassen.

Aufgrund der vorteilhaften Konstellation, dass sich mit der Otto-von-Guericke-Universität-Magdeburg und der Fachhochschule Magdeburg-Stendal und ihren Studiengängen „Sicherheit und Gefahrenabwehr“ im nahen Umfeld zwei wichtige Forschungseinrichtungen befinden, konnten auch Studenten mit in die Teilbearbeitungen der Themen einbezogen werden und ihre Bachelor- bzw. Masterarbeiten anfertigen. Es handelte sich dabei um praxisorientierte Aufgabenstellungen, die sich mit noch ungelösten Fragestellungen oder Sonderanwendungen der Wärmebildkameras befassen und den Studenten angeboten werden.

So konnten in den letzten Jahren insgesamt 9 Bachelor- bzw. Masterarbeiten angefertigt und erfolgreich verteidigt werden. Die Arbeitsthemen der studentischen Arbeiten der Jahre 2008 bis 2013 sind in Abbildung 1 zusammengestellt.

<b>Ausbildungsform</b>	Brandwein, T.: Konzept zum Aufbau eines neuen Trainingslehrgangs
<b>Funkübertragung</b>	Purmann, D.: Reichweite der Funkübertragung im Untergrund
<b>Einsatzreichweite</b>	Stephan, M.: Einsatzreichweite von WBKs (Personensuche im Freien)
	Gräbe, D.: Einsatzreichweite von WBKs (Einsatzvorteil Drehleiter)
	May, S.: Einsatzreichweite von WBKs (Einsatzvorteil Hubschrauber)
<b>Genauigkeit T-Messung</b>	Schneider, S.: Genauigkeit der Temperaturmessung von WBKs
	Steidel, M.: Genauigkeit der Temperaturmessung (Fortsetzung)
<b>Füllstands-Bestimmung</b>	Grobe, F.: Füllstandsbestimmung mit WBKs (Möglichkeiten/Grenzen)
	Schlüter, R.: Vorführexperiment zur Füllstandsbestimmung

**Abbildung 1: Zusammenstellung der bearbeiteten Themenbereiche**

An dieser Stelle seien nur einige Themenkreise besonders genannt: Steve Schneider [11] und Marc Steidel [12] befassten sich mit der „Genauigkeit der Temperaturmessfunktion“ der Wärmebildkamaras, Danny Purmann mit der „Reichweite von Funkübertragungen der Wärmebildkamaras“ aus unterirdischen Verkehrsanlagen [13]. Eine weitere interessante Thematik stellte die „Füllstandsbestimmung mit Wärmebildkamaras“ dar, die von Florian Grobe bearbeitet wurde [14].

### 2.2.3 Bearbeitungsstand zur Reichweitenproblematik

Seit einigen Jahren steht die Einsatzreichweite insbesondere bei der Personensuche im Fokus der Untersuchungen. Anfang 2009 konnte die Arbeit von Martin Stephan [15] zum Thema: „Untersuchungen zum thermischen und räumlichen Auflösungsvermögen von feuerwehrspezifischen Wärmebildkamaras“ erfolgreich abgeschlossen werden. Sie stellt eine erste Basisarbeit dar. Schwerpunkt dieser Arbeit war die Untersuchung des thermischen und räumlichen Auflösungsvermögens von Wärmebildkamaras der Feuerwehr. Sie schloss erste Experimente zur Reichweitenbestimmung zur Personen- und Tiersuche am Boden ein, die erste Abschätzungen zur Reichweite zuließen.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen befasste sich Damian Gräbe [16] in seiner Masterarbeit mit dem Thema „Untersuchung zur räumlichen und thermischen Auflösung von Wärmebildkameras unter dem besonderen Aspekt der Einsatz- bzw. Erkennungsreichweite im Freien“. Diese Arbeit fokussierte die Personensuche und Reichweitenbestimmung vom Boden und vom Drehleiterfahrzeug aus. Zudem wurden die Einflüsse durch die Messobjekt-eigenschaften, die Umgebungstemperaturen und die Kameratechnik auf die Reichweite von Wärmebildkameras genauer untersucht.

In dieser Arbeit konnten weitere wichtige und aussagekräftige Erkenntnisse gewonnen werden. Sie bestätigten wichtige Annahmen und Ergebnisse aus der voran gegangenen Arbeit. Es konnten erste Reichweiten für Wärmebildkameras von Drehleiterfahrzeugen aus bestimmt werden. Die Resultate seiner Arbeit sind Bestandteil des Abschnittes 4 – Experimentelle Voruntersuchungen (Messkampagne 1).

In der Bachelorarbeit von Sebastian May [17] wurden weitere Experimente am Boden und von der Drehleiter aus durchgeführt. Unter Anwendung des von ihm weiterentwickelten „Pixelkriteriums“ zur Auswertung der Wärmebildaufnahmen gelingt es, diese objektiv zu bewerten und Grenzentfernungen genauer zu bestimmen. Der Einsatz von Wärmebildkameras der Feuerwehr aus Hubschraubern heraus ist auch für das Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt als absolutes Neuland zu betrachten. Herr May untersuchte diese weitere Möglichkeit zur Personensuche. Es konnten nun erstmals die drei taktischen Einsatzvarianten Boden, Drehleiter und Hubschrauber hinsichtlich ihrer Reichweite sowie ihrer Vor- und Nachteile zusammenstellt und bewertet werden. Ziel der drei Untersuchungen war es festzustellen, ob der Einsatz der Feuerwehrcameras aus größeren Höhen und erweiterter Mobilität überhaupt möglich ist und weitere Einsatzvorteile bei der Personensuche erbringen kann. Die Ergebnisse seiner Arbeit bilden den Grundbestandteil der Abschnittes 5 – Reichweitenuntersuchungen in der Messkampagne 2.

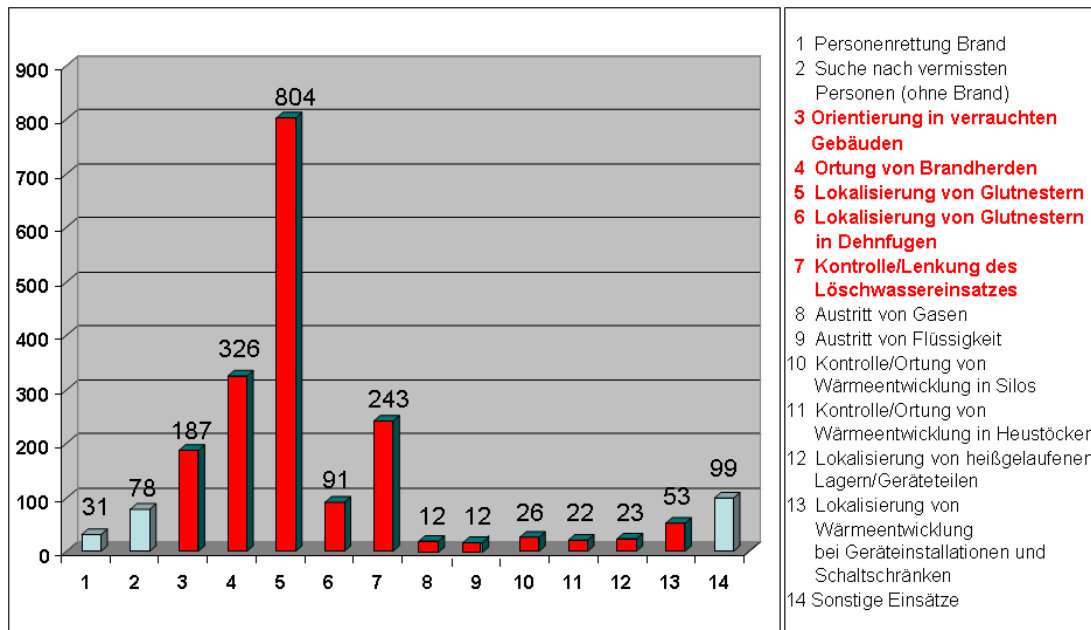
Inzwischen sind alle Arbeiten erfolgreich verteidigt worden. Die Ergebnisse ihrer Arbeiten trugen sehr zum Gelingen der Arbeit bei. Für ihre Mitarbeit sei ihnen herzlich gedankt.

## **2.3 Einsatzspektrum der Wärmebildkameras**

### **2.3.1 Allgemeine Zustandsanalyse**

Die Verwendung der Wärmebildkameras bei den Feuerwehren wird derzeit nicht zentral erfasst und kann an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden. Eine eigenständige Erhebung ist nicht erfolgt und hätte auf Grund des Aufwandes den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Umso aner kennenswerter ist eine Erfassung der Bayerischen Versicherungskammer aus dem Jahre 2008 [18] im Rahmen eines Sponsorings von Wärmebildkameras für die Erstbeschaffung der Feuerwehren. Als Gegenleistung quasi forderte die Versicherung eine Einsatzerfassung bei relevanten Einsätzen. Diese Aktion ist bislang die verlässlichste Quelle, aus der die Verwendung der Wärmebildkameras bei Feuerwehreinsätzen hervorgeht. Sie gilt zwar prinzipiell nur für den Bereich Bayern und die Feuerwehren, die das Sponsoring genutzt haben und den Zeitraum 2001 bis 2007. Prinzipiell sind die Daten zumindest in ihren Relationen durchaus übertragbar und aufgrund der Gesamtzahl der erfassten Ereignisse als statistisch sicher zu betrachten. Die Einsatzverteilung ist in Abbildung 2 angegeben.



**Abbildung 2: Einsatzverteilung von Wärmebildkameras [18]**

Es wird ersichtlich, dass die Wärmebildkameras ihrem Konzept entsprechend fast ausschließlich im Innen- und Nahbereich zum Einsatz gebracht werden. Lediglich die Positionen 2 und 14 ließen auf Ferneinsätze schließen. Im Laufe der Zeit wird es mit Sicherheit zu Veränderungen hinsichtlich des Einsatzes der Kameras für Fernanwendungen kommen, trotzdem scheint dieser Sektor noch viel zu wenig genutzt zu werden. Als Hauptgrund ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mangelndes Wissen zur Einsetzbarkeit dieser Technik in diesem Bereich anzunehmen. Hier wird die Bedeutung dieser vorliegenden Untersuchungen besonders deutlich sichtbar, die Feuerwehren auf den Einsatznutzen der Fernanwendungen hinzuweisen.

### 2.3.2 Einsatz bei Fernanwendungen

Zunächst stellt sich die Frage, was eigentlich unter dem Begriff der Fernanwendung von Wärmebildkameras zu verstehen ist und ab welcher Arbeitsdistanz man sie als solche bezeichnen kann. Die Begriffe „Nah“- und „Fern“ für die Anwendung von Wärmebildkameras sind im Feuerwehrwesen bisher nicht gebräuchlich. Sie sind auch weder definiert noch in den Einsatzhinweisen zu Wärmebildkameras zu finden, ebenso im allgemeinen Gebrauch sehr relativ und sind als anwendungsspezifisch zu betrachten.

Da die Kameras im Wesentlichen für den Innenangriff in geschlossenen Räumen zum Einsatz kommen, könnte man unter Nahbereichsanwendungen die typischen Einsatzaufgaben in Gebäuden mit ihren „normalen“ Ausmaßen und bestenfalls im nahen Umfeld um sie herum verstehen. Doch selbst hier könnte es sich um verrauchte weiträumige Industriehallen, U-Bahnanlagen oder Straßentunnel handeln, bei denen sich der Einsatz einer Wärmebildkamera lohnen würde. Wo beginnt also die Fernanwendung? Von konkreten Zahlenwerten mit Meterangaben zur Nahbereichsdefinition war bisher noch nichts zu vernehmen. Was könnte aus Sicht der Feuerwehr unter Fernanwendungen verstanden werden?

In erster Linie wären hier Suchaktionen im Freien zu nennen, die sich über mehrere hundert Meter Entfernung oder einige Kilometer erstrecken können und bei absoluter Sichtbeschränkung durch Nebel oder Dunkelheit den Einsatz einer WBK notwendig machen würden. Derartige Einsätze beginnen zunächst im nahen Umfeld und können sich im Ablauf zu einer echten Fernanwendung mit Drehleiter- und Hubschraubereinsatz entwickeln. Es kann nach Personen oder entlaufenen Tieren gesucht werden, nach Fahrzeugen und sonstigen Objekten. Die Personensuche im Umfeld von Verkehrsunfällen wäre als ein häufig anzutreffender Einsatzfall zu nennen.

Zu weiteren Anwendungen dieser Art sind Füllstandsmessungen an Behältern jeglicher Art, wie Silos, Speicher, Tanks und Kesselwagen sowie auch kleinere Transportbehälter zu betrachten, die bei Transporten über größere Entfernungen verstreut sind und nach denen einfach nur zu suchen ist. Auch hier können „Entfernungen“ eine Rolle spielen, insbesondere dann, wenn man an die Objekte durch Gewässer, Verkehrsflächen der Schutzanlagen nicht herankommt und eine rasche Lagebestimmung notwendig ist.

Die Suche nach Zündquellen in explosionsgefährdeten Bereichen kann auch über weitere Entfernungen notwendig werden, ganz einfach deshalb, weil Explosionsgefahr besteht und man die Bereiche nicht betreten sollte. Gleiches gilt für die Suche nach Leckagen oder Brandstellen im

Industriebereich, insbesondere dann, wenn die Objekte schwer zugänglich sind oder aufgrund der Ausmaße oder der Höhe nicht ohne weiteres an sie heran kommt.

In der Vergangenheit kam es häufig zu (verdeckten) Deponiebränden, von denen oft ein entsetzlicher Geruch ausgeht. Die Austrittsorte sind oft nur schwer ausfindig zu machen. Mit einer Wärmebildkamera wäre das Problem mit Leichtigkeit zu lösen. Mit ihr kann man aus der Ferne und aus der Höhe die Austrittsöffnungen schnell finden. Die Liste von Fernanwendungen ließe sich an dieser Stelle noch beliebig fortführen.

## 2.4 Leistungsangebot derameratechnik

Den Feuerwehren in Deutschland steht ein umfangreiches und vielfältiges Angebot an aktueller Wärmetechnik mit Zubehör zur Verfügung. Gegenwärtig bieten acht international tätige Hersteller und Vertriebsunternehmen weit über 30 verschiedene Kameramodelle unterschiedlicher Leistungsfähigkeit an. Eine kleine Auswahl an Kameramodellen ist in Abbildung 3 zusammengestellt.



**Abbildung 3: Handelübliche Kameramodelle (Auswahl)**

Während man sich in der Vergangenheit bemühte, die Kameras mit immer mehr Funktionen zu versehen, um sie für die Feuerwehren interessant zu machen, werden jetzt vermehrt dem Bedarf angepasste, zum Teil auch sehr einfach ausgestattete Kameras angeboten. Es handelt sich hierbei um Kameras für den Angriffs- oder Rettungstrupp, die genau auf die speziellen



„einfachen“ Anforderungen des Personals zugeschnitten sind und keine „unnützes“ Beiwerk besitzen.

Parallel hierzu werden weiterhin die „hochwertigen“ Geräte angeboten. Sie sind mit vielen nutzbringenden Funktionen ausgestattet und mehr für Experten und Sonderaufgaben bestimmt. Die Modelle sind für die „normalen“ Angriffsaufgaben überdimensioniert. Es gibt auch die Modelle mittlerer Ausstattung und Leistungsfähigkeit dazwischen.

Die Kameraserien sind heute meist modular aufgebaut und können je nach Bedarf mit zahlreichen Zusatzfunktionen ausgestattet werden. So können die Kameras neben den klassischen Basisausstattungen, wie Hotspot-Darstellungen und Temperatur-Anzeigefunktion, mit den weiteren Zusatzoptionen Zoom, Bild- und Videospeicher-Funktionen sowie mit Farbpaletten-Darstellungen ausgerüstet werden. Auch Funkübertragungen, mit denen Wärmebilder zeitgleich zur Einsatzleitung übertragen werden können, werden mittlerweile von allen Herstellern angeboten. Seit kurzem steht eine Reihe ganz neuartiger Sonderfunktionen zur Verfügung. Dem Einfallsreichtum der Hersteller scheinen kaum noch Grenzen gesetzt zu sein. Sie können mit Videokamera, Laserpointer, Laser-Entfernungsmesser oder gar einem Kompass ausgestattet werden, um nur einige wesentliche Neuerungen zu erwähnen. Ob sie sinnvoll sind und gebraucht werden, sei dahin gestellt. Für weitere Informationen sei auf die Marktübersichten, unter anderem in den Sonderheften [19] und [20] verwiesen.

Ungeachtet dessen besitzen alle Kameras eine vergleichbare technische Grundausstattung. Die Wärmebilderzeugung erfolgt heute ausnahmslos auf der Basis der Mikrobolometer-Technologie. Sie ist seit ca. 2007 die alleinige und marktbeherrschende Technologie, zumindest was den Sektor der Feuerwehrcameras betrifft. Ihre Vorteile gegenüber ihren Vorgängern der Röhren- und der BST- Technik sind eindeutig und unterscheiden sich in wesentlichen Dingen: Die Möglichkeit der Bild erzeugenden Bauteile und die Kameras selbst nahezu grenzenlos verkleinern und prinzipiell die absolute

Temperatur in jedem Pixelpunkt berechnen zu können. Somit war der Weg frei für vollkommen neue Gerätefunktionen.

Mit einer ausgefeilten digitalen Bildbearbeitung und hochauflösenden Infrarotdetektoren können heute bei nahezu allen Bedingungen kristallklare Wärmebilder zur Anzeige gebracht werden. Diese Vorzüge haben der Technologie letztendlich zum Durchbruch verholfen und der Kameratechnik einen regelrechten Entwicklungsschub beschert.

Zwischen den Modellen treten aber auch Leistungsunterschiede auf, die sich in erster Linie in der Qualität der Bilddarstellung zeigen, denn sie ist das entscheidende Argument und ihr entnehmen wir letzten Endes die Informationen, die wir benötigen.

Das Kriterium hierfür ist in erster Linie das thermische und räumliche Auflösungsvermögen der eingesetzten Infrarot-Detektoren. Es wird durch die Pixelanzahl bestimmt, die auf das Raster der Einzeldetektoren auf dem Detektor-Feld zurückzuführen ist. Hier gilt prinzipiell der Grundsatz: Je mehr desto besser! Die Bildauflösung spielt also für die anspruchsvolle „Messaufgabe“ Fernanwendungen eine besondere Rolle und entscheidet letztendlich, über welche Entfernungen hinweg noch Personen und Objekte auf dem Bildschirm erkennbar sind. Natürlich spielen bei der Personensuche auch noch weitere Parameter der Kamera eine gewichtige Rolle. Sie werden im Abschnitt 3.3.1 noch ausführlich besprochen.

Doch sollte an dieser Stelle schon klar sein, dass der Einsatzserfolg bei der Personensuche über größere Entfernungen auch von der Auswahl der Kameratechnik abhängt und technische Mindestanforderungen an ihre Parameter gestellt werden müssen. Sie lassen sich sicher nicht mit den beschriebenen kleinen Angriffskameras bewerkstelligen. Eine Differenzierung ist hier notwendig. Um dies zu testen kamen in der ersten Messkampagne (Abschnitt 4) eine Reihe Kameras unterschiedlicher Leistungsfähigkeit zum Einsatz.

## **3 THEORETISCHE VORBETRACHTUNGEN**

### **3.1 Umgang mit dem Begriff „Reichweite“**

Mit dem Begriff „Reichweite“ einer Wärmebildkamera weiß im Feuerwehrbereich gegenwärtig kaum jemand etwas anzufangen. Er gehört weder zu den Parametern einer Kamera und ist auch nicht in den technischen Unterlagen zu finden, noch wird er in den Anwenderhandbüchern erwähnt. Der Begriff Reichweite für Wärmebildkameras ist nicht definiert. Dabei kann die Reichweite eindeutig auf Geräteparameter der Kamera zurückgeführt und sogar berechnet werden, wie noch im Abschnitt 3.4.4 gezeigt wird, sie kann für jede Kamera unterschiedlich ausfallen. Es gibt somit Kameras, die von der Konstruktion her schon über eine größere oder kleinere Reichweite verfügen.

Dabei handelt es sich in erster Linie um eine theoretische, pixelbezogen berechnete Größe. Ob sie tatsächlich vom Gerät umgesetzt wird, hängt noch von weiteren kameratechnischen Faktoren ab, die noch im Abschnitt 5.6.1 diskutiert werden. Aufgrund des Einflusses der meteorologischen Erscheinungen kommt eine weitere Unsicherheit hinzu, die schwer zu berücksichtigen ist. So wird die Bestimmung Reichweite eine recht komplizierte Angelegenheit und man scheut sich, theoretische Werte zur Reichweite anzugeben, die in der Praxis dann nicht zutreffen und die Feuerwehren nur verunsichern.

Da die Wärmebildkameras seit Anbeginn für Nahbereichsanwendungen, wie den Innenangriff konzipiert und eingesetzt wurden, war die Fragestellung bisher ohne Relevanz. Man ging davon aus, dass die äußeren Raumkonturen beim Betreten eines „normalen“ Innenraumes, wie beispielsweise einer Wohnung, eines Büros oder gewerblicher Räume, komplett im Wärmebild abgebildet werden sollten. Das heißt in Zahlen ausgedrückt, dass ungefähr in zehn Metern Entfernung ein Bildbereich der Breite von acht Metern Breite und sechs Metern Höhe entsteht. So werden

die drei umgebenden Wände sowie Fußboden und Decke sichtbar, sodass die thermischen Gefahren schon an der Tür und so schon vor dem eigentlichen Betreten des Raumes erfasst werden können, ohne die Kamera, einem Fernrohr ähnlich, umherschwenken zu müssen.

Auch heute noch ist der Innenangriff das primäre Betätigungsfeld der Wärmebildkameras, da sie den Einsatzkräften bei ihrer täglichen Arbeit spürbare praktische Vorteile bringen. Bis heute hat sich am Konstruktionskonzept noch nichts verändert, allein schon aus Kostengründen und zugunsten der einfachen Bedienbarkeit. Die eingesetzten Optiken sind einfach gestaltet und erzeugen ein Bild, das die vor ihr liegende Szene ab ca. 1 m Entfernung bis unendlich scharf abbildet. Dass Objekte mit zunehmender Entfernung aber kaum noch aufgelöst und abgebildet werden können, liegt in der Natur der Sache und ist allein auf die erwähnte einfache Optik zurückzuführen.

### **3.2 Begriffsbestimmung Reichweite**

Der Begriff Reichweite an sich ist recht allgemein und birgt die Gefahr von Missverständnissen, da sich jeder, ausgehend von seinen persönlichen Erfahrungen und den speziellen Aufgabenstellungen, hierunter etwas anderes vorstellen wird.

Der Begriff ist also genauer zu fassen. In [15] fand sich die allgemeine Formulierung: „Die Reichweite ist die maximale Entfernung zwischen einem Wärmebildgerät und einem Objekt, bei der das Gerät seiner Beobachtungsaufgabe gerecht wird“. Was bedeutet dies nun im Speziellen für die Feuerwehr?

Bemühen wir an dieser Stelle das Militärwesen. Hier treten bei Aufklärungsaufgaben ähnliche Aufgabenstellungen auf. In der STANAG 4347 (NATO) [15] ist eine nutzbare Reichweitendefinition gegeben. Sie ist zwar für die Aufklärung von Gefechtsfahrzeugen (Panzer) mit den Abmaßen 2,3 m x 2,3 m und Temperaturdifferenzen zum Hintergrund von 2 K spezifiziert, lässt

sich aber prinzipiell auf die Aufgabenstellungen im Feuerwehrbereich übertragen.

Die theoretischen Grundlagen zur Reichweite von Wärmebildgeräten geht auf den US-Amerikaner J. Johnson zurück, der sich verstärkt in der 1950er Jahren mit der militärischen Reichweitenbestimmung für Aufklärungsaufgaben befasste. Zweckbestimmt unterteilte er erstmals den Begriff Reichweite in die drei Teilaufgaben Wahrnehmen (Entdecken), Erkennen und Identifizieren und schuf eindeutige Kriterien für ihre Unterscheidung einer bestimmten Anzahl an sichtbaren Linienpaaren auf den (wohl noch analogen) Bildschirmen. Die Ergebnisse zur Lösung der Beobachtungsaufgabe und der gleichzeitigen Bestimmung der Reichweite sind als Johnson-Kriterium bekannt und werden noch heute zur Qualitätsbestimmung von Wärmebildgeräten verwendet [21]. Sie ermöglichen eine Berechnung der Reichweiten unter den jeweiligen Einsatzbedingungen. Demnach können die für die Beobachtungsaufgaben notwendigen kleinsten Bildauflösungen wie folgt berechnet und angegeben werden:

- **Entdecken / Wahrnehmen** (engl.: Detection):  
Ein Ziel hebt sich als „hot spot“ vor dem Hintergrund ab  
= Balkenziel mit 1 Linienpaar.
- **Erkennen** (engl.: Recognition):  
Das Ziel kann einer Typenklasse zugeordnet werden, z.B.  
Radfahrzeug, Kettenfahrzeug.  
= Balkenziel mit 3 Linienpaaren
- **Identifizieren** (engl.: Identification):  
Das Ziel kann bezüglich des Typs identifiziert werden, z.B.  
Kampfpanzer Leopard 2  
= Balkenziel mit 6 Linienpaaren.

In der Quelle [21] ist angegeben, dass die drei zu lösenden Aufklärungsaufgaben unter Nutzung dieser Kriterien mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % bewältigt werden können.

Für Feuerwehren sind die Entdeckungs- bzw. Wahrnehmungsreichweite und die Erkennungsreichweite für die Personensuche im Freien von größter

Bedeutung, da mit einer frühzeitigen Entdeckung („Da ist etwas.“) und der darauffolgenden Erkennung („Es ist eine Person.“) der Einsatzerfolg entscheidend beeinflusst wird. Die Identifizierung („Es ist eine Frau in Winterbekleidung.“) der vermissten Person mit feuerwehrspezifischen Kameras ist dem sicher untergeordnet, daher wird die Identifizierungsreichweite nicht unbedingt benötigt.

### **3.3 Beeinflussung der Reichweite**

Die Reichweite einer Wärmebildkamera wird durch eine Vielzahl von Einflussgrößen bestimmt. Mit der Abbildung 4 wurde der Versuch unternommen, die wesentlichen Einflussgrößen aufzulisten und Gruppen zuzuordnen. Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie soll lediglich auf die Komplexität der einzelnen Einflussfaktoren aufmerksam machen.

Zweifellos steht die Qualität der eingesetzten Kameratechnik im Mittelpunkt der Betrachtung. Ihre Parameter und die Leistungsfähigkeit des Gerätes im Zusammenspiel aller Komponenten bestimmen die Rahmenbedingungen für die maximal erreichbaren Reichweiten unter Idealbedingungen. Hier kommt es jedoch zu Differenzierungen. Das Leistungsvermögen der Modelle ist auf spezielle Einsatzanforderungen ausgerichtet und daher unterschiedlich. Fernanwendungen stellen hohe Anforderungen an die Kameratechnik. Es ist eine Auswahl zu treffen.

Des Weiteren tragen auch der Charakter des zu suchenden Objekts und seine Strahlungseigenschaften, bestimmt durch Emissionsgrad, Größe, Struktur, Absoluttemperatur und thermischer Kontrast, entscheidend dazu bei, es auch über größere Entfernungen aufzufinden zu können. Die freie Sichtbarkeit natürlich vorausgesetzt.



**Abbildung 4: Einflussgrößen auf die Reichweite einer Wärmebildkamera**

Eine ganz wesentliche Bedeutung kommt den meteorologischen Bedingungen zu. Sie können die Transparenzeigenschaften der Atmosphäre in vielen Graden beeinflussen, sodass im Extremfall die Objektstrahlung ganz verloren geht. Transparenz und Reichweite stehen hier im direkten Zusammenhang. Ebenso kann die Sonne in verschiedener Weise auf die Reichweite Einfluss nehmen. Sie kann der Arbeit förderlich sein (Füllstandsbestimmung) aber auch als Störquelle in Erscheinung treten.

Selbst subjektive Einflüsse durch das eingesetzte Personal, können Einfluss auf den Erfolg der Mission haben und allein schon durch eine falsche Handhabung der Kamera die mögliche Reichweite nicht ausschöpfen. Ebenso kann die ausgewählte taktische Herangehensweise über den Sucherfolg und möglicherweise auch über Leben oder Tod vermisster Person entscheiden. Somit nehmen Ausbildung und Training des Personals einen hohen Stellenwert ein.

### 3.3.1 Rolle der Kameraparameter

Als mögliche relevante Kameraparameter kommen im Wesentlichen die Kameraparameter

- Bildauflösung (Detektormatrix)
- Thermische Auflösung (Temperaturempfindlichkeit)
- Bildöffnungswinkel
- Bildschirmgröße
- Bildspeichergröße

in Betracht. Sie sollen nachfolgend beurteilt werden.

#### 3.3.1.1 Bildauflösung

Die Bildauflösung der Wärmebildkamera gehört mit zu den wesentlichen Parametern einer Wärmebildkamera. Sie wird durch das Matrix-Format der in den Wärmebildkameras verbauten Infrarot-Detektoren bestimmt. Hierbei entspricht ein Pixelpunkt des Bildes einem Element des Detektorfeldes. Die Begriffe Bildauflösung und Detektorauflösung sind sozusagen gleichbedeutend.

Hierbei gilt analog der digitalen Fototechnik das Prinzip: Je höher die Auflösung, umso besser für die Bildqualität. Im Vergleich zu dieser fallen die Auflösungen in der Infrarottechnik jedoch sehr bescheiden aus. Den Anforderungen der Feuerwehr genügen sie und werden als ausreichend angesehen. Der Einfluss der Bildauflösung auf erzielbare Bildqualität ist grundsätzlich gegeben. Sie stellt aber nicht das alleinige Kriterium dafür da, dass sich das Bild tatsächlich besser zeigt. Die Bildqualität wird letztendlich noch von weiteren Parametern und Maßnahmen der inneren Bildverarbeitung und ihrem Zusammenspiel bestimmt. Prinzipiell ist jedoch davon auszugehen, dass in höherwertigen Kameras hochauflösende Detektoren verbaut sind und dadurch bessere Bildqualitäten hervorbringen. Momentan werden 6 verschiedene Detektor-Formate verwendet. Sie sind in der Tabelle 1 aufgelistet:



**Tabelle 1: Detektorformate für Feuerwehr-Wärmebildkameras (Stand 2013)**

Matrix (h / v) / Pixelanzahl	Hersteller / Kamera	Bemerkungen
80 x 60 / 4800	Bullard / Eclipse	Sonderformat
120 x 120 / 14400	MSA / Evolution 5600	Sonderformat
<b>160 x 120 / 19200</b>	Dräger / UCF 6000 u. a.	<b>klass. Standard</b>
240 x 180 / 43200	FLIR K40	Sonderformat
<b>320 x 240 / 76800</b>	E2V / Argus 4 HR320 u. a.	<b>klass. Standard</b>
<b>384 x 288 / 110592</b>	ISG / E380 u. a.	<b>neuer Standard</b>

Zur Verdeutlichung soll schon mal ein Beispiel aus dem umfangreichen Datenmaterial der experimentellen Voruntersuchungen herangezogen werden. In einem Versuch (Basisexperiment) wurden zwei Kameras gleicher Bauart lediglich mit unterschiedlichen Bildauflösungen von 320x240 Pixel und 160x120 Pixel gegenüber gestellt.

Bei diesem Versuch sind auf einer Messtrecke von 100 Metern Länge und in einem Abstand von jeweils 10 Metern wechselseitig Kanister aufgestellt. Sie sind mit 30 °C warmen Wasser befüllt und werden gleichzeitig mit den Wärmebildkameras betrachtet. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 5 und 6 wiedergegeben. Mit ungeschultem Blick sind in der Abbildung 5 zunächst kaum Unterschiede feststellbar. Erst beim genaueren Hinsehen fällt auf, dass der Hintergrund der Bilder schärfer dargestellt wird. Eine Klärung des Sachverhaltes bringt erst ein Aufziehen der Aufnahmen bis hin zur beginnenden „Verpixelung“, wie in der Abbildung 6 gezeigt. Es ist festzustellen, dass mit Erhöhung der Pixelanzahl eine Verbesserung der Bilddarstellung nachzuweisen ist. Sie fällt zwar in diesem Entfernungsbereich vielleicht (noch) nicht in dem Maße ins Gewicht, so wie man es vielleicht erwartet hätte, trotzdem ist sie deutlich feststellbar.

Diese einfachen Versuche zeigen, dass die Bildauflösung einen entscheidenden Einfluss auf die Einsatzreichweite auszuüben vermag und möglichst nur Kameras mit hochauflösenden Detektoren bei Fernanwendungen eingesetzt werden sollten.



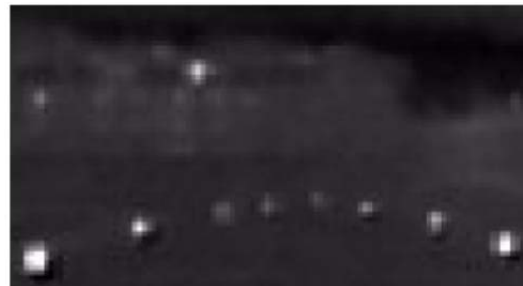
(a) Kamera (320 x 240 Pixel)



(b) Kamera (160 x 120 Pixel)

**Abbildung 5 : Vergleich verschiedener Detektorauflösungen**

(a) Kamera (320 x 240 Pixel) vergrößert



(b) Kamera (160 x 120 Pixel) vergrößert

**Abbildung 6: Vergrößerungen Bilder aus Abbildung 5**

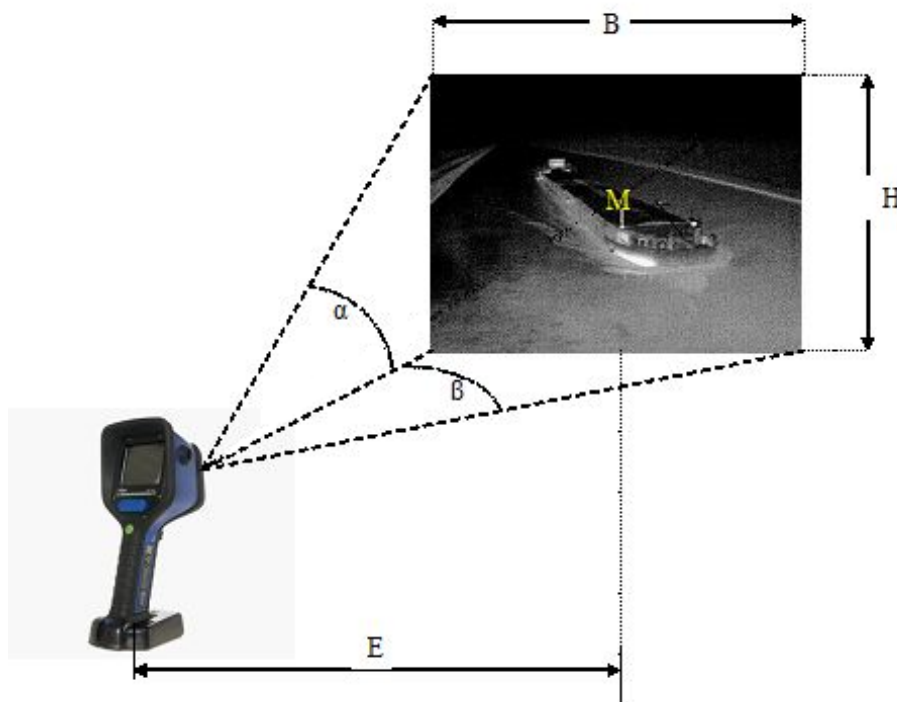
### 3.3.1.2 Bildöffnungswinkel

Der Parameter Sichtfeld bzw. Bildöffnungswinkel gehört zwar zu den technischen Datenangaben einer jeden Kamera, er wird aber oft „überlesen“ und kaum weiter zu Kenntnis genommen. Für Fernanwendungen könnte dieser Parameter aber mehr an Bedeutung erlangen, da er doch entscheidend auf die Abbildungsverhältnisse des optischen Systems und schließlich der Reichweite der Kamera Einfluss nimmt.

In der Abbildung 7 sind die Abbildungsverhältnisse und ihre Kenngrößen schematisch dargestellt.

Für die Nahbereichsanwendung und im Speziellen beim Innenangriff genügt die Tatsache, dass beim Betreten des Raumes der gesamte interessierende Bereich vor der Kamera fast vollständig auf dem Bildschirm zur Abbildung kommt, um so mögliche Gefahrenbereiche sofort im Blick zu haben. So sind

die Winkelverhältnisse perfekt an das Einsatzumfeld angepasst worden. Dabei gewährleistet das Verhältnis Horizontalwinkel – Vertikalwinkel die Bilddarstellung im üblichen 4:3-Format. Bis auf eine Ausnahme, der Kamera Bullard T4 mit einem 16:9-Bildschirmformatformat, trifft das für alle Modelle zu.



**Abbildung 7: Das Sichtfeld einer Wärmebildkamera [17]**

(E - Entfernung, B - Bildbreite, H - Bildhöhe,  $\alpha$  /  $\beta$  – vertikaler / horizontaler Bildöffnungswinkel, M - Bildmittelpunkt)

Die Bildöffnungswinkel der Modelle sind in Tabelle 1 im Anhang A zusammengestellt. Fehlende Angaben sind hier durch noch folgende Berechnungen in Abschnitt 3.4 ergänzt worden. Es fällt auf, dass die Winkel der Fabrikate zwar recht ähnlich sind, es partiell aber zu erheblichen Unterschieden kommt. So besitzen manche Kameras recht große Bildöffnungswinkel (DRÄGER UCF 9000 mit  $57^\circ$ (h) x  $41^\circ$ (v)), andere aber auch recht kleine Winkel (MSA EV 5600/ 5800 mit  $36^\circ$ (h) x  $27^\circ$ (v)). Sie umgrenzen momentan das Spektrum der Bildöffnungswinkel für die Wärmebildkameras der Feuerwehr. Viele Modelle liegen mit Ihren Daten dazwischen.

Das optische Abbildungssystem einer Wärmebildkamera kann somit ganz einfach gestaltet werden. Es besteht im Prinzip nur aus einer Sammellinse (Linsensystem) mit Festfokus, die die Szene strahlenförmig, wie in einem Trichter auf den Detektor abbildet. In den Unterlagen zur Kamera sind die Abgaben zur Optik ganz einfach definiert: Fokussierung von 1 m bis unendlich! Das bedeutet, dass die Kamera den gesamten Bereich vor der Kamera von einem Meter bis unendlich scharf auf das Detektorfeld abbildet.

Für den Nahbereich spielt das eigentlich kaum eine Rolle, aber für den Fernbereich schon. Denn es müssen mit wachsender Entfernung immer größere Objektbereiche auf den Detektor abgebildet werden. Da es hier im Speziellen um Personensuche geht stellt sich die Frage, in welcher Entfernung, eine stehende erwachsene Person, mit den Körpermaßen von ca. 1,80 m mal 60 cm, noch abgebildet werden kann, sodass sie als Pixelanordnung noch auf dem Bildschirm als vermeintliche Person erkennbar ist. Es sind also auch technische Grenzen zu erwarten!

Die Angaben zu den Bildöffnungswinkeln sind in den technischen Daten der Kameras zu finden. Leider werden sie teils fehlerhaft und nicht einheitlich in Höhe und Breite angeführt. Oft ist auch nur der Winkel der Bilddiagonale zu finden, sodass es zu Problemen beim Vergleich der Kameras kommt. Somit war es erforderlich, einen eigenen Algorithmus zur Umrechnung zu entwickeln (Abschnitte 3.4.1 und 3.4.2).

### **3.3.1.3 Thermisches Auflösungsvermögen**

Die thermische Auflösung eines Detektors ist eine wichtige Kenngröße und steht für seine Güte. Sie ist letztendlich zu einem entscheidenden Qualitätsmerkmal der Wärmebildkameras geworden. Sie gibt Auskunft über die Empfindlichkeit des Detektors und entscheidet darüber, welche minimalen Temperaturunterschiede durch die Kamera noch aufgelöst werden können.

Geschichtlich gesehen hatte die Angabe noch eine wesentlich größere Bedeutung. Die ersten Röhren-Wärmebildkameras besaßen noch

Temperaturaufösungen von ca. 2 K (EEV P4428/P4448), später von 1 K (EEV Argus 1). Sie konnten nur sehr einfache Wärmebilder erzeugen. Mit der Einführung der BST- und Mikrobolometer-Kameras wurden schon Auflösungen von 0,1 K erreicht. Mit der Zeit kamen immer mehr „Labormesswerte“ der Detektoren ins Spiel, um auf die besondere Leistungsfähigkeit der einzelnen Modelle hinzuweisen.

Ein typischer Parameter ist die NETD (Noise Equivalent Temperature Difference).

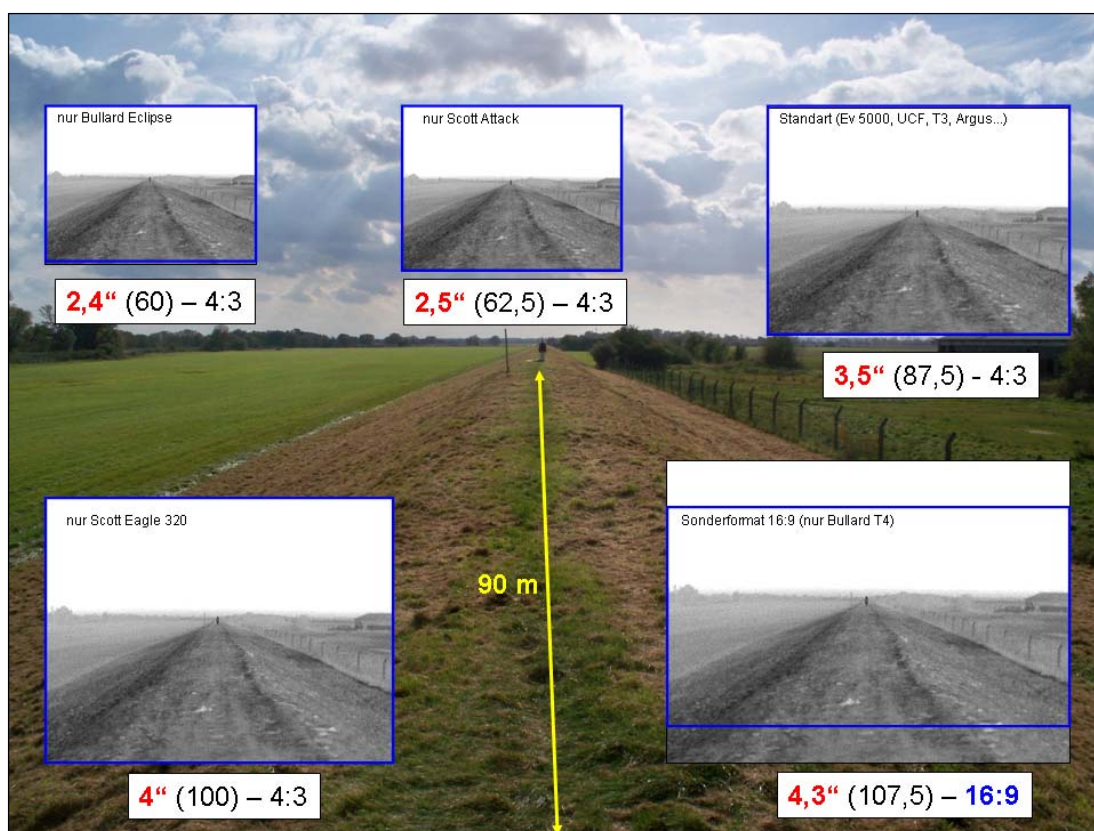
Er bezieht sich auf die rauschäquivalente Temperatur und ist ein Maß für die Temperaturempfindlichkeit eines Detektors. Er wird mit speziellen Messverfahren im Labor bestimmt und gibt die minimal auflösbaren Temperaturdifferenzen wieder. Der Spitzenwert bei Feuerwehrcameras liegt gegenwärtig bei einer NETD von 35 mK. Geringere Differenzen sind aufgrund des Grundrauschens des Detektors hier zurzeit nicht auflösbar. Heute besitzen die eingesetzten Detektoren thermische Empfindlichkeiten im Bereich von 70 mK bis 35 mK. Sie liegen also bei allen Kameras nahe beieinander und sind von den Systemen nicht voll umzusetzen. Es ist aber davon auszugehen, dass heute die Temperaturauflösung von 0,1 K für alle Modelle gewährleistet wird. Die Unterschiede im NETD- Wert finden sich auf den Bildschirmen der Modelle nicht unbedingt wieder und besitzen demzufolge für die Reichweitenproblematik kaum eine Relevanz. Für die Brillanz der Bilder zeichnen sich andere technische Maßnahmen verantwortlich.

#### **3.3.1.4 Bildschirm und Speicherabbild**

Der Bildschirm stellt die eigentliche Arbeitsplattform bei einer Personensuche dar. Hier müssen sich die zu suchenden Personen zu erkennen geben. Seiner Gestaltung und der Einsichtbarkeit im Freien unter den Unbildern der Natur kommt somit eine besondere Bedeutung zu. Teilweise kann die Erkennbarkeit einiger weniger Pixel auf dem Bildschirm auf die Position einer zu suchenden Person hinweisen. Dass heißt, sie müssen unbedingt erkannt werden. Das setzt voraus, dass der Bildschirm eine ausreichende Größe

besitzt, kontrastreiche Bilder erzeugt und möglichst eine störungsfreie Einsichtsmöglichkeit gewährt.

Entsprechend ihrer Einsatzbestimmung werden Kameramodelle mit verschiedenen Bildschirmgrößen angeboten. Gegenwärtig stehen Kameras mit Bildschirmdiagonalen von 2,4" (60 mm), 2,5" (62,5 mm), 3,5" (87,5 mm), 4" (100 mm) sowie in einem Sonderformat 16:9 von 4,3" (107,5 mm) zur Verfügung.



**Abbildung 8: Wirkung verschiedener Bildschirmgrößen**

In der Abbildung 8 sind die derzeit verfügbaren Bildschirmgrößen schematisch gegenüber gestellt und die Wirkung anhand eines Abbildungsbeispiels gezeigt. Es wird schnell deutlich, dass auf zu kleinen Bildschirmen auch unter günstigsten Bedingungen und selbst bei klarem Bild keine Einzelpixel mehr visuell erkennbar sind. Besonders für die Personensuche auch hier gilt das Prinzip: Je größer der Bildschirm, umso besser. Somit kommen die kleinen Bildschirmformate für die Personensuche

über größere Entfernungen außer Betracht. Für die Versuche wurden vornehmlich Kameras mit Bildschirmgrößen ab 3.5“ favorisiert.

Hinzu kommen noch mögliche Reflexe bei Tageslichteinfall und Sonnenstrahlung auf den Bildschirmen, sodass die Reichweite allein durch die beschränkte Einsichtnahme stark reduziert werden kann. Beispielsweise sind Einsätze zur Personensuche am Tage in Nebelbänke hinein denkbar und sinnvoll oder Füllstandsbestimmungen über größere Entfernungen hinweg. Hier können besondere Reflexschutzeinrichtungen genutzt werden, die zur allgemeinen Ausstattung gehören und für Abhilfe sorgen können. Auch selektive Bildschirmsteuerungen oder Antireflexbeschichtungen werden von einigen Herstellern angeboten.

