

Benutzerhandbuch FLIR ETS3xx-Serie

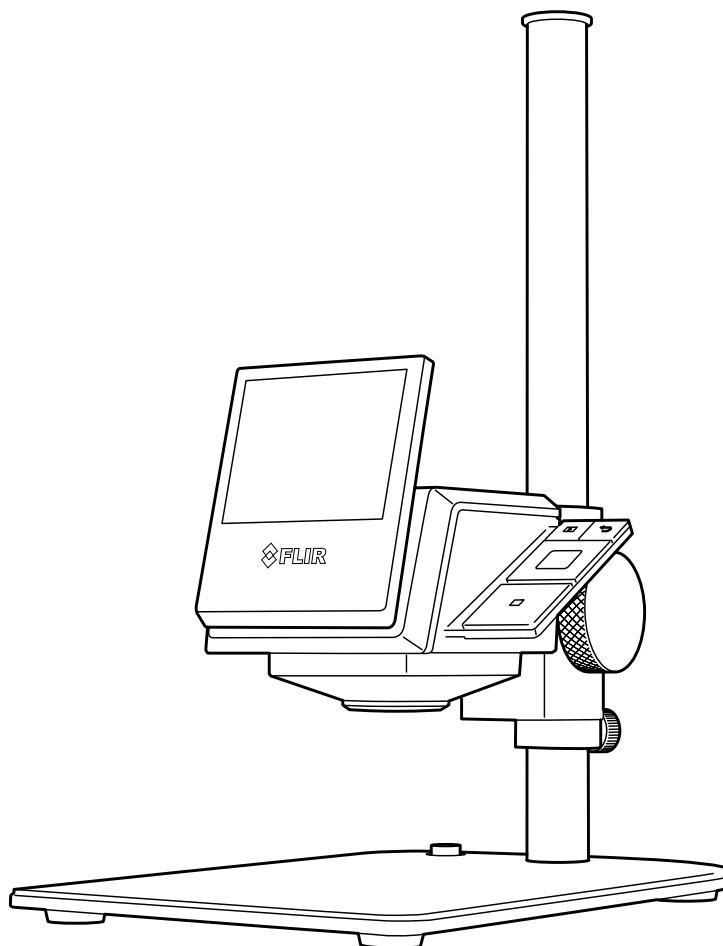
SCV_{SA}

Energiekosten sparen
Réduire vos dépenses énergétiques

Rue de l'Hôpital 49, 3280 Meyriez/Murten (Morat)

Tel. 026 672 90 50, Fax 026 672 90 55

info@scv-sa.ch, www.scv-sa.ch



Benutzerhandbuch FLIR ETS3xx-Serie

Inhaltsverzeichnis

1	Haftungsausschlüsse	1
1.1	Haftungsausschluss	1
1.2	Nutzungsstatistiken	1
1.3	Änderungen der Registrierung	1
1.4	Bestimmungen der US-amerikanischen Regierung	1
1.5	Urheberrecht	1
1.6	Qualitätssicherung	1
1.7	Patente	1
1.8	EULA Terms	1
1.9	EULA Terms	1
2	Sicherheitsinformationen	3
3	Hinweise für Benutzer	5
3.1	Benutzerforen	5
3.2	Kalibrierung	5
3.3	Genauigkeit	5
3.4	Entsorgung elektronischer Geräte	5
3.5	Schulung	5
3.6	Aktualisierung der Dokumentation	5
3.7	Wichtiger Hinweis zu diesem Handbuch	6
3.8	Hinweis zu maßgeblichen Versionen	6
4	Hilfe für Kunden	7
4.1	Allgemein	7
4.2	Fragen stellen	7
4.3	Downloads	7
5	Einleitung	9
5.1	Allgemeine Beschreibung	9
5.2	Vorzüge	9
5.3	Wichtige Funktionen	9
6	Schnelleinstieg	10
6.1	Vorgehensweise	10
7	Beschreibung	11
7.1	Ansicht von vorn	11
7.1.1	Abbildung	11
7.1.2	Erläuterung	11
7.2	Rückansicht	12
7.2.1	Abbildung	12
7.2.2	Erläuterung	12
7.3	USB-Anschluss	12
7.4	Bildschirmelemente	13
7.4.1	Abbildung	13
7.4.2	Erläuterung	13
8	Umgang mit der Kameraeinheit	14
8.1	Laden des Akkus	14
8.1.1	Laden des Akkus über das FLIR Netzteil	14
8.1.2	Den Akku über ein mit dem Computer verbundenes USB-Kabel laden	14
8.2	Die Kamera ein- und ausschalten	14
8.3	Ausrichten der Kameraeinheit	15
8.3.1	Abbildung	15
8.3.2	Erläuterung	15
8.3.3	Vorgehensweise	15
8.4	Entfernen der Stativhalterung von der Kameraeinheit	15
8.4.1	Vorgehensweise	16