Ein besonderes Problem stellt die relativ geringe Speichergröße der Bilder dar. Sie bewegt sich nur im niederen k-Bit-Bereich und hat zur Folge, dass wiedergegebene, gespeicherte Bilder nicht mehr die Auflösung des gesehenen Bildes auf dem Bildschirm erbringen. Das gilt nahezu für alle Kameras und Hersteller und ist auf Unterschiede in der Bildgenerierung für LCD-Bildschirme sowie Abspeicherungsprozeduren zurückzuführen. So sind Personen in der Ferne erkannt worden, die im Speicherabbild nicht mehr auffindbar waren. Eine weitere Verschlechterung kann dann folglich beim Ausdrucken auftreten. Diese Problematik hat die Auswertungen der Wärmebildaufnahmen vehement beeinflusst und lässt den Schluss zu, dass die Kameras im operativen Einsatz noch über weitaus höhere Distanzen als hier ermittelt einsetzbar sind.

### **3.3.2 Objekteigenschaften**

Das Spektrum an Objekten, die im Freien und über größere Entfernungen zu betrachten sind oder nach denen zu suchen ist, ist mannigfaltig. Um sie unter den Bedingungen des freien Feldes über größere Entfernungen hinweg erfassen zu können, müssen sie bestimmten Mindestanforderungen genügen. Zunächst müssen sie frei „sichtbar“ und nicht durch Barrieren verdeckt sein. Das trifft im Besonderen auch für die Suche nach Personen zu, auf die sich die Betrachtungen im Wesentlichen beziehen.

### **3.3.2.1 Objektgröße**

Für Fernanwendungen spielt die Objektgröße naturgemäß eine bedeutende Rolle. Es ist einleuchtend, dass große Objekte über größere Entfernungen hinweg besser erkannt werden können als kleinere. Trotzdem sei nochmals auf die Ausführungen zum optischen Abbildungsvermögen einer Wärmebildkamera im Abschnitt 3.3.1.2 hingewiesen. Objektgröße und Reichweite stehen in einem direkten Zusammenhang.

Bei der Personensuche wird von einer Objektgröße erwachsener Personen von 1,80 Meter Körpergröße und ca. 60 cm Breite ausgegangen. Bei Kindern reduziert sich die Körperhöhe auf 1,20 Meter. Die Abmaße sind für die Versuchszwecke nahezu ideal, da sich die Frontfläche aufrecht stehender Personen in zwei bzw. drei gleichgroße Quadrate mit den Kantenlängen 60 x 60 cm teilen lässt. Sie sind im Grenzfall noch durch zwei bis drei Detektorelemente bzw. Pixel auf einem Bildschirm zu identifizieren, sodass somit die Grenzreichweite experimentell bestimmbar ist. Basierend auf den optischen Abbildungsverhältnissen und einem einzigen Pixelabmaß konnten so im Abschnitt 3.4.4 erstmals die theoretischen Grenzreichweiten der Kameramodelle für die Personensuche berechnet werden. Ob die Ergebnisse der Realität entsprechen, wird im Abschnitt 5 grundlegend experimentell untersucht.

### **3.3.2.2 Objekttemperatur und thermischer Kontrast**

Die Wärmebilddarstellung beruht auf der Existenz von Temperaturunterschieden. Ohne sie kann kein Objekt abgebildet werden. Die Wärmebildkameras können zwar Temperaturunterschiede von weniger als 1/10 Kelvin auflösen, trotzdem kann in diesem Falle noch kein Objekt auf dem Bildschirm erkennbar dargestellt werden. Experimente in temperierten Innenräumen ergaben, dass Objekte mit typischen Strukturen, wie das Innenrauminventar mit Stühlen und Tischen, erst bei Temperaturunterschieden zum Hintergrund von mindestens 3 bis 5 Grad als solche klar zu erkennen waren. Das 30- bis 50-Fache der typischen



thermischen Auslösungsgrenze ist also nötig, um sich mit einer Wärmebildkamera im Raum stolperfrei bewegen zu können.

Wenn von notwendigen Temperaturunterschieden die Rede ist, beziehen sie sich bei der Personensuche auf den Temperaturunterschied des Objektes zum Hintergrund. Man spricht hier vom thermischen Kontrast, den das Objekt bietet. Er entscheidet letztendlich, ob und über welche Distanzen die Person erkannt werden kann. Dabei treten die absoluten Temperaturen mehr in den Hintergrund.

Bei der Suche nach lebenden Personen im Freien sind Körperoberflächentemperaturen von knapp 30 °C zu erwarten. Je nach Wetter, Tages- und Jahreszeit und ihrer Verweildauer vor Ort kann es jedoch zu den unterschiedlichsten thermischen Effekten kommen. Lebende Personen, können andere Kontraste zeigen, als leblose Personen, die nach einer gewissen Zeit Umgebungstemperaturen annehmen können und ein Auffinden nahezu unmöglich machen. Hier spielt auch der Zeitfaktor eine wichtige Rolle.

Andererseits sind Fälle denkbar, die kurzzeitig relativ hohe thermische Kontraste womöglich bis zu 50 Kelvin auftreten lassen: Eine verwirrte Person verlässt bei Minusgraden einen beheizten Innenraum oder Personen irren nach einem Unfall im Schockzustand bei Dunkelheit im Umfeld herum oder wurden herausgeschleudert. Es handelt sich um Einsatzfälle, die nicht allzu selten auftreten. Auch hier ist der Zeitfaktor eine entscheidende Größe, denn Abkühlungseffekte werden aber in kürzester Frist zu einem weitgehenden Temperatúrausgleich mit der Umgebung führen und sich negativ auf die Reichweite und Auffindbarkeit auswirken.

Naturgemäß ist auch die absolute Objekttemperatur der Objekte von Bedeutung. Ein Feuer beispielsweise kann je nach Wettersituation auch über mehrere Kilometer hinweg erkannt werden. Hier ist der thermische Kontrast extrem groß und kann auch 1000 Kelvin betragen. Durch den Verbrennungsprozess werden ständig enorme Energiemengen produziert, sodass die abgehenden Strahlungsmengen über einen langen Zeitraum auf

hohem Niveau gehalten werden. Sie sind natürlich viel größer als die, die vom Menschen produziert werden können. Die Reichweiten können so sehr verschieden ausfallen.

### **3.3.2.3 Strahlungseigenschaften**

Die Strahlungseigenschaften von Personen, genauer gesagt die physikalischen Emissionseigenschaften ihrer Oberflächen, können als gut bezeichnet werden. Das trifft für ihre bekleideten als auch unbekleideten Bereiche zu. Sie sind sozusagen gute Strahlungsobjekte und geben die Wärmestrahlung in einem hohen Grad ab. Das physikalische Maß hierfür ist der Emissionsfaktor  $\epsilon$ . Er gibt das Vermögen an, die Energie durch Strahlung abzugeben. Die menschliche Haut nimmt hierbei aufgrund des hohen Wasseranteils und ihrer rauen Struktur eine Spitzenposition ein. Der Emissionsfaktor wird in der Literatur [22] mit  $\epsilon = 0,98$  angegeben und entspricht fast einem Ideal, dem Schwarzen Strahler mit  $\epsilon = 1,00$ ).

Die Emissionsfaktoren für die Bekleidung liegen zwar deutlich darunter und bewegen sich je nach Materialzusammensetzung im Bereich oberhalb von ca. 0,60 und sind ebenfalls als gut zu bezeichnen. Genauere Angaben sind hier überflüssig da sie von den Bekleidungsarten, den Stoffeigenschaften und auch Nässegraden abhängen und im konkreten Falle aufwendig bestimmt werden müssten. Hier sei auf die entsprechende Literatur verwiesen. Im Normalfall sind die zu suchenden Personen jedoch bekleidet. Die freiliegende Körperoberfläche ist je nach Jahreszeit mehr oder weniger bedeckt, sodass die Strahlungseigenschaften der Personen weitgehend durch die Kleidung bestimmt sind. Sie sind also insgesamt als sehr gut zu bezeichnen.

Kleidung mit hohen Reflexeigenschaften ist allerdings im Allgemeinen als sehr ungünstig anzusehen, da sie hochgradig nur die Umgebungsstrahlung wiedergibt und die (gesuchte) Objektstrahlung überdeckt. Allerdings können in Reflexen auch Fremdstrahlungen anderer markanter Quellen wiedergeben, sodass die gesuchten Objekte dann auf diese Weise im Wärmebild auffällig werden.

#### **3.3.2.4 Lage und Position**

Auch für den Infrarotbereich ist es notwendig, dass das Objekt möglichst frei sichtbar ist und dem Suchenden eine möglichst große Fläche bietet. Sie darf weder von Hügeln und Mauern verdeckt sein, noch vom Laub, Gräsern, Bäumen, Sträuchern und Buschwerk. In der kalten Jahreszeit ist die Sachlage etwas günstiger, da die Gräser oft flach liegen und das Blattwerk fehlt.

Es sei auch erinnert, dass Wärmestrahlung im genutzten Wellenlängenbereich der Wärmebildkameras von 8 – 14 µm nicht die im Visuellen transparenten Medien, Glas, Kunstglas und Folien zu durchdringen vermag, und folglich Personen nicht durch Fenster oder Glasfronten von Gewächshäusern „gesehen“ werden können.

Ebenso kann die momentane Körperhaltung der zu suchenden Person Einfluss auf ihre Erkennbarkeit nehmen. Sie kann sich in liegender, hockender, sitzender oder aufrechter Position befinden. Die beste Position ist immer die, die die größte Strahlungsfläche dem Suchenden bietet. In der liegenden Position kann die Person vom Bodenbewuchs mehr oder weniger verdeckt sein und ist die ungünstigere. Die aufrechte Front und Rückenposition sind logischerweise die Besten. Auf jedem Fall sei dem Einsatzpersonal anzuraten, ausreichende Positionswechsel vorzunehmen. So lassen sich die optimalen Suchoptionen finden. Eine Reihe von Experimenten im Abschnitt 5 befasst sich gesondert mit dieser Problematik.

#### **3.3.3 Meteorologische Bedingungen**

Die meteorologischen Bedingungen in ihrer Gesamtheit bilden die alles entscheidende Einflussgröße für die Reichweite einer Wärmebildkamera und bestimmen letztendlich ihren Einsatzerfolg. Die Bedingungen können ideal sein und lassen maximale Reichweiten erwarten, andererseits können sie dazu führen, dass sie sich im Extremfall auf wenige Meter reduzieren. Die Einsatzkräfte sollten sich in die Lage versetzen den Einsatzerfolg einer Wärmebildkamera anhand der Wetterdaten einschätzen zu können.

Die meteorologischen Erscheinungen beeinflussen die Transmissions-eigenschaften der uns umgebenden Atmosphäre in einem hohen Grad. Elektromagnetische Strahlung in Form von Wärmestrahlung kann sich nur im Vakuum störungsfrei und ohne Dämpfung ausbreiten. (So erreichen Licht und Wärmestrahlung hoher Energie der Sonne nahezu ungebremst den erdnahen Raum. Schon in den obersten Schichten tritt die Strahlung in eine Wechselwirkung mit deren Bestandteilen und wird in für Menschen erträgliche Größenordnungen gedämpft.)

Entscheidend für unsere Betrachtungen ist, dass Dämpfungsmechanismen auch in niederenergetischen Formen in der bodennahen Atmosphäre auftreten. Sie sind im Wesentlichen durch Wasserdampfanteile, Aerosole und Gasbestandteile zurückzuführen und beeinflussen die Ausbreitung der Infrarotstrahlung. In drei engen spektralen Bereichen, den sogenannten infrarot-optischen Fenstern, ist die Dämpfung relativ gering, sodass sich die Wärmestrahlung vergleichsweise ungedämpft ausbreiten kann. Hier können im weitesten Sinne Infrarot-Messgeräte, wie auch Wärmebildkameras, eingesetzt werden. Die Wärmebildkameras der Feuerwehr arbeiten im dritten „infraroptischen Fenster“ im Bereich von 8 -14  $\mu\text{m}$  Wellenlänge. Infrarot-Messgeräte sind nach ihrer Messart Fernmessgeräten zuzuordnen. Eine durchlässige Atmosphäre ist für ihr Funktionieren unabdingbar.

Aufgrund der Tatsache, dass die Dämpfung der Wärmestrahlung von der Anzahl der Dämpfungsereignisse auf ihrer Wegstrecke abhängig ist, nimmt ihre Bedeutung für Fernanwendungen einen höheren Stellenwert ein. Hier muss die relativ schwache Objektstrahlung von Personen im Kontrast zur Hintergrundstrahlung über weite Strecken von der Kamera empfangen und ausgewertet werden. Ist die Transmission schlecht, so wird ein großer Teil der gerichteten Strahlung auf dem Weg durch Absorption, Beugung, Brechung oder Reflexion verloren gehen. Die thermischen Profile verwischen und können von der Kamera nicht mehr aufgelöst und dargestellt werden. Hier ist die Einsatzgrenze einer Wärmebildkamera schon längst erreicht und sie kann zur Seite gelegt werden.

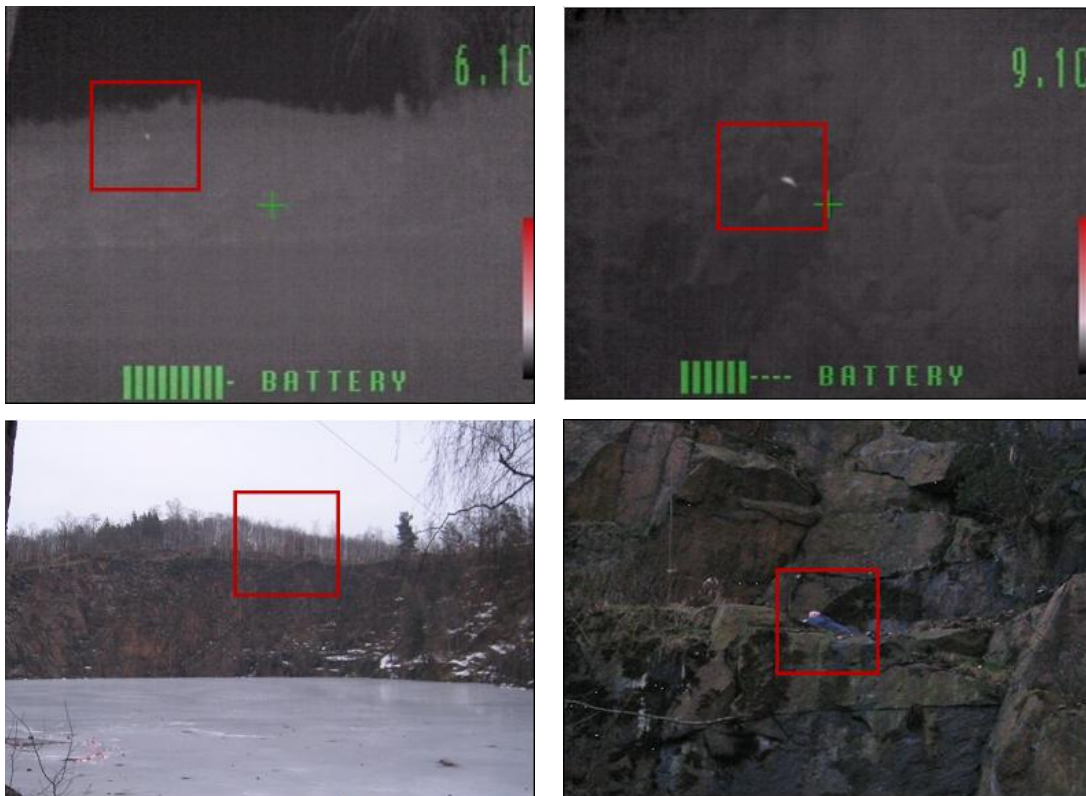
Wie gezeigt, wird der Grad der Transmission im Wesentlichen durch die meteorologischen Bedingungen bestimmt. Das heißt, das Wettergeschehen im Tages- und Jahresablauf nimmt stets und ständig Einfluss auf die Reichweite der Wärmebildkamera. Somit wird klar, dass für Fernanwendungen keine konkreten allgemeingültigen Reichweiten gegeben werden können, sondern nur Richtentfernungen, die unter diesen und jenen Bedingungen zu erwarten sind.

### **3.3.3.1 Tag und Nacht**

Der Einsatz der Wärmebildkameras bei Nacht ist plausibel, da keine Sicht besteht oder die Sicht extrem eingeschränkt ist und Suchvorgänge mit künstlichen Lichtquellen auch nur im Nahbereich für Sichtverbesserungen sorgen. Hier ist die Wärmebildkamera ein ideales Einsatzhilfsmittel. Sie nutzt die natürliche Wärmestrahlung der Szene und benötigt keine weiteren Hilfsmittel. Die Nachtsichteigenschaften der Wärmebildkameras kommen nun zum Tragen.

Sollte die eingesetzte Kamera über einen sogenannten Invers-Modus verfügen, so sollte dieser genutzt werden. Hierbei wird die Farbpolarität im Wärmebild umgekehrt von Schwarz/Weiß auf Weiß/Schwarz. Dunkle Einzelpixel auf einem hellen Hintergrund sind auf dem Bildschirm besser zu sehen als umgekehrt.

Doch auch am Tage sind Wärmebildkameras erfolgreich einsetzbar. Insbesondere bei Suchvorgängen zu kühlerer Jahreszeit kann eine Wärmebildkamera sinnvoll sein, wie das Einsatzbeispiel in Abbildung 9 zeigt. Nicht immer gibt der visuelle Blick Personen frei, insbesondere, wenn die Kleidung sich nicht deutlich von der Umgebung abhebt oder die Lichtverhältnisse in der Abenddämmerung es nicht mehr zulassen.



(a) Personensuche am Tage –  
Fernaufnahme

(b) Personensuche am Tage –  
Nahaufnahme

**Abbildung 9: Einsatzvorteil bei Personensuche am Steinbruchsee [15]**

Für das Arbeitsregime einer Kamera ist es prinzipiell egal, ob sie bei Tag oder Nacht eingesetzt wird. Lichtwellenlängen kann sie ohnehin nicht empfangen und verarbeiten. Trotzdem finden wir bei Tag oder Nacht unterschiedliche Verhältnisse vor. Ursache sind Störstrahlungsquellen, die am Tage ihre Wirkung zeigen, die Objektlandschaft prägen und somit die Reichweite beeinflussen. Die Sonne stellt in vielen Fällen die hauptsächlichste Störursache dar, aber auch ein freier Himmel mit Temperaturen unter  $-40\text{ °C}$  kann das Wärmebild negativ beeinflussen. Dabei stört die Sonne in doppelter Hinsicht:

Erstens kann das Sonnenlicht unvermittelt oder durch Reflexion in die Kamera eintreten. In beiden Fällen wird die Kamera automatisch auf die neuen Energieeinträge justiert und folglich dann unempfindlicher, sodass kleinere thermische Kontraste, die von Personen abgegeben werden, verschwinden.

Zweites kann es durch Sonneneinstrahlung zu großflächigen Erwärmung des Erdbodens, von größeren Gebäudeflächen und Objekten kommen, sodass die gewünschten thermischen Kontraste im Szenebereich verloren gehen können. Dabei können Personen „bestrahlt“ werden und die Umgebungstemperatur annehmen.

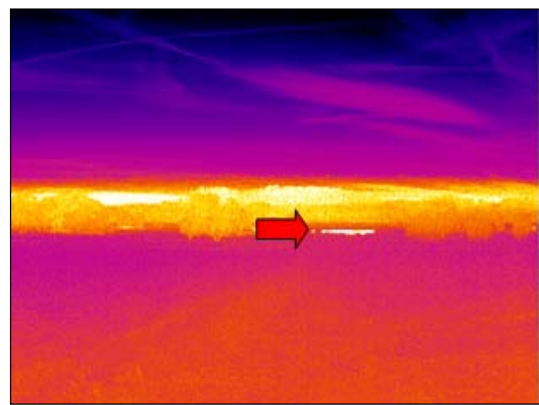
Demgegenüber bietet die Nacht prinzipiell bessere thermische Einsatzbedingungen. Boden und Landschaft sind ausgekühlt und thermisch ausgeglichen, sodass Personen bessere thermische Kontraste abgeben können. Die Reichweite verbessert sich.

### 3.3.3.2 Nebel

Wasser ist für Wärmestrahlung nicht transparent. So sollte man annehmen, dass Nebel stets eine strikte Barriere für Wärmestrahlung darstellt und die Reichweite einer Wärmebildkamera nachhaltig beeinflusst. Wie die Bilder in Abbildung 10 zeigt, ist dies nicht immer der Fall.



(a) Realbildaufnahme mit Nebelbank



(b) Entsprechende Wärmebildaufnahme

Abbildung 10: Suche nach Tieren

In diesem Beispiel führen die Konsistenz des Nebels und die thermischen Aufnahmebedingungen kaum zur Beeinträchtigung der Infrarotszene. Eine Rinderherde, die in ca. 500 m Entfernung von der Nebelbank komplett verhüllt ist, wird im Wärmebild als thermisches Objekt deutlich abgebildet (Pfeil). Eine Wärmebildkamera wäre hier sicher nutzbringend einsetzbar.

Nebel besteht bekanntlich aus einer Vielzahl kleiner „schwebender“ Wassertröpfchen. Ihre Größe und Konzentration sowie die Länge der

Übertragungsstrecke zeichnen sich für die konkrete Transparenz-Eigenschaft des Nebels verantwortlich. Leider sind die physikalischen Daten für diese Nebelbank nicht bekannt und wären auch schwerlich ohne großem Aufwand zu ermitteln gewesen. Die Sichteindrücke allein scheinen jedoch noch nichts über die tatsächliche Transparenz einer Nebelbank für den Infrarotbereich auszusagen.

Das Beispiel zeigt, dass Kameras auch bei dichten Nebelschwaden zu Einsatzvorteilen führen können. Konkrete Hinweise zur Abschätzung des Einsatzerfolges bei Nebelsituationen können an dieser Stelle nicht gegeben werden. Wahrscheinlich ist, dass man allein schon vom Sichteindruck auf den möglichen Dämpfungsgrad im Infraroten schließen kann. Welchen Einfluss dieser nun konkret auf die Reduzierung der Reichweite einer Wärmebildkamera nimmt, kann leider nicht sicher vorausgesagt werden. Viele Effekte hängen auch von konkreten Umgebungstemperaturen und der speziellen Konsistenz des Nebels ab. Dies zu bestimmen wäre auch nicht die Aufgabe einer Feuerwehr und wäre sicher überfordert. Den Einsatzkräften wird empfohlen, die Sichtweite einfach auszuprobieren und den möglichen Einsatzvorteil vor Ort zu bestimmen.

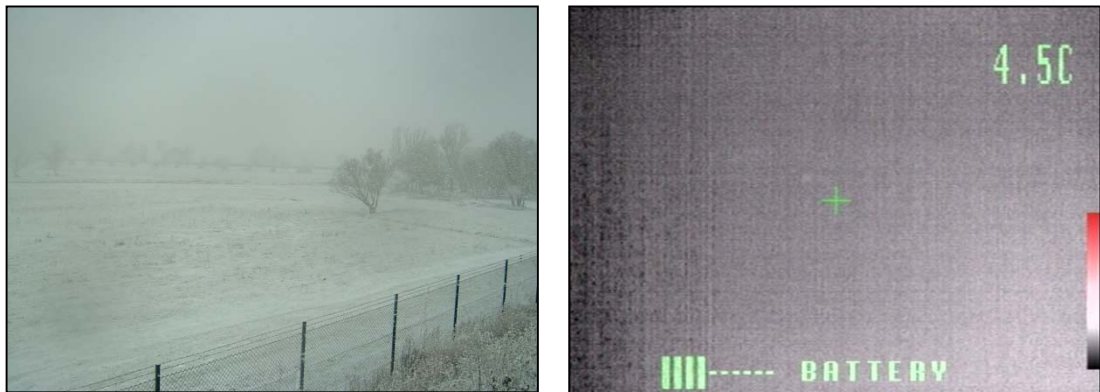
### **3.3.3.3 Niederschläge**

Auch Niederschläge in Form von Regen oder Schneefall können die Reichweite einer Wärmebildkamera beeinflussen.

**Erstens** nehmen sie Einfluss auf die Transparenz der Übertragungsstrecke. Wasser in Form von Regentropfen und gefroren als Schneeflocken behindern die gerichtete Ausbreitung der Objektstrahlung und führen mehr oder weniger zu Dämpfungsmechanismen, die sich in der Wärmebilddarstellung niederschlägt. Der Wirkungsgrad ist von der Konsistenz der Medien abhängig, die die Sachlage kompliziert gestaltet. Es gibt nicht „den“ Regen und „den“ Schneefall, sondern viele Formen und Grade der Ausprägung, vom Nieselregen bis zum Wolkenbruch, vom leichten Flockenwirbel bis hin zum dichten großflockigen Schneefall, also alle Variationen, die die Wetterküche bereithält.



In den Bildern der Abbildung 11 ist eine Winterlandschaft bei Schneefall dargestellt. Aus Sicht der Thermografie ist dies eine extreme Wettersituation, an der die Wärmebildkamera schnell an ihre Grenzen gerät: Eine Szene ohne thermische Kontraste, eine sehr geringe Transmissionsfähigkeit und niedrige Außentemperaturen. Das Wärmebild liefert den Beweis – eine verrauschte Bilddarstellung. Eine umher irrende Person als strahlendes Objekt würde unter diesen Bedingungen, wenn überhaupt, dann nur kurzzeitig und über sehr kurze Entfernungen entdeckt werden können.



(a) Winterlandschaft mit Schneefall

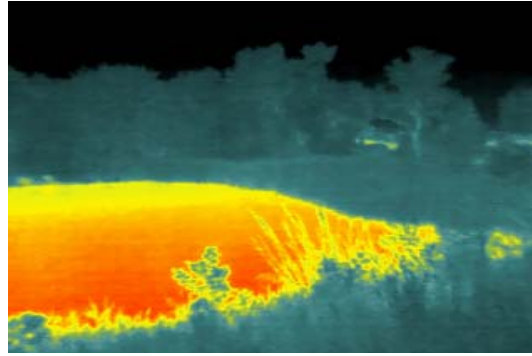
(b) entsprechendes Wärmebild

**Abbildung 11: Extreme Wettersituation - Schneefall**

**Zweites** führen Regen und Schnee zur Homogenisierung des thermischen Hintergrunds der Szene und verändern die thermische Landschaft mit positiven oder negativen Effekten. Bei anhaltenden Niederschlägen geht das thermische Profil einer Person rasch verloren und wird durch sie abgedeckt (Person wird nass). Haben die Niederschläge dagegen aufgehört, dann können zu suchende, trockene Personen sich deutlich von kühlem Hintergrund absetzen. Die Chancen, sie über größere Entfernungen zu erkennen sind dann deutlich erhöht.

Die Bilder in Abbildung 12 sollen die Wirkungen eines Landregens an einem See verdeutlichen. Er homogenisiert das thermische Profil im Umfeld. Eine nasse vermisste Person wäre dort kaum auffindbar. Der Regen hat dazu geführt, dass das gesamte Umfeld des Sees homogen auf niedrigem Niveau abgekühlt ist. Der See hat eine Temperatur von 18 °C. Eine trockene Person

könnte sich nach dem Regen auch in der Ferne sehr deutlich auf dem Wärmebild abzeichnen.



(a) Realbild der Aufnahmesituation

(b) entsprechendes Wärmebild

**Abbildung 12: Sommerlandschaft und Regen**

Es ist schwierig, experimentelles Datenmaterial zu bekommen. Das Wetter ist unplanbar und so hinzunehmen, wie es kommt und ist nicht für Fernuntersuchungen im Klimaschrank im Labor erzeugbar. Ebenso hat die Suche nach entsprechender Literatur keinerlei Anhaltspunkte ergeben, die auf eine grundlegende Bearbeitung des Themenkreises hinweisen.

#### **3.3.3.4 Luftdruck, Luftfeuchte und Windeinfluss**

Ein direkter Einfluss des Luftdrucks auf die Reichweite ist eher als gering zu betrachten und wäre schwerlich experimentell nachweisbar.

Eine hohe Luftfeuchte wird die Transmissionsfähigkeit der Atmosphäre senken, eine niedrige sie erhöhen. Eine Auswirkung ist denkbar, der Grad der Wirkung ist jedoch als gering einzuschätzen. Der Windeinfluss könnte bei Wetterwechsel Temperiereffekte beschleunigen oder kühlende Verdunstungseffekte bei Personen mit nasser Kleidung verstärken, sodass sich der thermische Kontrast zum Umfeld erhöht (schwimmende Personen, Personen, die sich ans Ufer gerettet haben).

Der Einfluss der genannten Wettergrößen ist nicht markant und nicht mit Daten zu belegen.

### 3.3.4 Personal und Einsatztaktik

Das Personal und Einsatztaktik spielen für eine erfolgreiche Personensuche oft eine entscheidende Rolle. Wärmebildkameras sind automatisch arbeitende Systeme, ihre Eigenheiten sollten gekannt und genutzt werden können. Einschalten und kurz mal durch die Gegend schwenken, damit ist es nicht getan. Oft werden gesuchte Personen nur deshalb nicht gefunden, weil man nicht versteht, die richtige Position zu finden oder auch die Kamera nicht sachgemäß hält. Das Personal muss ausgebildet sein, die Handhabung regelmäßig trainieren und die Arbeitsweise der Kamera in den Grundsätzen verstehen. Erst dann kann die Kamera erfolgreich genutzt werden, schließlich geht es bei der Personensuche oft auch um Lebensrettung

Auch die Einsatztaktik kann entscheidend sein. Der Einsatz am Boden ist am einfachsten zu bewerkstelligen, wenn es die Umgebungsbedingungen zulassen. Freie Sicht im weiten Umfeld wären ideale Geländeeigenschaften. Nur findet man sie eher selten. Ist der Boden mit hohen Gräsern, Büschen und vereinzelt Bäumen bewachsen, so reicht oft auch schon das Dach eines Einsatzfahrzeugs. In ca. 5 Meter Kopfhöhe sieht man oft schon mehr. Auch kann man das Fahrzeug bei Bedarf umsetzen, Anhöhen suchen oder gar Gebäudedächer nutzen.

Muss der Suchradius erweitert werden oder ist die Sicht durch Bäume, Hügel oder Gebäude behindert, sollte schon eine Drehleiter angefordert werden. Aus ca. 30 Metern Höhe erlangt man schon einen erstaunlichen Überblick im Umkreis von einigen Hundert Metern. Bei Bedarf könnte das Fahrzeug mehrfach umgesetzt werden, wenn die Gegebenheiten mitspielen.

Der Einsatz eines Hubschraubers bringt Einsatzvorteile, wenn schwieriges Gelände vorherrscht und Personen über größere Entfernungen gesucht werden müssen. Meist trifft das zu, wenn man nicht genau weiß, wo sich die Personen befinden. Hinsichtlich Mobilität und Einsatzvielfalt ist ein Hubschrauber durch nichts zu ersetzen. Polizeihubschrauber sind darüber hinaus mit hervorragenden, fest installierten Wärmebildkameras ausgestattet, die es erlauben Personen bis 2000 Metern Entfernung deutlich

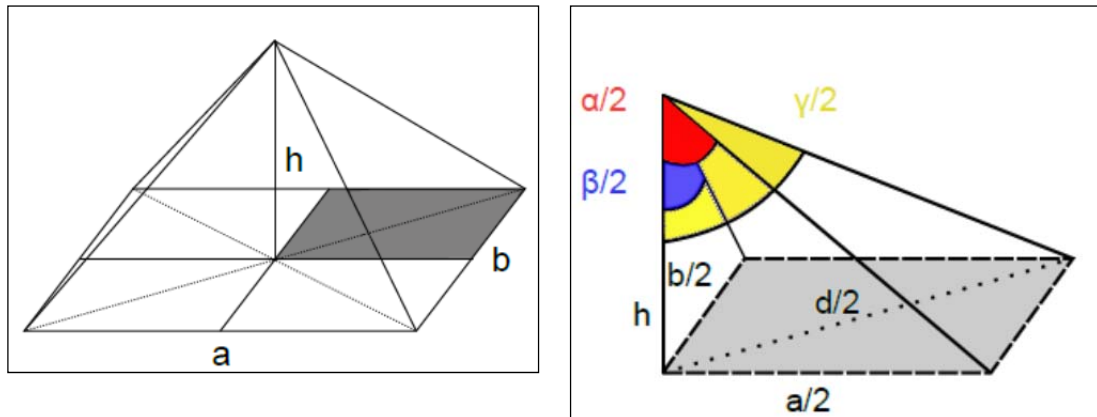
zu erkennen. Natürlich stellt ein Hubschraubereinsatz die aufwändigste und teuerste Lösung dar. Er sollte auch aus diesem Grunde nur dann gerufen werden, wenn besondere Situationen vorliegen und erfolgversprechende Einsatzbedingungen vorliegen. Die polizeilichen Einsatzkräfte haben das notwendige Wissen, dies einzuschätzen. In den Abschnitten 4 und 5 werden die taktischen Herangehensweisen ausführlich experimentell untersucht.

### **3.4 Berechnungsgrundlagen**

Im Abschnitt 3.3.1.2 wurde darauf hingewiesen, dass die Reichweite einer Kamera auch mit der Größe der Bildöffnungswinkel im Zusammenhang steht. Die Angaben zu den Winkeln sind zwar in den technischen Unterlagen zu finden, sie werden aber nicht einheitlich in Horizontal- und Vertikalwinkel angegeben, sondern verbreitet im angloamerikanischen Raum nur als Diagonalwinkel. Teilweise werden die bestimmenden Größen auch komplett angegeben. Leider sind die Angaben oft fehlerhaft und nicht schlüssig, sodass kein Vergleich der Kameras miteinander erfolgen kann. Aus diesem Grunde wurden Experimente und eigene Berechnungen zu den Bildöffnungswinkeln durchgeführt und mit den Herstellerangaben verglichen [16]. In der Folge war es möglich, die theoretische Reichweite der Modelle für die Personensuche zu berechnen. Die Berechnungsgrundlagen werden nachfolgend vorgestellt.

#### **3.4.1 Bestimmung der Öffnungswinkel**

Das Sichtfeld (Szene) einer Wärmebildkamera beschreibt ein Rechteck mit den Kantenlängen  $a$  und  $b$ . Die Entfernung zwischen der Wärmebildkamera und der Szene sei  $h$ . Die geometrischen Verhältnisse sind in Abbildung 13 dargestellt. Zur Winkelbestimmung ist eine Unterteilung in 4 gleiche Pyramiden notwendig. Abbildung 13 (b) verdeutlicht eine der vier Teilpyramiden mit den Winkeln  $\alpha/2$ ,  $\beta/2$  und  $\gamma/2$  sowie den Geraden  $a/2$ ,  $b/2$  und  $d/2$ .



(a) Sichtfeld der Kamera im Ganzen

(b) Dreieckspyramide

Abbildung 13: Geometrische Verhältnisse an der Bildeingangsoptik

Es wird angenommen:

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{a/2}{h} \quad (1)$$

$$\tan\left(\frac{\beta}{2}\right) = \frac{b/2}{h} \quad (2)$$

$$\tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \frac{d/2}{h} \quad (3)$$

Für  $\gamma$  ergibt sich durch Umformung

$$\gamma = 2 \arctan\left(\frac{d/2}{h}\right) \quad (4)$$

Da die Grundfläche ein Rechteck bildet, umschließen die Geraden  $a/2$ ,  $b/2$  und  $d/2$  ein rechtwinkliges Dreieck. So ergibt sich aus dem Satz von Pythagoras Gleichung 20. Ebenso können die Geradenhälften  $a/2$  und  $b/2$  über Winkelbeziehungen wie folgt beschrieben werden:

$$\frac{d}{2} = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} \quad (5)$$

$$\frac{a}{2} = h \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (6)$$

$$\frac{b}{2} = h \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (7)$$

Ersetzt man nun  $d/2$  in Gleichung 4 und verwendet die Winkelbeziehungen, so erhält man für den Diagonalwinkel :

$$\gamma = 2 \cdot \arctan\left(\frac{\sqrt{\left(h \cdot \tan\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left(h \cdot \tan\frac{\beta}{2}\right)^2}}{h}\right) \quad (8)$$

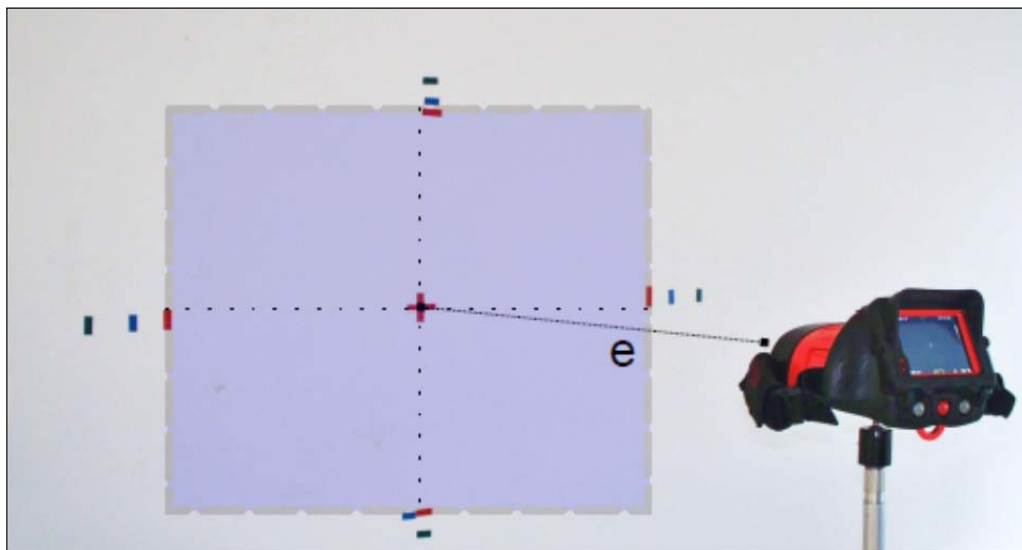
Mit der endgültigen Gleichung (9) kann nun ein Diagonalwinkel nur mittels gegebener Horizontal- und Vertikalwinkel berechnet werden

$$\gamma = 2 \arctan\left(\tan^2\frac{\alpha}{2} + \tan^2\frac{\beta}{2}\right) \quad (9)$$

In Tabelle 1 im Anhang A sind die Angaben der Hersteller zu den Bildöffnungswinkeln ihrer Modelle zusammengestellt und durch berechnete Werte ergänzt. Dies lässt nun erstmals einen Vergleich der Modelle untereinander zu. Auftretende Differenzen zwischen vom Hersteller angegebenen und berechneten Diagonalwinkel sind nicht eindeutig aufklärbar. Sie können durch eigene abweichende Berechnungsvorschriften unter oder durch Einbeziehung optischer Korrekturverfahren beruhen. Andererseits kann die Auflistung fehlerhafter Werte beiderseits nicht ausgeschlossen werden.

### 3.4.2 Experimentelle Bestimmung der Öffnungswinkel

Mit dem folgenden Experiment können die Winkel auch experimentell ermittelt werden. Dazu wird die Wärmebildkamera in einer Entfernung  $e$  zur Wand aufgestellt, sodass die optische Achse orthogonal zur Wand ausgerichtet ist. Abbildung 14 stellt den Aufbau des Experimentes dar.



**Abbildung 14: Versuchsaufbau zur Sichtfeldbestimmung**

Nun müssen die Grenzen des Sichtbereiches ermittelt werden, indem mit einem erwärmten Zeigestab auf der Wand vom nichtsichtbaren Bereich in Richtung Sichtfeldmittelpunkt gefahren wird. Währenddessen wird der Bildschirm beobachtet und die Stelle markiert, ab welcher der Zeigestab als Wärmequelle sichtbar wird. Mithilfe des beschriebenen Verfahrens werden die vier Kanten, die die Grenze des Sichtbereiches darstellen, abgetragen. Im Anschluss müssen die Abstände zwischen Ober- und Unterkante sowie linker und rechter Grenze gemessen werden. Dabei sind der Abstand zwischen oberer und unterer

Kante als  $b$  und zwischen linker und rechter Kante als  $a$  zu notieren. Es entstehen Pyramiden, wie sie aus den Abbildungen 13 bereits bekannt sind. Durch Umformen der Gleichungen 1 bzw. 2 können die Winkel berechnet werden.

$$\alpha = 2 \cdot \arctan \left( \frac{\frac{a}{2}}{e} \right) \quad (10)$$

$$\beta = 2 \cdot \arctan \left( \frac{\frac{b}{2}}{e} \right) \quad (11)$$

Dieses Experiment wurde beispielhaft mit den Kameras 1, 2, 5 und 8 durchgeführt. Dabei wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Werte gemessen. Eine Erweiterung des Experimentes ergibt sich durch die Messung der Sichtfelddiagonalen, welche mit Kamera 2 gemessen wurden. So kann der Diagonalwinkel durch Umformen von Gleichung 18 direkt berechnet werden. Die experimentell ermittelten Sichtfeldabmessungen und Sichtfeldwinkel sind in den Tabellen 2 und 3 aufgelistet.

**Tabelle 2: Sichtfeldabmessungen [cm]**

	Entfernung e	Bildbreite a	Bildhöhe b	Diagonale d
Kamera 1	100	94	66,5	
Kamera 2	100	106	74	146
Kamera 5	100	102	73	
Kamera 8	100	84	65	

Bei einem maximal anzunehmenden Messfehler von 2 cm pro Längenmessung ergibt sich eine Messgenauigkeit von +/- 1°. Damit stimmen die ermittelten Werte mit den Herstellerangaben überein.

**Tabelle 3: Experimentell bestimmte Sichtfeldwinkel [°]**

	Horizontalwinkel $\alpha$	Vertikalwinkel $\beta$	Diagonalwinkel $\gamma$
Kamera 1	50,35	36,78	
Kamera 2	55,85	40,61	72,26
Kamera 5	54,04	40,10	
Kamera 8	45,56	36,01	



### 3.4.3 Bestimmung der Sichtfeldbreite

Sind die Winkel des Sichtfeldes einer Kamera nun bekannt, kann durch einfache geometrische Berechnungen die Größe einer Wärmebildszene in Abhängigkeit von der Entfernung dargestellt werden. Mit anderen Worten nimmt die aufgenommene Szene in ihren Abmaßen (Höhe und Breite) mit der Entfernung linear zu.

Abbildung 15 zeigt den linearen Verlauf der 8 eingesetzten Kameras. Kamera 1 und Kamera 8 sowie Kamera 3 und 4 haben aufgrund gleicher Parameter jeweils den gleichen Kurvenverlauf. Es wird ersichtlich, dass in einer Entfernung von 500 m eine Szenenbreite von 320 m bis 540 m abgebildet werden kann, je nach dem genutzten Kameramodell. Genaue Werte sind beispielsweise für die eingesetzten Kameras in den Tabellen 2 bis 5 im Anhang A aufgelistet.

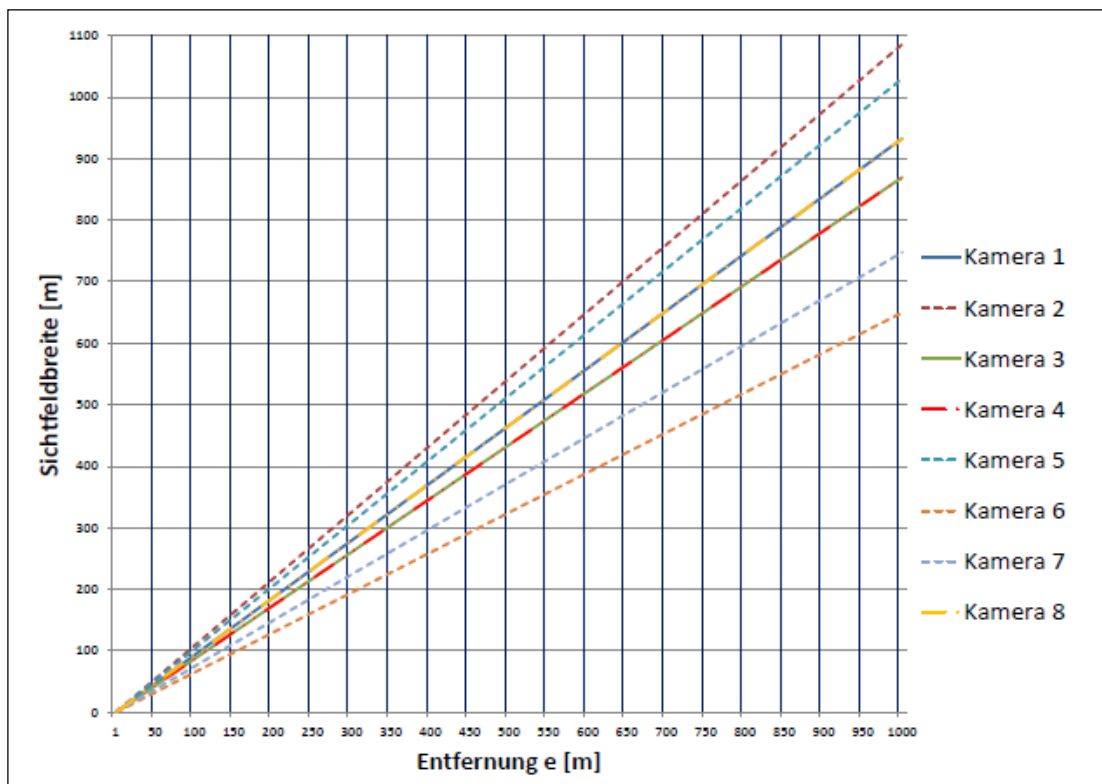


Abbildung 15: Sichtfeldbreite in Abhängigkeit der Entfernung

### 3.4.4 Berechnung der theoretischen Reichweite

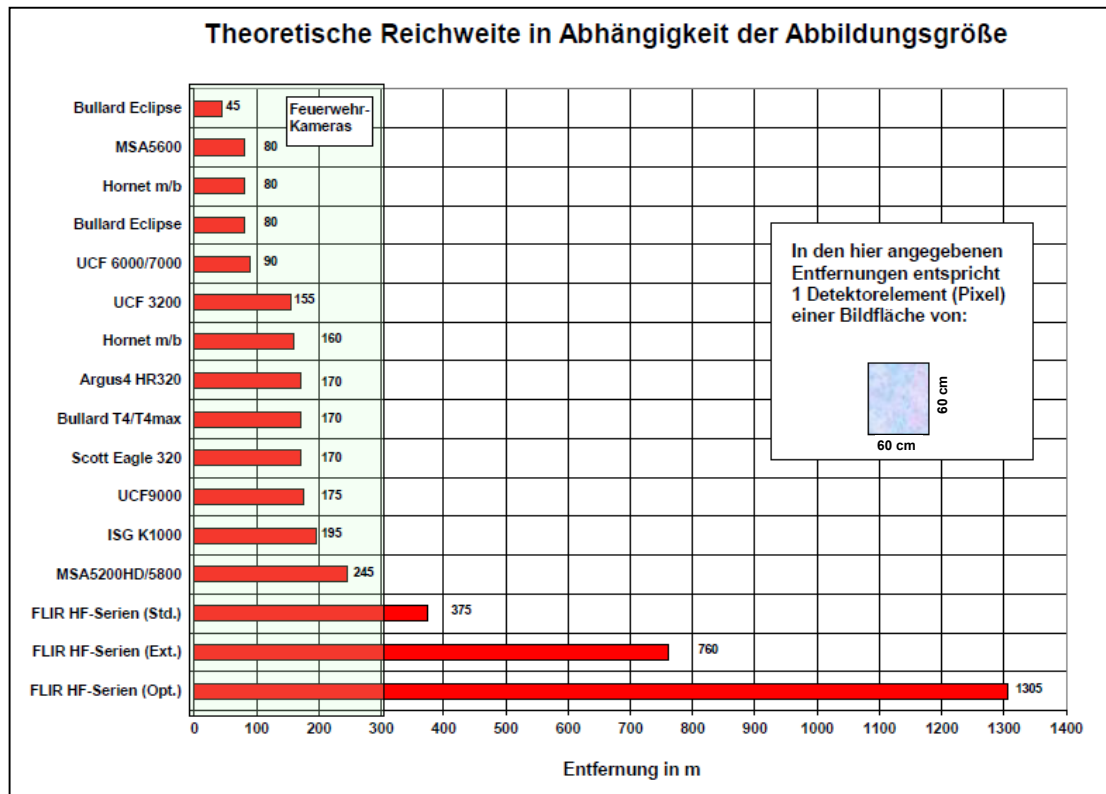
Weiterhin kann mit Hilfe der Gleichungen 12 und 13 die Fläche berechnet werden, die ein einzelner Bildpunkt (Pixel) in Abhängigkeit der Entfernung abbilden kann. Die thermische Abstrahlung der Fläche mit den Kantenlängen  $s_A$  und  $s_B$  bedingt das Signal des einzelnen Bildpunktes und damit die Einfärbung eines Pixels auf dem Bildschirm der Wärmebildkamera.

$$s_A = \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) e \frac{2}{n_{Pixel}} \quad (12)$$

$$s_B = \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) e \frac{2}{n_{Pixel}} \quad (13)$$

Definiert man nun eine bestimmte Fläche, ist ein erster Vergleich der Reichweite möglich. Zur Vereinfachung kann auch nur eine Kantenlänge definiert werden, da die Flächen grob annähernd Quadrate bilden. Hierzu wurde beispielhaft eine Breite (entspricht  $s_A$ ) von 600 mm gewählt. Dies entspricht circa der Breite eines menschlichen Torsos in Frontalansicht. Würde sich die Abbildungsfläche (hier Abbildungsbreite) eines Pixel vergrößern, würde automatisch Hintergrundstrahlung die Visualisierung einer Person in einer Szene verschlechtern. Schon die Erkennung eines „heißen“ Pixel auf dem Bildschirm erfordert ein geübtes Auge.

In der Abbildung 16 sind die Ergebnisse der Berechnungen zur theoretischen Reichweite unter den genannten Kriterien für vollkommen willkürlich ausgewählte Kameramodelle dargestellt. Die Berechnungen erfolgten nach den Angaben der Hersteller entsprechend Tabelle 1 im Anhang A. Da diese Werte einen rein theoretischen Charakter annehmen, wurden die Modelle ausnahmsweise unter ihren Klarnamen dargestellt. Es ist ersichtlich, dass allein schon durch ihre Optik erhebliche Unterschiede in der „theoretischen“ Reichweite zwischen den Kameramodellen auftreten können.



**Abbildung 16: Berechnete „theoretische“ Reichweiten auf Basis der Öffnungswinkelangaben für ausgewählte Kameramodelle**



## **4 EXPERIMENTELLE VORUNTERSUCHUNGEN (MESSKAMPAGNE 1)**

### **4.1 Aufbau eines Versuchsstandes**

Zunächst bestand die Aufgabe darin, einen eigenständigen experimentellen Versuchsstand zu schaffen, mit dem es möglich ist, den Einfluss der Wetterbedingungen auf die Reichweite zu untersuchen. Um den personellen und versuchstechnischen Aufwand in Grenzen zu halten, waren einfachere künstliche Testobjekte vorgesehen. Da sich der Wetterablauf frei gestaltet und nicht beeinflussbar ist, war ein unvergänglicher stationärer Versuchsaufbau notwendig, der folgenden Ansprüchen genügt:

- Einfacher Versuchsaufbau mit geeigneten Messobjekten in Standortnähe
- Nutzung geeigneter künstlicher Messobjekte
- Messwerterfassung (T) an den Objekten (Vielstellenmesstechnik)
- Erfassung aller Wetterdaten (Wetterstation)
- Gleichzeitiger Einsatz mehrerer Kameras (Vergleichsmöglichkeiten)
- Langzeitnutzung möglich (fester Versuchsaufbau)
- Kurzfristige Aktivierung bei Änderung der Wettersituation
- Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reelle Personen.

Als nahezu ideales Objekt erwies sich ein angrenzender Sportplatz mit einer über 100 Meter langen geraden Laufbahn, wie in Abbildung 17 dargestellt. Als einfache Messobjekte wurden zehn 10-Liter-Kanister ausgewählt und wechselseitig im Abstand von jeweils 10 Metern aufgestellt. Sie wurden jeweils mit 10 Liter gleichwarmem Wassers mit der Anfangstemperatur von 30 °C gefüllt.

Im Anfangsstadium konnten im Bereich bis 100 m noch alle Kanister deutlich erkannt werden. Durch die kältere Umgebung kühlten sich die Kanister rasch ab und reduzierten die Temperaturdifferenz zum Hintergrund. Es war notwendig, das Temperaturverhalten der Messobjektoberflächen zu überwachen.



(a) Versuchsstand

(b) entsprechendes Wärmebild

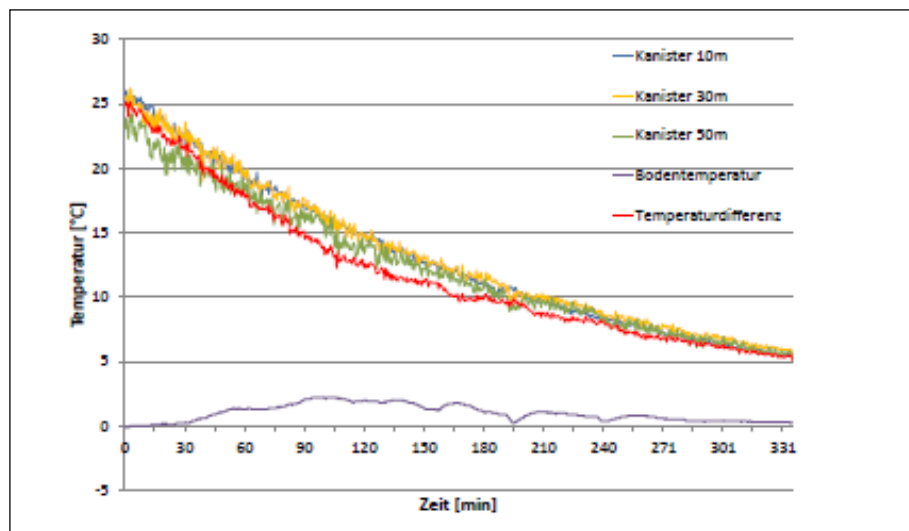
### Abbildung 17: Experiment Reichweitentest mit Einzelkanistern

Die Oberflächentemperaturen wurden mit Thermoelementen gemessen und die Abkühlungsverläufe mit einer Messwerterfassungsanlage aufgezeichnet [25]. Ebenso wurden mit einer Computer-Wetterstation die Größen Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Bodentemperatur aufgezeichnet [23]. In der Abbildung 18 ist ein typischer Verlauf der Abkühlungskurven von den Messobjekten in verschiedenen Entfernungen dargestellt. Er ist zu erkennen, dass die Kanister insgesamt ein gleichmäßiges Abkühlungsverhalten aufweisen und es keine Bereiche mit Bevorzungen (Windschneisen) gibt. Der „Durchhang“ in der Kurve der Temperaturdifferenz ist auf die Erhöhung der Bodentemperatur zur Tagesmitte zurückzuführen

Mit Versuchsbeginn wurden viertelstündlich Wärmebilder gespeichert. Bei einer Anfangsoberflächentemperatur von 20 °C bis 25 °C und einer Abkühlungsrate von 3,8 K/h war eine Versuchsdauer von mehreren Stunden vorgegeben. Das Diagramm der Abkühlungskurven bestätigt bei einer Dauer von 5,5 Stunden die Abkühlung von 20 K auf nahezu 5 Kelvin am Ende der Messperiode.

Es musste festgestellt werden, dass es innerhalb der simulierten Temperaturspannen und innerhalb der Beobachtungsentfernungen zu keinerlei Veränderungen in den Bilddarstellungen gekommen ist. Somit steht der erzeugte Temperaturbereich außerhalb der Einflussgrenze. Es kamen bei wiederholten Versuchen eine Reihe verschiedener Modelle

unterschiedlichster Leistungsfähigkeit zum Einsatz. Alle Kameras waren im Rahmen ihrer möglichen Bildschärfe in der Lage, die Kanister mehr oder weniger scharf abzubilden. Erst ab einer Temperaturdifferenz unterhalb von 5K verschwanden die ersten Kanister in der Ferne.



**Abbildung 18: Ausgewählte Abkühlungsverläufe der positionierten Kanister**

Das Experiment wurde anfänglich sehr intensiv betrieben (9 Versuche) und jedwede Wettersituation genutzt, es musste aber abgebrochen werden, da die Untersuchung der minimalen Temperaturdifferenz zwischen Messobjekt und Umgebung keine Ergebnisse brachte. Das Verfahren zeigte sich in diesem Temperaturbereich als nicht ergiebig und taugte bestenfalls dazu, die Bildqualitäten der leistungsstärksten Kameramodelle miteinander zu vergleichen (siehe Abschnitt 3.3.1.1). Es zeigte sich ebenfalls, dass die maximal nutzbare Messentfernung von 100 Metern auf dem Sportplatz ausgereizt war und sich als wesentlich zu kurz erwiesen hat.

## 4.2 Auswahl derameratechnik

Für die Versuche wurde ein breites Spektrum an aktueller Kameratechnik genutzt. Aufgrund der großen Anzahl an Kameramodellen- und Varianten, die den Feuerwehren zur Verfügung stehen, war es notwendig, eine Vorauswahl zu treffen. Hauptkriterium hierbei waren die technischen Daten, wie das thermische und räumliche Auflösungsvermögen, Bildöffnungswinkel, die Leistungsfähigkeit der Kamera insgesamt, sowie ihre Handhabung und

ihr Verbreitungsgrad. Zum großen Teil konnten die Kameras aus dem eigenen Bestand an Ausbildungstechnik am Standort Heyrothsberge genutzt werden, die restliche Technik bestand aus befristeten Leihgaben von den Vertriebsfirmen, die uns freundlicher Weise für die Versuche zu Verfügung gestellt wurden. Zur Minimierung des Aufwandes wurde die Anzahl an genutzten Kameras auf insgesamt 10 Modelle begrenzt. In der ersten Messkampagne wurden 8 Modelle in die Versuche mit einbezogen. Sie wurden in der zweiten Messkampagne durch zwei aktuell neue Modelle ergänzt. Hier kamen nur noch 4 der aussichtsreichsten Kameras zum Einsatz. In Tabelle 4 sind die in der Arbeit verwendeten Kameras aufgeführt. Die Klarnamen der Modelle sind anonymisiert, um den Wettbewerb nicht zu beeinflussen.

**Tabelle 4: Kameramodelle mit ausgewählten Daten**

Kamera	MB - Detektor	Bildöffnungswinkel	Bildschirmgröße	Digitalzoom	Messkampagne
1	aSi 320 x 240	50°x37,5°x60°	90 mm (3.5“)	2- und 4-fach	1 und 2
2	aSi 384 x 288	57°x41°x74°	90 mm (3.5“)	2- und 4-fach	1 und 2
3	aSi 160 x 120	47°x32°x62°	90 mm (3.5“)	2-fach	1
4	aSi 160 x 120	47°x32°x62°	90 mm (3.5“)	-	1
5	VOx 320 x 240	54°x41°x68°	90 mm (3.5“)	2-fach	1
6	VOx 320 x 240	34°x26°x41,6°	90 mm (3.5“)	2-fach	1
7	VOx 120 x 120	41°x41°x50,9°	90 mm (3.5“)	-	1
8	aSi 320 x 240	50°x37,5°x60°*	90 mm (3.5“)	-	1
9	aSi 364 x 288	43°x32°x54°	90 mm (3.5“)	2- und 4-fach	2
10	aSi 320 x 240	50°x37,5°x60°	69 mm (2.8“)	2- und 4-fach	2

## 4.3 Versuchsplätze mit größerer Reichweite

### 4.3.1 Künstliche Testobjekte

Trotz anfänglicher Misserfolge am Basisteststand wurde die Nutzung geeigneter künstlicher Testobjekte weiterhin als zweckmäßig angesehen und nach geeigneten Testobjekten gesucht. Sollten Objekte über größere Entfernungen hinweg erkannt werden, sind größere und menschenähnliche Gebilde notwendig. Allerdings war seit Anbeginn klar, dass dann der Beweis der Übertragbarkeit auf reelle Personen zu erbringen ist.



#### 4.3.1.1 Kanister-Testobjekte

Als sehr praktikabel und kostengünstig haben sich hierbei handelsübliche 10 Liter-Kanister als Wärmequelle erwiesen. Sie bestehen aus weißem bzw. blauem Kunststoff mit den Abmaßen 30,5 x 22,5 x 20,5 cm (Höhe x Breite x Tiefe). Sie können einzeln genutzt werden, können aber auch als Basiselement zum Aufbau weiterer Testobjekte, wie einer größeren Strahlerfläche in Form eines Rechtecks oder in den Abmaßen einer erwachsenen Testperson dienen.

Um spätere Aussagen richtig bewerten zu können, wurden verschiedene Untersuchungen zu den Messobjekten selbst durchgeführt. Da für den Wärmebildkameraeinsatz die aktuelle Temperaturdifferenz zwischen dem Objekt und seinem Hintergrund relevant ist, wurde das Abkühlungsverhalten näher betrachtet.

In den ersten Vorversuchen wurden zunächst einzelne Kanister mit Heißwasser aus einem Boiler gefüllt. Jedoch setzte sich später aufgrund der einfacheren schnelleren Durchführung eine einmalige Befüllung und Aufheizung auf einem Raumheizkörper durch. Abbildung 19 zeigt einen entsprechenden Kanister (a) als auch einen einfachen Versuchsaufbau zur Bestimmung des Abkühlungsverhaltens (b). Die Temperaturmessungen erfolgten

Um eine Abkühlungskurve im Freien zu simulieren wurde der Wasserkonister mit warmem Wasser von knapp 40 °C gefüllt und über einen Zeitraum von ca. 6 Stunden im Freien bei ca. 10 °C Lufttemperatur abgekühlt. Es ergab sich in diesem Experiment ein nahezu linearer Abkühlungsverlauf von etwa 3,8 °C pro Stunde, wie der Abbildung 20 zu entnehmen ist. mit Thermoelementen vom Typ K.



(a) Einzelkanister

(b) Versuchsaufbau

Abbildung 19: Versuchsaufbau Kanister-Abkühlungskurve

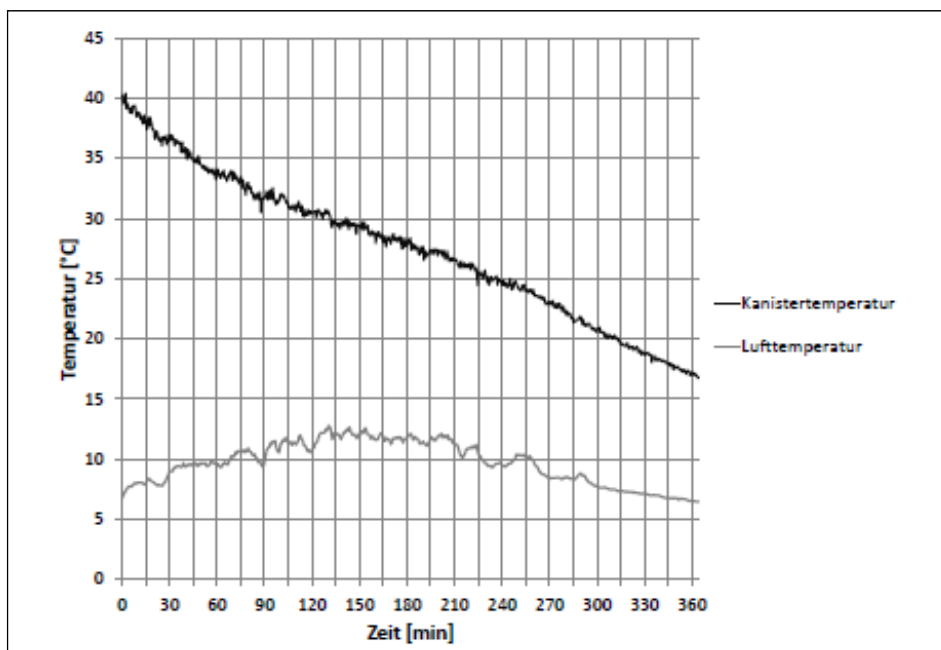


Abbildung 20: Abkühlungsverlauf der Kanisteroberfläche

Im ersten Fall dienten die Kanister zum Aufbau einer größeren strahlenden Fläche, wie in Abbildung 21 dargestellt. Dafür wurden 3 Kanister nebeneinander und in 3 Etagen übereinander gestellt. So entstand eine effektive Strahlungsoberfläche von ca. 67 cm Breite und 90 cm Höhe.

Dicke Baumwolldecken an den Seiten sorgten für eine gewisse Wärmeisolation und verminderten den Auskühlungsprozess. Die Vorteile kamen insbesondere bei starkem Wind zum Tragen.



(a) ungeschützt



(b) mit „Isolierung“

**Abbildung 21: Messobjekt „Rechteck“ aus Einzel-Kanistern zusammengesetzt**

Mit den Kanistern kann auch auf einfache Weise eine Testperson simuliert werden. Hier sind Anordnungen möglich, wie in Abbildung 22 gezeigt ist. Da die gefüllten Wasserkanister ziemlich schwer sind, wurden Regalaufbauten erforderlich. Es war ratsam, sie auf eine (fahrbaren) Unterkonstruktion zu setzen. Auf diese Weise entsteht eine „strahlende“ Sichtfläche von 150 cm Höhe und 45 cm Breite im Unterteil sowie von 67 cm im Schulterbereich, was einer, wenn auch kleineren, erwachsenen Person nahe kommt. Der Vorteil auch hier: Das Objekt konnte vor Ort verbleiben und war bei jedem Wetter aus der Ferne nutzbar. Es war nur vor dem Testgebrauch mit warmem Wasser zu befüllen.



(a) Vorderansicht



(b) Seitenansicht

**Abbildung 22: Testobjekt „Kanistermann“ mit zehn Kanistern**

#### 4.3.1.2 Testdummy

Das Institut der Feuerwehr verfügt über einen sogenannten „Thermoman“, einem Testdummy, der für spezielle Forschungsaufgaben konzipiert worden war. Er bot sich insbesondere als Testobjekt an, da er über ein Thermoregulationssystem verfügt, mit dem verschiedene Körpertemperaturen einstellbar sind. Die Figur besteht im Wesentlichen aus einer Schaufensterpuppe, die mit einer ca. 3 cm dicken Silikonschicht ummantelt ist. In dieser Schicht verlaufen Silikonschläuche, die mit Wasser durchlaufen werden, das über einen Kryostat temperiert wird. Hier kann die gewünschte Körpertemperatur eingestellt werden. Der Dummy ist fest auf einem Rollwagen montiert und begrenzt verfahrbar.

Der Vorteil dieses Versuchsobjektes besteht darin, dass verschiedene Körpertemperaturen simulierbar sind und er mit verschiedenen der Jahreszeit angepassten Bekleidungsarten versehen werden kann (Abbildung 23).



(a) Boxershorts, Hose



(b) T-Shirt



(c) Strickpullover

**Abbildung 23: Bekleidungsvariationen des Thermoman**

In der Wärmebildaufnahme der Abbildung 24 wird deutlich, dass ein derartiges Konstrukt „Thermoman“ sehr wohl in der Lage ist, als Personen-

Testobjekt seine Aufgaben zu erfüllen. Er kann das thermografische Profil einer Person nahezu identisch abbilden.



**Abbildung 24: Thermografischer Vergleich „Thermoman“ - Person**

Aus dieser Sicht muss er als Testdummy insgesamt für brauchbar eingestuft werden. Er wurde für quasistationäre Anwendungen im Laborbereich ausgelegt und auch genutzt, sodass die notwendige Kopplung mit dem großen und schweren Kryostat nicht weiter ins Gewicht fiel. Der Mobilität im freien Gelände setzt das Konzept jedoch enge Grenzen. Aufgrund dieser Einschränkungen und des Nutzungsaufwandes wurde dieser Weg der Objektdarstellung nicht weiter verfolgt.

Trotzdem ist eine spezielle Eignung für die Reichweitenproblematik nicht außer Acht zu lassen und so wurden mit ihm noch einige grundlegende Untersuchungen angestellt. Weitere Ergebnisse hierzu sind in [16] zu finden.

### **4.3.2 Natürliche Testpersonen**

Gegenüber der Abkühlung eines 10l-Kanisters ist das Abkühlungsverhalten einer realen Person wesentlich wichtiger. Natürlich sind hier andere Verhältnisse zu erwarten, da durch den Stoffwechselprozess und das Thermoregulationssystem des Menschen stets Wärme selbst nachgeführt wird und er nicht auskühlt.

Trotzdem soll eine Aussage getroffen werden, welche Temperaturverhältnisse auf der Oberfläche entstehen und welche zeitlichen Veränderungen zu

erwarten sind. So wurden im Winterhalbjahr fünf personelle Abkühlungsversuche durchgeführt.

Zur Versuchsdurchführung wurde eine Testperson mit 4 Temperaturmessstellen ausgestattet. Die einzelnen Messstellen befanden sich sowohl in speziellen Positionen auf den von Kleidung bedeckten Oberflächen auf Jacken und Hose als auch auf den freien Körperstellen, wie Stirn und äußere Handfläche. Dabei ist klar, dass bei der Personenerkennung den großflächigen Bereichen der Kleidung eine größere Bedeutung zukommt, da Hand- und Stirnflächen in der Entfernung nicht mehr klar aufgelöst werden können.

Die Messstellenanordnungen sind in den Bildern in den Abbildungen 25 und 26 dargestellt. Die Messwerterfassung erfolgte über das Messwertfassungssystem der Firma Ahlborn [25].



**Abbildung 25: Voll ausgestattete Versuchsperson**



**(a) Stirn**



**(b) Brust vorn**



**(c) Hand**



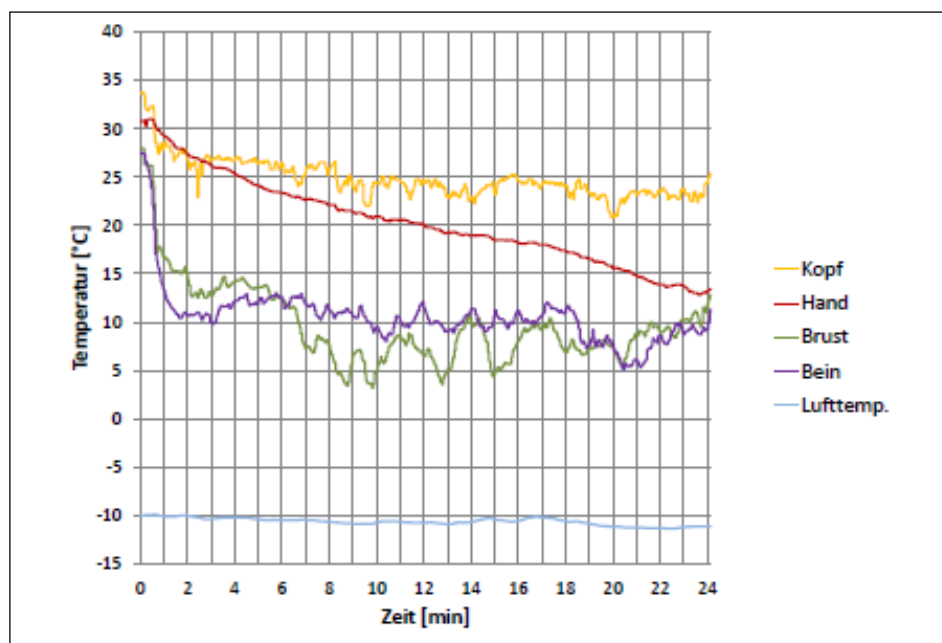
**(d) Rücken**

**Abbildung 26: Konkrete Messorte auf der Oberfläche von Körper und Kleidung**

Im Versuchsablauf begab sich die mit Temperaturfühlern ausgestattete Testperson ins Freie. Zuvor wurde die Messwerterfassung gestartet und Obacht gegeben, dass die Temperaturmessstellen stationäre thermische

Verhältnisse anzeigen. Die Raumtemperatur betrug 23 °C. Trotz winterlicher Temperaturen unter 0 °C wurde absichtlich nur eine dünne Kleidung gewählt, um einerseits einen schnellen Auskühlungseffekt zu erzielen, aber andererseits einen speziellen Praxisbezug zu realisieren. Diese Situation tritt ein, wenn Personen im Winter nach einem PKW-Unfall den warmen Innenraum verlassen und sich womöglich im Schockzustand im Umfeld aufhalten - Einsatzfälle, die fast täglich vorkommen. Ein typischer Kurvenverlauf ist im Diagramm in Abbildung 27 dargestellt.

In den Kurvenzügen wird deutlich, dass der Abkühlungsverlauf an den verschiedenen Messpositionen unterschiedlich ist und es im betrachteten Zeitraum von 24 Minuten zu Unterschieden im Abkühlungsverhalten zwischen den frei liegenden und bekleideten Messorten kommt. Je nach Kleidungsart und -dicke ist auf der Kleidung ein rascher Temperaturabfall zu verzeichnen.



**Abbildung 27: Temperaturverläufe Abkühlung einer Person**

Der Abkühlungsprozess an den äußeren Schichten, der thermografisch interessant ist, ist schon nach wenigen Minuten abgeschlossen und es wird ein relativ konstantes Temperaturniveau erreicht. Da durch Wärmeleitungsprozesse noch über einen längeren Zeitraum hinweg Wärme

nachgeliefert wird, bleibt dieser auch noch über einen gewissen Zeitraum, hier im Experiment über 20 Minuten, bestehen.

Dagegen kühlen sich die freien Oberflächen relativ langsam aus. Die Kurven für Hand und Stirn verlaufen deutlich flacher, wobei die Hand sich deutlich schneller und gleichmäßiger abkühlt. Grund ist das Thermoregulationssystem des Menschen, das durch eine intensivere Durchblutung die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten versucht. In diesem Fall kommt den Gehirnfunktionen eine höhere Bedeutung zu, den Extremitäten offensichtlich weniger.

Bei den Versuchen mit negativen Außentemperaturen stellten sich Temperaturdifferenzen von mindestens 12 K zwischen Objekt und Hintergrund bis hin zu 32 K ein. Dadurch ist hier noch über kürzere Strecken und über einen längeren Zeitraum hinweg mit einem guten thermischen Kontrast zu rechnen. Leider sind die prozentualen Anteile dieser Regionen zur Gesamtfläche nur verschwindend gering, sodass sich dieser Vorteil mit der Entfernung rasch verliert.

Auch hier ist zu bemerken, dass die gezeigten Ergebnisse nur speziell für diesen Fall zutreffen. Sie sind auf andere Klima- bzw. Wetterbedingungen nur bedingt zu übertragen. Trotzdem ist davon auszugehen, dass dickere und geschlossene Kleidung immer für eine schnellere Angleichung an das Umgebungstemperatur-Niveau sorgt und den gewünschten thermischen Kontrast zum Hintergrund minimiert.

In den Abbildungen 1 und 2 im Anhang A sind weitere Kurvenverläufe zu anderen Zeitpunkten dargestellt. Es wird deutlich, dass die Kurvenverhältnisse stark von den Umgebungsbedingungen und der Bekleidung abhängig sind.



## 4.4 Erste Reichweitenbestimmungen

### 4.4.1 Stationäre künstliche Messobjekte

Die Messobjekte Rechteck und Kanistermann wurden hinsichtlich ihrer Eignung zur Reichweitenbestimmung untersucht und im urbanen Umfeld positioniert. Es konnten Messstrecken bis zu 300 Metern genutzt werden. Dabei wurden die Objekte am Startpunkt (0 m) fest positioniert und die Kameras bewegt. Der logistische Aufwand, die Objekte zu bewegen, war erheblich größer, als die Kameratechnik an verschiedenen Messpunkten zu positionieren. Die Versuchsfeldbedingungen mit Blick auf Start- und Endpunkt sind der Abbildung 28 dargestellt.



(a) Blick auf den Startpunkt

(b) Blick auf den Endpunkt

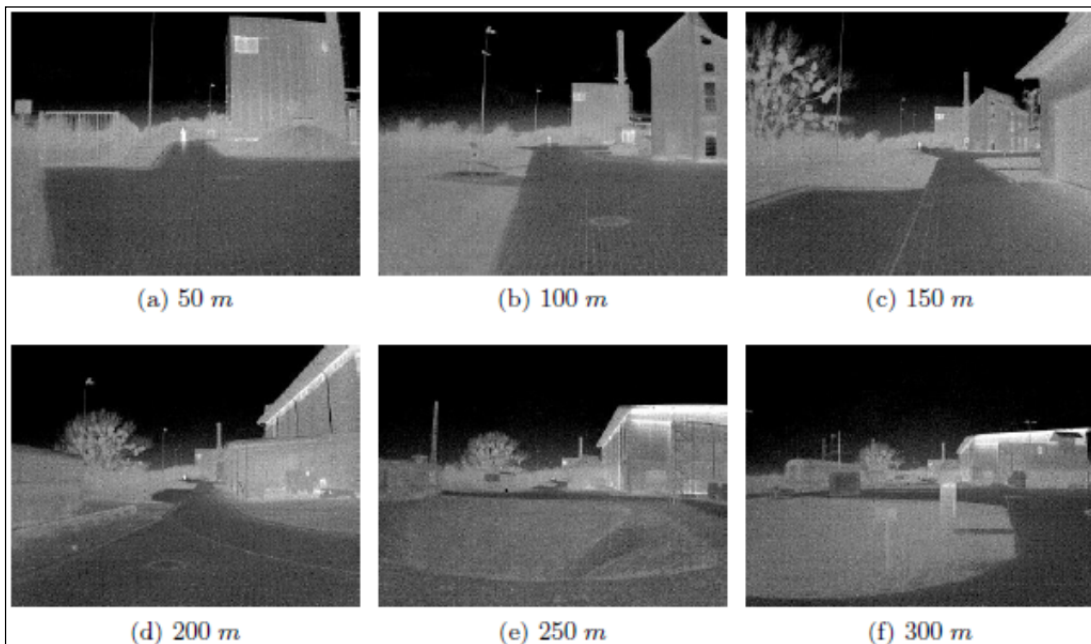
**Abbildung 28: Versuchsfeld für die Reichweitenversuche**

In den Abbildungen 29 und 30 sind die Versuchsergebnisse der Versuchsläufe mit beiden Testobjekten in Realbild- und Wärmebilddarstellung für verschiedene Messpositionen zusammengestellt.

Wie die Bilddarstellungen zu erkennen geben, lassen sich die Objekte Kanistermann und Rechteck noch in Entfernungen von 200 und 250 Metern auf dem Bildschirm darstellen und legen die Wahrnehmungsreichenweiten der Kamera fest. Die Unterschiede in der Reichweite konnten nicht eindeutig geklärt werden. Es wird vermutet, dass das Rechteck mit 9 Kanistern eine kompaktere Messfläche darstellt, als die des hoch aufgebauten Kanistermanns mit 10 Kanistern.



(a) Realbilder von der Teststrecke

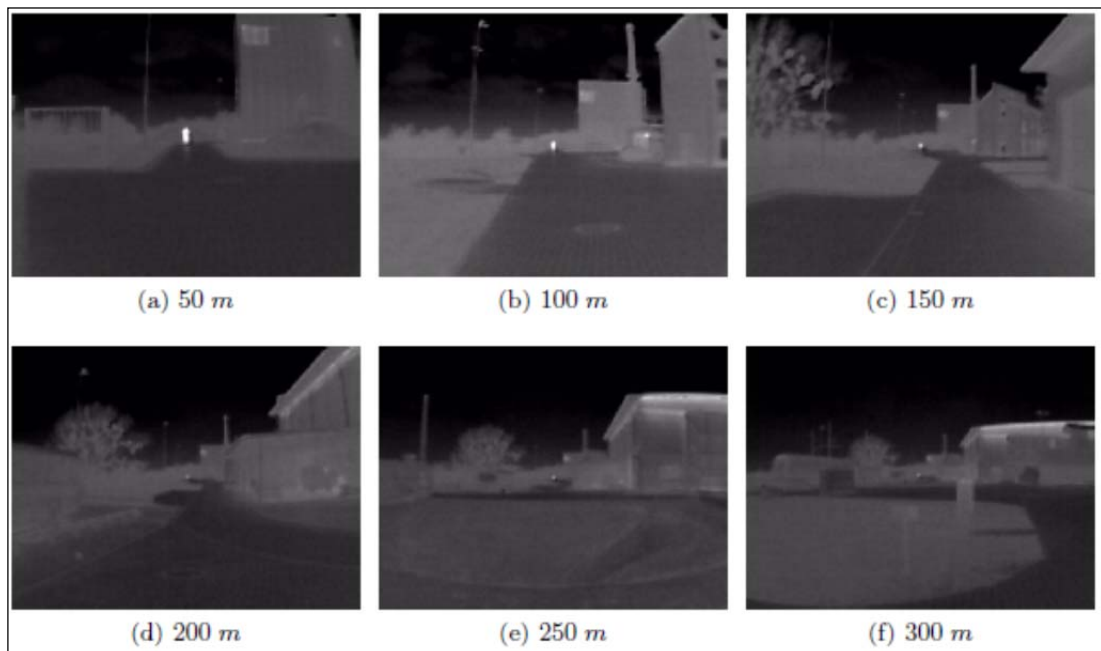


(b) Entsprechende Wärmebilddarstellungen von der Teststrecke

Abbildung 29: Kanistermann-Versuche (Kamera mit 320 x 240 Pixel)



(a) Realbilder von der Teststrecke (Rechteck)



(b) Entsprechende Wärmebildaufnahmen von der Teststrecke (Rechteck)

Abbildung 30: Rechteck-Versuche (Kamera mit 160 x 120 Pixel)

Somit können schon nach wenigen Versuchen einige wesentliche Aussagen zu den Grenreichweiten gemacht werden. Die Reichweite der besten Kameras ist nicht unendlich, sondern liegt für den Bodeneinsatz und unter günstigen Bedingungen im Bereich von 200 bis 300 Metern. Hierbei können Reichweiten in dieser Größenordnung prinzipiell nur mit den höherwertigen

Kameras erzielt werden. „Einfachere“ Kameras haben enorme Schwierigkeiten, mit den Bedingungen im Freien klar zu kommen. Brillante Bilddarstellungen sind nur durch ein insgesamt hochwertiges technisches Gesamtsystem erzeugbar. Es ist die Grundvoraussetzung für die Erzielung hoher Reichweiten.

Die Wetterbedingungen spielen bei der Reichweite ebenfalls eine wichtige Rolle. Offener Himmel und Sonnenschein stellen enorme Störquellen dar, die die Reichweite deutlich verringern können. Bewölkung mindert die Störeinflüsse und kann positive Effekte zeigen. Eine geschlossene Wolkendecke ist der Erzielung größerer Reichweiten förderlich. Ein gleichzeitiges Zusammenwirken dieser und weiterer Einflussgrößen wird die Formulierung genauer Aussagen erschweren.

#### 4.4.2 Personenläufe

##### 4.4.2.1 Messstrecke „Gerader Deich“

Als eine weitere Messstrecke fand sich ein gerader Deichabschnitt ohne störenden Bewuchs von ca. 1 km Länge. Eine Testperson bewegte sich in festen Distanzen von den Kameras hinweg. Die Positionen wurden mit einem Laufrad ermittelt, die von der Person mitgeführt wurde. War die nächste Position erreicht, so spreizte sie zur besseren Erkennbarkeit aus der Ferne die Arme. Die Wärmebildaufnahmen wurden auf Recordern aufgezeichnet. Durch Fingerzeichen vor der Kamera markierte der Kameraführer die Entfernung. Der Messplatz ist in Abbildung 31 dargestellt, die Versuchsbedingungen sind in Tabelle 5 angegeben.

**Tabelle 5: Versuchsbedingungen Freilanduntersuchung 4 [15]**

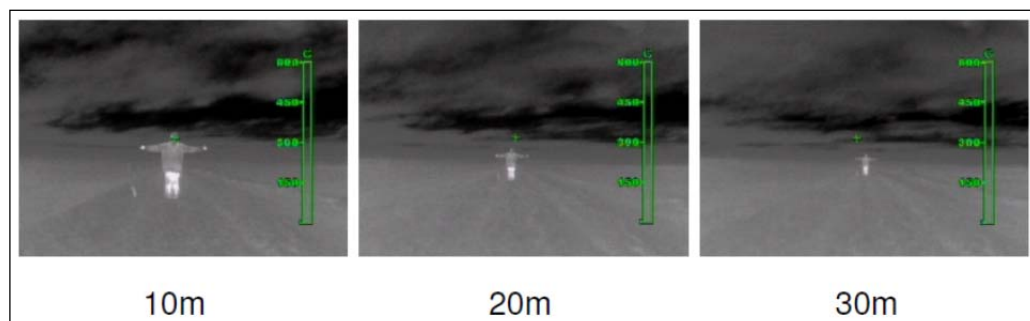
Datum: 21.01.09	Anfang	Ende
relative Luftfeuchtigkeit in %	86	88
Windgeschwindigkeit in m/s	0,4	0,4
Lufttemperatur in °C	1,2	0,8
Bodentemperatur in °C	-0,6	-0,5

Sie sind aus Sicht der Thermografie als nahezu ideal einzuschätzen. Keine Niederschläge, gute Temperaturdifferenzen und ein vollkommen bedeckter Himmel, der keine Störstrahlungen (Himmel, Sonnenschein) zulässt.



**Abbildung 31: Versuchsstand „Gerader Deich“**

Beispielgebend für die Herangehensweise zur Lösung der Aufgabenstellungen sollen an dieser Stelle Ergebnisse von ersten Basisuntersuchen aus [15] dienen. Die Ergebnisse der Reichweitenuntersuchung sind der Serie der Wärmebildaufnahmen in Abbildung 32 zu entnehmen. Schon hier ist eine Differenzierung in Erkennungsreichweite und Wahrnehmungsreichweite erfolgt. Sie wird im Abschnitt 5.1 nochmals genauer definiert. Demnach liegt die Wahrnehmungsreichweite im gezeigten Fall bei 160 Metern, die der Erkennungsreichweite bei 70 Metern.



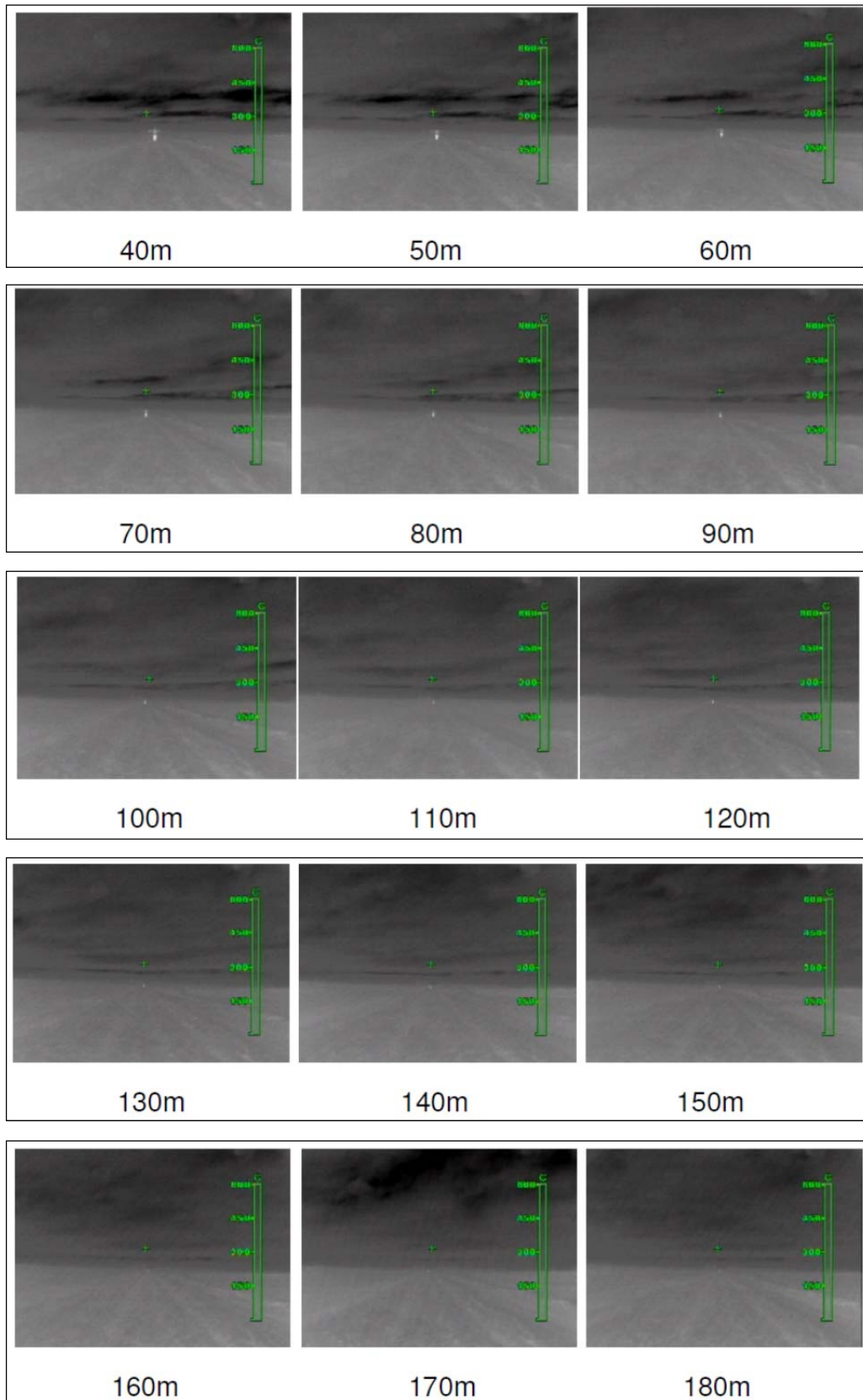
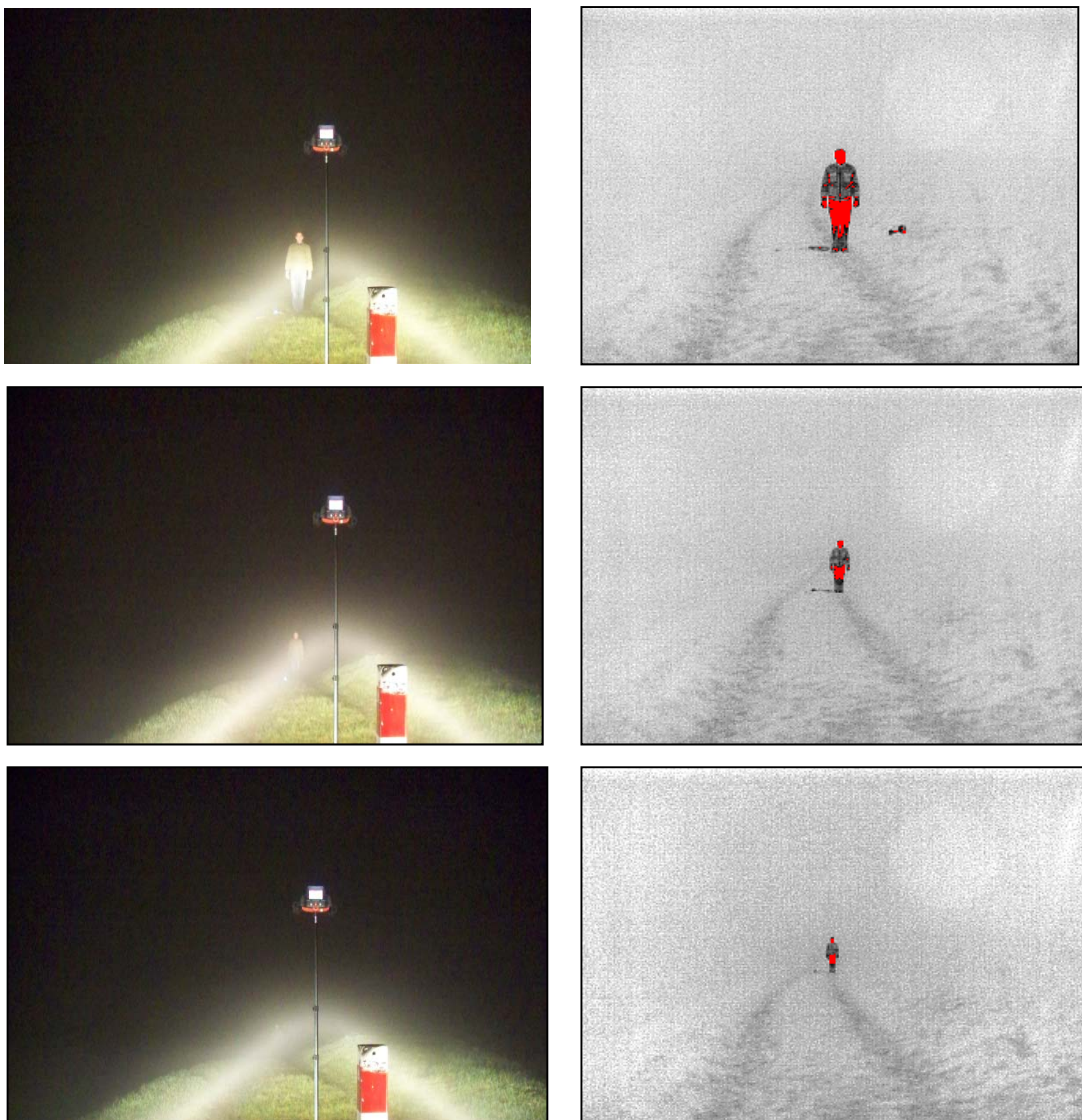


Abbildung 32: Reichweitendarstellung einer Testperson im Wärmebild

#### 4.4.2.2 Messstrecke bei Nacht und Nebel

Relativ spontan erfolgte ein Versuchsablauf bei Dunkelheit und Nebel auf der Teststrecke „Gerader Deich“ [16]. Aufgezeichnet wurden Entfernungen von 0 bis 100 Metern. Sie wurden ebenfalls kurzum mit dem Laufrad bestimmt. Die Messstrecke wurde mit Kfz-Scheinwerfern ausgeleuchtet. Es ergab sich eine Wahrnehmungsreichweite von etwa 70 Metern.



**Abbildung 33: Versuchslauf bei Nacht und dichtem Nebel**

Dagegen konnte die Versuchsperson bei Scheinwerferlicht und mit bloßem Auge nur noch in 30 Metern Entfernung ausgemacht werden. In der Abbildung 33 sind Realbild und Wärmebild im Nahbereich von 10, 20 und 30 Metern gegenüber gestellt. Hier werden die Einsatzvorteile einer

Wärmebildkamera gegenüber einer Ausleuchtung besonders deutlich. Die Versuchsbedingungen wurden in der Tabelle 6 zusammengestellt.