9	Betrieb	18
9.1	Speichern von Bildern	18
9.1.1	Allgemein	18
9.1.2	Speicherkapazität	18
9.1.3	Benennungskonventionen	18
9.1.4	Vorgehensweise	18
9.2	Erneutes Aufrufen von Bildern	18
9.2.1	Allgemein	18
9.2.2	Vorgehensweise	18
9.3	Löschen von Bildern	18
9.3.1	Allgemein	18
9.3.2	Vorgehensweise	18
9.4	Löschen aller Bilder	19
9.4.1	Allgemein	19
9.4.2	Vorgehensweise	19
9.5	Messen der Temperatur mit Hilfe eines Messpunktes	19
9.5.1	Allgemein	19
9.5.2	Vorgehensweise	19
9.6	Messen der höchsten Temperatur in einem Bereich	19
9.6.1	Allgemein	19
9.6.2	Vorgehensweise	19
9.7	Messen der niedrigsten Temperatur in einem Bereich	20
9.7.1	Allgemein	20
9.7.2	Vorgehensweise	20
9.8	Verbergen von Messwerkzeugen	20
9.8.1	Vorgehensweise	20
9.9	Ändern der Farbpalette	20
9.9.1	Allgemein	20
9.9.2	Vorgehensweise	20
9.10	Arbeiten mit Farbalarmen	20
9.10.1	Allgemein	20
9.10.2	Bildbeispiele	21
9.10.3	Vorgehensweise	21
9.11	Ändern der Einstellung der Temperaturskala	21
9.11.1	Allgemein	21
9.11.2	Hinweise zur Verwendung des <i>manuellen</i> Modus	22
9.11.3	Vorgehensweise	22
9.12	Festlegen des Emissionsgrads durch Auswahl einer Oberflächeneigenschaft	22
9.12.1	Allgemein	22
9.12.2	Vorgehensweise	23
9.13	Festlegen des Emissionsgrads durch Auswahl eines benutzerdefinierten Materials	23
9.13.1	Allgemein	23
9.13.2	Vorgehensweise	23
9.14	Ändern des Emissionsgrads durch Auswahl eines benutzerdefinierten Werts	23
9.14.1	Allgemein	23
9.14.2	Vorgehensweise	24
9.15	Ändern der reflektierten scheinbaren Temperatur	24
9.15.1	Allgemein	24
9.15.2	Vorgehensweise	24
9.16	Inhomogenitätskorrektur (NUC) durchführen	24
9.16.1	Allgemein	24
9.16.2	Vorgehensweise	25

9.17	Ändern der Einstellungen	25
9.17.1	Allgemein	25
9.17.2	Vorgehensweise	25
9.18	Aktualisieren der Kamera	26
9.18.1	Allgemein	26
9.18.2	Vorgehensweise	26
10	Technische Daten	27
10.1	Online-Bildfeldrechner (Field-of-View, FOV)	27
10.2	Hinweis zu technischen Daten	27
10.3	Hinweis zu maßgeblichen Versionen	27
10.4	FLIR ETS320	28
11	Technische Zeichnungen	31
12	Reinigen der Kamera	36
12.1	Kameragehäuse, Kabel und weitere Teile	36
12.1.1	Flüssigkeiten	36
12.1.2	Ausrüstung	36
12.1.3	Vorgehensweise	36
12.2	Infrarotobjektiv	36
12.2.1	Flüssigkeiten	36
12.2.2	Ausrüstung	36
12.2.3	Vorgehensweise	36
13	Informationen zu FLIR Systems	38
13.1	Mehr als nur eine Infrarotkamera	39
13.2	Weitere Informationen	39
13.3	Support für Kunden	40
14	Begriffe, physikalische Gesetze und Definitionen	41
15	Thermografische Messtechniken	43
15.1	Einleitung	43
15.2	Emissionsgrad	43
15.2.1	Ermitteln des Emissionsgrades eines Objekts	43
15.3	Reflektierte scheinbare Temperatur	47
15.4	Abstand	47
15.5	Relative Luftfeuchtigkeit	47
15.6	Weitere Parameter	47
16	Das Geheimnis eines guten Wärmebilds	48
16.1	Einleitung	48
16.2	Hintergrund	48
16.3	Ein gutes Bild	48
16.4	Die drei unveränderbaren Faktoren – Die Grundlage eines guten Bildes	49
16.4.1	Fokus	49
16.4.2	Temperaturbereich	50
16.4.3	Bildausschnitt und Entfernung zum Objekt	51
16.5	Die veränderbaren Faktoren – Bildoptimierung und Temperaturmessung	51
16.5.1	Level und Span	51
16.5.2	Paletten und Isotherme	52
16.5.3	Objektparameter	53
16.6	Bilder aufnehmen – Tipps für die Praxis	53
16.7	Endergebnis	53
17	Informationen zur Kalibrierung	54
17.1	Einleitung	54
17.2	Definition: Was genau ist Kalibrierung?	54
17.3	Kalibrierung von Kameras bei FLIR Systems	54