**Tabelle 6: Versuchsdaten Versuchsgang „Nacht und Nebel“**

<b>Allgem. Daten</b>	<b>Temperaturdifferenzen zum Hintergrund</b>
Lufttemperatur: 1,9 °C	Kopf 23,3 K
relative Luftfeuchte: 99,4 %	Oberschenkel 16,4 K
Versuchszeit: gegen 17:30 Uhr	Jacke Bauchbereich 4,4 K
Windgeschwindigkeit: 0,3 -1,6 m/s	Jacke Schulterbereich 7,8 K

## 4.5 Test zur Auswahl der Kameras

Erste Vergleichstests beim Betrachten der näheren Umgebung brachten schon erhebliche Abweichungen in den Bilddarstellungen der verschiedenen Kameramodelle zu Tage. Ein geringerer Teil der Kameras offenbarte gewohnt klare Bilddarstellungen, andere dagegen zeigten größere Schwierigkeiten mit den besonderen Bedingungen im Freien umzugehen und generierten nur blasse und kontrastlose Wärmebilder. Schon hier wurde klar, dass der Einsatz der Wärmebildkameras im Freien und für Fernanwendungen höhere Anforderungen an die Kameratechnik stellt, als der reine Innen- bzw. Heißeinsatz. Aufgrund der geringen Temperaturgegensätze bei insgesamt niedrigen Absoluttemperaturen geraten viele Modelle schon an ihre räumliche und thermische Auflösungsgrenze. Sie müssen für diesen Einsatzfall als ungeeignet bezeichnet werden. Eine Differenzierung ist notwendig.

In einem Eignungstest wurden Modelle verschiedener Hersteller gleichen thermischen Objekt- und Aufnahmebedingungen ausgesetzt und ihre Wärmebilddarstellungen verglichen. Hierbei wurden die Kameras in einem Abstand von 100 Metern Entfernung vom Strahlungsobjekt „Rechteck“ positioniert. Es wurde zuvor mit 30 Grad warmen Wasser befüllt. Das Objekt wird einheitlich im Zentrum des Bildschirms zur Abbildung gebracht.

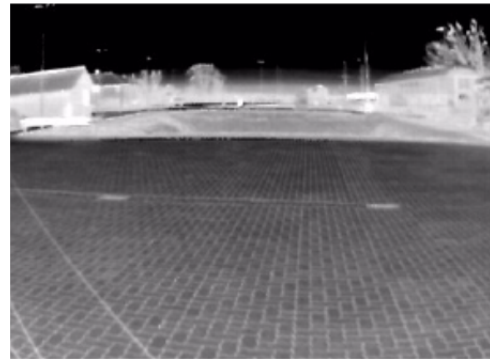
Die resultierenden Bildwiedergaben fallen sehr unterschiedlich aus. Deutlich wird schon hier, dass die Bildauflösung nicht allein für die Sichtbarkeit des Objektes verantwortlich ist. Die Analyse bringt Überraschendes zutage. Das



beste Bild wird nicht etwa von der Kamera mit der höchsten Bildauflösung (Abbildung 34 (b)) geliefert, wie anzunehmen wäre, sondern von der Kamera in Abbildung 34 (a).



(a) Kamera mit 320x240 Pixel



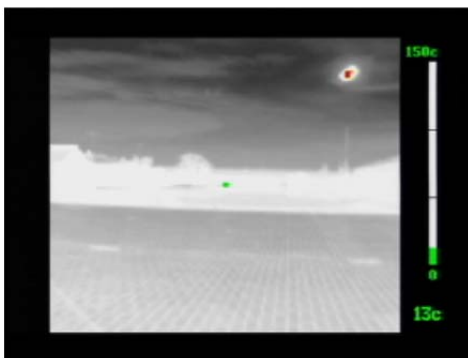
(b) Kamera mit 384x288 Pixel



(c) Kamera mit 320x240 Pixel



(d) Kamera mit 320x240 Pixel



(e) Kamera mit 120x120 Pixel



(f) Aufnahmesituation als Realbild

#### Abbildung 34: Zusammenstellung Bilddarstellungen Kameravergleich

Sie zeigt sich also nicht allein verantwortlich für die Bildqualität. Andererseits müssten die Bilddarstellungen in Abbildung 34 (a), (c) und (d) der Kameras mit der gleichen Bildauflösung von 320 x 240 Pixel gleichwertige Bilddarstellungen wiedergeben, was sie auf keinen Fall tun. Kameras in Abbildung 34 (c) und (d) zeigen dagegen blasse und kontrastlose

Bilddarstellungen, auf dem Niveau der Kamera in Abbildung 34 (e). Im Ergebnis können prinzipiell nur zwei Kameras das Testobjekt deutlich wiedergeben.

Es wurden eine Reihe weiterer Experimente mit den künstlichen Objekten Kanistermann und Thermoman durchgeführt. Einzelne Ergebnisse zum Darstellungsvermögen verschiedener Kameras sind in den Abbildungen 3.1 bis 3.7 im Anhang A aus [16] zusammengestellt.

#### **4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die zahlreichen Versuchsläufe haben wertvolle Erfahrungen im Umgang mit Wärmebildkameras bei Freiflächenversuchen erbracht. Schwierigkeiten bestehen jedoch darin, die Ergebnisse den Ursachen und speziell einer Einflussgröße zuordnen zu können, was eigentlich ein erklärtes Ziel der Untersuchungen war.

Hier werden jedoch die komplexen Zusammenhänge in der Wirkung aller Einflussgrößen erkennbar. Die Wetterbedingungen sind zu nehmen, wie sie sind und zeichnen sich durch eine große Vielfalt aus. Die Versuchsläufe wurden zwar bei passenden Wettersituationen gestartet, es wurden aber keine wiederholbaren Bedingungen vorgefunden. Die Anzahl der Versuche ist auch zu gering, um statistische Betrachtungen abzusichern. So handelt es sich bei den nachfolgenden Aussagen bestenfalls nur um erste Thesen, die durch weitere Untersuchungen zu untermauern sind.

Das Ziel, autarke Versuchsstände mit künstlichen Testobjekten, wie in Abschnitt 4.1 gezeigt, errichten zu können, um in Langzeitaufzeichnungen möglichst viele Einflussgrößen ohne großen Personenaufwand erfassen zu können, muss als gescheitert angesehen werden. Der Versuchsaufbau der Einzelkanister-Versuche entsprechend Abschnitt 4.3 hat die Erwartungen letztendlich nicht voll erfüllen können und erwies sich diesbezüglich als ungeeignet. Trotzdem erbrachte diese Voruntersuchungen eine Reihe erster wichtiger Erkenntnisse, die als Grundlage für weitere Untersuchungen genutzt werden können.

In zahlreichen Versuchen hat sich gezeigt, dass im Bereich bis zu 100 Metern keine merklichen Veränderungen hinsichtlich der Reichweite nachweisbar waren, die auf Witterungseinflüsse zurückzuführen wären. Entweder waren die Wetterbedingungen nicht extrem genug (Starkregen, dichter Schneefall), oder die realisierte Transmissionsstrecke (Messtrecke) war ganz einfach zu kurz.

So konnten nahezu alle eingesetzten Kameras die relativ kleinen Einzelobjekte noch in 100 Metern Entfernung und bis zu einem thermischen Kontrast von 3 bis 5 Kelvin noch hinreichend genug auflösen und darstellen. Doch wurden anhand der erreichbaren Bildqualitäten Differenzierungen im Leistungsvermögen, insbesondere für die Eignung bei der Personensuche offensichtlich, sodass für die Reichweitenbestimmungen nur hochwertige Kameras in Betracht kommen.

Die geprüften künstlichen Testobjekte mit und ohne Temperieraufwand lassen zwar Reichweitenuntersuchungen für Versuchszwecke bis zur Einsatzgrenze zu, der Aufwand ist jedoch als immens zu bezeichnen. Allein schon aus logistischen Gründen haben sie sich als nicht praktikabel erwiesen.

Dennoch haben die Tests mit den Objekten Rechteck, Kanistermann und Thermoman mit „ausgewählten“ Kameras ergeben, dass sich die Wahrnehmungsreichweite der Objekte im Bereich bis zu 300 Metern bewegt. Sie sind demnach höher als die im Abschnitt 3.4 berechneten „theoretischen“ pixelbezogenen Reichweiten. Außerdem wäre die Übertragbarkeit der Ergebnisse noch zu beweisen. Aus diesen Gründen wurde festgelegt, die weiteren Untersuchungen (Abschnitt 5) mit natürlichen Test-Personen durchzuführen. Erste Testläufe, wie im Abschnitt 4.4.2 gezeigt, sind erfolgsversprechend verlaufen.

Die Kanistervarianten haben sich als recht praktikabel erwiesen und können bei Feuerwehrrübungen zum Einsatz kommen. Aus den Einzelkanistern sind auf einfache Weise beliebige figürliche Anordnungen aufzubauen, nach

denen zu suchen ist. Die Abkühlungsraten lassen Einsatzübungen über mehrere Stunden zu.

## **5 REICHWEITENUNTERSUCHUNGEN (MESSKAMPAGNE 2)**

Auf der Basis der in der Messkampagne 1 gewonnenen Erkenntnisse zur Reichweitenermittlung sind die Versuche in gezielter Form fortgeführt worden. Es wurden zusätzliche 15 Reichweitenbestimmungen am Boden durchgeführt. Um die Vergleichbarkeit zu den vorhergegangenen Versuchen zu gewährleisten, wurden die gleichen Messstrecken genutzt. So war es möglich den bestehenden Datenbestand weiter verdichten und die Aussagen zu stabilisieren. Es schließen sich 3 Drehleiterversuche und als Besonderheit 3 Hubschraubereinsätze auf dem Flugplatz in Magdeburg an. Ziel war es, die taktischen Einsatzvorteile bei der Personensuche im Freien bei Arbeiten aus der Höhe zu untersuchen.

Um den Versuchsaufwand zu senken, wurden entsprechend den Erkenntnissen aus den Voruntersuchungen nur noch zwei der leistungsfähigsten Kameramodelle aus der ersten Versuchsserie verwendet. Es handelt sich hierbei um die Kameras 1 und 2. Hinzu kamen noch zwei vielversprechende neue Kameramodelle, die bei der Messkampagne 1 noch nicht zur Verfügung standen. Sie werden fortan als Kamera 9 und 10 bezeichnet. Die Tabelle 4 in Abschnitt 4.2, in denen ausgewählten Daten der verwendeten Kameras zusammengestellt sind, wurde entsprechend ergänzt. In dieser Messkampagne kamen also nur vier leistungsfähige Kameramodelle zum Einsatz. Ihre Beteiligung an den Versuchen 1 bis 21 ist in der Tabelle 1 im Anhang B aufgeführt.

Zuvor war es notwendig, die Kriterien zur Bewertung der Wärmebildaufnahmen zur Definition der Wahrnehmungs- und Erkennungsreichweite hinsichtlich der Ausführungen im Abschnitt 3.2 zu präzisieren.

## 5.1 Bewertungsverfahren für Wärmebilder

In Anlehnung an die bislang zur Verfügung stehenden Kriterien zur Klassifizierung der Reichweite von Johnson im Abschnitt 3.2 wurde nach einfachen und handhabbaren Möglichkeiten gesucht, die Reichweite möglichst objektiv bewerten zu können. Die Bewertungen „Wahrnehmung“ und „Erkennen“ werden für Suchvorgänge als vollkommen ausreichend angesehen, die Aufgabe der „Identifizierung“, die bei der militärischen Anwendung oft von Bedeutung ist, tritt hierbei in den Hintergrund.

Entscheidend für einen Einsatzerfolg sind primär eine klare Bilddarstellung und eine möglichst störungsfreie Bildeinsicht, sodass vom Kameraführer vor Ort wenige Einzelpixel erkennbar sind. Leider sind diese Verhältnisse zumindest bei Tageslicht leider kaum gegeben und es ist mit Reflexen zu rechnen. Bei Nacht liegen diesbezüglich weitaus bessere Verhältnisse vor. Auf Grund der Tatsache, dass mehrere Kameras zeitgleich eingesetzt wurden, mussten die konkreten Auswertungen „ungestört“ am Computerbildschirm durchgeführt werden. Zwar stellt die Bildschirmauswertung auf dem Display einer Kamera auch hier das entscheidende Beurteilungsverfahren dar und die Vorortauswertung besitzt einen hohen Stellenwert, die Bilder, die zur Auswertung herangezogen wurden, basieren aber letztendlich auf eigenen Speicherquellen der Kameras oder der externer Speichermedien.

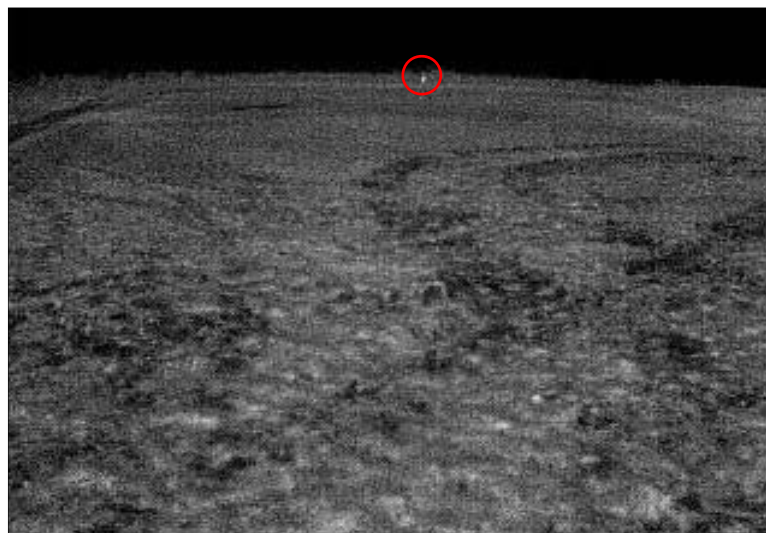
Ein Nachteil zum Speicherbild ist jedoch das hohe Maß an Subjektivität, da das projizierte Wärmebild auf dem Display oftmals nur vom Kameraführer bewertet wird.

An dieser Stelle wird aber schon klar, dass die Auswertungsmethode im praktischen Einsatzgeschehen nicht voll umsetzbar ist, da dort ein einzelner Pixel nur unter Idealbedingungen auf dem Bildschirm zu erkennen sein wird. Hinzu kommt es oft noch zu einer Vielzahl von störenden Reflexen auf dem Bildschirm. So sind die Angaben zur Reichweite als theoretische Grenzentfernungen zu interpretieren.

### 5.1.1 Subjektive Betrachtungsweise

Bilddarstellungen, egal ob Foto- oder Wärmebildaufnahmen, werden von jedem Menschen unterschiedlich bewertet. Eine subjektive Bewertungsweise einer dargestellten Szene hat oftmals eine Vielzahl von Ergebnissen zufolge. Die optische Wahrnehmungskraft und die Beurteilung dieser von Person zu Person sind verschieden.

Beispielsweise kann eine stehende Person in 200 Metern Entfernung (Abbildung 35) von einem Betrachter gesehen und von einem anderen wiederum nicht wahrgenommen werden. Die Person wird auf dem Wärmebild mit stark eingefärbten Pixelpunkten dargestellt. Diese sind im Vergleich zu den Umgebungspixeln sehr kontrastreich und in diesem Beispiel gut wahrzunehmen. Eine Abnahme der Wahrnehmung der Personenpixel mit einer Abnahme der Anzahl dieser ist selbsterklärend. Hierbei ist das subjektive Empfinden der betrachtenden Person gefordert. Die Wahrnehmung der in der Anzahl abgenommenen Personenpixel liegt nun im visuellen Empfinden des Betrachters.



**Abbildung 35: Stehende Person in 200 m Entfernung auf einem Feld (Bodenaufnahme)**

Eine subjektive Bewertung des Bildmaterials wurde nicht in Betracht gezogen, weil eine Befragung von außen stehenden Personen über die Wahrnehmung und Erkennung des Messobjektes auf dem Bildmaterial einen

zu hohem Aufwand und zu viele verschiedene Ergebnisse zur Folge hätte. Ein gänzlicher Ausschluss der subjektiven Bewertung ist jedoch nicht möglich, da bei jeder Bildauswertung die Wahrnehmung und das Empfinden des Auswertenden in Anspruch genommen wird und wie schon erwähnt, sind diese menschlichen Eigenschaften von Person zu Person verschieden.

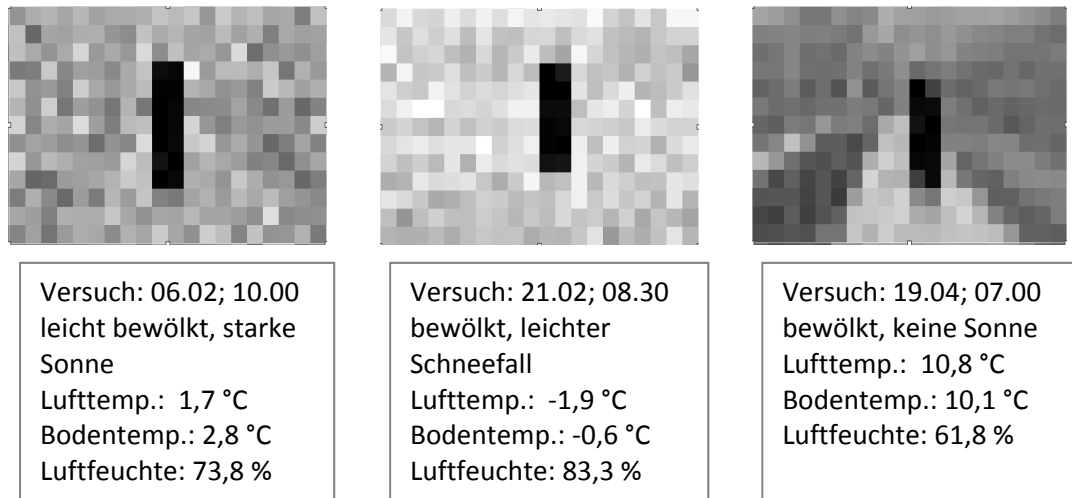
### 5.1.2 Objektive Bewertungen

Im Gegensatz zur subjektiven Betrachtungsweise steht eine objektive Wertung. Es wäre wünschenswert gewesen, über ein unabhängiges Auswertungssystem zu verfügen, mit dem das gespeicherte Bildmaterial nach festgelegten Parametern bewertet werden konnte. Nur so wäre eine rein objektive Bewertung von Wärmebildern möglich gewesen. Aus diesem Grund wurde nach einer einfachen wie realisierbaren Lösung gesucht, um Wärmebilder nahezu objektiv bewerten zu können. Im Ergebnis kann ein Verfahren vorgestellt werden, das hier als **Pixelkriterium** bezeichnet wird. Es gibt an, dass im Grenzfall ein deutlich eingefärbter einzelner Pixelpunkt im Umfeld noch auf eine zu suchende Person hindeuten kann.

Auf diese Weise wird die Wahrnehmungsbereichweite lediglich auf die Anzahl und die Einfärbung der Pixelpunkte zurückgeführt. Eigene Versuche haben ergeben, dass die Pixelanzahl (Personenpixel) und die Pixeleinfärbung, die auf die vermisste Person hinweist, trotz unterschiedlicher Umgebungsbedingungen und Bodenverhältnisse annähernd identisch sind.

Der Bereich liegt zwischen ein und drei Pixelpunkten. Die Abbildung 36 soll das Untersuchungsergebnis für eine aufrecht stehende Person in 100 Metern Entfernung verdeutlichen. Hier hebt sich die Person gleichwohl durch  $7 \times 2 = 14$  Pixel deutlich vom Hintergrund ab.





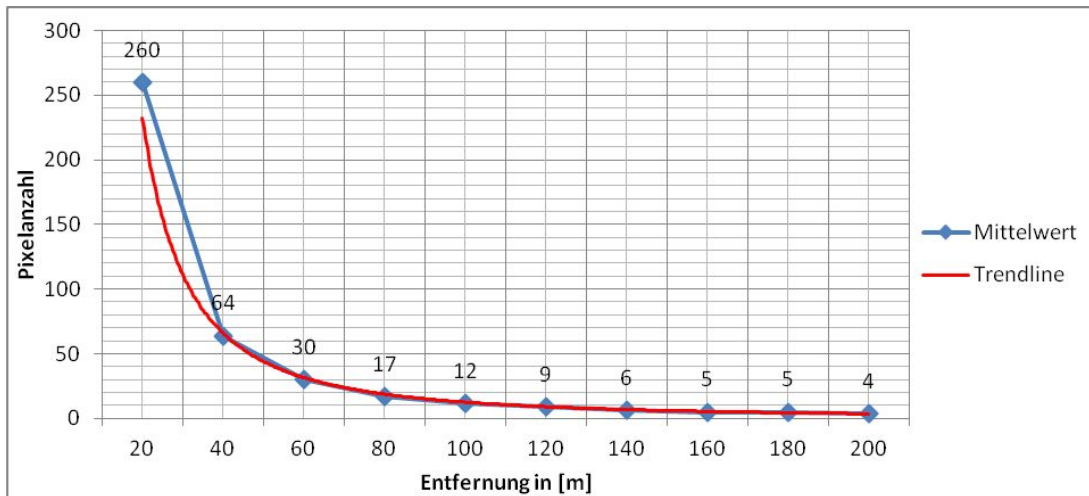
**Abbildung 36: Pixeldarstellung einer stehenden Person in 100 m Entfernung bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen**

In Tabelle 7 ist die Anzahl der Personenpixel in den Wärmebildern der Kamera 1 der Testperson für 11 verschiedene Versuchsläufe im Einzelnen für die Entfernungen zusammengestellt worden.

**Tabelle 7: Anzahl der Personenpixel der einzelnen Versuche - Kamera 1**

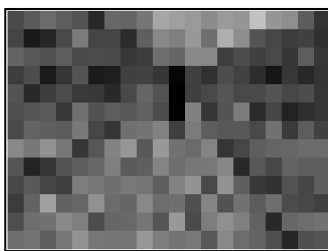
Versuch	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	180m	200m
1	208	62	26	17	9	9	5	5	4	3
3	312	60	28	15	11	6	5	4	3	2
4	323	76	34	20	14	10	5	5	5	4
5	239	62	32	16	9	9	5	4	3	5
6	255	40	26	16	13	8	5	5	6	3
7	228	56	25	13	11	7	5	4	4	3
8	244	58	24	14	9	9	4	4	4	3
9	273	76	38	19	14	11	9	5	5	4
10	264	73	32	20	13	11	7	6	6	6
11	250	68	27	14	10	6	7	4	3	2

In der Abbildung 37 sind die gemittelten Werte aus Tabelle 1 grafisch dargestellt.



**Abbildung 37: Gemittelte Pixelzahlen der einzelnen Versuche aus Tabelle 1**

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Umgebungsbedingungen und die Bodenverhältnisse keinen unmittelbaren Einfluss auf die Anzahl und Einfärbung der Personenpixel haben. Sie beeinflussen jedoch sehr stark den Grad der Einfärbung und der umgebenden Pixel (Umgebungspixel), sodass ein ausreichender thermischer Kontrast fehlt. Der Hintergrund wird inhomogen, eine Wahrnehmung der Personenpixel wird erschwert, wie die Abbildung 38 zeigt.



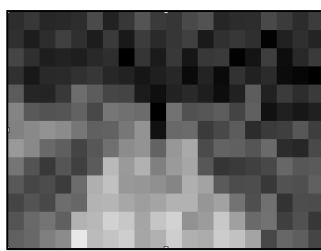
Versuch 2; 13.30 Uhr

bewölkt, keine Sonne

Lufttemp.: - 3,2 °C

Bodentemp.: - 3,1 °C

Luftfeuchte: 77,5 %



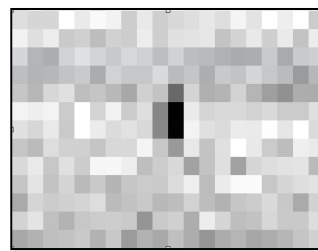
Versuch 6; 10.30 Uhr

bewölkt, mäßig Sonne

Lufttemp.: 12,6 °C

Bodentemp.: 9,0 °C

Luftfeuchte: 74,8 %



Versuch 12; 07.00 Uhr

bewölkt, keine Sonne

Lufttemp.: 10,8 °C

Bodentemp.: 10,1 °C

Luftfeuchte: 61,8 %

**Abbildung 38: Pixeldarstellungen einer stehenden Person in 200 m Entfernung mit inhomogener Umgebung**

### 5.1.3 Festlegungen

Die Auswertungen haben gezeigt, dass das Pixelkriterium geeignet ist, konkrete und objektive Aussagen zur Reichweite von Wärmebildkameras der Feuerwehr bei der Personensuche zu treffen. Da die Qualität der Wärmebilder auf dem Computerbildschirm vom Kameradisplay abweicht, bleibt jedoch noch ein geringes Maß an Subjektivität vorhanden.

Die Betrachtung der einzelnen Pixel eines Wärmebildes auf der Grundlage des Pixelkriteriums ermöglicht es, konkrete Grenzen für die Erkennungs- und die Wahrnehmungsreichweite festzulegen. Die Identifizierungsreichweite nimmt in dieser Arbeit eine untergeordnete Rolle ein. Daher wurden auch keine Festlegungen für eine geeignete Pixeldarstellung getroffen.

Die Erkennungsreichweite von stehenden Personen lässt sich nun wie folgt ableiten. Eine stehende Person gilt als erkannt, wenn auf der dargestellten Szene die Form und der Umriss einer Person erkennbar sind. Der Umriss einer Person als Pixeldarstellung ähnelt stark einem Kreuz, da die dargestellten Details wie Extremitäten und Gesicht mit zunehmender Entfernung stark verkleinert und auf wenige Pixel „eingeschmolzen“ werden. So ist davon auszugehen, die Erkennungsreichweite einer stehenden Person mit der Pixeldarstellung eines Kreuzes symbolisiert werden kann, wie in Abbildung 39 zu erkennen ist.



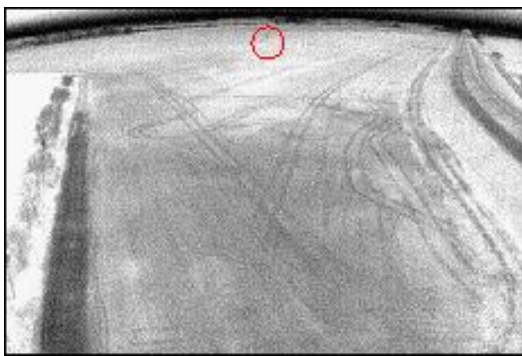
(a) Stehende Person auf einem Deich

(b) Pixeldarstellung

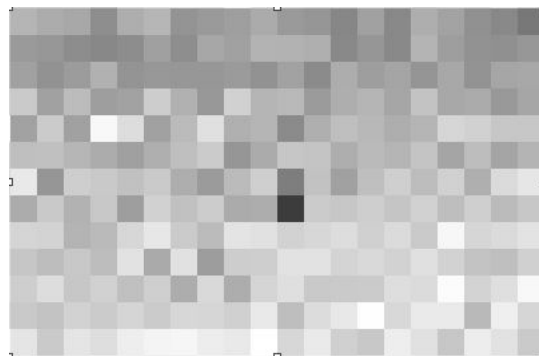
**Abbildung 39: Definierte Erkennungsreichweite nach Pixelkriterium am Boden**

Die Auswertung der Wärmebilder nach dem Pixelkriterium ergab, dass eine stehende Person mittels Wärmebildkamera selbst in 500 Metern Entfernung

noch mit einem sich abhebenden Pixelpunkt dargestellt wird. Unter idealen Bedingungen, einen nahezu homogenen Hintergrund vorausgesetzt, ist dieser eingefärbte Pixelpunkt sowohl auf dem Display der Kamera, als auch auf dem Speicherbild wahrnehmbar. Somit liegt die Grenze der Wahrnehmungsreichweite einer stehenden Person unter idealen Umgebungsbedingungen bei einem kontrastreich dargestellten Pixelpunkt (Abbildung 40).



(a) Stehende Person auf einem Feld



(b) Pixeldarstellung

Abbildung 40: Definierte Wahrnehmungsreichweite nach Pixelkriterium (Drehleiter)

## 5.2 Experimentelle Basis

Die Experimente zur Reichweitenbestimmung wurden im Freien unter real existierenden Außenbedingungen durchgeführt. Die Wetterbedingungen waren als gegeben hinzunehmen. Die einzige Möglichkeit, verschiedene Wettersituationen zu nutzen, bestand darin, die Versuchsplanung den Wetterabläufen anzupassen. Die Messtechnik und Personal waren stets in Bereitschaft zu halten, um schnell auf neue Wetterlagen reagieren zu können.

Zur Durchführung der Versuche war eine umfangreiche versuchstechnische Ausstattung notwendig. Dazu gehörte in erster Linie dieameratechnik und Zubehör, aber auch eine gehobene mobile messtechnische Ausstattung. Feuerwehrseitig waren eine Drehleiter mit Bedienpersonal sowie ein Hubschrauber mit Besatzung erforderlich. An dieser Stelle sei dem Innenministerium des Landes Sachsen-Anhalt mit seiner Hubschrauberstaffel

für die nahezu unbürokratische und freundliche Unterstützung gedankt. Ohne sie wären die Hubschraubertestflüge nicht möglich gewesen.

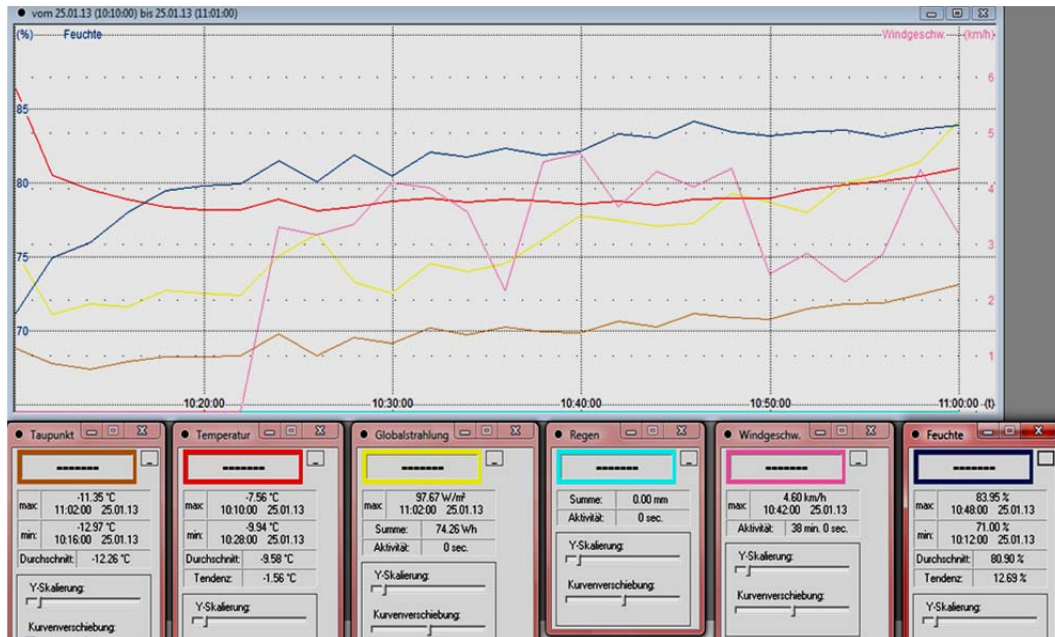
Die Experimente wurden in zwei Kampagnen jeweils im Zeitraum zwischen Januar bis Juni durchgeführt, da hier entsprechendes Personal zur Durchführung der Versuche zur Verfügung stand. Bei jedem Versuchslauf wurden die Wetterdaten aufgezeichnet. Dies geschah mit der mobilen kleinen Wetterstation MWS 9-5- Mikroprozessor-Wetterstation von Reinhardt [23]. Sie kann mit einem PC für einen automatischen Dauerbetrieb programmiert werden oder gar im Rechnernetz betrieben werden. Die Station enthält auch einen Messwertspeicher, der es erlaubt, die Daten aufzuzeichnen.

Die Wetterstation wurde stets prozessnah in der Nähe des Messplatzes aufgestellt (Abbildung 41). Es war auch möglich, weitere externe Messfühler, wie beispielsweise für die Bodentemperatur, anzuschließen.

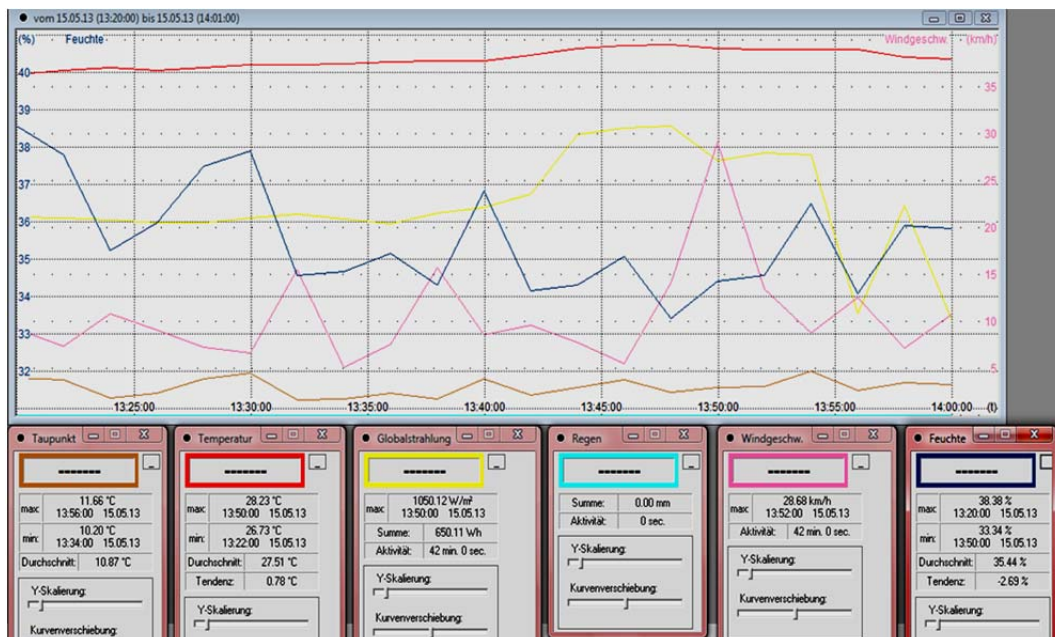


**Abbildung 41: Mikroprozessor- Wetterstation**

Die vorherrschenden Wetterbedingungen wurden in einem Intervall von zwei Minuten gesichert und mittels Computerprogramm grafisch aufgearbeitet. Aus der Vielzahl von Werten zur Lufttemperatur, Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit wurde jeweils ein Mittelwert gebildet. Die Abbildungen 42 und 43 zeigen die extrem unterschiedlichen Wetteraufzeichnungen der Versuche 5 und 15. Die hier dargestellten Grafiken erstellte die Wetterstation autark.



**Abbildung 42: Aufzeichnung der Umgebungsbedingungen (Bodenversuch 5)**



**Abbildung 43: Aufzeichnung der Umgebungsbedingungen (Bodenversuch 15)**

Die Abbildungen zeigen deutlich den Zusammenhang zwischen Temperatur und Luftfeuchte. Bei einer hohen Temperatur ist die Luftfeuchte gering (Abbildung 42) und bei einer niedrigen Temperatur ist die Luftfeuchte hoch (Abbildung 43). Die Luftfeuchtigkeit, also der Anteil an Wasserdampf im Gasmisch der Erdatmosphäre, ist auch abhängig von der Windgeschwindigkeit. In der eben gezeigten Abbildung ist eine Abnahme der Luftfeuchtigkeit bei einer Zunahme der Windgeschwindigkeit zu verzeichnen.

Die sprunghafte Veränderung der gering vorhandenen Luftfeuchtigkeit in Abbildung 42 ist demnach auf den Einfluss von Temperatur und Wind zurückzuführen.

Um die Experimente und Praxisversuche als annehmbares Einsatzszenario darzustellen, wurden nun ausschließlich Personen als Messobjekte verwendet. Sie trugen den Witterungsverhältnissen angepasst überwiegend Winterbekleidung oder dicke Einsatzbekleidung der Feuerwehr.

Vor und nach jeder Messung wurden Bodentemperaturen sowie die Temperaturen an Stirn und Jackenoberfläche der Person gemessen und zur späteren Auswertung auf einem Protokoll festgehalten. Als Messgerät wurde dafür ein Handmessgerät mit Temperaturfühler der Firma TESTO [24] verwendet (Abbildung 44). Mithilfe dieser Temperaturen konnte anschließend die Temperaturdifferenz zwischen Messobjekt und Umgebungstemperatur ermittelt werden.



**Abbildung 44: Temperaturmessung auf der Jackenoberfläche mit dem Handmessgerät**

Die Auswahl der Wärmebildkameras für die gesamten Versuche erfolgte vollkommen willkürlich und richtete sich in erster Linie nach ihrer Verfügbarkeit. Ebenso war es nicht möglich, alle Kameras in die Untersuchungen mit einzubeziehen. Ein Vergleich zwischen Modellen und Herstellern war nicht beabsichtigt und ist auch nicht erfolgt, um nicht in irgendeiner Form den Wettbewerb zu beeinflussen. Es sei zu bemerken,

dass von der besonderen Eignung dieser oder jener Kamera für die hier untersuchten Sonderanwendungen ohnehin nicht auf die Leistungsfähigkeit der Modelle für die typischen Einsatzanwendungen zu schließen ist. Um dennoch Vergleichsmöglichkeiten auszuschließen, wurden die Markennamen der Modelle anonym gehalten.

### **5.3 Reichweitenbestimmung für Bodeneinsätze**

Zur Reichweitenbestimmung für Bodeneinsätze wurden insgesamt 15 Versuche durchgeführt. Diese Versuche fanden überwiegend auf der Hauptmessstrecke „„Gerader Deich“abschnitt“ statt, um die Messergebnisse mit denen der Vorversuche vergleichen zu können. Bei fünf weiteren Versuchen wurde auf andere Messstrecken zurückgegriffen. Es kamen nur noch vier ausgewählte Kameras zum Einsatz. Ihre Verwendung bei den Versuchen ist in Tabelle 1 in Anhang B zusammengestellt.

#### **5.3.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung**

In der Versuchsreihe zur Reichweitenbestimmung für Bodeneinsätze wurde eine Person auf gerader Messstrecke in festgelegten Abständen zur Kamera platziert und mit der Wärmebildkamera fotografiert. Der Versuchsablauf war vergleichbar mit den Versuchen der Messkampagne 1. Lediglich der Messabstand war unterschiedlich.

Beim Vergleich der Versuchsaufbauten der Messkampagne 1 in Abbildung 31 fällt auf, dass der Deich zwischenzeitlich eine Teerdecke bekommen hatte, die sich aus thermografischer Sicht im Vergleich zu einer Grasnarbe leicht auf die Messergebnisse auswirken könnte. Ebenso war der Versuchsaufwand reduziert, da die ausgewählte Kameratechnik über eigene Bild- und Videospeicher-Funktionen verfügten, sodass keine zusätzlichen externen Recorder mehr zum Einsatz kamen. Die Bilddaten konnten nun vollständig aus den Einzelbildabspeicherungen gewonnen werden. So waren die Versuche nicht absolut vergleichbar. Die unterschiedlichen Wetterbedingungen taten ihr Übriges.



Die Startentfernung lag bei 20 Metern und das Ende bei 200 Metern. Gemessen wurde jeweils im Abstand von 20 Metern mit einem Laufrad, analog der Versuche in Messkampagne 1.

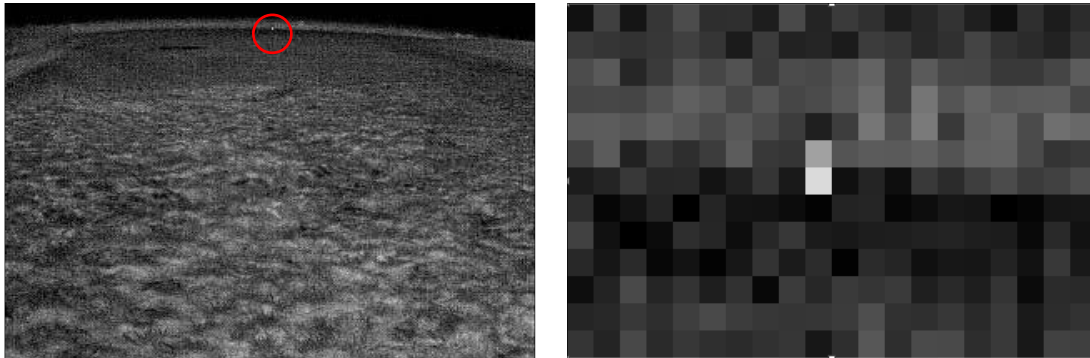
Wie aus Tabelle 2 im Anhang B hervorgeht, wurde diese Versuchsreihe insgesamt 13 mal zu jeweils unterschiedlichen Umgebungsbedingungen wiederholt. Zusätzlich fanden zwei Messreihen mit einer Startentfernung von 50 Metern, einer Endentfernung von 400 Metern und einem Messabstand von jeweils 50 Metern statt. Als Hauptmessstrecke diente eine geteerte Deichkrone. Weitere Messstrecken waren ein Kanalwall, ein Versorgungsweg am Kanal und eine mit Holzpflocken abgesteckte Strecke auf dem Acker. Die eingesetzten Kameras wurden am Messplatz, soweit es möglich war, auf Stative montiert, die sich am Messplatz befanden (Abbildung 45).



**Abbildung 45: Aufbau des Messplatzes für die Bodenversuche**

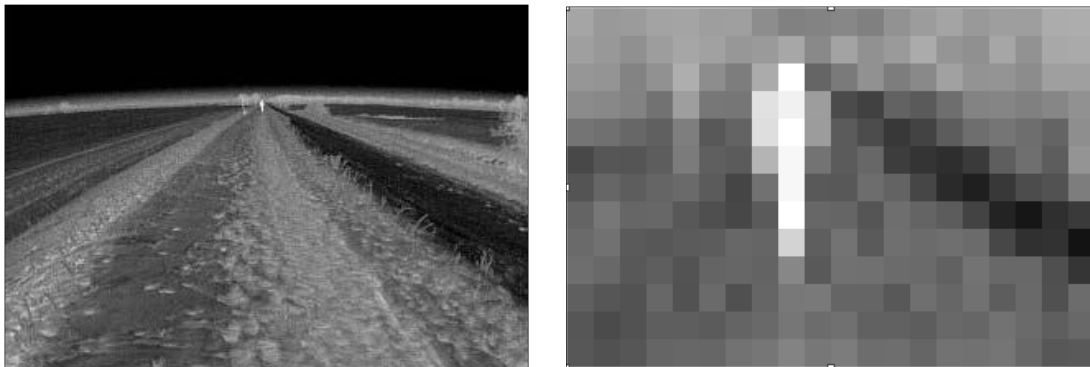
### **5.3.2 Versuchsergebnisse**

Die Auswertung der 15 Bildreihen ergab letztendlich ein sehr differenziertes Bild. Es wurde deutlich, dass die erzielten Reichweiten sowohl von den Eigenschaften der eingesetzten Kameramodelle als auch durch die Umgebungsbedingungen bestimmt werden.



(a) Stehende Person in 400 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

**Abbildung 46: Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Bodenversuch 14**



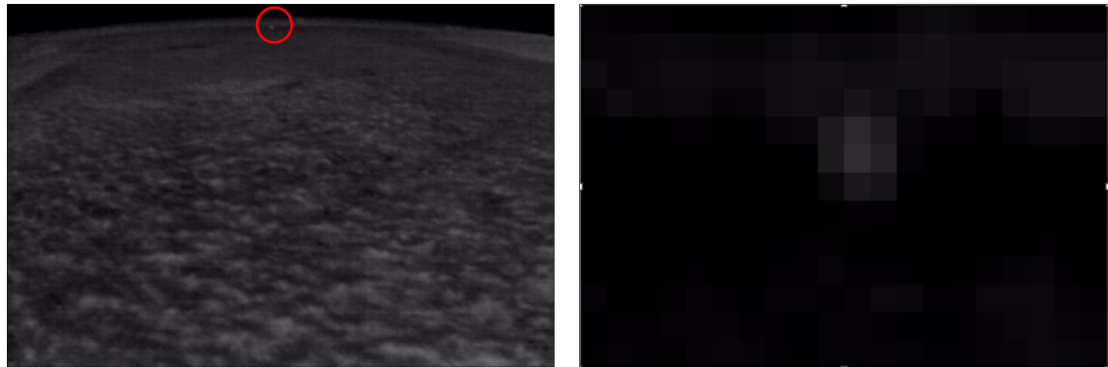
(a) Stehende Person in 100 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

**Abbildung 47: Erkennungsreichweite Kamera 1 - Bodenversuch 5**

Bei den Versuchen erzielte Kamera 1 insgesamt das beste Ergebnis. Zur Verdeutlichung der Aussagen sollen die Versuchsreihen 14 und 5 hinzugezogen werden. Hier scheinen nahezu ideale Bedingungen für große Reichweiten vorzuherrschen. Beim Versuch 14, in Abbildung 46 dokumentiert, liegt die Wahrnehmungsreichweite bei 400 Metern, wobei hier eine noch starke Tendenz in Richtung 500 Meter zu verzeichnen ist, da die zu suchende Person in 400 Meter immer noch mit zwei kontrastreich eingefärbten Pixelpunkten dargestellt wird. Die Erkennungsreichweite wurde unter ebenso idealen Bedingungen im Versuch 5 zu 100 Metern bestimmt (Abbildung 47).

Im Vergleich zur Kamera 1 sind die Reichweiten bei Kamera 2 und Kamera 9 geringer. Die Wahrnehmungsreichweite am Boden ist bei Kamera 2 und Kamera 9 gleich. Sie liegt bei einer Entfernung von 250 Metern, was in Abbildung 48 und Abbildung 49 zu erkennen ist.

Bei der Erkennungsreichweite weichen die Kameras etwas voneinander ab. Bei Kamera 2 liegt die Erkennungsreichweite bei einer Entfernung von 80 Metern, wobei Kamera 9 nur eine Reichweite von 60 Metern erzielt. Diese Ergebnisse werden in den Abbildung 50 und 51 anschaulich dargestellt.



(a) Stehende Person in 250 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 48: Wahrnehmungsreichweite Kamera 2 - Bodenversuch 14



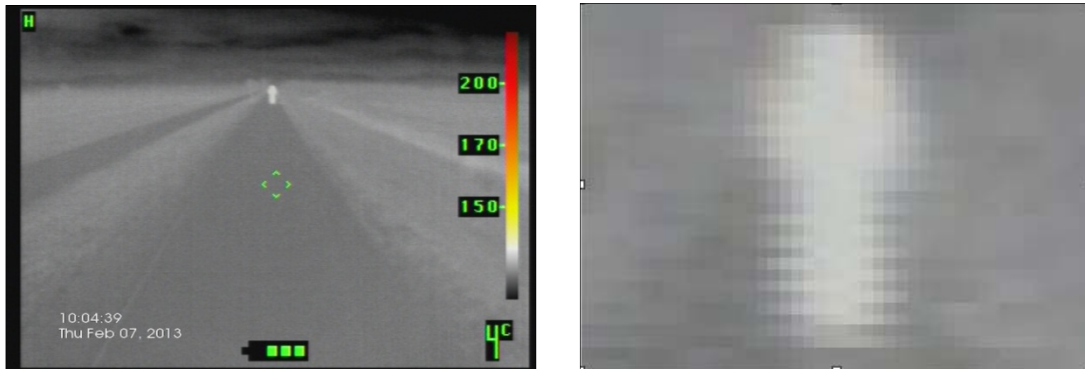
(a) Stehende Person in 250 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 49: Wahrnehmungsreichweite Kamera 9 - Bodenversuch 14



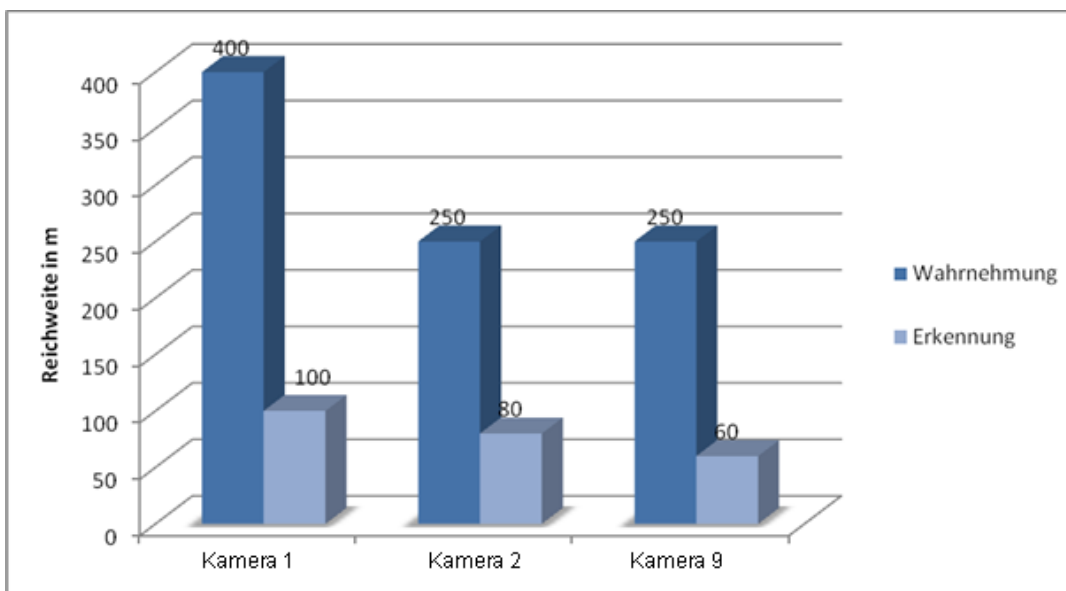
(a) Stehende Person in 80 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 50: Erkennungsreichweite Kamera 2 - Bodenversuch 8



(a) Stehende Person in 60 m Entfernung      (b) Pixeldarstellung

**Abbildung 51: Erkennungsreichweite Kamera 9 - Bodenversuch 8**



**Abbildung 52: Darstellung der Reichweiten für Bodeneinsätze aller Kameras**

Das Resultat der Reichweitenbestimmung für Bodeneinsätze ist in Abbildung 52 dargestellt. Die Werte basieren auf gemittelten Werten über alle Versuchsreihen.

Hier wird deutlich, dass Kamera 1 eine beeindruckende Wahrnehmungsreichweite am Boden besitzt. Kamera 2 und Kamera 9 erzielen nahezu identische Reichweiten.

## **5.4 Reichweitenbestimmung vom Drehleiterfahrzeug**

Im Jahre 2012 sind am Standort erstmal Reichweitenbestimmungen von einem Drehleiterfahrzeug aus durchgeführt worden. Nach den Ergebnissen am Boden von [15] und [16] brachten sie jedoch erstaunliche Reichweiten hervor. Es ergaben sich Wahrnehmungsreichweiten von bis zu 500 Meter. Um die Ergebnisse nachzuvollziehen und die Erkenntnisse weiter zu untermauern, wurden sie nochmals unter verschiedenen Umgebungsbedingungen wiederholt.

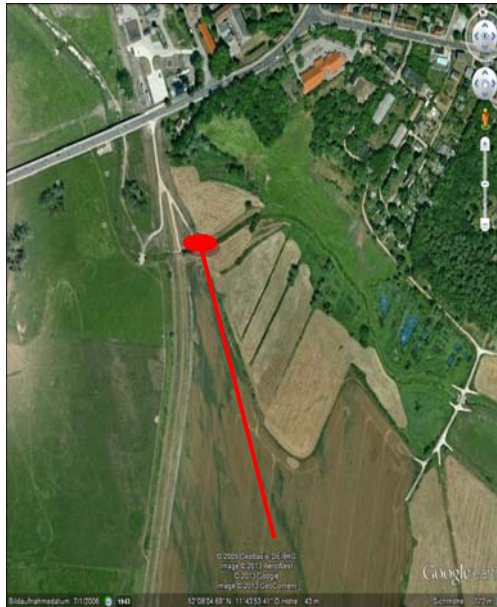
### **5.4.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung**

Die Versuche zur Reichweitenbestimmung von einem Drehleiterfahrzeug wurden analog zu den Versuchen in [16] durchgeführt, um somit einen besseren Vergleich ziehen zu können. So wurde auf einem befestigten Weg am Rande eines Feldes ein Drehleiterfahrzeug (Typ DLA-K 23/12) positioniert. Im Leiterkorb dieses Fahrzeuges wurde die Kamera 1 mittels Stativ platziert und fixiert. Kamera 2 und Kamera 9 wurden aufgrund der Beschaffenheit nicht auf Stativen fixiert, sondern von Hand aus gehalten und bedient.

Als Messobjekt diente wieder eine reale Testperson, die sich auf einer vorher mit Holzpflocken abgesteckten Messstrecke über 500 Meter vom Fahrzeug entfernte. Dabei wurde alle 50 Meter ein Wärmebild zur Dokumentation und späteren Auswertung aufgenommen. Der Abstand zum Fahrzeug wurde mittels eines Laufrades und einem Laser-Entfernungsmesser [26] gemessen. Die Abbildung 53 (a) zeigt den Aufbau und die Positionierung des Drehleiterfahrzeuges und die Abbildungen 53 (b) und 53 (c) die Versuchsmessstrecke. Die Untersuchungen erfolgten in den drei Höhen von 10, 20 und 30 Meter.



(a) Positionierung der Drehleiter



(b) Versuchsmessstrecke (Google Earth)



(c) Versuchsmessstrecke vom Drehleiterkorb aus

### Abbildung 53: Versuchsaufbau und Versuchsmessstrecke - Drehleiterversuche 1-3

Insgesamt wurden drei Drehleiterversuche mit jeweils unterschiedlichen Umgebungsbedingungen durchgeführt, diese sind in Tabelle 8 aufgelistet. Die Oberflächentemperaturen des Messobjektes wurden ebenfalls vor jedem Versuch mittels Handmessgerät und Temperaturfühler gemessen. Messpunkte waren dabei Stirn, Brust und Oberschenkel. Die gemessenen Temperaturen und die jeweiligen Temperaturdifferenzen sind in den Tabellen 9 bis 11 dargestellt.

**Tabelle 8: Versuchsbedingungen der einzelnen Drehleiterversuche**

	Uhrzeit	Lufttemperatur	Luftfeuchte	Niederschlag	Bewölkung
Versuch 1	10:00	0,56 °C	86,9 % r. F.	-	leicht bewölkt
Versuch 2	07:00	3,5 °C	82,7 % r. F.	leichter Nebel	leicht bewölkt
Versuch 3	07:00	10,8 °C	61,8 % r. F.	-	leicht bewölkt

**Tabelle 9: Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Drehleiterversuch 1**

Messpunkt	Temperatur $\vartheta$	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	23,4 °C	22,8 K
Brust	4,6 °C	4,0 K
Oberschenkel	5,2 °C	4,6 K

**Tabelle 10: Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Drehleiterversuch 2**

Messpunkt	Temperatur $\vartheta$	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	23,4 °C	19,9 K
Brust	8,6 °C	5,1 K
Oberschenkel	13,1 °C	9,6 K

**Tabelle 11: Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Drehleiterversuch 3**

Messpunkt	Temperatur $\vartheta$	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	30,3 °C	19,5 K
Brust	15,0 °C	4,2 K
Oberschenkel	16,3 °C	5,5 K

Die resultierende Temperaturdifferenz ergibt sich aus den Oberflächentemperaturen der Person und der Umgebungslufttemperatur und ist für die Versuche als vergleichbar anzusehen. Die Lufttemperatur wurde aufgrund der Anpassung zu vorhergehenden Untersuchungen in der Messkampagne 1 als Referenztemperatur gewählt.

#### 5.4.2 Versuchsergebnisse

Die Auswertung der drei Drehleiterexperimente ergab eine weitgehende Übereinstimmung hinsichtlich der Wahrnehmungreichweite aus den Vorversuchen in [16].

Die Kamera 1 zeichnet sich auch hier wieder durch die Erzielung der größten Reichweite aus. So wird auf dem Bildmaterial selbst in 500 Metern

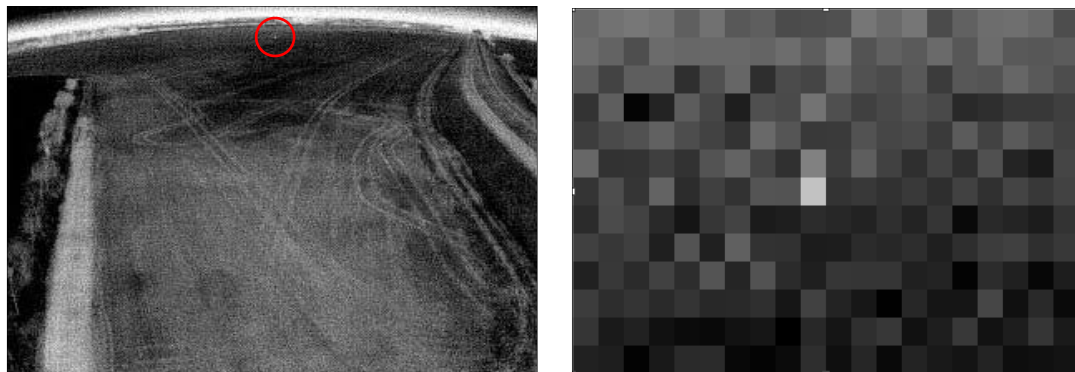
Entfernung noch ein Pixelpunkt (Personenpixel) kontrastreich dargestellt (Abbildung 54). Diese Reichweite wird aber nur mit zunehmender Höhe erreicht. Am Boden oder auch noch von 10 Metern Höhe gehen die Reichweiten um ca. 50 Meter zurück. Hier ist in 500 Metern Entfernung kein Pixelpunkt mehr erkennbar. Erst ab Arbeitshöhen von 20 und 30 Meter nimmt die Reichweite auf 500 Meter zu obwohl nach geometrischen Betrachtungen die tatsächliche Messentfernung (Hypotenuse) weiter zunimmt.

Als mögliche Ursache werden die thermischen Veränderungen im Szenebereich unter diesen speziellen Aufnahmebedingungen gesehen. Mit ansteigender Arbeitshöhe senkt sich die Kameraachse mehr in Richtung Boden. Die Kamera findet mit einem homogenen Temperaturfeld bessere Aufnahmebedingungen vor, da der Einfluss des Horizonts mit der Höhe schwindet. Bei klarem Himmel können durch Himmelsstrahlung Temperaturen bekanntlich von bis zu  $-40\text{ °C}$  ins Spiel gebracht werden, die für Bodenaufnahmen eine Störstrahlung darstellen. Die Kamera stellt sich auf die neuen thermischen Bedingungen ein und spreizt den Messbereich. Sie wird unempfindlicher, sodass ein oder mehrere Pixelpunkte nicht mehr aufgelöst werden können. Die mit sinkender Auflösung geht die Reichweite zurück.

In der Tabelle 3 im Anhang B ist die Anzahl der Pixelpunkte in der jeweiligen Entfernung und in den unterschiedlichen Höhen zu den einzelnen Versuchen dargestellt.

Die Kamera 2 erreichte in den Drehleiterversuchen eine Wahrnehmungsreichweite von 300 Metern, dabei ist die Einsatzhöhe nicht von großer Bedeutung. Sowohl in 10 Meter Höhe, als auch in 20 und 30 Meter Höhe wurden nur noch einzelne Pixelpunkte (Personenpixel) wahrgenommen. Eine Veranschaulichung des Ergebnisses ist in Abbildung 55 zu sehen. Zusätzlich untermauert die grafische Darstellung der einzelnen Pixelpunkte am Beispiel des Versuches 3 dieses Resultat in Abbildung 56.





(a) Stehende Person in 500 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 54: Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Drehleiterversuch 3 (Höhe 20 m)

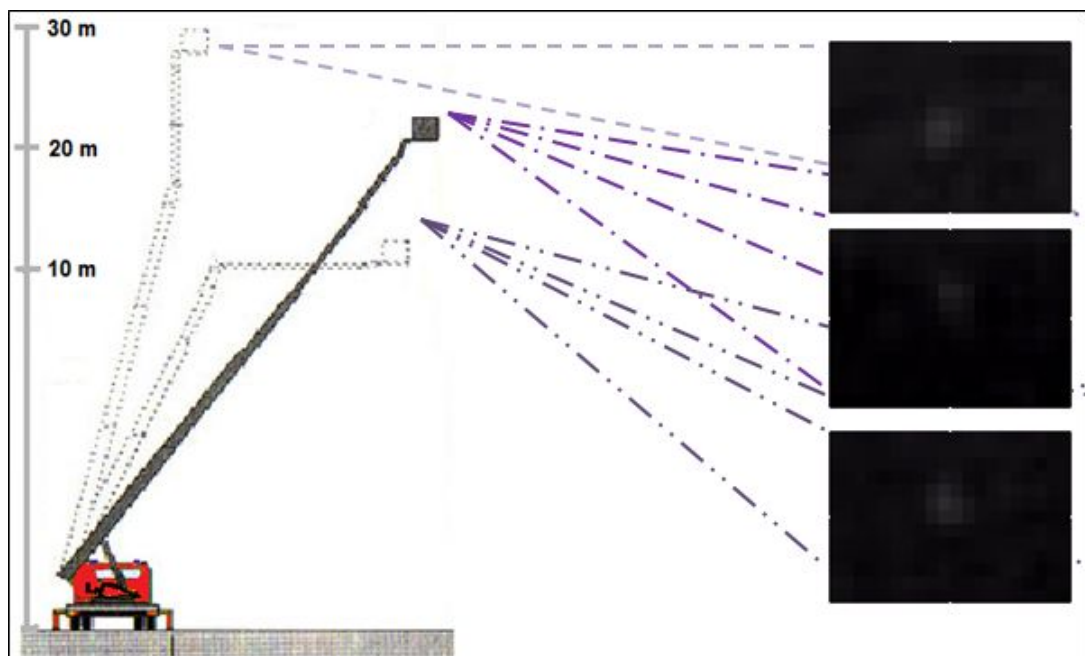


Abbildung 55: Pixeldarstellung einer Person in 300 m Entfernung mit Kamera 2 - Drehleiterversuch 3

Die Wahrnehmungsreichweite von Kamera 9 liegt ebenfalls bei 300 Metern.

Wie schon bei Kamera 2, ist auch bei Kamera 9 die Einsatzhöhe irrelevant.

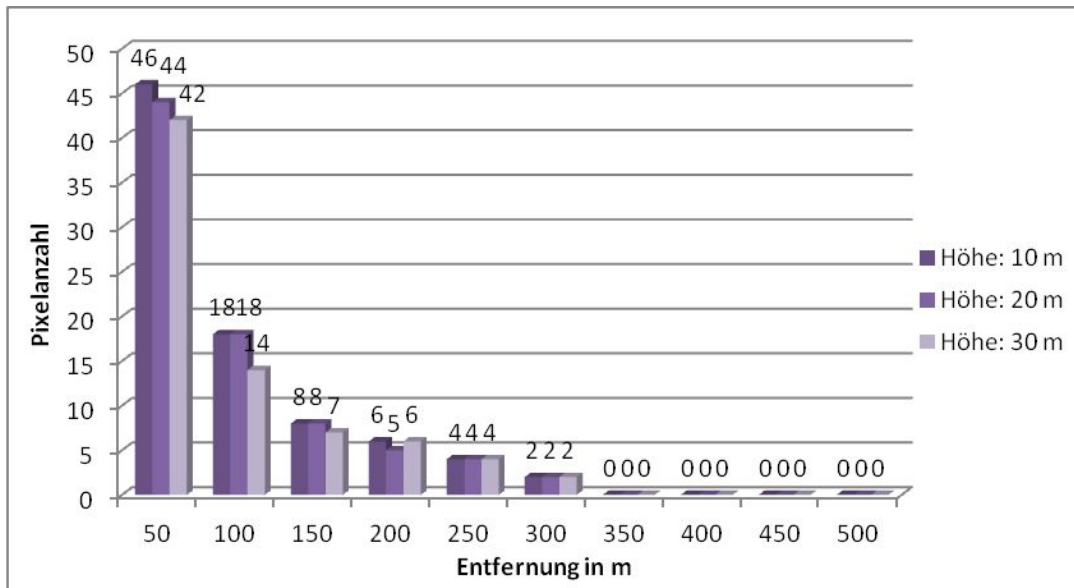
In allen drei Höhen ist die zu suchende Person gut wahrnehmbar.

Veranschaulicht wird dieses Ergebnis in Abbildung 57. Die

Erkennungsreichweite der Wärmebildkameras 2 und 9 liegt unter idealen

Bedingungen jeweils bei 50 Metern wie in den Abbildungen 58 und 59

dargestellt wird.



**Abbildung 56: Anzahl der Personenpixel im Zusammenhang mit der Entfernung von Kamera 2 - Drehleiterversuch 3**

Wie in Abbildung 60 zu sehen ist, bildet die Kamera 1 eine erstaunliche Ausnahme. Nach Auswertung der drei Versuchsreihen, gemäß dem festgelegten Bewertungskriterium, ist eine Erkennung der zu suchenden Person (stehend) selbst in einer Entfernung von 100 Metern noch möglich. Dieses Ergebnis wird jedoch ausschließlich in einer Höhe von 20 Metern erzielt, da die Pixeldarstellung (Personenpixel) nur in dieser Höhe einen kreuzförmigen Personenumriss aufzeigt. In 10 Metern und 30 Metern Höhe ist dieser kreuzförmige Personenumriss nicht erkennbar. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 61 beispielartig, anhand des dritten Drehleiterversuches, verdeutlicht.



(a) Wärmebild einer Person- 10 m Höhe

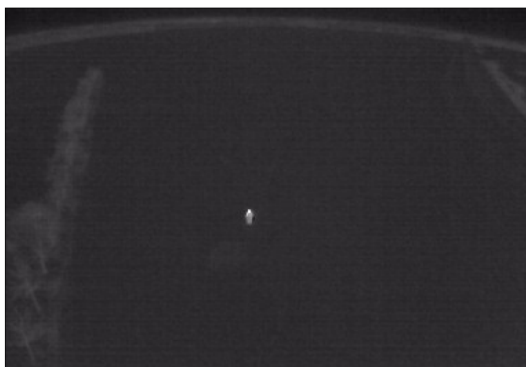


(b) Wärmebild einer Person - 20 m Höhe

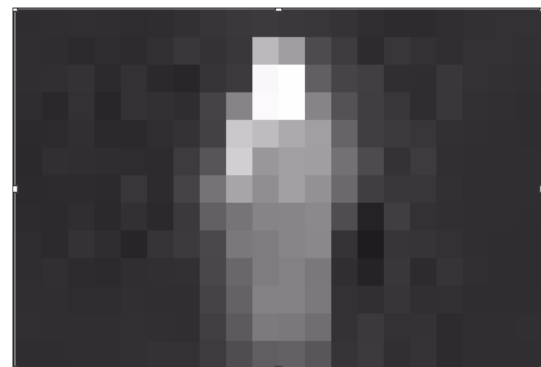


(c) Wärmebild einer Person - 30 m Höhe

Abbildung 57: Wahrnehmungreichweite Kamera 9 - Drehleiterversuch 3  
(Entfernung: 300 Meter)

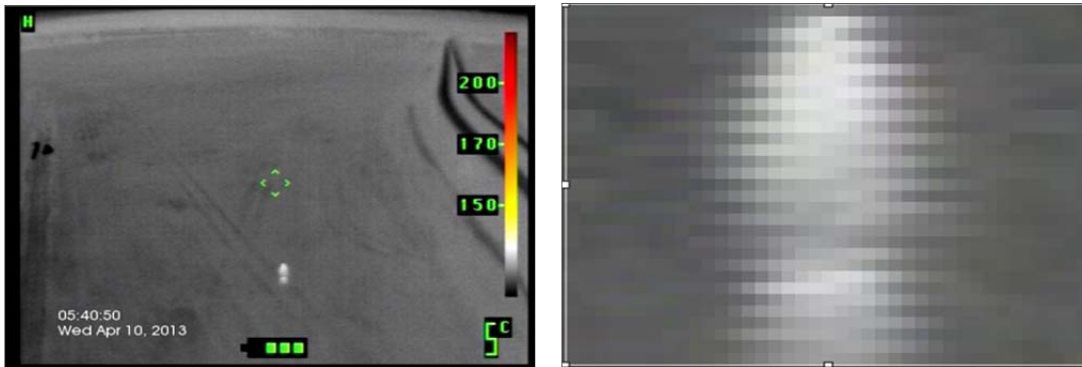


(a) Stehende Person in 50 m Entfernung



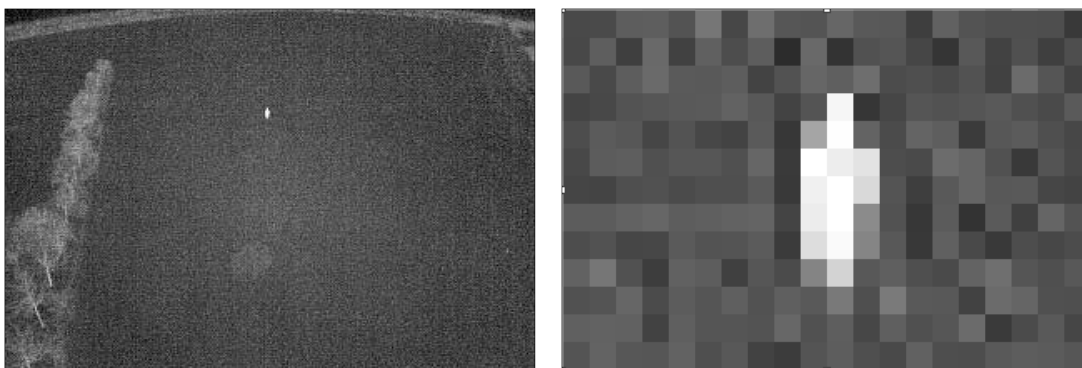
(b) Pixeldarstellung

Abbildung 58: Erkennungsreichweite Kamera 2 - Drehleiterversuch 2 (Höhe: 20 m)



(a) Stehende Person in 50 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 59: Erkennungsreichweite Kamera 9 - Drehleiterversuch 1 (Höhe: 20 m)



(a) Stehende Person in 100 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 60: Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Drehleiterversuch 2 (Höhe 20 m)



(a) Höhe: 10 m

(b) Höhe: 20 m

(c) Höhe: 30 m

Abbildung 61: Pixeldarstellung einer Person in 100 m Entfernung - Kamera 1 (Drehleiterversuch 3)

Das Resultat der Reichweitenbestimmung von Drehleiterfahrzeugen ist in Abbildung 62 dargestellt. Die Wahrnehmungsreichweite der Kamera 1 liegt bei 500 Metern, Kamera 2 und 9 jeweils bei 300 Metern. Somit werden die Ergebnisse der vorhergehenden Arbeiten von Kamera 1 und 2 für die Wahrnehmungsreichweite in [16] bestätigt.

Unterschiede bestehen jedoch bei der Erkennungsreichweite. Während die Erkennungsreichweite von Kamera 2 (50 Meter) mit der

Erkennungsreichweite der Vorarbeiten übereinstimmt, liegt die von Kamera 1 (100 Meter) deutlich über der dort ermittelten Reichweite.

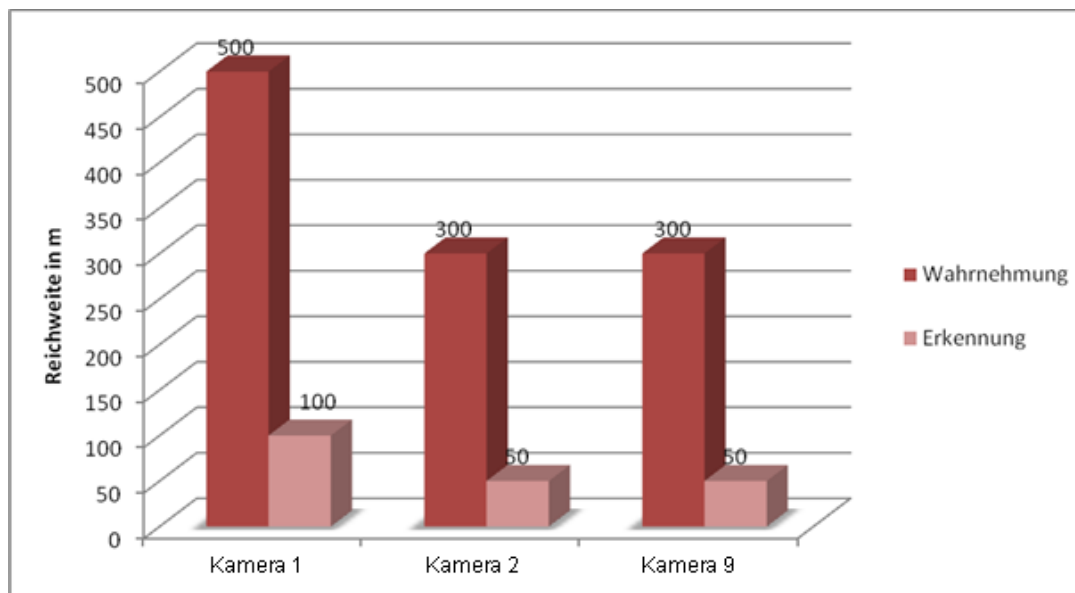


Abbildung 62: Reichweiten von Drehleiterfahrzeugen aller Kameras

## 5.5 Reichweitenbestimmung bei Hubschraubereinsätzen

Das Hubschrauberexperiment stellt aus vielerlei Gründen eine Besonderheit dar. Hubschrauber gehören nicht unbedingt zur Ausstattung einer Feuerwehr und sind im Allgemeinen bei der Polizei angesiedelt. Trotzdem kommt es häufig zu gemeinsamen Einsätzen, wie zur Lageaufklärung bei Großschadenslagen, Waldbränden und nicht zuletzt bei der Suche nach Personen und Tieren. In vielen Fällen wird dann die systemeigene Wärmebildkamera des Hubschraubers genutzt. Es handelt sich dabei um ein leistungsfähiges und hochwertiges Thermografiesystem speziell für Polizeiaufgaben, das auch über Fernmesseigenschaften verfügt und in der Lage ist, Personen in Entfernungen von über 2000 Metern heranzuzoomen und genau zu betrachten.

Mit derartigen Aufgabenstellungen sind die Wärmebildkameras der Feuerwehr mit Sicherheit überfordert. Das können sie nicht leisten. Doch nicht jeder Hubschrauber einer Hubschrauberstaffel ist mit einer

systemeigenen Wärmebildkamera ausgestattet. Hier mögen Kosten- und Personalgründe eine gewichtige Rolle spielen, denn jeder der Hubschrauber müsste dann über einen ausgebildeten Operator verfügen, der das Kamerasystem bedient.

In der Praxis kann der Fall eintreten, dass der Hubschrauber mit einer Wärmebildkamera im Einsatz ist und nicht beordert werden kann und die noch verfügbaren Hubschrauber aber über keine systemeigenen Wärmebildkameras verfügen. So ergibt sich die Fragestellung, ob es dann generell möglich ist eine feuerwehrspezifische Wärmebildkamera mit an Bord zu nehmen und sie einzusetzen. Den positiven Erfahrungen aus dem Einsatz der Wärmebildkameras aus der Höhe im Einsatzbereich der Drehleiter stände dem generell nichts entgegen.

Das Hauptaugenmerk ist so auf zwei wesentliche Fragestellungen gerichtet: Kann eine „einfache“ Wärmebildkamera das aus technischer Sicht überhaupt leisten? Welche Flughöhen sind möglich und notwendig und welche Einsatzvorteile lassen sich dadurch erzielen.

Hubschrauber zeichnen sich bekanntlich durch eine große Mobilität und Unabhängigkeit von bestehenden Verkehrswegen aus und können über Flüsse und Sümpfe fliegen. Sie können in kürzester Zeit große Flächen abfliegen und kontrollieren. Das ist ihr wesentlicher Vorteil. Aber sind die hohen Kosten des Hubschraubereinsatzes gegenüber einer Drehleiter gerechtfertigt? Stellen wir die Frage noch etwas zurück. Sie soll erst beantwortet werden, wenn die Versuche erfolgreich verlaufen sind und die Einsatzvorteile klar auf der Hand liegen.

In Zusammenarbeit mit der Hubschrauberstaffel der Landesbereitschaftspolizei Sachsen-Anhalt wurden zunächst drei Hauptversuche geplant und besprochen. Als erstes war vorgesehen, anhand von „Grundmessungen“ auf dem Flugplatz erste grundlegende Aussagen zum Einsatz von Wärmebildkameras der Feuerwehr aus Hubschraubern heraus machen zu können. Die dort gewonnenen Erkenntnisse sollten anschließend an einer Einsatzübung mit einer Freiwilligen Feuerwehr

einsatznah geprüft werden. Schließlich war geplant, in Zusammenarbeit mit der Tauchergruppe einer Berufsfeuerwehr, Erkenntnisse über den Wärmebildkameraeinsatz aus Hubschraubern an Gewässern zu sammeln.

Leider konnten von den beabsichtigten Versuchen nur die Grundmessungen realisiert werden. Wegen der Hochwasserkatastrophe an der Elbe waren die Hubschrauber für mehrere Wochen nicht verfügbar. Dennoch lieferten die Versuche eine Reihe wichtiger Ergebnisse zur Nutzbarkeit feuerwehrspezifischer Wärmebildgeräte aus Hubschraubern heraus. Sie sollen im Folgenden vorgestellt und beschrieben werden.

### 5.5.1 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Am Flugplatz in Magdeburg wurden drei Grundversuche zur Reichweitenbestimmung durchgeführt. Diese fanden, wie die Tabelle 12 aufzeigt, zu jeweils unterschiedlichen Umgebungsbedingungen statt. Sie wurden nicht wie bisher mithilfe der Wetterstation, sondern über die Wetterdaten der Einsatzleitung bestimmt.

Versuch	Uhrzeit	Lufttemperatur	Luftfeuchte	Niederschlag	Bewölkung
1	14:45	19,9 °C	57,7 % r. F.	-	nicht bewölkt
2	09:30	19,0 °C	62,7 % r. F.	-	stark bewölkt
3	07:30	15,8 °C	75,7 % r. F.	-	leicht bewölkt

**Tabelle 12: Versuchsbedingungen der einzelnen Hubschrauberversuche**

Am Anfang eines jeden Versuches stand ein kurzes Briefing mit der Hubschrauberbesatzung. Hier wurden die Details zu den verschiedenen Flughöhen, den Anflugpunkten und zu den Entfernungen der Versuchsperson besprochen.

Danach wurde der Hubschrauber für den Versuch vorbereitet.

Geflogen wurde mit einer Maschine mit der Bezeichnung BK 117 B-2 vom Typ Eurocopter (Abbildung 61). Der Hubschrauber ist ausgestattet einer Wärmebildkamera vom Typ Star Safire HD von der Firma FLIR (USA) und wird von einer Drei-Mann starken Besatzung geflogen - zwei Piloten und einem Operator für die Wärmebildkamera. Dabei handelt es sich um eine Wärmebildkamera mit einem Detektor mit einer Bildauflösung von 640 x 512

Pixel in InSb-FPA-Technologie und mit einer hochwertigen Zoom-Optik. Für den Versuchsdurchführenden war lediglich nur noch ein Platz frei.



**Abbildung 63: Hubschrauber Eurocopter BK 117 B-2 mit Star Safire HD**

Die verwendeten Wärmebildkameras wurden in den Innenraum verbracht. Aufgrund der starken Vibrationen im Hubschrauber war die Stativmontage der Kameras hinfällig. Sie wurden, wie auf der Abbildung 64 zu sehen ist, auf dem Boden abgelegt und bei Einnahme der Messposition vom Kameraführer, der sich auf dem markierten Sitz befand, nacheinander aus einem Fenster heraus handgeführt bedient.





(a) Sitz des Kameraführers und  
Aufnahmefenster



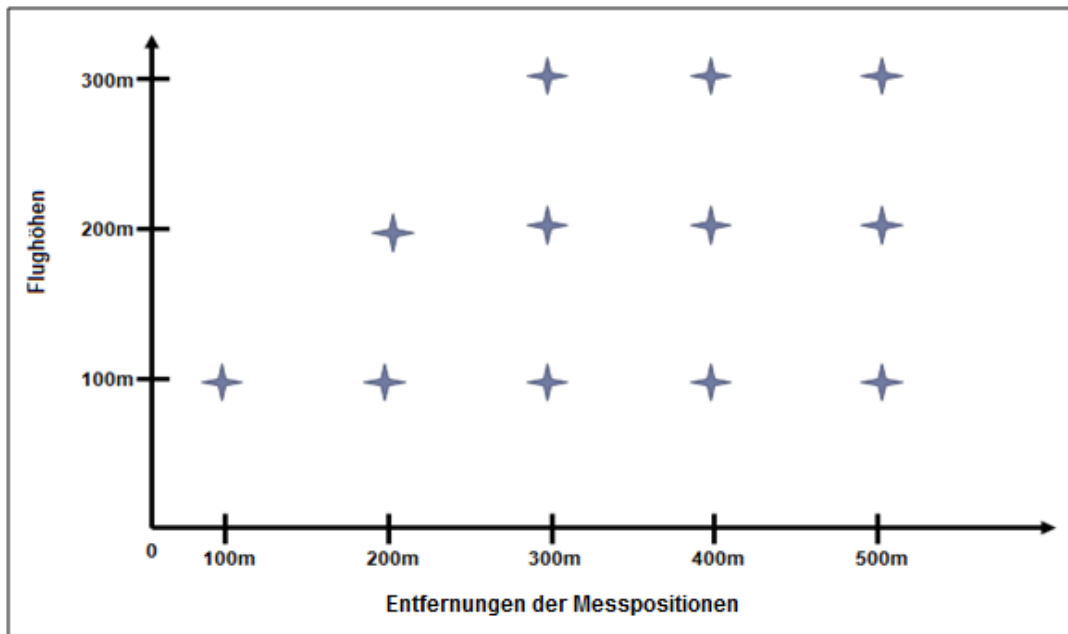
(b) Platz für Wärmebildkameras

**Abbildung 64: Versuchsplatz im Hubschrauber**

Zum Beginn des Messfluges wurde die Testperson am Anfang der 500 Meter langen Messstrecke (Abbildung 65) abgesetzt. Sie nahm anschließend per Funkbefehl die verschiedenen Positionen ein, die zuvor alle 100 Meter abgesteckt worden waren. Unterdessen flog der Hubschrauber die vorgesehenen Höhenlagen von 100, 200 und 300 Meter, am Anfang der Messstrecke, an. Die insgesamt 12 Messpunkte mit den dazugehörigen Entfernungen und Höhen sind in Abbildung 66 veranschaulicht.



**Abbildung 65: Versuchsmessstrecke der Hubschrauberversuche**



**Abbildung 66: Messpositionen der Hubschrauberversuche**

Die Maximalentfernung der Testperson wurde zu 500 Meter festgelegt, da bereits das Ergebnis der Reichweitenbestimmung für den Wärmebildkameraeinsatz vom Drehleiterfahrzeug aus vorlag. Mit Absprache der Hubschrauberbesatzung wurde eine Maximalflughöhe auf 300 Meter festgesetzt, weil diese Flughöhe für Personensuchen im freien Gelände üblicherweise von der Crew genutzt wird.

Von Vorteil war, dass dieser Hubschrauber über eine fest installierte Wärmebildkamera verfügte. So konnten parallel zur mobilen Feuerwehrtechnik Wärmebildaufnahmen mit der Kamera Star Safire HD aufgenommen werden. Sie wurden als IR-Video mitgeschnitten. Aus dem Bildmaterial konnten dann Einzelbilder gewonnen werden. Auf diese Weise war ein direkter Reichweitenvergleich zwischen den Kameras möglich.

Die Oberflächentemperaturen der Testperson wurden wie gewohnt mittels Handmessgerät und Temperaturfühler gemessen. Messpunkte waren dabei Stirn und Brust. Die gemessenen Temperaturen und die jeweiligen Temperaturdifferenzen sind in den Tabellen 13 bis 15 dargestellt.

**Tabelle 13: Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Hubschrauberversuch 1**

Messpunkt	Temperatur $\vartheta$	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	25,7 °C	5,8 K
Brust	16,3 °C	3,6 K

**Tabelle 14: Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Hubschrauberversuch 2**

Messpunkt	Temperatur $\vartheta$	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	26,7 °C	7,7 K
Brust	17,3 °C	1,7 K

**Tabelle 15: Oberflächentemperaturen des Messobjektes - Hubschrauberversuch 3**

Messpunkt	Temperatur $\vartheta$	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	27,9 °C	12,1 K
Brust	25,1 °C	9,3 K

### 5.5.2 Versuchsergebnisse

Die Auswertung des Bildmaterials der drei Hubschrauberversuche ergab, dass die Versuchsperson in einer Entfernung von 500 Meter aus keiner der drei Flughöhen wahrgenommen werden konnte, wie die Abbildung 67 beweist. Ebenfalls war die Wahrnehmung des Messobjektes in einer Flughöhe von 300 Meter nicht mehr möglich. Somit sanken die Maximalentfernung von 500 auf 400 Meter und die Maximalflughöhe von 300 auf 200 Meter.



(a) Höhe: 100 m



(b) Höhe: 200 m

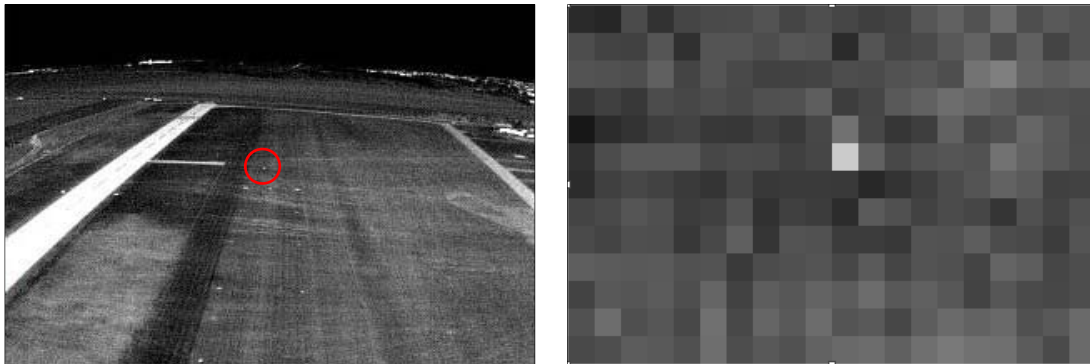


(c) Höhe: 300 m

**Abbildung 67: Pixeldarstellungen einer Person in 500 m Entfernung - Kamera 1 (Hubschrauberversuch 1)**

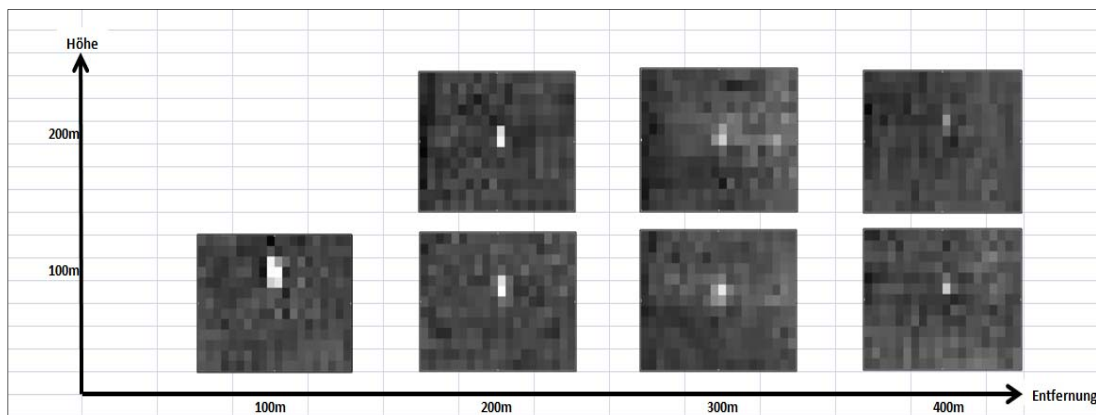
Das beste Ergebnis wurde wiederum von Kamera 1 erzielt. Auf den Wärmebildern dieser Kamera wird selbst in einer Entfernung von 400 Metern noch ein Pixelpunkt (Personenpixel) kontrastreich dargestellt. Dieses

Ergebnis wird sowohl in einer Flughöhe von 100 Metern, als auch in einer Flughöhe von 200 Metern erreicht. Die Wahrnehmungsreichweite von Kamera 1 liegt somit bei 400 Metern (Abbildung 68). In Abbildung 69 werden die Pixeldarstellungen aus den Wärmebildern der einzelnen Messpunkte veranschaulicht dargestellt. Eine Abnahme der Personenpixel mit zunehmender Entfernung und zunehmender Höhe ist deutlich erkennbar.



(a) Stehende Person in 400 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

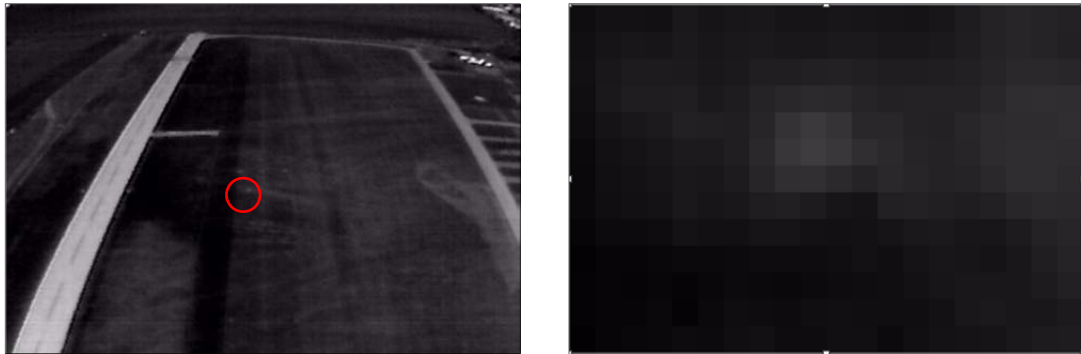
**Abbildung 68: Wahrnehmungsreichweite Kamera 1 - Hubschrauberversuch 3 (Höhe: 200 m)**



**Abbildung 69: Pixeldarstellungen der 7 Messpunkte – Kamera 1 (Hubschrauberversuch 3)**

Die Kamera 2 erreichte in den Hubschrauberversuchen eine Wahrnehmungsreichweite von 300 Metern. Sowohl in 100 Metern Höhe, als auch in 200 Meter Höhe wurden noch einzelne Personenpixel wahrgenommen. Eine Darstellung der Testperson aus 200 Metern Höhe zeigt die Abbildung 70.

Die Pixeldarstellungen aus den Wärmebildern der einzelnen Messpunkte von Kamera 2 werden in Abbildung 71 dargestellt.



(a) Stehende Person in 300 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 70: Wahrnehmungsreichweite Kamera 2 - Hubschrauberversuch 3  
(Höhe: 200 m)

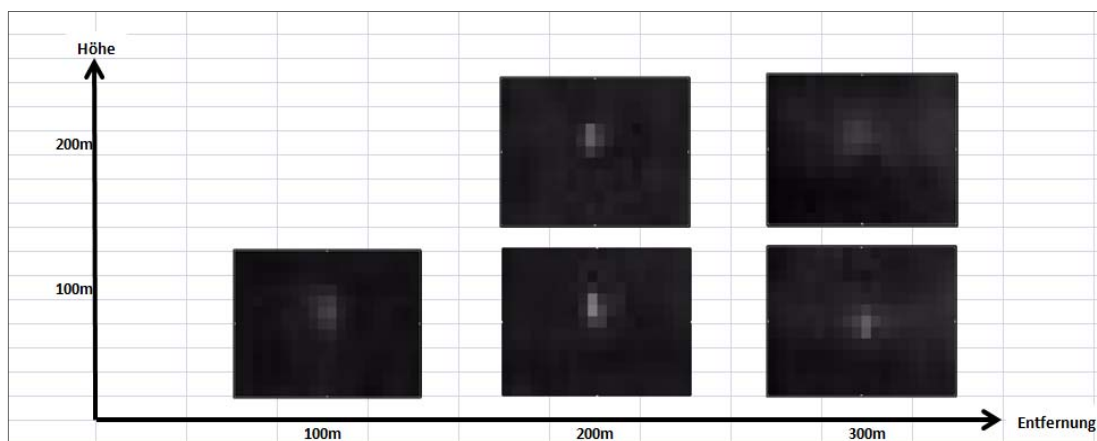
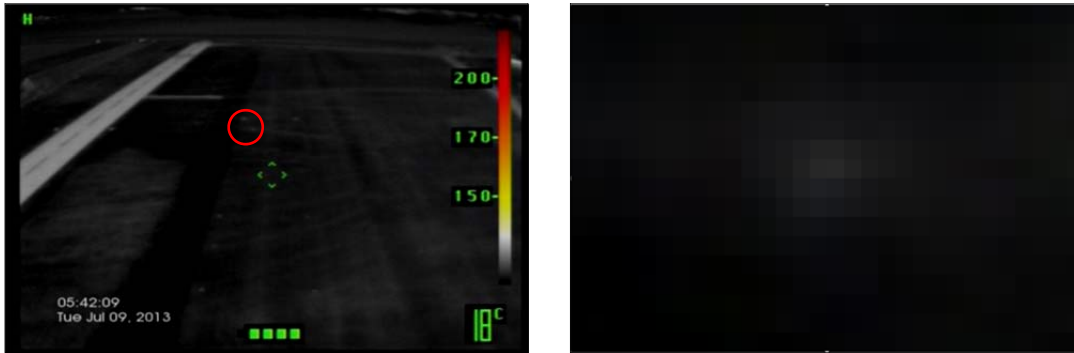


Abbildung 71: Pixeldarstellungen der 5 Messpunkte - Kamera 2  
(Hubschrauberversuch 3)

Die Wahrnehmungsreichweite von Kamera 9 liegt, wie bei Kamera 2, bei 300 Metern. Diese Reichweite wird bei beiden Flughöhen erreicht, jedoch nimmt der Kontrast der Personenpixel in 200 Metern Höhe stark ab, so dass die Wahrnehmung der Person in dieser Höhe sehr schwer ist (Abbildung 72). Eine Übersicht der Pixeldarstellungen aus den Wärmebildern der Kamera 9 ist in Abbildung 73 dargestellt.