17.4	Unterschiede zwischen einer Kalibrierung durch den Anwender und einer direkt bei FLIR Systems durchgeführten Kalibrierung	55
17.5	Kalibrierung, Überprüfung (Verifizieren) und Justieren	55
17.6	Inhomogenitätskorrektur	56
17.7	Thermische Bildoptimierung	56
18	Geschichte der Infrarot-Technologie	58
19	Theorie der Thermografie	61
19.1	Einleitung	61
19.2	Das elektromagnetische Spektrum	61
19.3	Strahlung des schwarzen Körpers	61
19.3.1	Plancksches Gesetz	62
19.3.2	Wiensches Verschiebungsgesetz	63
19.3.3	Stefan-Boltzmann-Gesetz	64
19.3.4	Nicht-schwarze Körper als Strahlungsquellen	65
19.4	Halb-transparente Infrarotmaterialien	67
20	Die Messformel	68
21	Emissionstabellen	72
21.1	Referenzen	72
21.2	Tabellen	72

1.1 Haftungsausschluss

Für alle von FLIR Systems hergestellten Produkte gilt eine Garantie auf Material- und Produktionsmängel von einem (1) Jahr ab dem Lieferdatum des ursprünglichen Erwerbs, wenn diese Produkte unter normalen Bedingungen und gemäß den Anweisungen von FLIR Systems gelagert, verwendet und betrieben wurden.

Für alle von FLIR Systems hergestellten Infrarothandkameras ohne Kühlsystem gilt eine Garantie auf Material- und Produktionsmängel von zwei (2) Jahren ab Lieferdatum des ursprünglichen Erwerbs, wenn diese Produkte unter normalen Bedingungen und gemäß den Anweisungen von FLIR Systems gelagert, verwendet und betrieben wurden und wenn die Kamera innerhalb von 60 Tagen nach dem ursprünglichen Erwerb registriert wurde.

Für alle von FLIR Systems hergestellten Detektoren für Infrarothandkameras ohne Kühlsystem gilt eine Garantie auf Material- und Produktionsmängel von zehn (10) Jahren ab Lieferdatum des ursprünglichen Erwerbs, wenn diese Produkte unter normalen Bedingungen und gemäß den Anweisungen von FLIR Systems gelagert, verwendet und betrieben wurden und wenn die Kamera innerhalb von 60 Tagen nach dem ursprünglichen Erwerb registriert wurde.

Für Produkte, die in von FLIR Systems an den Erstkäufer gelieferten Systemen enthalten sind, jedoch nicht von FLIR Systems hergestellt wurden, gelten, falls vorhanden, die Garantiebestimmungen des entsprechenden Zulieferers. FLIR Systems übernimmt für solche Produkte keinerlei Haftung.

Die Garantie gilt ausschließlich gegenüber dem Erstkäufer und ist nicht übertragbar. Die Garantie entfällt, wenn Produkte nicht bestimmungsgemäß verwendet, nicht ordnungsgemäß gewartet, durch höhere Gewalt beschädigt oder unter nicht vorgesehenen Betriebsbedingungen eingesetzt wurden. Verschleißteile sind von der Garantie ausgeschlossen.

Um zusätzliche Schäden zu vermeiden, darf ein Produkt, welches unter diese Garantie fällt, im Falle eines Fehlers nicht weiter genutzt werden. Der Käufer ist verpflichtet, FLIR Systems jeden aufgetretenen Fehler sofort zu melden. Andernfalls verliert diese Garantie ihre Gültigkeit.

FLIR Systems wird nach eigenem Ermessen jedes fehlerhafte Produkt kostenlos reparieren oder ersetzen, falls sich nach einer Untersuchung des Produkts herausstellt, dass ein Material- oder Produktionsmangel vorliegt, und das Produkt innerhalb der erwähnten Einjahresfrist an FLIR Systems zurückgegeben wurde.

FLIR Systems übernimmt außer den oben vereinbarten Verpflichtungen und Haftungen für Mängel keine weiteren Verpflichtungen und Haftungen.

Weitere Garantien sind weder ausdrücklich noch stillschweigend vereinbart. Insbesondere lehnt FLIR Systems alle stillschweigenden Garantien der Handelsfähigkeit oder der Eignung für einen bestimmten Zweck ab.

FLIR Systems haftet nicht für unmittelbare, mittelbare, besondere, beiläufig entstandene Schäden oder Folgeschäden und Verluste, unabhängig davon, ob sich diese aus Verträgen, Haftungen aus unerlaubter Handlung oder sonstigen Rechtsgrundlagen ergeben.

Diese Garantie unterliegt schwedischem Recht.

Jegliche Rechtsstreitigkeiten, Klagen oder Forderungen, die sich aus dieser Garantie ergeben oder damit in Verbindung stehen, werden gemäß den Bestimmungen des Schiedsgerichtsinstituts der Handelskammer Stockholm entschieden. Gerichtsstandort ist Stockholm. Das Schiedsverfahren wird in englischer Sprache durchgeführt.

1.2 Nutzungsstatistiken

FLIR Systems behält sich das Recht vor, anonyme Nutzungsstatistiken zur erstellen, um die Qualität der Software und Dienstleistungen des Unternehmens zu sichern und zu verbessern.

1.3 Änderungen der Registrierung

Der Registrierungseintrag HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Control\Lsa\LmCompatibilityLevel wird automatisch in Stufe 2 geändert, wenn der FLIR Camera Monitor-Dienst erkennt, dass eine FLIR Kamera über ein USB-Kabel mit dem Computer verbunden ist. Diese Änderung erfolgt nur, wenn das Kameragerät einen Remote-Netzwerkdienst implementiert, der Netzwerkanmeldungen unterstützt.

1.4 Bestimmungen der US-amerikanischen Regierung

Dieses Produkt unterliegt unter Umständen den US-Ausfuhrbestimmungen. Bitte wenden Sie sich mit Fragen an exportquestions@flir.com.

1.5 Urheberrecht

© 2016, FLIR Systems, Inc.. Alle Rechte weltweit vorbehalten. Ohne die vorherige schriftliche Genehmigung von FLIR Systems darf die Software einschließlich des Quellcodes – weder ganz noch in Teilen – in keiner Form, sei es elektronisch, magnetisch, optisch, manuell oder auf andere Weise, vervielfältigt, übertragen, umgeschrieben oder in eine andere Sprache oder Computersprache übersetzt werden.

Ohne die vorherige schriftliche Zustimmung von FLIR Systems ist es nicht gestattet, diese Dokumentation oder Teile davon zu vervielfältigen, zu photokopieren, zu reproduzieren, zu übersetzen oder auf ein elektronisches Medium oder in eine maschinenlesbare Form zu übertragen.

Namen und Marken, die auf den hierin beschriebenen Produkten erscheinen, sind entweder registrierte Marken oder Marken von FLIR Systems und/oder seinen Niederlassungen. Alle anderen Marken, Handelsnamen oder Firmennamen in dieser Dokumentation werden nur zu Referenzzwecken verwendet und sind das Eigentum der jeweiligen Besitzer.

1.6 Qualitätssicherung

Das für die Entwicklung und Herstellung dieser Produkte eingesetzte Qualitätsmanagementsystem wurde nach dem Standard ISO 9001 zertifiziert.

FLIR Systems setzt auf eine ständige Weiterentwicklung. Aus diesem Grunde behalten wir uns das Recht vor, an allen Produkten Änderungen und Verbesserungen ohne vorherige Ankündigung vorzunehmen.