(a) Stehende Person in 300 m Entfernung (b) Pixeldarstellung

Abbildung 72: Wahrnehmungsreichweite Kamera 9 - Hubschrauberversuch 3 (Höhe: 100 m)

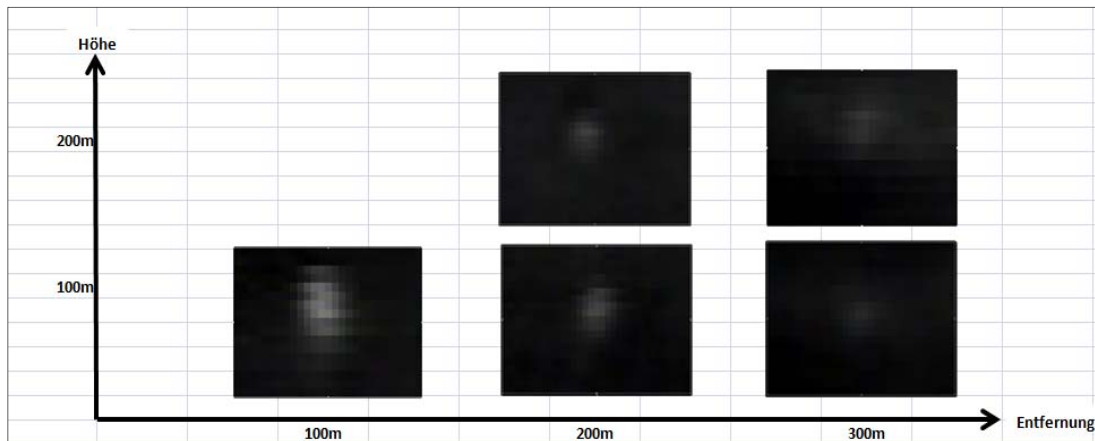
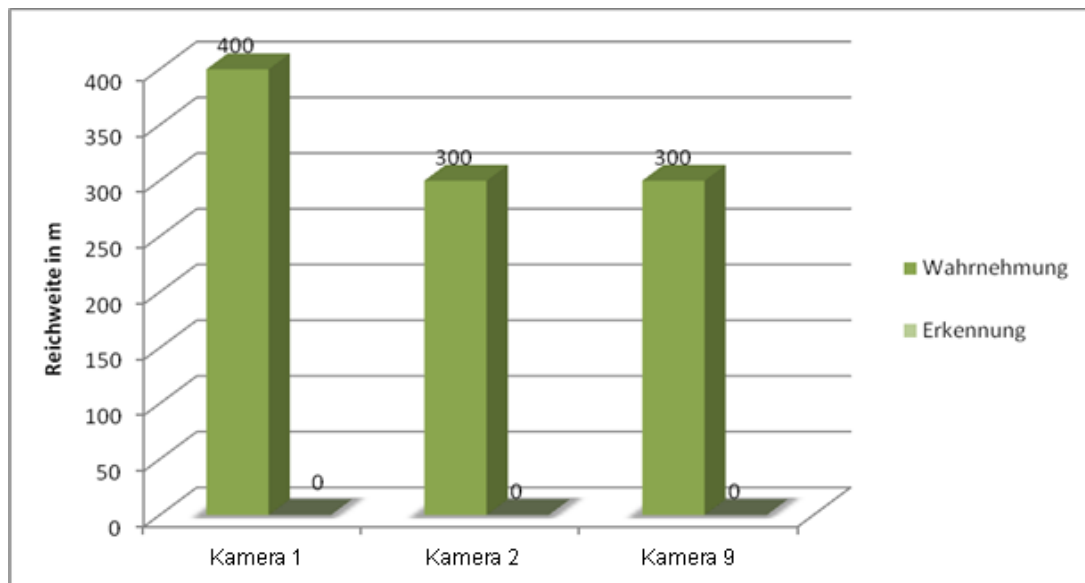


Abbildung 73: Pixeldarstellungen aus den Wärmebildern der 5 Messpunkte – Kamera 9 (Hubschrauberversuch 3)

Das Resultat der Reichweitenbestimmung aus dem Hubschrauber ist in Abbildung 74 dargestellt. Es zeigt sich, dass nur Wahrnehmungsreichweiten bestimmbar waren. Angeführt mit Kamera 1 mit 400 Meter die größte und Kamera 2 und 9 von jeweils 300 Meter nachfolgend.

Erkennungsreichweiten konnten aus Hubschraubern heraus nicht ermittelt werden, da nach dem im Abschnitt 5.1 festgelegten Kriterien keine Erkennung der zu suchenden Person möglich ist. Somit können vermisste Personen mit feuerwehrspezifischen Wärmebildkameras aus Hubschraubern lediglich wahrgenommen werden. Die Ursache für diesen unplausiblen Umstand konnte nicht zweifelsfrei geklärt werden. Es wird vermutet, dass der Umstand auf die die starken Schwingungen im Hubschrauber zurückzuführen sind.



**Abbildung 74: Darstellung der Wahrnehmungsreichweite aus Hubschraubern für alle Kameras**

## 5.6 Einfluss der Rahmenbedingungen auf die Reichweite

In diesem Abschnitt werden die zuvor im Abschnitt 3.3 diskutierten Einflussgrößen der Reichweite experimentell bestimmt und genauer untersucht. Die Schwierigkeiten bestanden im Wesentlichen darin, die Resultate und Leistungsmerkmale konkreten Einflussgrößen zuordnen zu können. Wie dort mehrfach vermutet, kommt es zu Komplexzusammenhängen, in denen die Wirkung einzelner Parameter untergehen und selten prägnant in Erscheinung treten. Bei den Untersuchungen kamen wiederum verschiedene Kameramodelle zum Einsatz.

### 5.6.1 Kameratechnische Parameter

#### 5.6.1.1 Bildauflösung

Die Kameras 2 und 9 sind die Geräte mit der größten Bildauflösung von 384 x 288 Pixel. Sie erzielten hinsichtlich der Reichweite nahezu identische Ergebnisse, aber nicht die größte Weite. Diese wurden mit der Kamera 1 mit der Bildauflösung von „nur“ 320 x 240 Pixel erreicht. Es gibt aber keinen Grund, diese Auflösung zu favorisieren, denn im Vergleich mit anderen Kameras dieser Auflösung, wie beispielsweise den Kameras 5 und 6, klaffen

teilweise Abgründe. Sie scheinen mit derartigen Bedingungen des freien Feldes überhaupt nicht klar zu kommen.

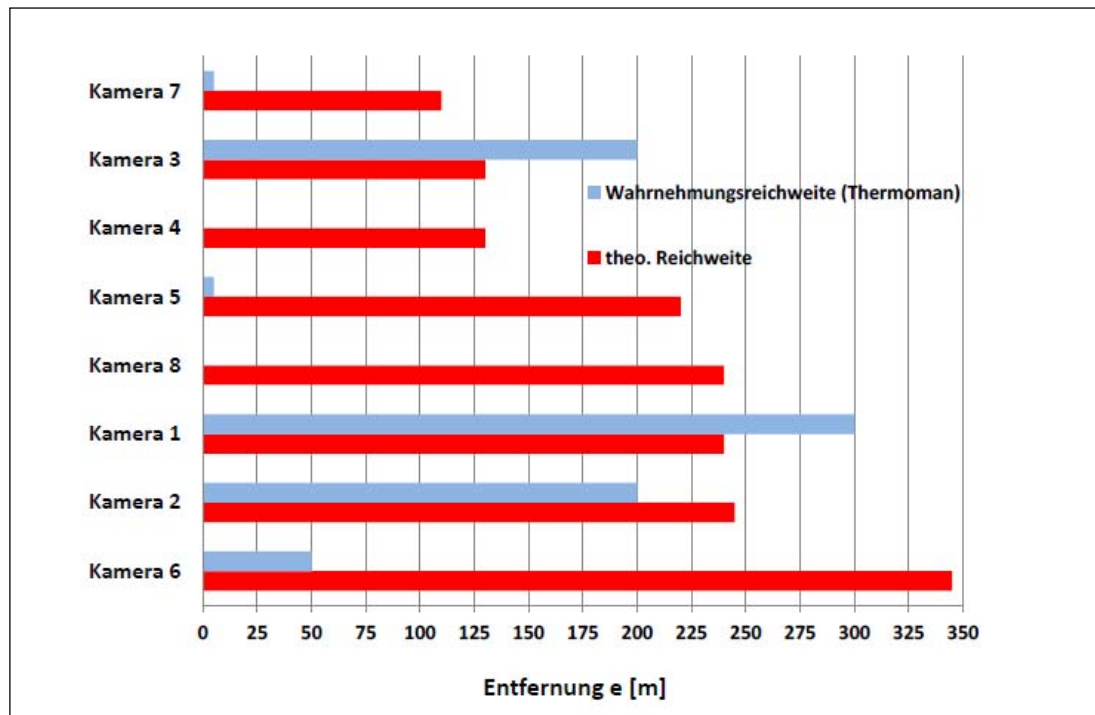
Dagegen konnten mit den Kameras 3 und 4 der weitaus geringeren Auflösung von 160 x 120 Pixel hervorragende Bilddarstellungen und Reichweiten erzielt werden. Selbstverständlich kommen Bildauflösungen noch weiter darunter außer Betracht. Hier treffen die logischen Überlegungen wieder zu. Aus diesen Gründen war kein direkter Zusammenhang zwischen Detektorauflösung und Kamerareichweite zu erkennen. Die Kameradaten hierzu sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

### **5.6.1.2 Sichtfeld**

Die ersten Reichweitenuntersuchungen im Abschnitt 4.4.1 haben schon ergeben, dass der aus Plausibilitätsgründen angenommene Zusammenhang zwischen Bildöffnungswinkel und Sichtfeld mit der Reichweite in der Praxis nicht zur Umsetzung kommt. Im Vergleich der Kamera 2 mit den größten Bildöffnungswinkeln  $57^\circ$  (h) x  $41^\circ$  (v) und der Kamera 6 mit den kleinsten Bildöffnungswinkeln  $36^\circ$  (h) x  $27^\circ$  (v) sollten sich schon deutliche Einflüsse zeigen. Dies ist aber nicht der Fall, wie den Ergebnissen aus den Versuchsserien der Thermoman-Versuche in den Abbildungen 34 bzw. A-3 zu entnehmen ist.

Die in den Experimenten ermittelten Reichweiten korrelieren nicht mit den berechneten „theoretischen“ Reichweiten, wie in Abbildung 75 dargestellt. So erreichte die Kamera 2 mit dem „ungünstigeren“ großen Sichtfeld eine Wahrnehmungsreichweite von 200 Metern, während die Kamera 6 mit dem kleinsten Sichtfeld, die für Ferneinsätze als die Aussichtsreichste erschien, lediglich 50 Meter zustande brachte. Noch extremer fallen die Abweichungen aus, wenn man die theoretisch berechneten Reichweiten hinzuzieht. Sie waren für die Kamera 6 mit ca. 350 Meter berechnet worden. Für die Kamera 2 betrug die theoretische Sichtweite ca. 240 Meter und entspricht nahezu dem im Experiment ermittelten Wert von 200 Metern. Die Abweichungen sind hier relativ klein und hinnehmbar. Das Ergebnis bleibt aber insgesamt unbefriedigend.





**Abbildung 75: Vergleich theoretisch berechneter Reichweiten mit den im Experiment „Thermoman“ tatsächlich ermittelten Werten für verschiedene Kameras**

So ist festzustellen, dass die in 3.4.4 durchgeführte Berechnungen der Reichweiten, dargestellt in Abbildung 16, durch die Kameras in der Praxis nicht umgesetzt werden. Ein „Feld“ von inneren und äußeren Einflussgrößen scheint die erreichbaren Reichweiten im weitaus stärkeren Maße zu beeinflussen. Der Zusammenhang von Sichtfeldgröße und Reichweite war ebenfalls nicht nachweisbar.

### 5.6.1.3 Temperaturauflösung

Der Zusammenhang zwischen den angegebenen, eher theoretisch zu betrachtenden Werten der thermischen Empfindlichkeit und der Reichweite ist zwar plausibel, er konnte in den Untersuchungen aber ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Die Angaben schwanken heute bei den Kameras um den Wert 0,5 (0,3 bis 0,7) mK und scheinen in ihrer Größenordnung nicht die erwartete Rolle zu spielen. Sie werden von anderen Einflussgrößen bestimmt.

#### **5.6.1.4 Bildschirm und Speicherabbild**

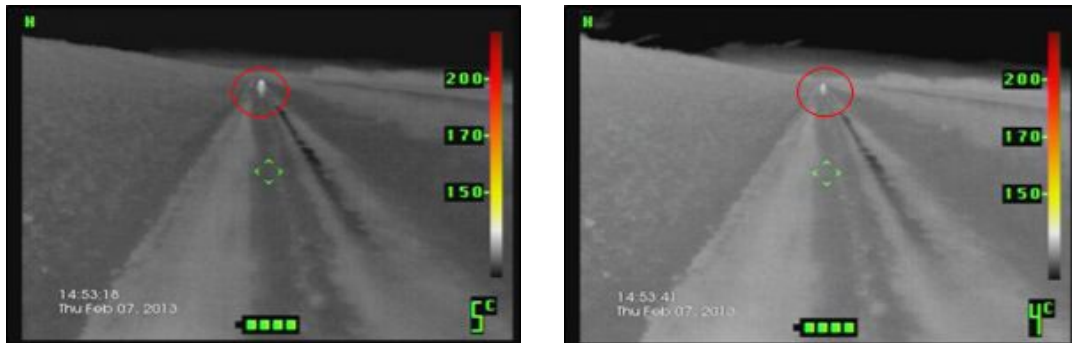
Auch an die Bildschirmgröße sind Mindestanforderungen zu stellen. Personen, die sich in der Ferne nur noch durch kleine Pixelanordnungen oder gar nur Einzelpixel darstellen, können auf einem großen Kamerabildschirm besser wahrgenommen werden als auf einem kleinen Bildschirm. Das liegt in der Natur der Dinge. Daher sollten für Fernanwendungen im Freien Wärmebildgeräte mit einer Bildschirmgröße von mindestens 3.5“ zum Einsatz kommen. Es sei darauf hinzuweisen, dass bei Tageseinsätzen unbedingt Kameras mit Blendschutzeinrichtungen zu nutzen sind. Ohne sie ist oftmals nur eine sehr eingeschränkte Bildschirmeinsicht möglich. Einzelpixel sind hier schon kaum noch zu erkennen und die Chance, Personen zu erkennen reduziert sich.

Des Weiteren haben sich Unterschiede zwischen der Auswertung der Wärmebilder direkt auf dem Kamerabildschirm und auf der Basis des gespeicherten Datenmaterials auf dem Rechnerbildschirm ergeben. Je nach der Größe des einzelnen Speicherbilder, sie kann zwischen 5 KB (z.B. bei Kamera 2) bis zu 300 KB (z.B. bei der Kamera 1) betragen, können schon Sichtbarkeitsverluste von ein bis zwei Pixel hervorgerufen werden. Leider kann dieses Ergebnis nicht mit Aufnahmen belegt werden, da es sich um visuell-subjektive Erfahrungen im Einsatz von Wärmebildkameras im Freien handelt. Da die Pixel-Auswertungen grundsätzlich am PC-Arbeitsplatz und aus den Speichermaterial heraus erfolgten, ist davon auszugehen, dass die erzielten Reichweiten in der Praxis noch geringfügig übertroffen werden könnten.

#### **5.6.1.5 Konzept der Kamerasteuerung**

Bei der Auswertung der Wärmebilder in der zweiten Messkampagne wurde festgestellt, dass die genutzte Kameratechnik, trotz einzelner Abweichungen in den Kameraparametern, als nahezu gleichwertig zu betrachten ist. Besonders deutlich wird dies bei der genaueren Betrachtung der Pixelzahlen. Jede der vier verschiedenen Wärmebildkameras hat die Versuchsperson, bei gleichen Entfernungen und Objektgrößen, jedoch unter unterschiedlichsten

Umgebungsbedingungen, mit einer nahezu konstanten Anzahl eingefärbter Pixel (Personenpixel) darstellt. Die Anzahl der Personenpixel weichen lediglich um zwei bis drei Pixelpunkte voneinander ab. Die Abbildungen 1 und 2 im Anhang B bestätigen dies auf eindrucksvolle Weise beispielsweise für verschiedene Kameras und unterschiedliche Entfernungen.



(a) Kind in 40 m Entfernung

(b) Kind in 60 m Entfernung bei geringer Szenenänderung

**Abbildung 76: Veränderung der Bildschärfe durch Unterschiede im Handling und der Bildschärfe am Beispiel der Kamera 9 (Bodenversuch 8)**

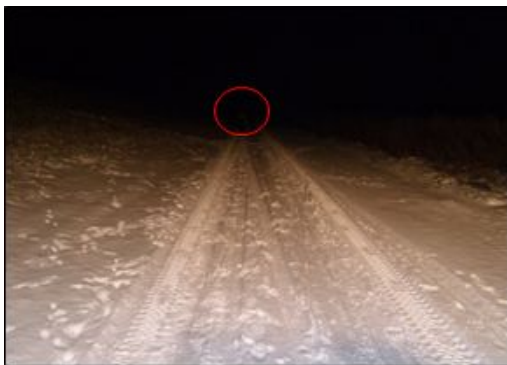
Dennoch kann es aber auch zu größeren Abweichungen im Anzeigeverhalten der Kameras kommen, so dass Personen unter gleichen Umgebungsbedingungen und Entfernungen erkannt oder auch nicht erkannt werden. Ursache ist der „Automatikbetrieb“ der Wärmebildkameras. Das ist so beabsichtigt, um den Bedienungsaufwand für Wärmebildkameras in Grenzen zu halten. Der „Messvorgang“ in der Kamera passt sich ständig den aktuellen Umgebungsbedingungen an, die sich im Szeneausschnitt darbieten. So kann allein durch das Halten bzw. der Handhabung der Kamera die Anzeige ändern, schwächere oder kontrastreiche Darstellungen erzeugt werden, so dass sich Personen deutlich zeigen oder im Grundrauschen unter gehen. So ist die Einsatzreichweite als auch der Einsatzerfolg allein durch die Führung des Einsatzpersonals beeinflussbar. Damit sind oft eine Verschiebung der Personenpixel sowie eine Veränderung des Kontrastes und der Schärfe verbunden, wie in Abbildung 76 zu erkennen ist.

## 5.6.2 Umgebungsspezifische und meteorologische Bedingungen

### 5.6.2.1 Tag und Nacht

Um den Einfluss von Tag/Nacht auf die Reichweite von Wärmebildkameras der Feuerwehr bestimmen zu können, wurden Experimente sowohl am Tag, als auch in der Nacht durchgeführt. Die Untersuchungen haben eindeutig ergeben, dass der Einsatz einer Wärmebildkamera bei Personensuchen im freien Gelände sowohl am Tag als auch in der Nacht Einsatzvorteile erbringen kann.

In der Nacht liegt der Einsatzvorteil der Wärmebildkamera klar auf der Hand. Wie Abbildung 77 zeigt, ist eine stehende Person in 40 Metern Entfernung, trotz des Einsatzes mehrerer Suchscheinwerfer, mit bloßem Auge kaum noch wahrzunehmen (a), wobei mit einer Wärmebildkamera die Wahrnehmung der stehenden Person in 200 Meter Entfernung noch deutlich gegeben ist (b).



(a) Person in 40 m Entfernung  
(Normalbild)



(b) Person in 200 m Entfernung  
(Wärmebild)

**Abbildung 77: Vergleich "Bloßes Auge" und Wärmebildkamera bei Nacht (Kamera 1 - Bodenversuch 4)**

Selbst am Tage kann es schwer sein, eine stehende Person in einer Entfernung von 400 Metern wahrzunehmen, insbesondere dann, wenn diese dunkle oder umgebungsgleiche Kleidung trägt. Mit einer Wärmebildkamera kann die Person leicht entdeckt werden, wie die Abbildung 78 zeigt. Das Realbild (a) stellt dabei die Wahrnehmung der zu suchenden Person mit dem bloßen Auge dar, die im Vergleich zum Wärmebild (b) viel schlechter ist.



(a) Person in 400 m (Realbild)

(b) Person in 400 m Entfernung (Wärmebild)

**Abbildung 78: Vergleich "Bloßes Auge" und Wärmebild bei Tag (Kamera 1 Bodenversuch 12)**

Wie schon in 5.6.1.5 gezeigt, wird die zu suchende Person bei konstantem Abstand und konstanter Größe, jedoch bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen, mit einer gleichbleibenden Anzahl kontrastreich eingefärbter Pixel (Personenpixel) dargestellt. Das bedeutet, dass die am Tage auftretende Störstrahlung, die durch die Sonnenstrahlung hervorgerufen wird, keinen unmittelbaren Einfluss auf die erzeugte Personenpixelanzahl zeigt und somit für die Wärmebildkamera aus dieser Sicht prinzipiell kein Unterschied zwischen einem Tag- und einem Nachteinsatz besteht. Somit ist die Anzahl der Personenpixel auf einem Wärmebild, das bei starker Sonneneinstrahlung aufgenommen wurde, nahezu identisch mit der Anzahl an Personenpixel auf einem bei Nacht aufgenommenen Wärmebild.

Einzig und allein die visuelle Wahrnehmung der Personenpixel auf dem Display der Kamera durch den Kameraführer oder auf dem gespeicherten Wärmebild durch den Auswertenden kann beeinträchtigt werden, da die umliegenden Pixelpunkte (Umgebungspixel), aufgrund der Sonnenstrahlung und der damit verbundenen Erwärmung, kontrastreicher eingefärbt sind und sich somit eine Inhomogenität der Umgebungspixel herausbildet.

Dieser Effekt wird aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und Beschaffenheit des Untergrundes hervorgerufen. Beispielsweise erwärmen sich am Boden liegende Steine schneller und werden dadurch auf dem

Wärmebild kontrastreicher dargestellt, als sich langsam erwärmende, nasse Gräser.

### **5.6.2.2 Bewölkung**

Gleiches trifft auch auf die Aufnahmesituation bei bewölktem beziehungsweise zugezogenem Himmel zu. Die Sonnenstrahlung besitzt keinen direkten Einfluss auf die Wärmebildkamera und ihre Darstellung der Personenpixel. Lediglich die visuelle Wahrnehmung der Personenpixel auf dem Bildschirm kann beeinträchtigt werden.

Im Allgemeinen sind Einsatzsituationen bei zugezogenem Himmel als vorteilig anzusehen. Dagegen ist ein weit offener Himmel als intensive Störstrahlungsquelle anzusehen, der sich durch Reflexe auf blanken Oberflächen zeigt und in der Ferne am Horizont durch die tiefen Temperaturen ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) bemerkbar macht, sofern er im Bild auftaucht. Die Kamera wird sofort auf den größeren Temperaturbereich reagieren und unempfindlicher werden. Ebenso erschwert ein Himmel mit rasch wechselnder Bewölkung den Einsatz einer Wärmebildkamera, da er immer auch für einen Wechsel zwischen den oben beschriebenen Aufnahmesituationen sorgt und die Kamera sich ständig neu anpasst. Die angesprochenen Probleme treffen sowohl für Tages- und Nachteinsätze zu.

### **5.6.2.3 Geländeprofile und Bewuchsformen**

Die Auswertung der zahlreichen Freilandexperimente ergab ebenso, dass nicht zuletzt das Geländeprofil entscheidet, ob eine vermisste Person mit einer Wärmebildkamera aufgefunden werden kann. Ein unebenes Gelände führt dazu, dass die Person von einem Hügel verdeckt sein kann oder sich in einer Bodensenke befindet und so schon generell nicht wahrgenommen werden kann. Das gilt besonders für liegende, aber auch für stehende Personen, da sich dadurch die abstrahlende Fläche stark reduziert. So kann sie sich beispielsweise frei auf einem ebenen Feld befinden, wie in Abbildung 79 gezeigt, und über 200 Meter wahrgenommen werden oder sich dagegen

in einer kleinen Aushebung befinden, wie in Abbildung 80 gezeigt, und womöglich gar nicht mehr entdeckt werden kann.



(a) Realbild

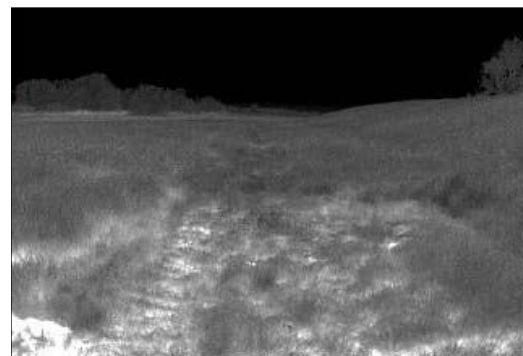


(b) Wärmebild

**Abbildung 79: Stehende Person in 200 m Entfernung auf einem ebenen Feld (Kamera 1 - Bodenversuch 12)**



8a) Realbild



(b) Wärmebild – Kamera 1

**Abbildung 80: Stehende Person in 200 m Entfernung auf unebenem Gelände (Bodenversuch 13)**

Der Geländebewuchs kann die Reichweite von Wärmebildkameras ebenfalls sehr stark beeinflussen. Befindet sich eine Person hinter hohen Gräsern, Büschen oder Bäumen, so sind sie sehr viel schwerer wahrzunehmen, da die ausgesandte Wärmestrahlung nicht durch die Vegetation dringt und somit auch nicht von der Wärmebildkamera erfasst werden kann. Die Abbildung 81 bestätigt dieses Ergebnis. Sie zeigt eine liegende Person auf einem Versorgungsweg (a) im Vergleich zu einer liegenden Person zwischen hohen Gräsern (b).



(a) Liegende Person auf einem Weg



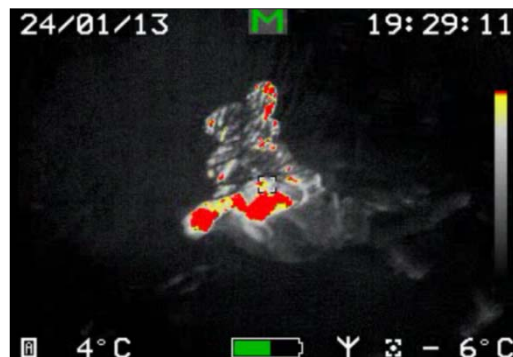
(b) Liegende Person hinter hohen Gräsern

**Abbildung 81: Vergleich liegende Person in 60 m Entfernung auf einem Versorgungsweg und zwischen hohen Gräsern (Kamera 1 - Bodenversuch 8)**

Ein weiteres Beispiel in Abbildung 82 zeigt eine vermisste Person hinter einem Busch (Höhe: 100 cm; Breite 80 cm) aus zwei unterschiedlichen Entfernungen. Dabei wird deutlich, dass die Wahrnehmungsmöglichkeiten dieser Person schon mit geringer Entfernungszunahme stark abnehmen.



(a) Person in 40 m Entfernung



(b) Person in 2 m Entfernung

**Abbildung 82: Liegende Person hinter einem Busch an einem Versorgungsweg (Kamera 1 - Bodenversuch 4)**

Neben den Geländehöhen und dem Geländebewuchs kann das Vorhandensein eines Gewässers für besondere thermische Verhältnisse sorgen. Größere Wassermassen sind „Wärmespeicher“ im weitesten Sinne und ändern nur sehr langsam ihre Temperatur. Dagegen können sich die Wetterbedingungen relativ schnell ändern, so dass es zwischen Gewässertemperatur und Geländetemperatur recht kurzfristig zu markanten Temperaturunterschieden kommen kann. Das Gewässer kann dann bei Personensuchvorgängen zu einer Störquelle werden, wie im gezeigten



Beispiel in Abbildung 83 zu erkennen ist. Hier ist die Personensuche im Umfeld eines Kanals anhand einer ganz besonderen Einsatzsituation nachgestellt. In einem Abstand von 200 Metern befindet sich eine stehende Person in zwei Positionen auf der Kanalböschung. Die Umgebungstemperaturen sind deutlich im Frostbereich, die Wassertemperaturen im Bereich von  $1^{\circ}\text{C}$  bis  $2^{\circ}\text{C}$ . Eine Person kann unter diesen thermischen Bedingungen in der Ferne nur dann aufgefunden werden, wenn sie sich im Wärmebild deutlich abhebt. Eine Suche direkt im Uferbereich misslingt, da die Strahlungsquellen miteinander „verschmelzen“. In der anderen Position auf dem Deich ist sie wieder erkennbar. Hier ist die Kamera hinsichtlich ihrer Auflösung über diese Entfernungen sichtlich überfordert. Auch hier wird wieder erkennbar, welchen Einfluss die allgemeinen Umgebungsbedingungen auf den Erfolg einer Suchmission ausüben können.



(a) Person auf Deichmitte

(b) Person am Ufer

**Abbildung 83: Stehende Person in 200 m Entfernung in zwei Positionen am Rand eines Kanals (Kamera 9 - Bodenversuch 4)**

#### 5.6.2.4 Niederschläge

Die Experimente zur Bestimmung der Reichweite und der Einflussgrößen fanden jeweils zu unterschiedlichen Umgebungsbedingungen statt, jedoch keine der insgesamt 21 Versuche bei Niederschlägen in Form von Regen. Daher können keine durch Versuche unterlegten Aussagen getroffen werden. Lediglich fand der Versuch 9 bei Schneefall statt. Leider handelte es sich nur um einen leichten Schneefall von kurzer Dauer, so dass auch hier keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden konnten. In [16] wurde ein Bodenversuch mit einsetzendem Schneefall durchgeführt. Schlagartig

verringerte sich hier die Reichweite um ca. 10%. Eine Verschlechterung des Wärmebildes konnte ebenfalls deutlich wahrgenommen werden.

#### 5.6.2.5 Luftfeuchte und Nebel

Der Einfluss von Nebel auf die Reichweite von Wärmebildkameras konnte im Drehleiterversuch 2 untersucht werden. Eine leichte „Nebelwand“ stand auf der Drehleiter-Messstrecke (Länge von 500 Metern). Sie stellte ab ca. 400 Metern Entfernung eine vernehmliche Sichtbehinderung dar. Die Abbildung 84 gibt die Aufnahmesituation beim Drehleiterversuch 2 wirkungsvoll wieder und zeigt, dass die visuelle Wahrnehmung einer Person, allein schon bei Tageslicht, mit zunehmender Entfernung immer mehr eingeschränkt wird. Der Tabelle 3 im Anhang B ist zu entnehmen, dass die Anzahl der Personenpixel des zweiten Drehleiterversuchs, im Vergleich zu den anderen beiden Versuchen, ab der Entfernung von 400 Metern entsprechend geringer ist. Dies lässt den Schluss zu, dass dies vornehmlich auf den Nebel einfluss zurückzuführen ist.



(a) Messstrecke vom Boden



(b) Messstrecke aus 30 m Höhe

**Abbildung 84: Im Nebel versinkende Messstrecke aus verschiedenen Höhen (Drehleiterversuch 2)**

Ein möglicher Einfluss der umgebenden Luftfeuchtigkeit auf die Reichweite feuerwehrspezifischer Wärmebildkameras konnte nach Auswertung aller durchgeführten Versuche nicht erkannt werden. Die verschiedenen Umgebungsbedingungen aller Versuche ergaben eine Spanne zwischen minimaler Luftfeuchte von 35,5% und einer maximalen Luftfeuchte von 91,4%. Die Anzahl der dargestellten Personenpixel ist trotz dessen nahezu identisch,

wie schon unter Abschnitt 5.6.1 und in den Abbildungen 1 und 2 im Anhang B dargestellt wird.

#### **5.6.2.6 Wind**

Der Einfluss des Windes auf die Reichweite von Wärmebildgeräten konnte ebenfalls nicht bestätigt werden. In den 15 Bodenversuchen, mit verschiedenen Windgeschwindigkeiten zwischen 0 m/s und 9 m/s, konnte anhand der Pixelbetrachtungen keine Beeinflussung festgestellt werden, die dem Windeinfluss zuzuschreiben ist. So konnten die Aussagen in Abschnitt 3.3.3.4 nicht durch neue Daten untermauert werden. Zielgerichtete Untersuchungen speziell zum Windeinfluss sind im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgt.

#### **5.6.3 Objekteigenschaften**

##### **5.6.3.1 Objektgröße**

Zur Untersuchung des Einflusses der Objektgröße auf die Reichweite von Wärmebildkameras wurden speziell zwei einfache aber praxisrelevante Versuche (Bodenversuch 8 und Drehleiterversuch 1) mit Personen durchgeführt. Sie werden im Folgenden beschrieben und veranschaulicht.

Im Versuch 8 wurde, zusätzlich zu einem erwachsenen Mann, ein Kind als Testperson hinzugezogen. Das sechsjährige Kind besaß im Vergleich zur erwachsenen Testperson eine nur halb so große emittierende Fläche, so dass eine Verringerung der Reichweite, wie in Abbildung 85 gezeigt, vorherzusehen war. Die Abbildung 86 zeigt den Vergleich der kontrastreich dargestellten Personenpixel beider Testobjekte unter gleichen Umgebungsbedingungen in einer Entfernung von 100 Meter. Dabei ist klar zu erkennen, dass die erwachsene Person durch eine höhere Anzahl an Personenpixel

(8 Pixelpunkte) dargestellt wird, als das Kind (4 Pixelpunkte). Somit gilt, je größer die emittierende Fläche der zu suchenden Person ist, desto größer ist die Anzahl der kontrastreich dargestellten Personenpixel.

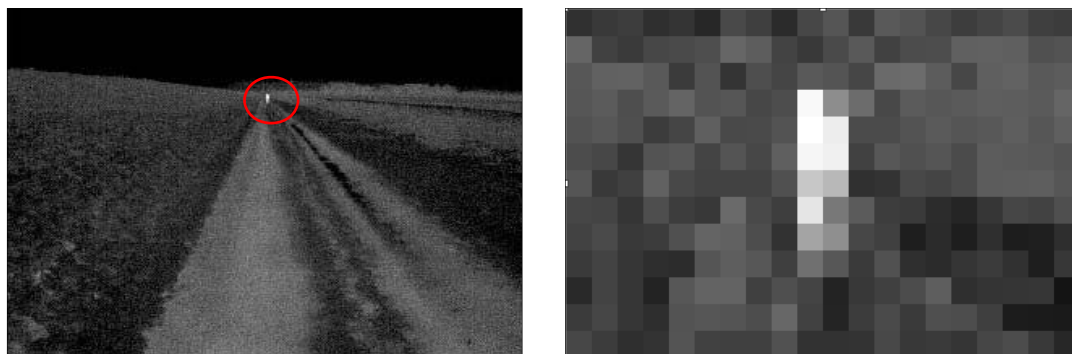


**Abbildung 85: Größenvergleich beider Testpersonen auf einem Versorgungsweg im Realbild (Bodenversuch 8)**

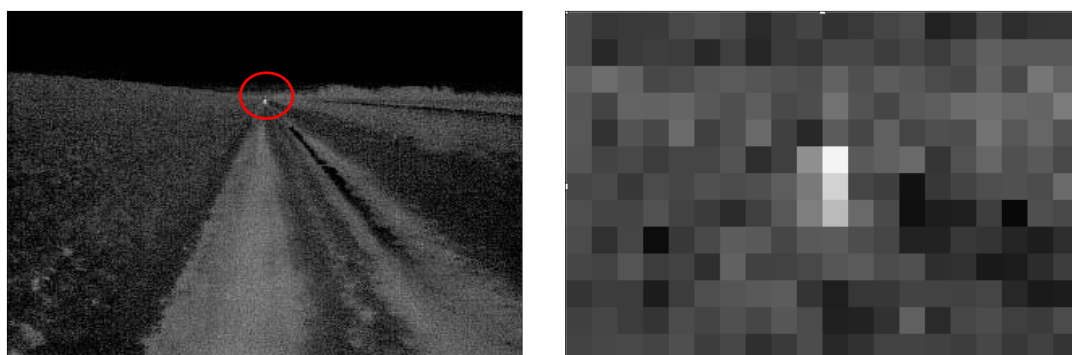
An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass die Bestimmung der kontrastreich eingefärbten Pixelpunkte (Personenpixel) ein geringes Maß an Subjektivität enthält. Der Entschluss, ob sich ein Pixelpunkt von der Umgebung abhebt oder nicht, kann von Betrachter zu Betrachter verschieden sein. In den nachfolgenden Abbildungen wurden ausschließlich stark eingefärbte Pixelpunkte als kontrastreiche Personenpixel gewertet.

Die Größe der emittierenden Fläche wird im realen Einsatzfall auch durch die Haltung der vermissten Person beeinflusst. Diese werden sehr oft in liegender oder sitzend anlehrender Position aufgefunden. Diese Haltungsformen sind für die Suche nach vermissten Personen mit Wärmebildkameras der Feuerwehr sehr ungünstig, da sie die geringste Wärmefläche darbieten. Aus diesem Grund wurden für die experimentelle Bestimmung des Einflussparameters „Objektgröße“ Versuchsreihen mit liegenden Testpersonen durchgeführt.

Die Auswertung der Versuchsreihen ergab eine Halbierung der Pixelanzahl (Personenpixel), wie in Abbildung 87 dargestellt wird. Somit kann die Reichweite einer Wärmebildkamera der Feuerwehr bei der Suche nach liegenden Personen, im Vergleich zur Suche nach stehenden Personen, um bis zu 50% reduziert sein.



**(a) Stehende, erwachsene Person in 100 m Entfernung (8 Personenpixel)**

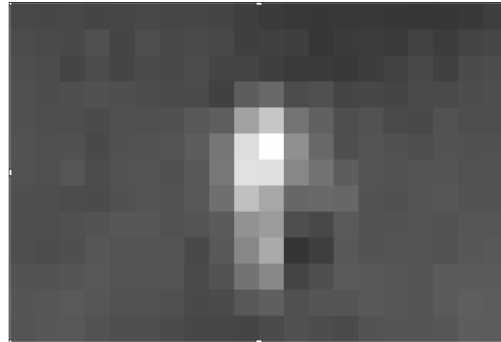


**(b) Stehendes Kind in 100 m Entfernung (4 Personenpixel)**

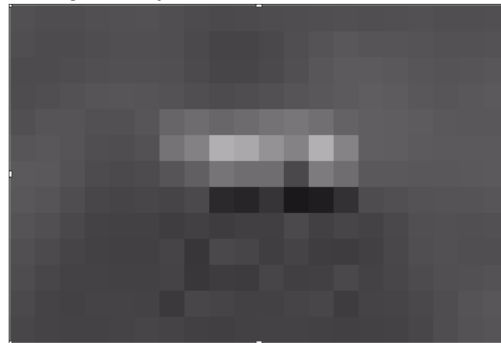
**Abbildung 86: Wärmebildvergleich der Personen mit Kamera 1 (Bodenversuch 8)**

Diese Halbierung der Reichweite trifft sowohl für den Wärmebildkameraeinsatz am Boden, als auch für den Einsatz vom Drehleiterfahrzeug aus zu. Dieses Resultat wird durch einen Vergleich, von Wärmebildaufnahmen aus einem Drehleiterfahrzeug zwischen einer stehenden und einer liegenden Person, in Abbildung 88 untermauert. Die Reduzierung der Reichweite um 50% ist auch hier deutlich zu erkennen.

Die Abbildung 4 im Anhang B zeigt am Beispiel der Kamera 1 einen Vergleich zweier Versuchsreihen mit einer stehenden und einer liegenden Person über eine Messstrecke von 200 Metern. Beide Versuchsreihen fanden unter konstanten Umgebungsbedingungen mit der gleichen Testperson statt. Der Vergleich zeigt, dass die Personenpixelanzahl bei der Bildreihe mit der liegenden Person durchgängig niedriger ist als die Anzahl an Personenpixel bei der Bildreihe mit der stehenden Person.

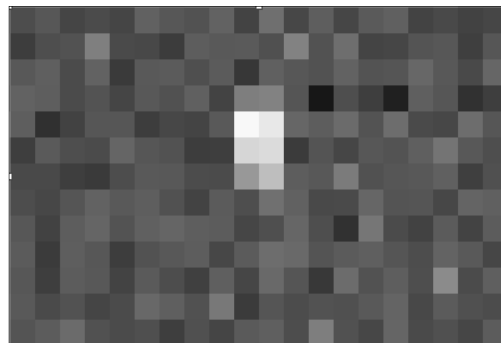
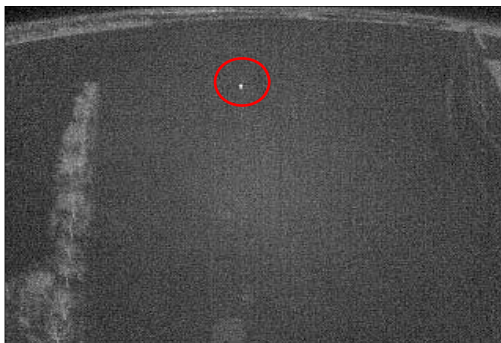


**(a) Stehende Person in 100 m Entfernung (6 Pixelpunkte)**

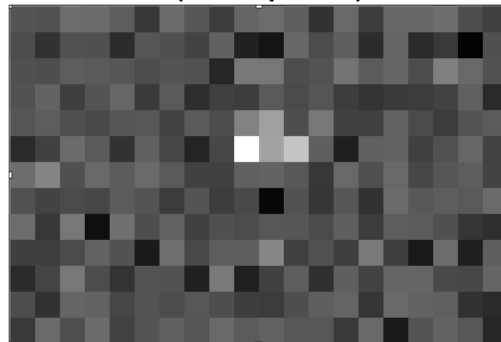
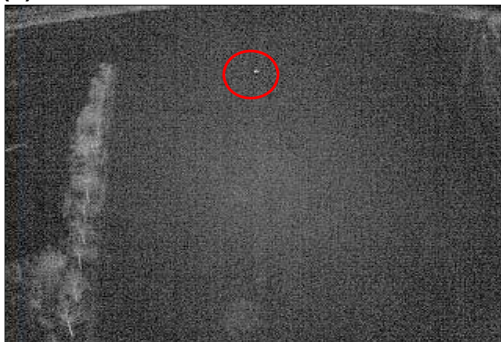


**(b) Liegende Person in 100 m Entfernung (3 Pixelpunkte)**

**Abbildung 87: Wärmebildvergleich mit stehender Person und liegender Person (Kamera 2 - Bodenversuch 8)**



**(a) Stehende Person in 200 m Entfernung und 30 m Höhe (8 Pixelpunkte)**



**(b) Liegende Person in 200 m Entfernung und 30m Höhe (4 Pixelpunkte)**

**Abbildung 88: Wärmebildvergleich stehende und liegende Person - (Kamera 1 - Drehleiterversuch 1)**

Werden liegende Personen, die eine Halbierung der Kamerareichweite hervorrufen, nun zusätzlich durch Vegetation (Gräser, Büsche) verdeckt, so ist eine Wahrnehmung dieser gänzlich unmöglich. Dieser Effekt wurde bereits im Abschnitt 5.6.2.3 anhand der Abbildungen 81 und 82 nachgewiesen.

### **5.6.3.2 Thermischer Kontrast zum Hintergrund**

Das Vorhandensein einer Temperaturdifferenz ist die Grundvoraussetzung für die Erzeugung eines Wärmebildes. Ihre Größe besitzt aber auch einen erheblichen Einfluss auf die Reichweite einer Wärmebildkameras, was in den 15 Bodenversuchen eindeutig bestätigt wurde. Gemeint ist die Temperaturdifferenz in den aufgenommenen Wärmebildern, die sich zwischen der Oberflächentemperatur der zu suchenden Person und der Umgebungstemperatur einstellt. Eine möglichst homogene Oberflächentemperatur ist hierbei als positiv anzusehen. Je inhomogener sie ist und womöglich durch reflektierende Kleidung noch Fremdstrahlung wiedergibt, umso ungünstiger ist dies und vermindert unter Umständen den erhofften Kontrast.

Im Allgemeinen stimmt die Umgebungstemperatur mit der Bildhintergrundtemperatur des Objektes überein und wird häufig durch die Boden-Oberflächentemperatur bestimmt. Dies trifft insbesondere für konstante Wetterlagen zu. Der Hintergrund ist dann häufig als weitgehend ausgeglichen und homogen zu bezeichnen. Trotzdem traten in den Versuchen, wie der Tabelle 4 im Anhang B zu entnehmen ist, Abweichungen bis zu 4 K auf. Hier ist die Lufttemperatur der Umgebungstemperatur gleichgesetzt.

Die Auswertung aller Bodenversuche hat ergeben, dass beim Versuch 5 die größten Temperaturdifferenzen zwischen Oberflächentemperatur der Testperson und Umgebungstemperatur aufgetreten sind, beim Versuch 13 dagegen die geringsten. Die thermischen Bedingungen sind den Tabellen 16 und 17 zu entnehmen. Es handelt sich hierbei um eine Mittelung über alle Bodenversuche. Die Wärmebildbetrachtung dieser Versuche beweist eindeutig, dass die Darstellung der Testperson mit einer großen Temperaturdifferenz kontrastreicher ist als die mit einer kleinen Temperaturdifferenz

(Abbildung 89). Bei einer großen Differenz sind höhere Wahrnehmungs- und Erkennungsrate zu erwarten als bei einer geringeren Differenz.

Aus diesem Grund ist der frühzeitige Einsatz einer Wärmebildkamera bei Personensuchen im Freien zu empfehlen, da es kurzum zur einer Angleichung der Temperaturen von Objekt und Hintergrund kommt, wie schon in den Grundversuchen zum Abkühlungsverhalten von Personen in freier Umgebung nachgewiesen wurde. Hier sei auf die entsprechenden Temperaturverläufe in Abbildung 27 in Abschnitt 4.3.2 und weitere in den Abbildungen 1 und 2 im Anhang A verwiesen. Bei einer Umgebungstemperatur von  $-10^{\circ}\text{C}$  sank hier die Oberflächentemperatur, insbesondere der Messstellen auf bekleideter Brust und Bein, innerhalb von 2 Minuten schlagartig bis zu ca. 20 K ab bis sie sich in der Folge einigermaßen stabilisierte. Mit der Minderung der Temperaturdifferenz wird mit Sicherheit eine Verschlechterung der Wahrnehmung und Erkennung zu erwarten sein.

Es sei zu bemerken, dass diese Versuche mit einer stehenden Person durchgeführt wurden. Es ist zu vermuten, dass es bei sich bewegenden oder sogar laufenden Personen noch zu weiteren nicht sicher einzuschätzenden thermischen Verhältnissen kommen kann. Sie wurden hier nicht weiter untersucht.

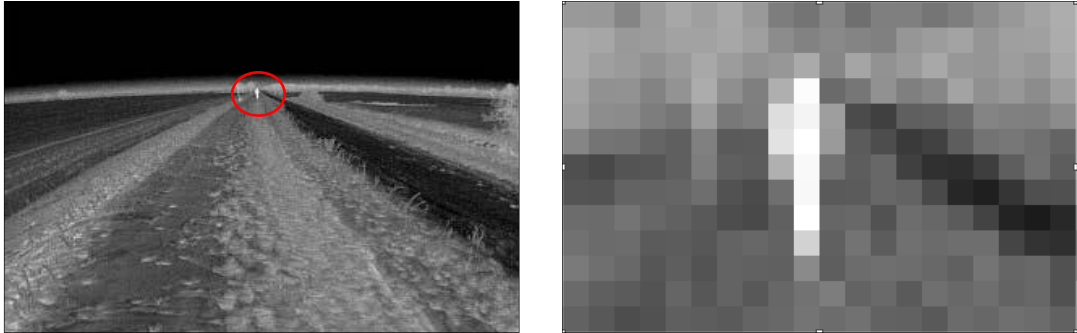
**Tabelle 16: Maximaltemperaturdifferenz aller Bodenversuche (Bodenversuch 5)**

Messpunkt	Oberflächentemperatur	Lufttemperatur	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	22,2 °C	-9,5 °C	31,7 K
Bekleidung	2,1 °C		11,6 K

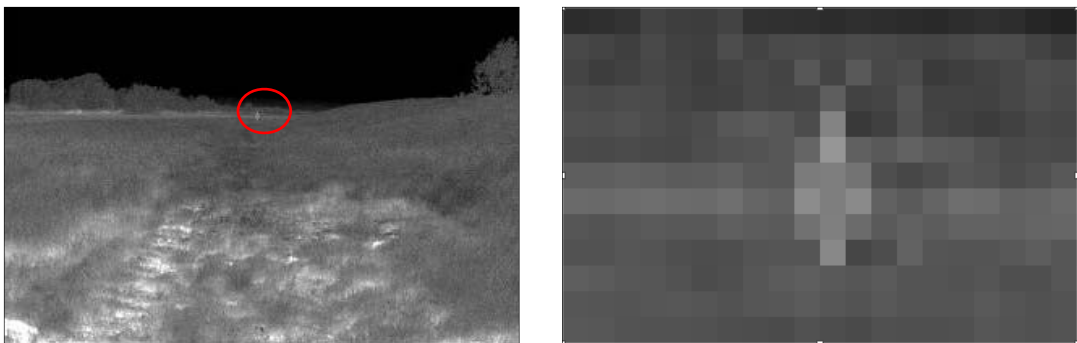
**Tabelle 17: Minimaltemperaturdifferenz aller Bodenversuche (Bodenversuch 13)**

Messpunkt	Oberflächentemperatur	Lufttemperatur	Temperaturdifferenz $\Delta T$
Stirn	29,2 °C	27,5 °C	1,7 K
Bekleidung	29,6 °C		2,1 K





(a) Stehende Person in 100 m Entfernung (Bodenversuch 5)



(b) Stehende Person in 100 m Entfernung (Bodenversuch 13)

Abbildung 89: Wärmebildvergleich Maximal- und Minimaltemperaturdifferenz - Kamera 1



## **6 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE**

Aus den Vorversuchen der Messkampagne 1 und Hauptversuchen der Messkampagne 2 mit insgesamt 21 durchgeführten Versuchsreihen, bestehend aus 15 Bodenversuchen, 3 Drehleiterversuchen und 3 Hubschrauberversuchen, konnte eine Vielzahl von neuen Daten und Erkenntnissen zum Einsatz der Wärmebildkamera zur Personensuche gewonnen werden.