1.7 Patente

000439161; 000653423; 000726344; 000859020; 001707738; 001707746; 001707787; 001776519; 001954074; 002021543; 002021543-0002; 002058160; 002249953; 002531178; 002816785; 002816793; 011200326; 014347553; 057692; 061609; 07002405; 100414275; 101796816; 101796817; 101796818; 102334141; 1062100; 11063060001; 11517895; 1226865; 12300216; 12300224; 1285345; 1299699; 1325808; 1336775; 1391114; 1402918; 1404291; 1411581; 1415075; 1421497; 1458284; 1678485; 1732314; 17399650; 1890950; 1886650; 2007301511414; 2007303395047; 2008301285812; 2009301900619; 20100060357; 2010301761271; 2010301761303; 2010301761572; 2010305959313; 2011304423549; 2012304717443; 2012306207318; 2013302676195; 2015202354035; 2015304259171; 204465713; 204967995; 2106017; 2107799; 2115696; 2172004; 2315433; 2381417; 2794760001; 3006596; 3006597; 303330211; 4358936; 483782; 484155; 4889913; 4937897; 4995790001; 5177595; 540838; 579475; 584755; 599392; 60122153; 6020040116815; 602006006500.0; 6020080347796; 6020110003453; 615113; 615116; 664580; 664581; 665004; 665440; 67023029; 6707044; 677298; 68657; 69036179; 70022216; 70028915; 70028923; 70057990; 7034300; 710424; 7110035; 7154093; 7157705; 718801; 723605; 7237946; 7312822; 7327216; 7336823; 734903; 7544944; 7606484; 7634157; 7667198; 7809258; 7826736; 8018649; 8153971; 8212210; 8289372; 8340414; 8354639; 8384783; 8520970; 8565547; 8595689; 8599262; 8654239; 8680468; 8803093; 8823803; 8853631; 8933403; 9171361; 9191583; 9279728; 9280812; 9338352; 9423940; 9471970; 9595087; D549758.

1.8 EULA Terms

- You have acquired a device ("INFRARED CAMERA") that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates ("MS"). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and "online" or electronic documentation ("SOFTWARE") are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT ("EULA"), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**
- GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
 - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
 - NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
 - NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
 - No Liability for Certain Damages. **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.\$250.00).**
 - Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
 - SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
 - EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see <http://www.microsoft.com/exporting/>.

1.9 EULA Terms

Qt4 Core and Qt4 GUI, Copyright ©2013 Nokia Corporation and FLIR Systems AB. This Qt library is a free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU Lesser General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 2.1 of the License,

or (at your option) any later version. This library is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR

PURPOSE. See the GNU Lesser General Public License, <http://www.gnu.org/licenses/lgpl-2.1.html>. The source code for the libraries Qt4 Core and Qt4 GUI may be requested from FLIR Systems AB.

**WARNUNG**

Anwendungsbereich: Digitalgeräte der Klasse B.

Tests haben ergeben, dass dieses Gerät die Grenzwerte für digitale Geräte der Klasse B gemäß Teil 15 der FCC-Regeln erfüllt. Diese Grenzwerte wurden festgelegt, um einen angemessenen Schutz gegen störende Interferenzen in Wohngebieten zu erzielen. Dieses Gerät erzeugt und verwendet Funkfrequenzenergie und kann diese ausstrahlen. Wenn das Gerät nicht gemäß den Anweisungen installiert und verwendet wird, kann es zu störenden Interferenzen mit dem Funkverkehr kommen. Es kann jedoch nicht garantiert werden, dass es bei einzelnen Installationen nicht zu Interferenzen kommt. Wenn dieses Gerät störende Interferenzen beim Radio- oder Fernsehempfang verursacht (dies kann durch Aus- und Einschalten des Geräts festgestellt werden), werden folgende Maßnahmen zur Behebung der Interferenzen empfohlen:

- Empfangsantenne anders ausrichten oder neu positionieren.
- Abstand zwischen Gerät und Empfänger vergrößern.
- Gerät an eine Steckdose anschließen, die nicht an denselben Stromkreis wie der Empfänger angeschlossen ist.
- Händler oder erfahrenen Funk-/Fernsehtechniker hinzuziehen.

**WARNUNG**

Anwendungsbereich: Digitalgeräte gemäß 15.19/RSS-210.

HINWEIS: Dieses Gerät entspricht Teil 15 der FCC-Bestimmungen und RSS-210 der kanadischen Gewerbebehörde (Industry Canada). Für den Betrieb müssen die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sein:

1. Dieses Gerät darf keine störenden Interferenzen verursachen.
2. Dieses Gerät muss jede empfangene Interferenz zulassen, darunter Interferenzen, die einen unerwünschten Betrieb auslösen könnten.

**WARNUNG**

Anwendungsbereich: Digitalgeräte gemäß 15.21.

HINWEIS: Nicht ausdrücklich von FLIR Systems genehmigte Änderungen oder Anpassungen an diesem Gerät können zur Aufhebung der FCC-Autorisierung zum Betrieb dieses Geräts führen.

**WARNUNG**

Anwendungsbereich: Digitalgeräte gemäß 2.1091/2.1093/OET Bulletin 65.

Informationen zur Strahlenbelastung durch Funkfrequenzen: Die abgegebene Strahlenleistung liegt unter den von der FCC/IC festgelegten Grenzwerten für Funkfrequenzen. Jedoch sollte bei normalem Betrieb des Geräts der menschliche Kontakt so gering wie möglich gehalten werden.