Hierbei kamen eine Reihe willkürlich ausgewählter Kameramodelle aller Leistungsklassen zum Einsatz. In der Messkampagne 1 wurde klar, dass im näheren Umfeld prinzipiell jede Kamera zur Personensuche eingesetzt werden kann, für den erfolgreichen Einsatz über größere Entfernungen aber nur wenige hochwertige Spitzenmodelle in Frage kommen. In der Messkampagne 2 wurde deshalb hinsichtlich der Anzahl und Güte der verwendeten Kameras schon deutlich reduziert, um die mögliche Grenzsreichweiten für die Spitzenmodelle bestimmen zu können. Die Ergebnisse beziehen sich somit auf maximal erreichbare Reichweiten der Wahrnehmung und der Erkennung von Objekten mit der zur Verfügung stehenden und für diese Einsatzfälle als herausragend erwiesenen Kameratechnik.

Die Anzahl der eingesetzten Kameramodelle war auf Zehn begrenzt und entspricht ungefähr einem Drittel des gegenwärtigen Angebotes. Weitere konnten nicht einbezogen werden. Eine besondere Auswahl erfolgte nicht. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass mit diesem oder jenen Modell noch größere Reichweiten erzielt worden wären.

Die Eignung der Modelle für Fernanwendungen ist mit Sicherheit an einzelne Geräteparameter festzumachen, aber sie entscheiden nicht alleinig über ihre Einsetzbarkeit und den speziellen Anforderungen. Dabei ist das Gesamtsystem Technik der Wärmebildkamera, in der Gesamtheit aus Hardware- und Softwaresteuerung, dem eingestellten Arbeitsregime und letztendlich dem Konzept dafür verantwortlich, mit diesen besonderen

Bedingungen klar zu kommen und ein kristallklares Wärmebild zu erzeugen. Dies ist die absolute Voraussetzung dafür, große Einsatzreichweiten zu erzielen. So nahm bei den Versuchen eine Kamera mit einer normalen Standardauflösung und mittleren Geräteparametern den Spitzenplatz ein.

Die der militärischen Aufklärungstechnik entlehnten Kriterien zur Charakterisierung der Reichweite hinsichtlich „Wahrnehmen“, „Erkennen“ und „Identifizieren“ von Objekten, waren sachdienlich und gestatteten, die Reichweiten der Wärmebildkameras relativ genau zu bestimmen. Hieraus wurde ein Pixelkriterium abgeleitet, das sich als sehr hilfreich erwies. Das Pixelkriterium definiert die Wahrnehmungreichweite einer stehenden Person unter idealen Umgebungsbedingungen mit einem kontrastreich dargestellten Pixelpunkt. Gleichzeitig legt das Kriterium die Erkennungreichweite einer stehenden Person, als eine kreuzförmige Pixeldarstellung des Personenumrisses, fest. So war es möglich das Bildmaterial der Experimente mit geringem Aufwand und möglichst objektiv auszuwerten. Es ist aber nur für die experimentelle Bestimmung der Grenzreichweiten für Versuchszwecke sachdienlich, eine Relevanz zum täglichen Gebrauch bei den Feuerwehren besteht vorerst nicht.

In zahlreichen Vorversuchen wurden mit Hilfe verschiedener natürlicher und künstlicher Testobjekte erste Grenzreichweiten bestimmt sowie Grundlagenuntersuchungen zu ihrer Erkennbarkeit durchgeführt: Welche Rolle spielt die Kleidung von zu suchenden Personen, wie schnell kühlen sie sich ab, wenn sie aus beheizten Räumen ins Freie gelangen und welche thermischen Bedingungen sind zu erwarten? Welche Rolle spielt die Größe des Objekts, seine Lage und Position, um es besonders leicht auffinden zu können und welche Ansprüche sind an die Kameratechnik zu stellen? Hier wären noch viele Fragestellungen aufzulisten.

Ein Versuchsstand wurde mit dem Ziel errichtet, ihn unabhängig und langfristig betreiben zu können, um den Einfluss der Wetterbedingungen auf die Reichweite zu analysieren. Dazu wurden Behälter bis auf über 100 Metern im Freien aufgebaut und die Wärmebildaufnahmen aufgezeichnet.

Eine Vielzahl von Kameramodellen kam hierbei zum Einsatz. Es stellte sich aber heraus, dass alle Kameras die Objekte mehr oder weniger deutlich die Testobjekte darstellen konnten und der Ablauf der Wetterbedingungen zu keinen merklichen Einflüssen geführt hat. Dieser Bereich war zu kurz und die Wetterereignisse nicht einschränkend genug. Der Einfluss der konkreten Wettergrößen war auf diese Weise nicht erfassbar.

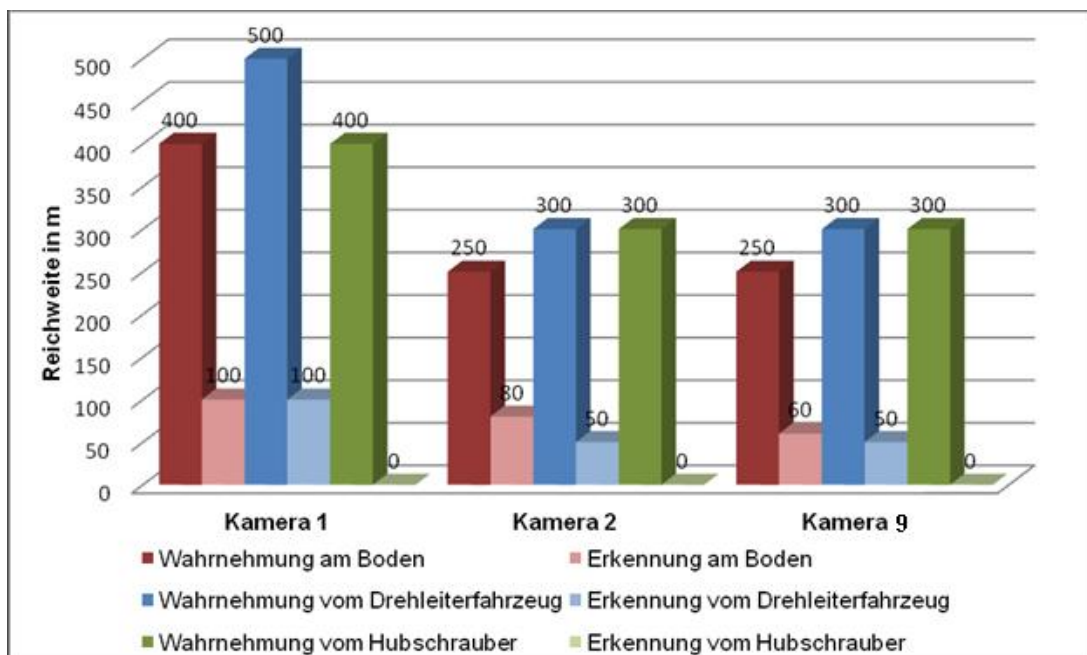
Künstliche Testobjekte wurden aufgebaut und ihre Eignung zur Reichweitebestimmung untersucht. Mit handelsübliche 10-Liter-Kanistern konnten auf einfache Weise figürliche Anordnungen, wie größere Testobjekte und Personen simuliert werden können. Ziel war es, den Personalaufwand zu reduzieren und weitgehend unabhängig davon Versuche durchführen zu können.

Eine Reihe von Grenzreichweitenbestimmungen bis zu 300 Metern konnten erfolgreich durchgeführt werden. Jedoch wäre in jedem Falle ein aufwendiger Nachweis der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf natürliche Personen zu erbringen, ebenfalls war der logistische Aufwand mit den künstlichen Modellen immens. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, sich in der Messkampagne 2 auf natürliche Testpersonen zu konzentrieren. Künstliche Testobjekte, wie gezeigt, können dennoch für Feuerwehrrübungen sinnvoll eingesetzt werden, das haben die Erfahrungen gezeigt

In zahlreichen Experimenten wurde versucht den Einfluss der einzelnen Wetterparameter hinsichtlich ihres Wettereinflusses gesondert zu betrachten. Es bestätigten sich jedoch die Vorbehalte, die schon in den theoretischen Vorbetrachtungen diskutiert wurden, dass es zum komplexen und gleichzeitigen Zusammenwirken aller Wetterereignissen kommen wird. So konnte der Einfluss der Wettergrößen, die insbesondere direkt auf die Transmissionsfähigkeit der Atmosphäre Einfluss nehmen, nicht eindeutig nachgewiesen und einzelnen Erscheinungen zugeordnet werden, sofern es sich nicht um absolut extreme Formen, wie dichten Nebel, Starkregen oder starken Schneefällen handelte. In diesen Fällen ist ebenfalls mit drastischen Veränderungen des thermischen Kontrastes zwischen Objekt und

Hintergrund zu rechnen, bei der eine Vergleichbarkeit der Versuchsstrecken nicht mehr gegeben ist.

Dennoch ist es gelungen, konkrete Aussagen zu den Grenreichweiten für feuerwehrspezifische Wärmebildkamas zu machen. Die Ergebnisse beruhen auf einer Vielzahl von Einzelversuchen dieser Arbeit unter den „normalen“ Wetterschwankungen des Versuchszeitraumes Winter bis Frühjahr. Sie schließen sowohl die Beurteilung unterschiedlicher Kameratechnik als auch den Effekt durch die zusätzliche Nutzung von Drehleiter und Hubschrauber mit ein. Die abschließenden Ergebnisse sind in der Grafik in Abbildung 87 zusammengestellt.



**Abbildung 90: Gesamtübersicht der experimentell ermittelten Reichweiten**

Die Grafik macht deutlich, dass feuerwehrspezifische Wärmebildkamas zur Personensuche im freien Gelände grundsätzlich einsetzbar sind und Einsatzvorteile erbringen können. Die Aufgabe der Wahrnehmung von Personen kann von einem hochwertigen Kameramodell in einer Durchschnittsentfernung von 300 Meter gelöst werden. Unter idealen Bedingungen und mit Spitzenmodellen sind sogar Wahrnehmungsrreichweiten von bis zu 500 Metern erzielbar. Die Reichweite erhöht sich dabei um mindestens 65%.

Im Durchschnitt sind dagegen Erkennungsreichweiten von 70 Meter möglich. Die Grenze der Erkennung kann jedoch unter perfekten Umgebungsbedingungen und leistungsfähiger Kameratechnik um fast 50% steigen und unter sehr schlechten Bedingungen noch um circa 30% sinken. Die experimentellen Reichweitenbestimmungen im freien Gelände fanden unter diversen Umgebungsbedingungen statt. Im Frühjahr herrschten dabei Temperaturen zwischen -10°C und 27°C. Ebenfalls waren Windgeschwindigkeiten zwischen 0 m/s und 9 m/s, eine Luftfeuchtigkeit zwischen 35% und 90%, sowie mal starke und mal nichtauftretende Sonnenstrahlung zu verzeichnen. Dadurch kristallisierten sich ideale Reichweiten fördernde Bedingungen und ungünstige Umstände, die Reichweiten verringern, heraus.

Einsatzvorteile und Einsatznachteile wurden für die jeweils untersuchten Einsatzarten Boden-, Drehleiter- und Hubschraubereinsatz bestimmt. Der Bodeneinsatz, kombiniert mit einem Drehleitereinsatz, könnte dabei als die beste und Erfolg versprechende Lösung vorgeschlagen werden, da Mobilität und das Maximum an Reichweite vereint werden. Das Hinzuziehen eines Hubschraubers ist jedoch bei Geländegrößen von mehreren Quadratkilometern empfehlenswert. Die dadurch erhöhte Mobilität kann in einem unübersichtlichen und unwegsamen Gelände einen schnellen Einsatzerfolg erzielen. Die Wahrnehmungsreichweiten sind denen des Drehleitereinsatzes ebenbürtig. Die Flughöhen sollten 200 Meter nicht überschreiten

Für viele Feuerwehren ist ein Wärmebildkameraeinsatz zur Personensuche im freien Gelände Neuland. Ein erstes Handlungsablaufschemata für Feuerwehren soll Aufschluss über die Möglichkeit eines Wärmebildkameraeinsatzes geben und gleichzeitig eine passende Einsatzart empfehlen. Sie stützt sich auf die in den Versuchsreihen gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen im Umgang mit den Wärmebildgeräten im Freien und sollte vorerst als eine Diskussionsplattform verstanden werden. Sie ist noch zu konkretisieren.



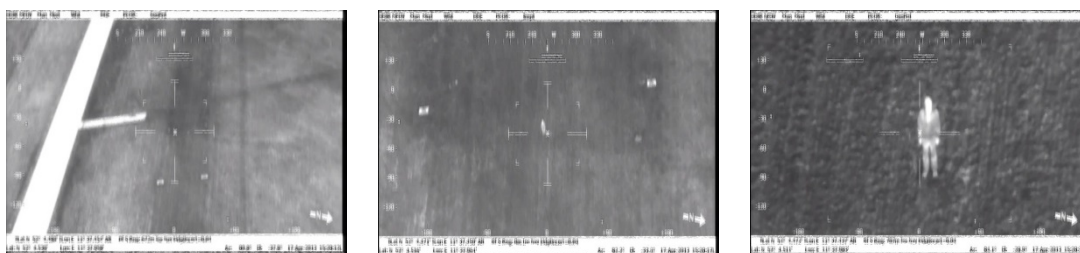


## 7 EINSATZHINWEISE FÜR DIE FEUERWEHR

Bei einem Feuerwehreinsatz mit einer Personensuche im freien Gelände entscheidet das schnelle Auffinden der zu suchenden Person über den Einsatzerfolg. Wird sie nicht rechtzeitig aufgefunden und gerettet, so können ihr gesundheitliche Schäden drohen, die bis zum Tod führen.

Mit dem Einsatz einer Wärmebildkamera bei Personensuchen kann der kritische Faktor „Auffindzeit“ entscheidend minimiert und ein schneller Einsatzerfolg erzielt werden. Dieser Einsatzvorteil ist insbesondere in der Dämmerung und gerade in der Nacht zu verzeichnen, da hier die visuelle Reichweite deutlich erhöht wird. Auch Tageseinsätze bei schlechten Sichtverhältnissen sind als sinnvoll anzusehen.

Grundsätzlich ist bei einem weitläufigen Suchgebiet und einer Vermissten-Zeitspanne von mehreren Stunden der Einsatz eines Polizeihubschraubers mit installierter Wärmebildkamera zu empfehlen. Sie ist in jedem Falle einer feuerwehrspezifischen Variante den Vorzug zu geben. Diese Kamera besitzt eine sehr große Reichweite, da sie die Fähigkeit einer mehrstufigen optischen Zoomfunktion besitzt und dadurch scharfe Wärmebilder aus weiter Entfernung aufnehmen kann. So kann sie bei guten Sichtbedingungen beispielsweise eine am offenen Fenster stehende Person über eine Entfernung von über 2000 Meter deutlich abbilden. Ein Testbeispiel, das bei den Flugplatz-Versuchen aufgenommen wurde ist in Abbildung 91 dargestellt.



(a) Normalansicht

(b) Zoomfunktion I

(c) Zoomfunktion II

**Abbildung 91: Wärmebildaufnahmen einer stehenden Person in 500 m Entfernung - Kamera Star Safire HD mit Zoom-Optiken (Höhe: 300 m)**

Ist der Einsatz eines Polizeihubschraubers mit einer integrierten hochauflösenden Infrarotkamera nicht möglich oder kann das Suchgebiet schon stark eingegrenzt werden, so kann auch eine feuerwehrspezifische Wärmebildkamera für die Personensuche im Freien eingesetzt werden. Wärmebildkameras der Feuerwehr sind zwar bei Weitem nicht so leistungsstark, jedoch sind auch hier deutliche Einsatzvorteile erzielbar.

Bevor eine Wärmebildkamera der Feuerwehr bei einem Sucheinsatz eingesetzt wird, sollten in erster Linie die Umgebungsbedingungen betrachtet werden. Hierbei sind schon mal die visuellen Sichtbedingungen entscheidend. Extreme Wetterbedingungen, wie Starkregen, starker Schneefall, strenger Frost und andere, deuten schon auf schlechte Arbeitsbedingungen für eine Wärmebildkamera hin. Dichter Nebel ist immer schwer einzuschätzen und man sollte erst mal mit der Kamera in die Ferne sehen. Ist die Struktur der Landschaft mit einzelnen Objekten, wie Bäume und Buschwerk gut zu erkennen, so bestehen aussichtsreiche Voraussetzungen. Als Grundsatz sollte angesehen werden, in jedem Fall die Kamera erst mal auszuprobieren, sie zu schwenken und Ortswechsel vorzunehmen.

Die nachfolgende Tabelle 18 stellt einige zu berücksichtigende Faktoren für den Wärmebildkameraeinsatz zusammen.

**Tabelle 18: Faktoren für den Wärmebildkameraeinsatz im freien Gelände**

<b>günstige Bedingungen</b>		<b>ungünstige Bedingungen</b>
Nacht	<b>Tageszeit</b> <b>Niederschlag (Regen, Schnee)</b> <b>Außentemperatur</b> <b>Sonneneinstrahlung</b> <b>Bewölkung</b>	Tag
kein Niederschlag		starker Niederschlag
niedrige Temperaturen		hohe Temperaturen
kaum Direkteinstrahlung		starke Direkteinstrahlung
stark bewölkt		wolkenlos, klar

### **Tageszeit**

Bei nächtlichen Sucheinsätzen ist die Vornahme einer Wärmebildkamera immer von Vorteil, da die Wahrnehmungreichweite eines Wärmebildgerätes viel höher ist als die des bloßen Auges. Selbst bei ungünstigen Bedingungen, wie bei starkem Niederschlägen oder hohe Temperaturen, wird der Wärmebildkameraeinsatz bei Nacht empfohlen. Am Tage besteht ebenfalls die Möglichkeit eine Wärmebildkamera einzusetzen, jedoch sollten dann die Umgebungsbedingungen durch Sichttests überprüft werden.

### **Niederschlag**

Die Reichweite einer Wärmebildkamera im Freien kann durch Niederschlag drastisch reduziert werden, daher ist bei starkem und lang anhaltendem Regen- oder Schneefall der Einsatzerfolg in Frage gestellt.

### **Außentemperatur**

Mit zunehmender Außentemperatur steigt auch die Bodentemperatur. Somit sinkt die Temperaturdifferenz zwischen der zu suchenden Person und der Umgebung und mit ihr die Wahrnehmungreichweite der Wärmebildkamera. Die optische Wahrnehmungreichweite ist dann oftmals größer und ein Wärmebildkameraeinsatz ist fraglich.

### **Sonneneinstrahlung**

Starke und direkte Sonneneinstrahlung erwärmt die Umgebung kontinuierlich und sorgt vornehmlich für einen Anstieg der Außentemperatur. In der Folge sinkt der natürliche thermische Kontrast in der Szene. Auch zu suchende Personen sind dem unterworfen. Zusätzlich wirkt die Sonne als direkte Störquelle, indem sie das Szenebild in Form von Reflexen überlagert. Sind die reflektierenden Flächen groß, so wird sich die Kamera auf die neuen Verhältnisse einstellen und unempfindlicher werden. Hinzu kommt, dass dadurch die Bildschirmeinsicht sehr eingeschränkt ist. Blendschutz-einrichtungen werden nötig. Die Arbeit bei starker Sonneneinstrahlung ist ein

kritischer Einsatzfall. Oftmals ist der Einsatz aber notwendig, um Füllstände zu bestimmen. Hier sollte man die richtige Position zum Objekt finden.

### **Bewölkung**

Ein zugezogener Himmel (ohne Niederschläge) bietet die besten Voraussetzungen für einen Kameraeinsatz bei Tag und bei Nacht. Ein bewölkter Himmel ist ideal für Füllstandsbestimmungen: Die Sonne wird gebraucht, um Füllstände für Wärmebildkameras sichtbar zu machen. Im Moment der Bestimmung, sollte sie durch Wolken verdeckt sein. Ansonsten sind derartige Wechselzustände für die Arbeit mit Wärmebildkameras eher als nachteilig anzusehen. Der ungünstige Effekt besteht bei klarem und wolkenlosem Himmel, wie oben beschrieben.

Ein erstes Handlungsablaufschemata für Feuerwehren mit den genannten Kriterien und den Einsatzarten von Wärmebildkameras der Feuerwehr bei Personensuchen im Freien ist in der Abbildung 3 im Anhang B angegeben.

Es wurde nach den Ergebnissen und den Erkenntnissen aus dieser Arbeit erstellt und erhebt zurzeit keinen Anspruch auf Vollständigkeit und generelle Nutzbarkeit. Sie stellt jedenfalls eine erste Basis dar, nach dem sich die Feuerwehren richten können. Folgt man dem Schema, so erhält man eine grobe Möglichkeit zur Einschätzung der Sachlage, sich für oder gegen den Einsatz einer Wärmebildkamera zu entscheiden. Außerdem wird je nach Beschaffenheit des Geländes eine passende Einsatzart vorgeschlagen, die im Folgenden mit einsatzrelevanten Hinweisen beschrieben sind.

### **Bodeneinsatz**

- Einsatz mehrerer Wärmebildkameras erhöht den Einsatzerfolg
- Geländeerhöhungen nutzen
- Wärmebildkamera stets in Bewegung halten
- Separates Absuchen von Bereichen mit hohem Bewuchs und Bäumen
- Kamerafarbmodus, wenn einstellbar, Inversdarstellung (heiß = schwarz; kalt = weiß)

### **Drehleitereinsatz**

- Zusätzliche Wärmebildkamera im Bodeneinsatz erhöht den Einsatzserfolg
- Kameraführer im Drehleiterkorb lenkt den Bodeneinsatz
- Platzierung des Drehleiterfahrzeuges, wenn möglich, in Geländemitte
- Höhe des Drehleiterkorbs: 20 Meter
- Separates Absuchen von Baumreihen und kleinen Waldstücken
- Kamerafarbmodus, wenn einstellbar, Inversdarstellung (heiß = schwarz; kalt = weiß)

### **Hubschraubereinsatz**

- Zusätzliche Wärmebildkamera im Bodeneinsatz erhöht den Einsatzserfolg
- Kameraführer im Hubschrauber lenkt den Bodeneinsatz
- Flughöhe: circa 100 Meter
- Mehrmaliges Absuchen von Waldgebieten
- Kamerafarbmodus, wenn einstellbar, Inversdarstellung (heiß = schwarz; kalt = schwarz)

Die Bearbeitung der Aufgabenstellung zum außergewöhnlichen Einsatz der Wärmebildkameras bei Fernanwendungen hat eine Vielzahl neuer Erkenntnisse zu den Einsatzmöglichkeiten von Wärmebildkameras insgesamt erbracht und sollte die Feuerwehren optimistisch stimmen, sie auch hier so oft als möglich einzusetzen.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Kameras natürliche Einsatzgrenzen aufweisen und ihre Einsatzreichweite bei der Personensuche bei 500 Metern endet, egal ob sie am Boden oder mit Hilfsmitteln aus der Höhe Einsatz finden werden. Es wurde aber auch deutlich gemacht, dass diese Reichweiten nur unter idealen Einsatzbedingungen erreichbar sind, andernfalls aber mit deutlichen Reduzierungen der Reichweite zu rechnen ist. Trotzdem können auch hier noch deutliche Einsatzvorteile erzielt werden. Den Feuerwehren ist zu empfehlen, die Wärmebildkamera zur Hand zu nehmen und sie einfach auszuprobieren.



## 8 LITERATURVERZEICHNIS

[1] [Online] 04. April 2013.

<http://www.atemschutzunfall.de/download/Ausbildung/waermebildkamera-bergenhanh.pdf>

[2] [Online] 04. April 2013.

<http://www.ff-ramerberg.de/ausruestung/articles/waermebildkamera.html>

[3] [Online] 09. April 2013.

<http://www.drehleiter.info/php/news.php?readmore=304>

[4] [Online] 09. April 2013.

<http://www.myheimat.de/pattensen/blaulicht/pressemitteilung-nr-05-2013-einsaetze-der-feuerwehr-im-stadtgebiet-pattensen-d2486888.html>

[5] [Online] 09. April 2013.

<http://feuerwehr-pfarrkirchen.de/cms/einsaetze/einsaetze-2010/oktober>

[6] NÄGELE, Hans-Joachim

Großbrand in einem kunststoffverarbeitenden Betrieb in der Kuchbergstraße am 24.09.2007. 14.44 Uhr [B4], Seiten: 8-11, Brandhilfe 3/2008

[7] Autor nicht bekannt

Weitere Mittel zur Glutnester-Suche und für die Katastrophenhilfe Mirage III RS und Helikopter. Seite 22, Jubiläumsausgabe 12/95 – 125 Jahre SFV

[8] SKINNER, Steven

Aerial Thermal Imaging Aids Fireground Strateg., Seiten: 103-104, FIRE ENGINEERING, Mai 2009

[9] WAGNER, Mary Jo

An eye in the sky, Seiten: 20-21, Wildland and forest fires, FIRE International, März 1998

[10] Hopfer, M.; Wienecke, F.

Erfolgsgeschichte geschrieben – 500. Teilnehmer im Lehrgang „Wärmebildkamera im Feuerwehreinsatz“ begrüßt. Feuerwehren in Sachsen-Anhalt, Heft 5, Juni 2010

[11] SCHNEIDER, Steve

Untersuchungen zur Genauigkeit von Temperaturmessungen mit Wärmebildkameras an ausgewählten Oberflächenstrukturen. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Bauwesen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Bachelorarbeit, 2010

[12] STEIDEL, Marc

Bestimmung der Messabweichungen der Temperaturmessfunktion von Wärmebildkameras gegenüber direkt gemessener Oberflächentemperaturen anhand von Aufheiz- und Abkühlungsprozessen sowie der Entfernung zum Messobjekt. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Bauwesen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Masterarbeit, 2011

[13] PURRMANN, Danny

Untersuchung zur Funkübertragung von Wärmebildkameras. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Bauwesen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Bachelorarbeit, 2008

[14] GROBE, Florian

Untersuchung zur Anwendung von Wärmebildkameras für die Bestimmung von Füllständen. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Bauwesen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Bachelorarbeit, 2011



[15] STEPHAN, Martin

Untersuchung zum thermischen und räumlichen Auflösungsvermögen von feuerwehrspezifischen Wärmebildkameras. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Bauwesen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Bachelorarbeit, 2009

[16] GRÄBE, Damian

Untersuchung zur räumlichen und Thermischen Auflösung von Wärmebildkameras unter dem besonderen Aspekt der Einsatz- bzw. Erkennungsreichweite im Freien. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Bauwesen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Masterarbeit, 2012

[17] MAY, Sebastian

Untersuchung der erweiterten Einsatzmöglichkeiten von Wärmebildkameras der Feuerwehr bei Personensuchen im Freien, insbesondere aus der Höhe mittels Drehleiter und Hubschrauber. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Hochschule Magdeburg-Stendal Fachbereich Bauwesen, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Bachelorarbeit, 2012

[18] [online] 2007

<http://www.versicherungskammer-bayern.de>

[19] WIENECKE, Friedrich

Sonderheft Wärmebildkamera: Zeitschrift FEUERWEHR, HUSS- MEDIEN GmbH, Berlin, 2007

[20] WIENECKE, Friedrich

Sonderheft Wärmebildkamera: Zeitschrift FEUERWEHR, HUSS- MEDIEN GmbH, Berlin, 2010

[21] WALLRABE, Arnulf

Nachtsichttechnik: Infrarot-Sensorik: Physikalische Grundlagen, Aufbau, Konstruktion und Anwendung von Wärmebildgeräten. Vieweg, 2001 – ISBN 3-528-03947-7

[22] SCHUSTER, Norbert; KOLOBRODOV, Valentin G.:

Infrarotthermographie. WILEY-VCH, 2004 – ISBN 3-527-40509-7

[23] Mikroprozessor- Wetterstation aus Edelstahl. Betriebsanleitung, Firma

REINHARDT System- und Messelectronic GmbH, Diessen-Obermühlhausen

[24] Handmessgerät Testo 452 mit Temperaturmessfühler. Betriebsanleitung,

Firma Testo AG, Lenzkirch

[25] AHLBORN Messwerterfassungssystem ALMEMO 8990-6,

Erfassungssoftware WinControll. Handbuch und Betriebsanleitung, Ahlborn Mess-und Regelungstechnik Kreuzkirchen

[26] Laser-Entfernungsmesser, Handgerät Typ 550AS der Firma Nikon,

Handbuch

## ANHANG A

**Tabelle 1: Zusammenstellung der Firmen-Angaben zu den Sichtfeldern (FOV) aller auf dem deutschen Markt angebotener Wärmebildkameras (Stand Anfang 2012). Die Angaben der hinterlegten Spalte wurden entsprechend den Vorgaben aus 3.4.1 berechnet [16].**

Modell	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\gamma$ berechn.
UCF 6000	47	32	62	55,03
UCF 7000	47	32	62	55,03
UCF 9000	57	41	74	66,79
UCF 3200		54*		63,64
UCF 1600		44*		
K1000/SD1001	44	36	54	54,81
K250/SD250	44	36	54	54,81
TalismanElite			54	55,13
TalismanEliteLite	44	36	50	54,81
TalismanSpirit	44	36	50	54,81
Talisman TypC			48	53,94
Talisman C plus			59	
Talisman Typ B			45	
Talisman K90C			59	
K80Firearm			59	
Argus4	50	37,5		59,95
Argus4 HR 320	50	37,5		59,95
Argus4 Lite	50	37,5		59,95
Argus3	50	37,5		59,95
Argus2		50*		
Argus1	50	[Durchmesser]		
T4max	50	32		57,39
T4	50	32		57,39
T3max PLUS	50	37,5		59,95
T3max	50	37,5		59,95
T3LT	50	35		58,75
T3 XT				
T3				
eclipse	45	33		53,97
TI commander			55	
TI / TIx				
Eagle 320	50	37,5		59,95
Eagle 160	50	37,5		59,95
Eagle SSR	50	37,5		59,95
Eagle X	54	44		66,07
Eagle Attack	50	37,5		59,95
hand-up Hornet	50	37		59,71
head up			60	
Hornet b	52	40	50	62,65

\* = ungenaue Angabe

Fortsetzung auf nächster Seite

Hornet M1 160	43	35	53	53,55
Hornet M1 320	48	37	58	58,23
Hornet m	52	40	50	62,65
Evolution 5800	36	27	41,6	44,00
Evolution 5600	41	41	50,9	55,74
Evolution 5200HD	36	27	41,6	44,00
Evolution 5200	55	41	59,1	65,31
Evolution 5000	55	41	59,1	65,31
Evolution 4000			54,4	
S2 Fire Integrated	50	37		59,71
S2 Personal		51*		
SOLOtic Helmet	50	37		59,71
Guardian		51*		
Guardian+		51*		
SOLOvision fire			60	
FF130		55*		
HF-Series 324 /307	24	18	30	
HF-Series 324 /307 Extender	12	9	15	
HF-Series 324 /307 Teleskop	7	5	9	

\* = ungenaue Angabe

**Tabelle 2: Sichtfeldgröße in Abhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 1 von 2) [16].**

Entfernung e in m	Sichtfeld in m							
	Kamera 1		Kamera 2		Kamera 3		Kamera 4	
	horizontal	vertikal	horizontal	vertikal	horizontal	vertikal	horizontal	vertikal
Winkel:	50	37,5	57	41	47	32	47	32
1	0,93	0,68	1,09	0,75	0,87	0,57	0,87	0,57
10	9,33	6,79	10,86	7,48	8,70	5,73	8,70	5,73
20	18,65	13,58	21,72	14,96	17,39	11,47	17,39	11,47
30	27,98	20,37	32,58	22,43	26,09	17,20	26,09	17,20
40	37,30	27,16	43,44	29,91	34,78	22,94	34,78	22,94
50	46,63	33,95	54,30	37,39	43,48	28,67	43,48	28,67
60	55,96	40,73	65,15	44,87	52,18	34,41	52,18	34,41
70	65,28	47,52	76,01	52,34	60,87	40,14	60,87	40,14
80	74,61	54,31	86,87	59,82	69,57	45,88	69,57	45,88
90	83,94	61,10	97,73	67,30	78,27	51,61	78,27	51,61
100	93,26	67,89	108,59	74,78	86,96	57,35	86,96	57,35
110	102,59	74,68	119,45	82,25	95,66	63,08	95,66	63,08
120	111,91	81,47	130,31	89,73	104,35	68,82	104,35	68,82
130	121,24	88,26	141,17	97,21	113,05	74,55	113,05	74,55
140	130,57	95,05	152,03	104,69	121,75	80,29	121,75	80,29
150	139,89	101,84	162,89	112,17	130,44	86,02	130,44	86,02
160	149,22	108,63	173,75	119,64	139,14	91,76	139,14	91,76
170	158,54	115,41	184,60	127,12	147,84	97,49	147,84	97,49
180	167,87	122,20	195,46	134,60	156,53	103,23	156,53	103,23
190	177,20	128,99	206,32	142,08	165,23	108,96	165,23	108,96
200	186,52	135,78	217,18	149,55	173,92	114,70	173,92	114,70
210	195,85	142,57	228,04	157,03	182,62	120,43	182,62	120,43
220	205,18	149,36	238,90	164,51	191,32	126,17	191,32	126,17
230	214,50	156,15	249,76	171,99	200,01	131,90	200,01	131,90
240	223,83	162,94	260,62	179,46	208,71	137,64	208,71	137,64
250	233,15	169,73	271,48	186,94	217,41	143,37	217,41	143,37
260	242,48	176,52	282,34	194,42	226,10	149,11	226,10	149,11
270	251,81	183,31	293,20	201,90	234,80	154,84	234,80	154,84
280	261,13	190,09	304,06	209,38	243,49	160,58	243,49	160,58
290	270,46	196,88	314,91	216,85	252,19	166,31	252,19	166,31
300	279,78	203,67	325,77	224,33	260,89	172,05	260,89	172,05
310	289,11	210,46	336,63	231,81	269,58	177,78	269,58	177,78
320	298,44	217,25	347,49	239,29	278,28	183,52	278,28	183,52
330	307,76	224,04	358,35	246,76	286,98	189,25	286,98	189,25
340	317,09	230,83	369,21	254,24	295,67	194,99	295,67	194,99
350	326,42	237,62	380,07	261,72	304,37	200,72	304,37	200,72
360	335,74	244,41	390,93	269,20	313,06	206,46	313,06	206,46
370	345,07	251,20	401,79	276,67	321,76	212,19	321,76	212,19
380	354,39	257,99	412,65	284,15	330,46	217,93	330,46	217,93
390	363,72	264,77	423,51	291,63	339,15	223,66	339,15	223,66
400	373,05	271,56	434,36	299,11	347,85	229,40	347,85	229,40
410	382,37	278,35	445,22	306,59	356,55	235,13	356,55	235,13
420	391,70	285,14	456,08	314,06	365,24	240,87	365,24	240,87
430	401,02	291,93	466,94	321,54	373,94	246,60	373,94	246,60
440	410,35	298,72	477,80	329,02	382,63	252,34	382,63	252,34
450	419,68	305,51	488,66	336,50	391,33	258,07	391,33	258,07
460	429,00	312,30	499,52	343,97	400,03	263,81	400,03	263,81
470	438,33	319,09	510,38	351,45	408,72	269,54	408,72	269,54
480	447,66	325,88	521,24	358,93	417,42	275,28	417,42	275,28
490	456,98	332,67	532,10	366,41	426,12	281,01	426,12	281,01

Fortsetzung auf der nächsten Seite

500	466,31	339,45	542,96	373,88	434,81	286,75	434,81	286,75
510	475,63	346,24	553,81	381,36	443,51	292,48	443,51	292,48
520	484,96	353,03	564,67	388,84	452,20	298,22	452,20	298,22
530	494,29	359,82	575,53	396,32	460,90	303,95	460,90	303,95
540	503,61	366,61	586,39	403,80	469,60	309,69	469,60	309,69
550	512,94	373,40	597,25	411,27	478,29	315,42	478,29	315,42
560	522,26	380,19	608,11	418,75	486,99	321,15	486,99	321,15
570	531,59	386,98	618,97	426,23	495,69	326,89	495,69	326,89
580	540,92	393,77	629,83	433,71	504,38	332,62	504,38	332,62
590	550,24	400,56	640,69	441,18	513,08	338,36	513,08	338,36
600	559,57	407,35	651,55	448,66	521,77	344,09	521,77	344,09
610	568,90	414,13	662,41	456,14	530,47	349,83	530,47	349,83
620	578,22	420,92	673,27	463,62	539,17	355,56	539,17	355,56
630	587,55	427,71	684,12	471,09	547,86	361,30	547,86	361,30
640	596,87	434,50	694,98	478,57	556,56	367,03	556,56	367,03
650	606,20	441,29	705,84	486,05	565,26	372,77	565,26	372,77
660	615,53	448,08	716,70	493,53	573,95	378,50	573,95	378,50
670	624,85	454,87	727,56	501,01	582,65	384,24	582,65	384,24
680	634,18	461,66	738,42	508,48	591,34	389,97	591,34	389,97
690	643,50	468,45	749,28	515,96	600,04	395,71	600,04	395,71
700	652,83	475,24	760,14	523,44	608,74	401,44	608,74	401,44
710	662,16	482,03	771,00	530,92	617,43	407,18	617,43	407,18
720	671,48	488,81	781,86	538,39	626,13	412,91	626,13	412,91
730	680,81	495,60	792,72	545,87	634,83	418,65	634,83	418,65
740	690,14	502,39	803,57	553,35	643,52	424,38	643,52	424,38
750	699,46	509,18	814,43	560,83	652,22	430,12	652,22	430,12
760	708,79	515,97	825,29	568,30	660,91	435,85	660,91	435,85
770	718,11	522,76	836,15	575,78	669,61	441,59	669,61	441,59
780	727,44	529,55	847,01	583,26	678,31	447,32	678,31	447,32
790	736,77	536,34	857,87	590,74	687,00	453,06	687,00	453,06
800	746,09	543,13	868,73	598,22	695,70	458,79	695,70	458,79
810	755,42	549,92	879,59	605,69	704,40	464,53	704,40	464,53
820	764,74	556,70	890,45	613,17	713,09	470,26	713,09	470,26
830	774,07	563,49	901,31	620,65	721,79	476,00	721,79	476,00
840	783,40	570,28	912,17	628,13	730,48	481,73	730,48	481,73
850	792,72	577,07	923,02	635,60	739,18	487,47	739,18	487,47
860	802,05	583,86	933,88	643,08	747,88	493,20	747,88	493,20
870	811,38	590,65	944,74	650,56	756,57	498,94	756,57	498,94
880	820,70	597,44	955,60	658,04	765,27	504,67	765,27	504,67
890	830,03	604,23	966,46	665,51	773,97	510,41	773,97	510,41
900	839,35	611,02	977,32	672,99	782,66	516,14	782,66	516,14
910	848,68	617,81	988,18	680,47	791,36	521,88	791,36	521,88
920	858,01	624,60	999,04	687,95	800,05	527,61	800,05	527,61
930	867,33	631,38	1009,90	695,43	808,75	533,35	808,75	533,35
940	876,66	638,17	1020,76	702,90	817,45	539,08	817,45	539,08
950	885,98	644,96	1031,62	710,38	826,14	544,82	826,14	544,82
960	895,31	651,75	1042,47	717,86	834,84	550,55	834,84	550,55
970	904,64	658,54	1053,33	725,34	843,54	556,29	843,54	556,29
980	913,96	665,33	1064,19	732,81	852,23	562,02	852,23	562,02
990	923,29	672,12	1075,05	740,29	860,93	567,76	860,93	567,76
1000	932,62	678,91	1085,91	747,77	869,62	573,49	869,62	573,49

**Tabelle 3: Sichtfeldgrößen in Abhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 2 von 2) [16].**

Entfernung <i>e</i> in m	Sichtfeld in m							
	Kamera 5		Kamera 6		Kamera 7		Kamera 8	
	horizontal	vertikal	horizontal	vertikal	horizontal	vertikal	horizontal	vertikal
Winkel:	54,5	38,6	36	27	41	41	50	37,5
1	1,03	0,70	0,65	0,48	0,75	0,75	0,93	0,68
10	10,30	7,00	6,50	4,80	7,48	7,48	9,33	6,79
20	20,60	14,01	13,00	9,60	14,96	14,96	18,65	13,58
30	30,90	21,01	19,50	14,40	22,43	22,43	27,98	20,37
40	41,20	28,02	25,99	19,21	29,91	29,91	37,30	27,16
50	51,50	35,02	32,49	24,01	37,39	37,39	46,63	33,95
60	61,80	42,02	38,99	28,81	44,87	44,87	55,96	40,73
70	72,10	49,03	45,49	33,61	52,34	52,34	65,28	47,52
80	82,41	56,03	51,99	38,41	59,82	59,82	74,61	54,31
90	92,71	63,04	58,49	43,21	67,30	67,30	83,94	61,10
100	103,01	70,04	64,98	48,02	74,78	74,78	93,26	67,89
110	113,31	77,04	71,48	52,82	82,25	82,25	102,59	74,68
120	123,61	84,05	77,98	57,62	89,73	89,73	111,91	81,47
130	133,91	91,05	84,48	62,42	97,21	97,21	121,24	88,26
140	144,21	98,05	90,98	67,22	104,69	104,69	130,57	95,05
150	154,51	105,06	97,48	72,02	112,17	112,17	139,89	101,84
160	164,81	112,06	103,97	76,83	119,64	119,64	149,22	108,63
170	175,11	119,07	110,47	81,63	127,12	127,12	158,54	115,41
180	185,41	126,07	116,97	86,43	134,60	134,60	167,87	122,20
190	195,71	133,07	123,47	91,23	142,08	142,08	177,20	128,99
200	206,01	140,08	129,97	96,03	149,55	149,55	186,52	135,78
210	216,31	147,08	136,47	100,83	157,03	157,03	195,85	142,57
220	226,61	154,09	142,96	105,63	164,51	164,51	205,18	149,36
230	236,92	161,09	149,46	110,44	171,99	171,99	214,50	156,15
240	247,22	168,09	155,96	115,24	179,46	179,46	223,83	162,94
250	257,52	175,10	162,46	120,04	186,94	186,94	233,15	169,73
260	267,82	182,10	168,96	124,84	194,42	194,42	242,48	176,52
270	278,12	189,11	175,46	129,64	201,90	201,90	251,81	183,31
280	288,42	196,11	181,96	134,44	209,38	209,38	261,13	190,09
290	298,72	203,11	188,45	139,25	216,85	216,85	270,46	196,88
300	309,02	210,12	194,95	144,05	224,33	224,33	279,78	203,67
310	319,32	217,12	201,45	148,85	231,81	231,81	289,11	210,46
320	329,62	224,12	207,95	153,65	239,29	239,29	298,44	217,25
330	339,92	231,13	214,45	158,45	246,76	246,76	307,76	224,04
340	350,22	238,13	220,95	163,25	254,24	254,24	317,09	230,83
350	360,52	245,14	227,44	168,06	261,72	261,72	326,42	237,62
360	370,82	252,14	233,94	172,86	269,20	269,20	335,74	244,41
370	381,13	259,14	240,44	177,66	276,67	276,67	345,07	251,20
380	391,43	266,15	246,94	182,46	284,15	284,15	354,39	257,99
390	401,73	273,15	253,44	187,26	291,63	291,63	363,72	264,77
400	412,03	280,16	259,94	192,06	299,11	299,11	373,05	271,56
410	422,33	287,16	266,43	196,86	306,59	306,59	382,37	278,35
420	432,63	294,16	272,93	201,67	314,06	314,06	391,70	285,14
430	442,93	301,17	279,43	206,47	321,54	321,54	401,02	291,93
440	453,23	308,17	285,93	211,27	329,02	329,02	410,35	298,72
450	463,53	315,18	292,43	216,07	336,50	336,50	419,68	305,51
460	473,83	322,18	298,93	220,87	343,97	343,97	429,00	312,30
470	484,13	329,18	305,42	225,67	351,45	351,45	438,33	319,09
480	494,43	336,19	311,92	230,48	358,93	358,93	447,66	325,88
490	504,73	343,19	318,42	235,28	366,41	366,41	456,98	332,67
500	515,03	350,20	324,92	240,08	373,88	373,88	466,31	339,45

Fortsetzung auf der nächsten Seite

510	525,33	357,20	331,42	244,88	381,36	381,36	475,63	346,24
520	535,64	364,20	337,92	249,68	388,84	388,84	484,96	353,03
530	545,94	371,21	344,41	254,48	396,32	396,32	494,29	359,82
540	556,24	378,21	350,91	259,29	403,80	403,80	503,61	366,61
550	566,54	385,21	357,41	264,09	411,27	411,27	512,94	373,40
560	576,84	392,22	363,91	268,89	418,75	418,75	522,26	380,19
570	587,14	399,22	370,41	273,69	426,23	426,23	531,59	386,98
580	597,44	406,23	376,91	278,49	433,71	433,71	540,92	393,77
590	607,74	413,23	383,41	283,29	441,18	441,18	550,24	400,56
600	618,04	420,23	389,90	288,09	448,66	448,66	559,57	407,35
610	628,34	427,24	396,40	292,90	456,14	456,14	568,90	414,13
620	638,64	434,24	402,90	297,70	463,62	463,62	578,22	420,92
630	648,94	441,25	409,40	302,50	471,09	471,09	587,55	427,71
640	659,24	448,25	415,90	307,30	478,57	478,57	596,87	434,50
650	669,54	455,25	422,40	312,10	486,05	486,05	606,20	441,29
660	679,84	462,26	428,89	316,90	493,53	493,53	615,53	448,08
670	690,15	469,26	435,39	321,71	501,01	501,01	624,85	454,87
680	700,45	476,27	441,89	326,51	508,48	508,48	634,18	461,66
690	710,75	483,27	448,39	331,31	515,96	515,96	643,50	468,45
700	721,05	490,27	454,89	336,11	523,44	523,44	652,83	475,24
710	731,35	497,28	461,39	340,91	530,92	530,92	662,16	482,03
720	741,65	504,28	467,88	345,71	538,39	538,39	671,48	488,81
730	751,95	511,28	474,38	350,51	545,87	545,87	680,81	495,60
740	762,25	518,29	480,88	355,32	553,35	553,35	690,14	502,39
750	772,55	525,29	487,38	360,12	560,83	560,83	699,46	509,18
760	782,85	532,30	493,88	364,92	568,30	568,30	708,79	515,97
770	793,15	539,30	500,38	369,72	575,78	575,78	718,11	522,76
780	803,45	546,30	506,87	374,52	583,26	583,26	727,44	529,55
790	813,75	553,31	513,37	379,32	590,74	590,74	736,77	536,34
800	824,05	560,31	519,87	384,13	598,22	598,22	746,09	543,13
810	834,35	567,32	526,37	388,93	605,69	605,69	755,42	549,92
820	844,66	574,32	532,87	393,73	613,17	613,17	764,74	556,70
830	854,96	581,32	539,37	398,53	620,65	620,65	774,07	563,49
840	865,26	588,33	545,87	403,33	628,13	628,13	783,40	570,28
850	875,56	595,33	552,36	408,13	635,60	635,60	792,72	577,07
860	885,86	602,34	558,86	412,94	643,08	643,08	802,05	583,86
870	896,16	609,34	565,36	417,74	650,56	650,56	811,38	590,65
880	906,46	616,34	571,86	422,54	658,04	658,04	820,70	597,44
890	916,76	623,35	578,36	427,34	665,51	665,51	830,03	604,23
900	927,06	630,35	584,86	432,14	672,99	672,99	839,35	611,02
910	937,36	637,35	591,35	436,94	680,47	680,47	848,68	617,81
920	947,66	644,36	597,85	441,74	687,95	687,95	858,01	624,60
930	957,96	651,36	604,35	446,55	695,43	695,43	867,33	631,38
940	968,26	658,37	610,85	451,35	702,90	702,90	876,66	638,17
950	978,56	665,37	617,35	456,15	710,38	710,38	885,98	644,96
960	988,86	672,37	623,85	460,95	717,86	717,86	895,31	651,75
970	999,17	679,38	630,34	465,75	725,34	725,34	904,64	658,54
980	1009,47	686,38	636,84	470,55	732,81	732,81	913,96	665,33
990	1019,77	693,39	643,34	475,36	740,29	740,29	923,29	672,12
1000	1030,07	700,39	649,84	480,16	747,77	747,77	932,62	678,91