**WARNUNG**

Anwendungsbereich: Kameras mit einem oder mehreren Akkus.

Wenn der Akku sich nicht innerhalb der angegebenen Zeit auflädt, setzen Sie den Ladevorgang nicht fort. Laden Sie den Akku länger als angegeben, kann dieser heiß werden und explodieren oder sich entzünden. Personen könnten dabei verletzt werden.










**WARNUNG**

Anwendungsbereich: Kameras mit einem oder mehreren Akkus.

Verwenden Sie zum Entladen des Akkus nur die dafür vorgesehene Ausrüstung. Wenn Sie nicht die dafür vorgesehene Ausrüstung verwenden, kann sich dies negativ auf die Leistung oder die Lebensdauer des Akkus auswirken. Wenn Sie nicht die richtige Ausrüstung verwenden, erhält der Akku möglicherweise eine falsche Spannung. Dadurch kann sich der Akku erhitzen oder gar explodieren. Personen könnten verletzt werden.

**WARNUNG**

Lesen Sie unbedingt alle entsprechenden MSDS (Material Safety Data Sheets, Sicherheitsdatenblätter) und Warnhinweise auf den Behältern durch, bevor Sie eine Flüssigkeit verwenden. Die Flüssigkeiten können gefährlich sein. Personen könnten verletzt werden.

	VORSICHT
Richten Sie die Infrarotkamera (mit oder ohne Objektivkappe) niemals auf starke Strahlungsquellen wie beispielsweise Geräte, die Laserstrahlen abgeben. Richten Sie sie auch nicht auf die Sonne. Dies könnte unerwünschte Auswirkungen auf die Genauigkeit der Kamera haben. Der Detektor in der Kamera könnte sogar beschädigt werden.	
	VORSICHT
Verwenden Sie die Kamera nicht bei Temperaturen von über +50 °C, sofern in der Benutzerdokumentation oder den technischen Daten nicht anders angegeben. Hohe Temperaturen können die Kamera beschädigen.	
	VORSICHT
Schließen Sie die Kamera niemals direkt an einen Pkw-Zigarettenanzünder an, es sei denn, es wurde von FLIR Systems ein spezieller Adapter zum Anschließen der Kameraeinheit an den Zigarettenanzünder bereitgestellt. Andernfalls kann es zu Schäden an der Kamera kommen.	
	VORSICHT
Anwendungsbereich: Kameras mit einem oder mehreren Akkus. Verwenden Sie zum Laden des Akkus nur empfohlene Ladegeräte. Sonst könnte der Akku beschädigt werden.	
	VORSICHT
Anwendungsbereich: Kameras mit einem oder mehreren Akkus. Der Akku muss bei Temperaturen zwischen ± 0 °C und +45 °C geladen werden, mit Ausnahme des koreanischen Markts, dort liegt der Bereich zwischen +10 °C und +45 °C. Wenn der Akku bei Temperaturen außerhalb dieses Bereichs geladen wird, kann der Akku heiß werden oder beschädigt werden. Außerdem kann dadurch die Leistung und Lebensdauer des Akkus beeinträchtigt werden.	
	VORSICHT
Anwendungsbereich: Kameras mit einem oder mehreren Akkus. Das Entladen des Akkus muss bei Temperaturen zwischen +10 °C und +40 °C erfolgen, sofern in der Benutzerdokumentation oder den technischen Daten nicht anders angegeben. Der Einsatz des Akkus bei Temperaturen außerhalb des angegebenen Bereichs kann die Leistung und Lebensdauer des Akkus beeinträchtigen.	
	VORSICHT
Verwenden Sie niemals Verdünnungsmittel oder ähnliche Flüssigkeiten für Kamera, Kabel oder Zubehör. Sonst können der Akku beschädigt oder Personen verletzt werden.	
	VORSICHT
Beim Reinigen des Infrarotobjektivs ist besondere Vorsicht geboten. Das Objektiv verfügt über eine Antireflexbeschichtung, die leicht beschädigt werden kann. Das Infrarotobjektiv könnte beschädigt werden.	
	VORSICHT
Wenden Sie beim Reinigen des Infrarotobjektivs keine übermäßige Kraft auf. Sonst könnte die Antireflexbeschichtung beschädigt werden.	

Hinweis Die Gehäuseschutzklassifizierung ist nur gültig, wenn alle Öffnungen Ihrer Kamera mit den entsprechenden Abdeckungen, Klappen oder Kappen verschlossen sind. Dies gilt auch für die Fächer der Speichermedien, Akkus und Anschlüsse.

3.1 Benutzerforen

In unseren Benutzerforen können Sie sich mit anderen Thermografen auf der ganzen Welt über Ideen, Probleme und Infrarotlösungen austauschen. Die Foren finden Sie hier:

<http://forum.infraredtraining.com/>

3.2 Kalibrierung

Wir empfehlen, die Kamera einmal pro Jahr zur Kalibrierung einzusenden. Wenden Sie sich an Ihre Vertriebsstelle, um entsprechende Informationen zu erhalten.

3.3 Genauigkeit

Um sehr genaue Ergebnisse zu erzielen, sollten Sie erst 5 Minuten nach dem Einschalten der Kamera eine Temperaturmessung vornehmen.

3.4 Entsorgung elektronischer Geräte



Dieses Gerät muss wie die meisten anderen elektronischen Geräte auf umweltfreundliche Weise und gemäß den geltenden Bestimmungen für elektronische Geräte entsorgt werden.

Weitere Informationen erhalten Sie bei Ihrem FLIR Systems-Ansprechpartner.

3.5 Schulung

Informationen zu Schulungen im Bereich Infrarottechnik finden Sie hier:

- <http://www.infraredtraining.com>
- <http://www.irtraining.com>
- <http://www.irtraining.eu>

3.6 Aktualisierung der Dokumentation

Unsere Handbücher werden mehrmals jährlich aktualisiert. Zudem veröffentlichen wir regelmäßig auch wichtige Änderungsmitteilungen zu Produkten.

Die neuesten Handbücher, Handbuchübersetzungen und Mitteilungen finden Sie auf der Registerkarte Download unter:

<http://support.flir.com>

Die Online-Registrierung dauert nur wenige Minuten. Im Download-Bereich finden Sie auch die neuesten Versionen von Handbüchern unserer anderen Produkte sowie Handbücher für historische und ausgelaufene Modelle.

3.7 Wichtiger Hinweis zu diesem Handbuch

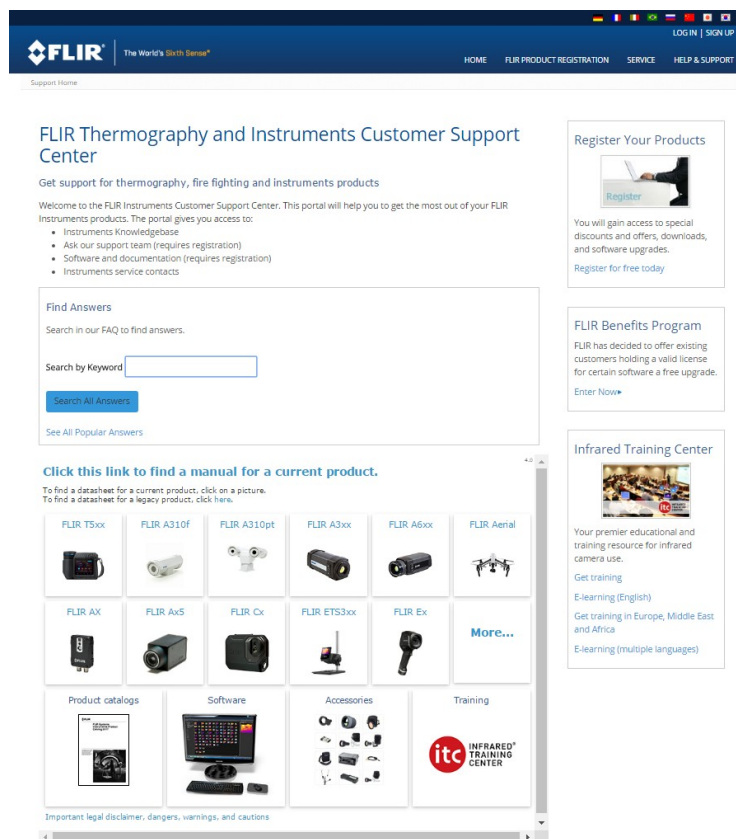
FLIR Systems veröffentlicht generische Handbücher, die sich auf mehrere Kameras einer Modellreihe beziehen.

Das bedeutet, dass dieses Handbuch Beschreibungen und Erläuterungen enthalten kann, die möglicherweise nicht auf Ihr Kameramodell zutreffen.

3.8 Hinweis zu maßgeblichen Versionen

Die englische Ausgabe ist die maßgebliche Version dieser Veröffentlichung. Bei Abweichungen aufgrund von Übersetzungsfehlern gilt der englische Text.