**Tabelle 4: Abbildungsgröße eines einzelnen Bildpunktes (Pixel) in Abhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 1 von 2) [16]**

Entfernung $e$ in m	Pixelabbildung in mm							
	Kamera 1		Kamera 2		Kamera 3		Kamera 4	
	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$
Winkel:	50	37,5	57	41	47	32	47	32
Pixel ( $n$ ):	320	240	384	288	160	120	160	120
	$s_A$	$s_B$	$s_A$	$s_B$	$s_A$	$s_B$	$s_A$	$s_B$
1	2,91	2,83	2,83	2,60	5,44	4,78	5,44	4,78
10	29,14	28,29	28,28	25,96	54,35	47,79	54,35	47,79
20	58,29	56,58	56,56	51,93	108,70	95,58	108,70	95,58
30	87,43	84,86	84,84	77,89	163,05	143,37	163,05	143,37
40	116,58	113,15	113,12	103,86	217,41	191,16	217,41	191,16
50	145,72	141,44	141,39	129,82	271,76	238,95	271,76	238,95
60	174,87	169,73	169,67	155,79	326,11	286,75	326,11	286,75
70	204,01	198,01	197,95	181,75	380,46	334,54	380,46	334,54
80	233,15	226,30	226,23	207,71	434,81	382,33	434,81	382,33
90	262,30	254,59	254,51	233,68	489,16	430,12	489,16	430,12
100	291,44	282,88	282,79	259,64	543,52	477,91	543,52	477,91
110	320,59	311,17	311,07	285,61	597,87	525,70	597,87	525,70
120	349,73	339,45	339,35	311,57	652,22	573,49	652,22	573,49
130	378,87	367,74	367,63	337,53	706,57	621,28	706,57	621,28
140	408,02	396,03	395,91	363,50	760,92	669,07	760,92	669,07
150	437,16	424,32	424,18	389,46	815,27	716,86	815,27	716,86
160	466,31	452,61	452,46	415,43	869,62	764,65	869,62	764,65
170	495,45	480,89	480,74	441,39	923,98	812,45	923,98	812,45
180	524,60	509,18	509,02	467,36	978,33	860,24	978,33	860,24
190	553,74	537,47	537,30	493,32	1032,68	908,03	1032,68	908,03
200	582,88	565,76	565,58	519,28	1087,03	955,82	1087,03	955,82
210	612,03	594,04	593,86	545,25	1141,38	1003,61	1141,38	1003,61
220	641,17	622,33	622,14	571,21	1195,73	1051,40	1195,73	1051,40
230	670,32	650,62	650,42	597,18	1250,09	1099,19	1250,09	1099,19
240	699,46	678,91	678,69	623,14	1304,44	1146,98	1304,44	1146,98
250	728,61	707,20	706,97	649,11	1358,79	1194,77	1358,79	1194,77
260	757,75	735,48	735,25	675,07	1413,14	1242,56	1413,14	1242,56
270	786,89	763,77	763,53	701,03	1467,49	1290,35	1467,49	1290,35
280	816,04	792,06	791,81	727,00	1521,84	1338,15	1521,84	1338,15
290	845,18	820,35	820,09	752,96	1576,19	1385,94	1576,19	1385,94
300	874,33	848,64	848,37	778,93	1630,55	1433,73	1630,55	1433,73
310	903,47	876,92	876,65	804,89	1684,90	1481,52	1684,90	1481,52
320	932,62	905,21	904,93	830,85	1739,25	1529,31	1739,25	1529,31
330	961,76	933,50	933,21	856,82	1793,60	1577,10	1793,60	1577,10
340	990,90	961,79	961,48	882,78	1847,95	1624,89	1847,95	1624,89
350	1020,05	990,07	989,76	908,75	1902,30	1672,68	1902,30	1672,68
360	1049,19	1018,36	1018,04	934,71	1956,66	1720,47	1956,66	1720,47
370	1078,34	1046,65	1046,32	960,68	2011,01	1768,26	2011,01	1768,26
380	1107,48	1074,94	1074,60	986,64	2065,36	1816,05	2065,36	1816,05
390	1136,62	1103,23	1102,88	1012,60	2119,71	1863,85	2119,71	1863,85
400	1165,77	1131,51	1131,16	1038,57	2174,06	1911,64	2174,06	1911,64
410	1194,91	1159,80	1159,44	1064,53	2228,41	1959,43	2228,41	1959,43
420	1224,06	1188,09	1187,72	1090,50	2282,76	2007,22	2282,76	2007,22
430	1253,20	1216,38	1215,99	1116,46	2337,12	2055,01	2337,12	2055,01
440	1282,35	1244,67	1244,27	1142,43	2391,47	2102,80	2391,47	2102,80
450	1311,49	1272,95	1272,55	1168,39	2445,82	2150,59	2445,82	2150,59
460	1340,63	1301,24	1300,83	1194,35	2500,17	2198,38	2500,17	2198,38

Fortsetzung auf der nächsten Seite

470	1369,78	1329,53	1329,11	1220,32	2554,52	2246,17	2554,52	2246,17
480	1398,92	1357,82	1357,39	1246,28	2608,87	2293,96	2608,87	2293,96
490	1428,07	1386,10	1385,67	1272,25	2663,23	2341,75	2663,23	2341,75
500	1457,21	1414,39	1413,95	1298,21	2717,58	2389,54	2717,58	2389,54
510	1486,36	1442,68	1442,23	1324,17	2771,93	2437,34	2771,93	2437,34
520	1515,50	1470,97	1470,51	1350,14	2826,28	2485,13	2826,28	2485,13
530	1544,64	1499,26	1498,78	1376,10	2880,63	2532,92	2880,63	2532,92
540	1573,79	1527,54	1527,06	1402,07	2934,98	2580,71	2934,98	2580,71
550	1602,93	1555,83	1555,34	1428,03	2989,34	2628,50	2989,34	2628,50
560	1632,08	1584,12	1583,62	1454,00	3043,69	2676,29	3043,69	2676,29
570	1661,22	1612,41	1611,90	1479,96	3098,04	2724,08	3098,04	2724,08
580	1690,37	1640,70	1640,18	1505,92	3152,39	2771,87	3152,39	2771,87
590	1719,51	1668,98	1668,46	1531,89	3206,74	2819,66	3206,74	2819,66
600	1748,65	1697,27	1696,74	1557,85	3261,09	2867,45	3261,09	2867,45
610	1777,80	1725,56	1725,02	1583,82	3315,44	2915,24	3315,44	2915,24
620	1806,94	1753,85	1753,29	1609,78	3369,80	2963,04	3369,80	2963,04
630	1836,09	1782,13	1781,57	1635,75	3424,15	3010,83	3424,15	3010,83
640	1865,23	1810,42	1809,85	1661,71	3478,50	3058,62	3478,50	3058,62
650	1894,37	1838,71	1838,13	1687,67	3532,85	3106,41	3532,85	3106,41
660	1923,52	1867,00	1866,41	1713,64	3587,20	3154,20	3587,20	3154,20
670	1952,66	1895,29	1894,69	1739,60	3641,55	3201,99	3641,55	3201,99
680	1981,81	1923,57	1922,97	1765,57	3695,91	3249,78	3695,91	3249,78
690	2010,95	1951,86	1951,25	1791,53	3750,26	3297,57	3750,26	3297,57
700	2040,10	1980,15	1979,53	1817,49	3804,61	3345,36	3804,61	3345,36
710	2069,24	2008,44	2007,80	1843,46	3858,96	3393,15	3858,96	3393,15
720	2098,38	2036,73	2036,08	1869,42	3913,31	3440,94	3913,31	3440,94
730	2127,53	2065,01	2064,36	1895,39	3967,66	3488,74	3967,66	3488,74
740	2156,67	2093,30	2092,64	1921,35	4022,01	3536,53	4022,01	3536,53
750	2185,82	2121,59	2120,92	1947,32	4076,37	3584,32	4076,37	3584,32
760	2214,96	2149,88	2149,20	1973,28	4130,72	3632,11	4130,72	3632,11
770	2244,11	2178,16	2177,48	1999,24	4185,07	3679,90	4185,07	3679,90
780	2273,25	2206,45	2205,76	2025,21	4239,42	3727,69	4239,42	3727,69
790	2302,39	2234,74	2234,04	2051,17	4293,77	3775,48	4293,77	3775,48
800	2331,54	2263,03	2262,32	2077,14	4348,12	3823,27	4348,12	3823,27
810	2360,68	2291,32	2290,59	2103,10	4402,48	3871,06	4402,48	3871,06
820	2389,83	2319,60	2318,87	2129,07	4456,83	3918,85	4456,83	3918,85
830	2418,97	2347,89	2347,15	2155,03	4511,18	3966,64	4511,18	3966,64
840	2448,12	2376,18	2375,43	2180,99	4565,53	4014,44	4565,53	4014,44
850	2477,26	2404,47	2403,71	2206,96	4619,88	4062,23	4619,88	4062,23
860	2506,40	2432,76	2431,99	2232,92	4674,23	4110,02	4674,23	4110,02
870	2535,55	2461,04	2460,27	2258,89	4728,58	4157,81	4728,58	4157,81
880	2564,69	2489,33	2488,55	2284,85	4782,94	4205,60	4782,94	4205,60
890	2593,84	2517,62	2516,83	2310,82	4837,29	4253,39	4837,29	4253,39
900	2622,98	2545,91	2545,10	2336,78	4891,64	4301,18	4891,64	4301,18
910	2652,12	2574,19	2573,38	2362,74	4945,99	4348,97	4945,99	4348,97
920	2681,27	2602,48	2601,66	2388,71	5000,34	4396,76	5000,34	4396,76
930	2710,41	2630,77	2629,94	2414,67	5054,69	4444,55	5054,69	4444,55
940	2739,56	2659,06	2658,22	2440,64	5109,05	4492,34	5109,05	4492,34
950	2768,70	2687,35	2686,50	2466,60	5163,40	4540,14	5163,40	4540,14
960	2797,85	2715,63	2714,78	2492,56	5217,75	4587,93	5217,75	4587,93
970	2826,99	2743,92	2743,06	2518,53	5272,10	4635,72	5272,10	4635,72
980	2856,13	2772,21	2771,34	2544,49	5326,45	4683,51	5326,45	4683,51
990	2885,28	2800,50	2799,62	2570,46	5380,80	4731,30	5380,80	4731,30
1000	2914,42	2828,79	2827,89	2596,42	5435,15	4779,09	5435,15	4779,09

**Tabelle 5: Abbildungsgröße eines einzelnen Bildpunktes (Pixel) in Anhängigkeit des Kameramodells und der Entfernung (Tabelle 2 von 2) [16].**

Entfernung $e$ in m	Pixelabbildung in mm							
	Kamera 5		Kamera 6		Kamera 7		Kamera 8	
	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$	horizontal $\alpha$	vertikal $\beta$
	$s_A$	$s_B$	$s_A$	$s_B$	$s_A$	$s_B$	$s_A$	$s_B$
Winkel:	54,5	38,6	36	27	41	41	50	37,5
Pixel ( $n$ ):	320	240	320	240	120	120	320	240
1	3,22	2,92	2,03	2,00	6,23	6,23	2,91	2,83
10	32,19	29,18	20,31	20,01	62,31	62,31	29,14	28,29
20	64,38	58,37	40,61	40,01	124,63	124,63	58,29	56,58
30	96,57	87,55	60,92	60,02	186,94	186,94	87,43	84,86
40	128,76	116,73	81,23	80,03	249,26	249,26	116,58	113,15
50	160,95	145,91	101,54	100,03	311,57	311,57	145,72	141,44
60	193,14	175,10	121,84	120,04	373,88	373,88	174,87	169,73
70	225,33	204,28	142,15	140,05	436,20	436,20	204,01	198,01
80	257,52	233,46	162,46	160,05	498,51	498,51	233,15	226,30
90	289,71	262,65	182,77	180,06	560,83	560,83	262,30	254,59
100	321,90	291,83	203,07	200,07	623,14	623,14	291,44	282,88
110	354,09	321,01	223,38	220,07	685,46	685,46	320,59	311,17
120	386,28	350,20	243,69	240,08	747,77	747,77	349,73	339,45
130	418,46	379,38	264,00	260,09	810,08	810,08	378,87	367,74
140	450,65	408,56	284,30	280,09	872,40	872,40	408,02	396,03
150	482,84	437,74	304,61	300,10	934,71	934,71	437,16	424,32
160	515,03	466,93	324,92	320,11	997,03	997,03	466,31	452,61
170	547,22	496,11	345,23	340,11	1059,34	1059,34	495,45	480,89
180	579,41	525,29	365,53	360,12	1121,65	1121,65	524,60	509,18
190	611,60	554,48	385,84	380,12	1183,97	1183,97	553,74	537,47
200	643,79	583,66	406,15	400,13	1246,28	1246,28	582,88	565,76
210	675,98	612,84	426,46	420,14	1308,60	1308,60	612,03	594,04
220	708,17	642,02	446,76	440,14	1370,91	1370,91	641,17	622,33
230	740,36	671,21	467,07	460,15	1433,22	1433,22	670,32	650,62
240	772,55	700,39	487,38	480,16	1495,54	1495,54	699,46	678,91
250	804,74	729,57	507,69	500,16	1557,85	1557,85	728,61	707,20
260	836,93	758,76	527,99	520,17	1620,17	1620,17	757,75	735,48
270	869,12	787,94	548,30	540,18	1682,48	1682,48	786,89	763,77
280	901,31	817,12	568,61	560,18	1744,80	1744,80	816,04	792,06
290	933,50	846,30	588,92	580,19	1807,11	1807,11	845,18	820,35
300	965,69	875,49	609,22	600,20	1869,42	1869,42	874,33	848,64
310	997,88	904,67	629,53	620,20	1931,74	1931,74	903,47	876,92
320	1030,07	933,85	649,84	640,21	1994,05	1994,05	932,62	905,21
330	1062,26	963,04	670,15	660,22	2056,37	2056,37	961,76	933,50
340	1094,45	992,22	690,45	680,22	2118,68	2118,68	990,90	961,79
350	1126,64	1021,40	710,76	700,23	2180,99	2180,99	1020,05	990,07
360	1158,83	1050,59	731,07	720,24	2243,31	2243,31	1049,19	1018,36
370	1191,02	1079,77	751,38	740,24	2305,62	2305,62	1078,34	1046,65
380	1223,21	1108,95	771,68	760,25	2367,94	2367,94	1107,48	1074,94
390	1255,39	1138,13	791,99	780,26	2430,25	2430,25	1136,62	1103,23
400	1287,58	1167,32	812,30	800,26	2492,56	2492,56	1165,77	1131,51
410	1319,77	1196,50	832,61	820,27	2554,88	2554,88	1194,91	1159,80
420	1351,96	1225,68	852,91	840,28	2617,19	2617,19	1224,06	1188,09
430	1384,15	1254,87	873,22	860,28	2679,51	2679,51	1253,20	1216,38
440	1416,34	1284,05	893,53	880,29	2741,82	2741,82	1282,35	1244,67
450	1448,53	1313,23	913,84	900,30	2804,14	2804,14	1311,49	1272,95
460	1480,72	1342,41	934,14	920,30	2866,45	2866,45	1340,63	1301,24
470	1512,91	1371,60	954,45	940,31	2928,76	2928,76	1369,78	1329,53
480	1545,10	1400,78	974,76	960,32	2991,08	2991,08	1398,92	1357,82

Fortsetzung auf der nächsten Seite

A-10

490	1577,29	1429,96	995,07	980,32	3053,39	3053,39	1428,07	1386,10
500	1609,48	1459,15	1015,37	1000,33	3115,71	3115,71	1457,21	1414,39
510	1641,67	1488,33	1035,68	1020,33	3178,02	3178,02	1486,36	1442,68
520	1673,86	1517,51	1055,99	1040,34	3240,33	3240,33	1515,50	1470,97
530	1706,05	1546,69	1076,30	1060,35	3302,65	3302,65	1544,64	1499,26
540	1738,24	1575,88	1096,60	1080,35	3364,96	3364,96	1573,79	1527,54
550	1770,43	1605,06	1116,91	1100,36	3427,28	3427,28	1602,93	1555,83
560	1802,62	1634,24	1137,22	1120,37	3489,59	3489,59	1632,08	1584,12
570	1834,81	1663,43	1157,53	1140,37	3551,90	3551,90	1661,22	1612,41
580	1867,00	1692,61	1177,83	1160,38	3614,22	3614,22	1690,37	1640,70
590	1899,19	1721,79	1198,14	1180,39	3676,53	3676,53	1719,51	1668,98
600	1931,38	1750,98	1218,45	1200,39	3738,85	3738,85	1748,65	1697,27
610	1963,57	1780,16	1238,76	1220,40	3801,16	3801,16	1777,80	1725,56
620	1995,76	1809,34	1259,06	1240,41	3863,48	3863,48	1806,94	1753,85
630	2027,95	1838,52	1279,37	1260,41	3925,79	3925,79	1836,09	1782,13
640	2060,14	1867,71	1299,68	1280,42	3988,10	3988,10	1865,23	1810,42
650	2092,32	1896,89	1319,99	1300,43	4050,42	4050,42	1894,37	1838,71
660	2124,51	1926,07	1340,29	1320,43	4112,73	4112,73	1923,52	1867,00
670	2156,70	1955,26	1360,60	1340,44	4175,05	4175,05	1952,66	1895,29
680	2188,89	1984,44	1380,91	1360,45	4237,36	4237,36	1981,81	1923,57
690	2221,08	2013,62	1401,22	1380,45	4299,67	4299,67	2010,95	1951,86
700	2253,27	2042,80	1421,52	1400,46	4361,99	4361,99	2040,10	1980,15
710	2285,46	2071,99	1441,83	1420,47	4424,30	4424,30	2069,24	2008,44
720	2317,65	2101,17	1462,14	1440,47	4486,62	4486,62	2098,38	2036,73
730	2349,84	2130,35	1482,45	1460,48	4548,93	4548,93	2127,53	2065,01
740	2382,03	2159,54	1502,75	1480,49	4611,24	4611,24	2156,67	2093,30
750	2414,22	2188,72	1523,06	1500,49	4673,56	4673,56	2185,82	2121,59
760	2446,41	2217,90	1543,37	1520,50	4735,87	4735,87	2214,96	2149,88
770	2478,60	2247,08	1563,68	1540,51	4798,19	4798,19	2244,11	2178,16
780	2510,79	2276,27	1583,98	1560,51	4860,50	4860,50	2273,25	2206,45
790	2542,98	2305,45	1604,29	1580,52	4922,81	4922,81	2302,39	2234,74
800	2575,17	2334,63	1624,60	1600,53	4985,13	4985,13	2331,54	2263,03
810	2607,36	2363,82	1644,91	1620,53	5047,44	5047,44	2360,68	2291,32
820	2639,55	2393,00	1665,21	1640,54	5109,76	5109,76	2389,83	2319,60
830	2671,74	2422,18	1685,52	1660,54	5172,07	5172,07	2418,97	2347,89
840	2703,93	2451,37	1705,83	1680,55	5234,39	5234,39	2448,12	2376,18
850	2736,12	2480,55	1726,14	1700,56	5296,70	5296,70	2477,26	2404,47
860	2768,31	2509,73	1746,44	1720,56	5359,01	5359,01	2506,40	2432,76
870	2800,50	2538,91	1766,75	1740,57	5421,33	5421,33	2535,55	2461,04
880	2832,69	2568,10	1787,06	1760,58	5483,64	5483,64	2564,69	2489,33
890	2864,88	2597,28	1807,37	1780,58	5545,96	5545,96	2593,84	2517,62
900	2897,07	2626,46	1827,67	1800,59	5608,27	5608,27	2622,98	2545,91
910	2929,25	2655,65	1847,98	1820,60	5670,58	5670,58	2652,12	2574,19
920	2961,44	2684,83	1868,29	1840,60	5732,90	5732,90	2681,27	2602,48
930	2993,63	2714,01	1888,60	1860,61	5795,21	5795,21	2710,41	2630,77
940	3025,82	2743,19	1908,90	1880,62	5857,53	5857,53	2739,56	2659,06
950	3058,01	2772,38	1929,21	1900,62	5919,84	5919,84	2768,70	2687,35
960	3090,20	2801,56	1949,52	1920,63	5982,15	5982,15	2797,85	2715,63
970	3122,39	2830,74	1969,83	1940,64	6044,47	6044,47	2826,99	2743,92
980	3154,58	2859,93	1990,13	1960,64	6106,78	6106,78	2856,13	2772,21
990	3186,77	2889,11	2010,44	1980,65	6169,10	6169,10	2885,28	2800,50
1000	3218,96	2918,29	2030,75	2000,66	6231,41	6231,41	2914,42	2828,79

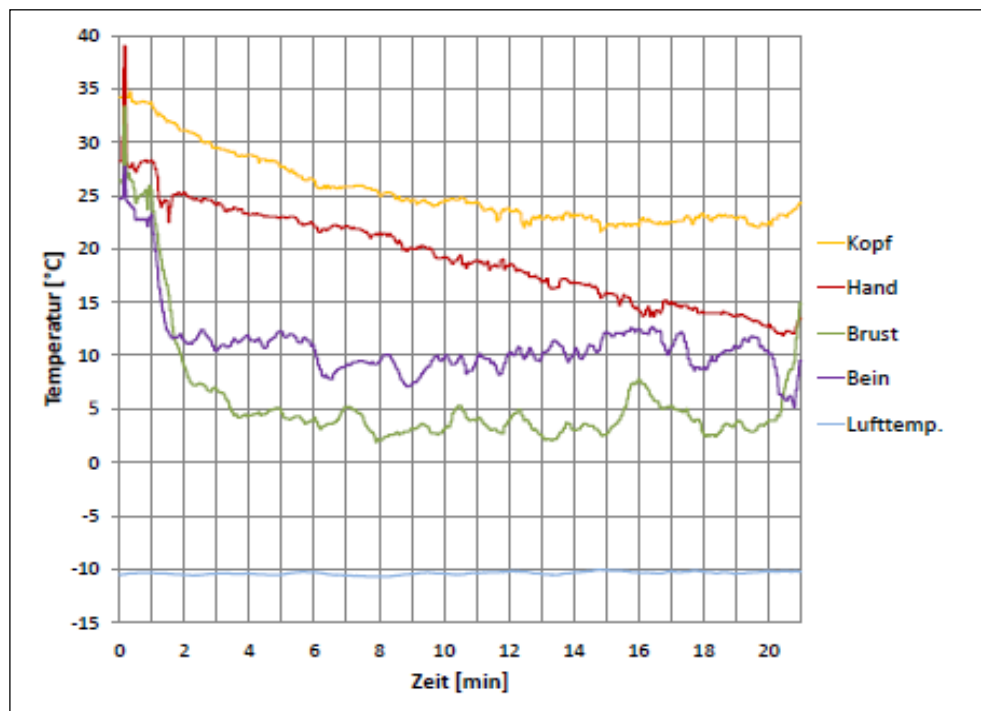


Abbildung 1: Abkühlungsverlauf einer Person II (im Februar) [16]

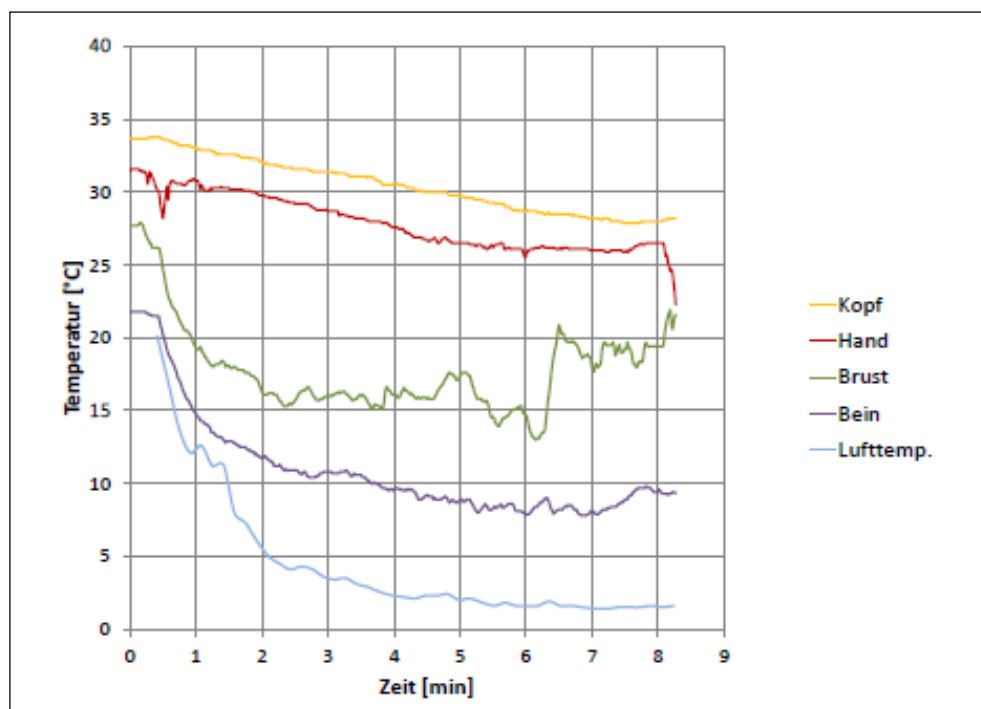


Abbildung 2: Abkühlungsverlauf einer Person III (im Januar) [16]



(a) 50 m



(b) 100 m



(c) 150 m



(d) 200 m



(e) 250 m



(f) 300 m

### 3.1: Serie Realbildaufnahmen



(a) Versuch 1 - 300 m



(b) Versuch 2 - 100 m



(c) Versuch 3 - 300 m

### 3.2: Serie Wärmebilder Kamera 1

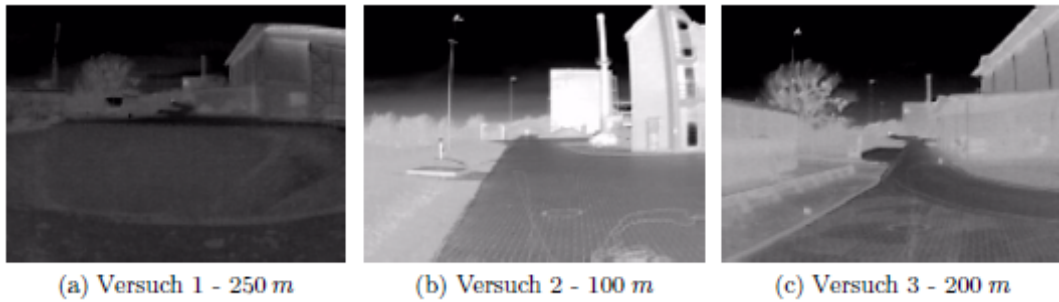


(a) Versuch 2 - 100 m

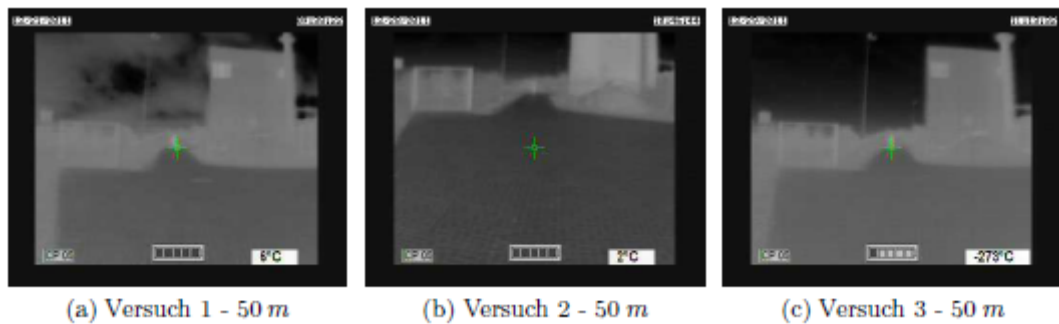


(b) Versuch 3 - 200 m

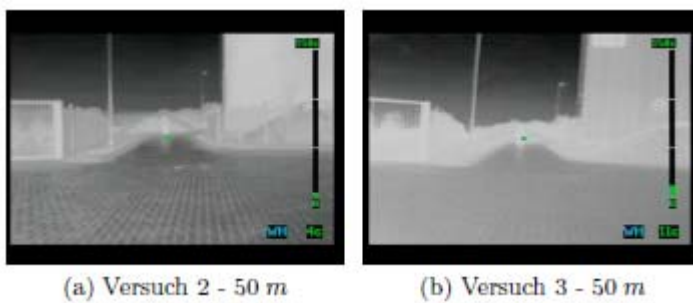
### 3.3: Serie Wärmebilder Kamera 2



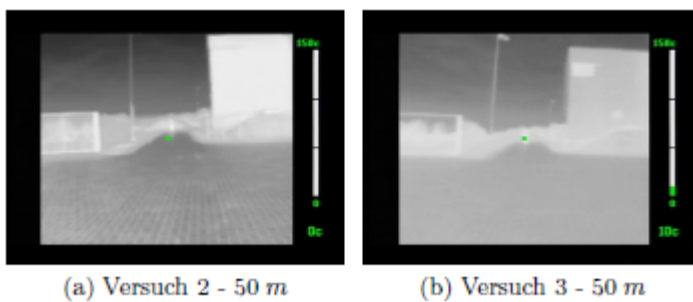
#### 3.4: Serie Wärmebilder Kamera 3



#### 3.5: Serie Wärmebilder Kamera 5



#### 3.6: Serie Wärmebilder Kamera 6



#### 3.7: Serie Wärmebilder Kamera 7

Abbildung 3: Unterschiede in den Bilddarstellungen der Kameras unter gleichen Bedingungen in verschiedenen Entfernungen [16].







B-2

**Tabelle 2: Objektentfernungen und Umgebungsbedingungen der einzelnen Bodenversuche**

	<b>Uhrzeit</b>	<b>Lufttemperatur</b>	<b>Luftfeuchtigkeit</b>	<b>Niederschlag</b>	<b>Bewölkung</b>	<b>Sonneneinstrahlung</b>	<b>Objektentfernung</b>
Versuch 1	10:00	-3,1 °C	77,2 % r. F.	-	bewölkt	keine Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 2	13:30	-3,2 °C	77,5 % r. F.	-	bewölkt	keine Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 3	13:00	-5,4 °C	69,2 % r. F.	-	leicht bewölkt	mäßige Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 4	19:00	-4,4 °C	84,2 % r. F.	-	leicht bewölkt	Nacht	20m – 200m (20m)
Versuch 5	10:30	-9,5 °C	81,3 % r. F.	-	nicht bewölkt	starke Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 6	10:30	12,6 °C	74,8 % r. F.	-	leicht bewölkt	mäßige Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 7	10:00	1,7 °C	73,8 % r. F.	-	leicht bewölkt	starke Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 8	15:30	0,4 °C	91,4 % r. F.	-	bewölkt	keine Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 9	08:30	-1,9 °C	83,3 % r. F.	Schneefall	bewölkt	keine Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 10	09:40	-1,8 °C	62,8 % r. F.	-	nicht bewölkt	starke Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 11	08:30	4,4 °C	76,3 % r. F.	leichter Nebel	Leicht bewölkt	keine Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 12	07:00	10,8 °C	61,8 % r. F.	-	leicht bewölkt	keine Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 13	13:30	27,5 °C	35,5 % r. F.	-	nicht bewölkt	starke Sonneneinstrahlung	20m – 200m (20m)
Versuch 14	07:00	10,8 °C	61,8 % r. F.	-	bewölkt	keine Sonneneinstrahlung	50m – 400m (50m)
Versuch 15	13:30	27,5 °C	35,5 % r. F.	-	nicht bewölkt	starke Sonneneinstrahlung	50m – 400m (50m)

**Tabelle 3: Anzahl der Pixelpunkte in den jeweiligen Entfernungen und unterschiedlichen Höhen der einzelnen Drehleiterversuche – Kamera 1**

Versuch	Höhe	Entfernung									
		50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m	400m	450m	500m
1	10m	44	11	8	5	4	2	2	1	1	0
	20m	41	14	8	5	3	2	2	2	1	1
	30m	33	13	7	5	4	2	2	2	1	1
2	10m	41	11	6	3	2	2	2	0	0	0
	20m	42	13	7	4	2	2	0	2	0	1
	30m	32	9	5	3	3	2	1	0	0	0
3	10m	41	12	8	4	3	2	2	1	1	0
	20m	39	12	5	5	3	2	2	2	1	1
	30m	31	13	5	3	3	2	2	2	1	1

**Tabelle 4: Umgebungstemperaturen aller durchgeführten Bodenversuche**

	Versuch														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Lufttemperatur(9) in °C	-3,1	-3,2	-5,4	-4,4	-9,5	12,6	2,0	0,4	-1,9	-1,8	4,4	10,8	27,5	10,8	27,5
Bodentemperatur (9) in °C	-1,3	-3,1	-3,3	-1,1	-7,6	9,0	2,8	1,5	-0,6	-0,5	4,9	10,1	29,8	10,1	29,8
Temperaturdifferenz ( $\Delta T$ ) in K	1,8	0,1	2,1	3,3	1,9	3,6	0,8	1,1	1,3	1,3	0,5	0,7	2,3	0,7	2,3

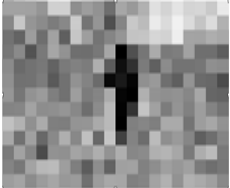
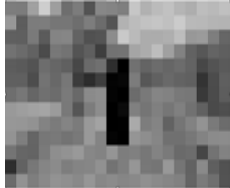
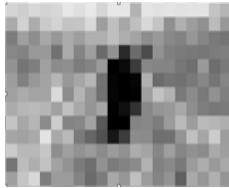
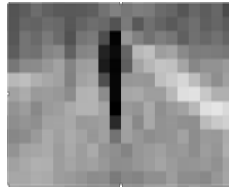
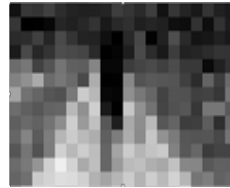
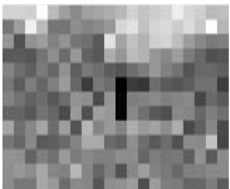
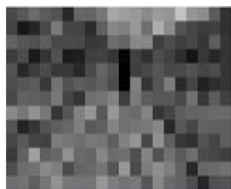
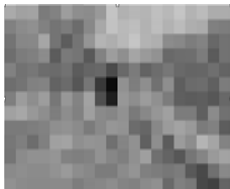
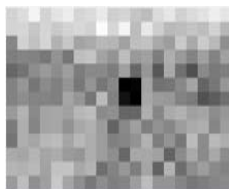
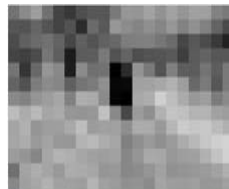
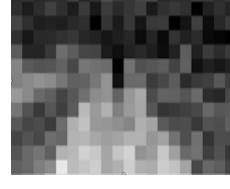
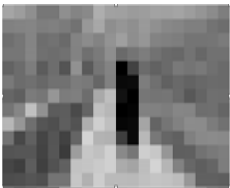
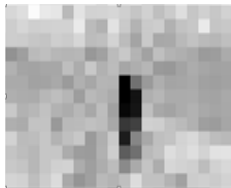
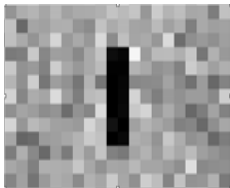
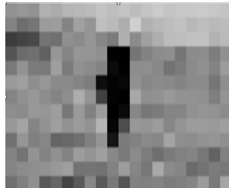
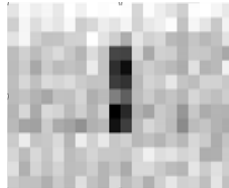
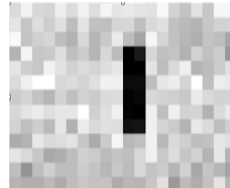
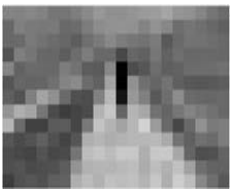
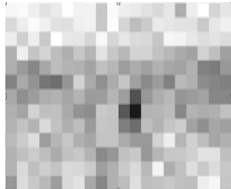
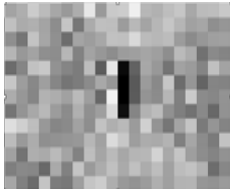
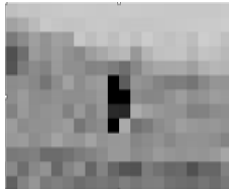
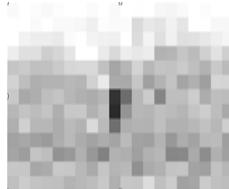
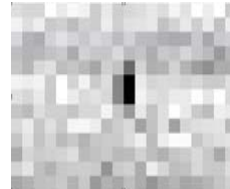
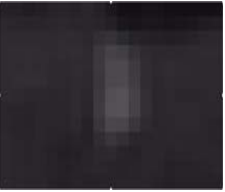
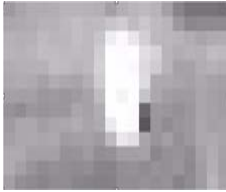
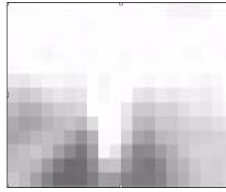
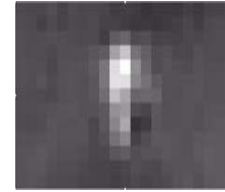
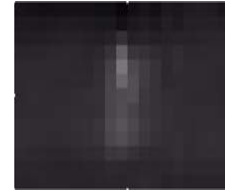
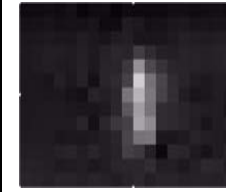
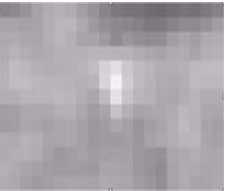
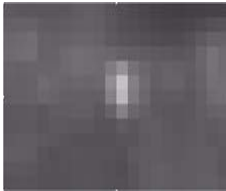
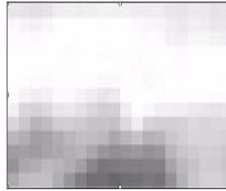
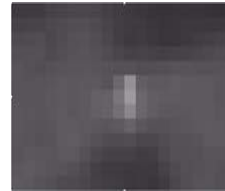
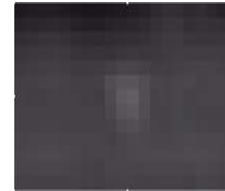
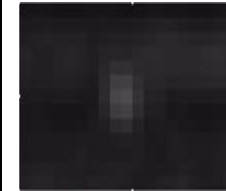
	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5	Versuch 6
100 m Entfernung		Keine Aufnahme				
200 m Entfernung						
	Versuch 7	Versuch 8	Versuch 9	Versuch 10	Versuch 11	Versuch 12
100 m Entfernung						
200 m Entfernung						

Abbildung 1: Darstellung der Personenpixel in 100 m und 200 m Entfernung - Kamera 1

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 6	Versuch 7	Versuch 11	Versuch 12
100 m Entfernung						
200 m Entfernung						

**Abbildung 2: Darstellung der Personenpixel in 100 m und 200 m Entfernung - Kamera 2**

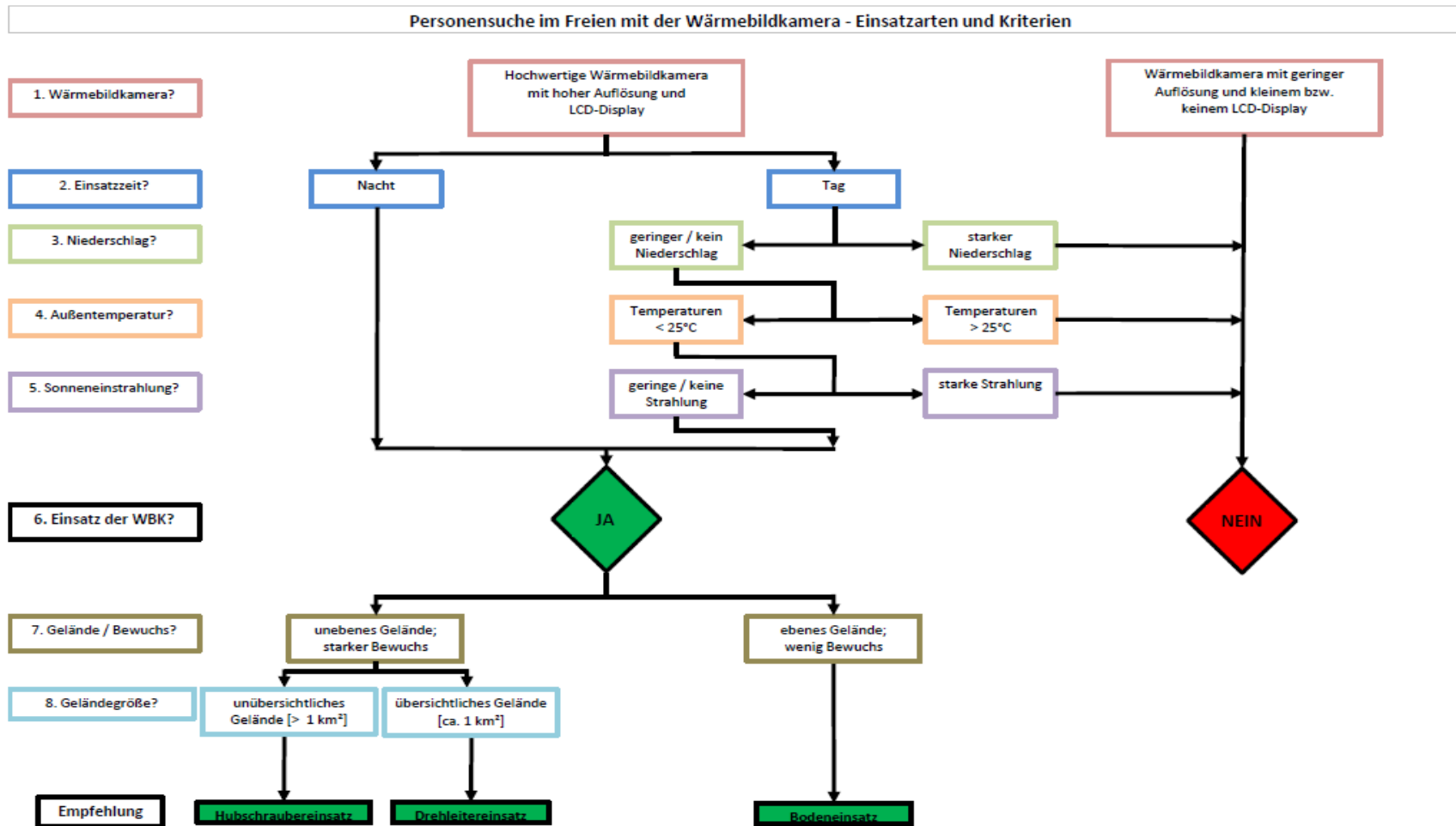






















Abbildung 3: Handlungsablaufschemata für Feuerwehren

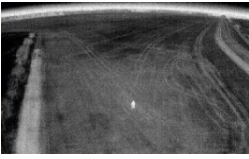
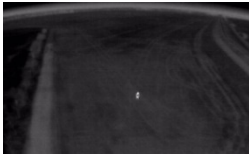
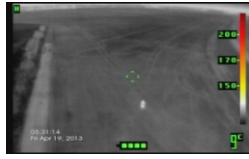
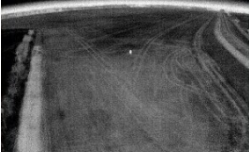


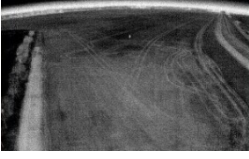
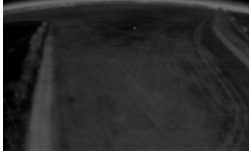

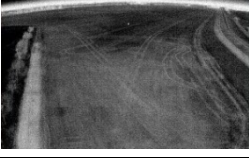





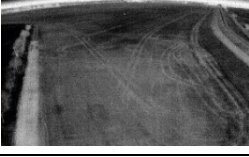
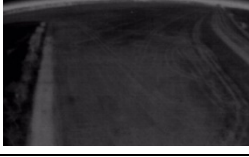


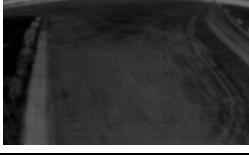


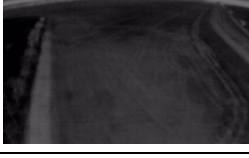


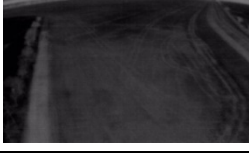


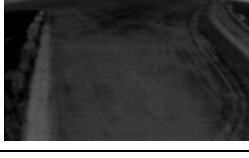

	Stehende Person	Liegende Person
20 m Entfernung		
40 m Entfernung		
60 m Entfernung		
80 m Entfernung		
100 m Entfernung		
120 m Entfernung		
140 m Entfernung		
160 m Entfernung		
180 m Entfernung		
200 m Entfernung		

**Abbildung 4: Versuchsreihenvergleich stehende Person und liegende Person - Kamera 1 (Versuch 4)**

50 m Entfernung			
100 m Entfernung			
150 m Entfernung			
200 m Entfernung			
250 m Entfernung			
300 m Entfernung			
350 m Entfernung			
400 m Entfernung			

Abbildung 5: Versuchsreihenvergleich stehende Person - Bodenversuch 14



	Kamera 1	Kamera 2	Kamera 9
50 m Entfernung			
100 m Entfernung			
150 m Entfernung			
200 m Entfernung			
250 m Entfernung			
300 m Entfernung			
350 m Entfernung			
400 m Entfernung			
450 m Entfernung			
500 m Entfernung			

**Abbildung 6: Versuchsreihenvergleich stehende Person - Drehleiterversuch 3 (Höhe:20 m)**