Alle nachträglichen Änderungen werden zuerst in die englische Ausgabe eingearbeitet.



4.1 Allgemein

Die Kundenhilfe finden Sie hier:

<http://support.flir.com>

4.2 Fragen stellen

Um eine Frage an das Team der Kundenhilfe stellen zu können, müssen Sie sich als Benutzer registrieren. Die Online-Registrierung nimmt nur wenige Minuten in Anspruch. Sie müssen kein registrierter Benutzer sein, um in der Informationsdatenbank nach vorhandenen Fragen und Antworten suchen zu können.

Wenn Sie eine Frage stellen möchten, sollten Sie folgende Informationen zur Hand haben:

- Kameramodell
- Seriennummer der Kamera
- Kommunikationsprotokoll oder -methode zwischen Kamera und Ihrem Gerät (z. B. SD-Kartenlesegerät, HDMI, Ethernet, USB oder FireWire)
- Gerätetyp (PC/Mac/iPhone/iPad/Android-Gerät usw.)
- Versionen sämtlicher Programme von FLIR Systems
- Vollständiger Name, Veröffentlichungs- und Revisionsnummer des Handbuchs

4.3 Downloads

Darüber hinaus sind auf der Supportseite folgende Downloads verfügbar, falls sie für das Produkt zutreffend sind:

- Firmware-Updates für Ihre Infrarotkamera.
- Programm-Updates für Ihre PC-/Mac-Software
- Freeware und Evaluierungsversionen von PC-/Mac-Software.
- Benutzerdokumentation für aktuelle, ausgelaufene und historische Produkte.
- Technische Zeichnungen (im *.dxf- und *.pdf-Format).
- CAD-Datenmodelle (im *.stp-Format).
- Anwendungsberichte.
- Technische Datenblätter.
- Produktkataloge.

5.1 Allgemeine Beschreibung

Die FLIR ETS3xx ist FLIRs erste elektronische Prüftischkamera, welche für die schnelle Temperaturkontrolle von Leiterplatten und elektronischen Bauteilen entwickelt wurde. Die FLIR ETS3xx besitzt eine Messgenauigkeit von $\pm 3^{\circ}\text{C}$ und ist so empfindlich, dass sie selbst äußerst geringe Temperaturunterschiede auflösen kann. Hotspots und mögliche Fehlerstellen lassen sich auf diese Weise schnell finden. Der Infrarotdetektor mit 320×240 Bildpunkten bietet mehr als 76.000 Temperaturmesspunkte und stellt so alte Messwerkzeuge weit in den Schatten. Speziell für die Anforderungen von Tischgerätearbeiten entwickelt kann die batteriebetriebene FLIR ETS3xx zur sofortigen Analyse und Weitergabe von thermischen Daten mit Ihrem PC verbunden werden.

5.2 Vorzüge

- Verkürzte Prüfzeiten: Hotspots, Temperaturgradienten und mögliche Fehlerstellen schnell finden.
- Bessere Produktgestaltung: Genau wissen, wann und wo Ventilatoren und Kühlkörper hinzugefügt werden müssen; sicherstellen, dass die Produkte die spezifizierte maximale Lebensdauer hindurch funktionieren.
- Geringere Kosten: schnellere Prototyperstellung und kürzere Produktentwicklungszyklen.
- Optimierte Laborzeit: Batteriebetrieben und automatisch; bietet Messung und Analyse komplett in der Kamera.

5.3 Wichtige Funktionen

- >76.000 berührungsfreie Temperaturmesspunkte mit nur einem Knopfdruck.
- Detektor mit 320×240 Bildpunkten für gestochen scharfe Wärmebilder.
- Temperaturmessung über die Zeit mit FLIR Tools+.
- Messung von Kleinteilen, bis zu $170 \mu\text{m}$ pro Pixel.
- Das Objektiv bietet eine 45-Grad-Ansicht (thermisch) des Messobjekts für eine schnelle Detektion von Hotspots.
- Erfassung des radiometrischen Bildmaterials im standardmäßigen JPEG-Format für eine unkomplizierte Weitergabe.
- Die Genauigkeit von $\pm 3\%$ fördert die Qualitätssicherung und Werkabnahme von Leiterplatten.
- Schnelle Montage auf dem mitgelieferten Stativ für sofortigen Einsatz.
- Das gestochen scharfe 3-Zoll-LCD-Display bietet thermische Informationen in Echtzeit.
- Erstklassige Software für erweiterte Messkorrekturen/-funktionen.

6.1 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Laden Sie den Akku auf. Hierzu haben Sie verschiedene Möglichkeiten:

- Laden Sie den Akku über das FLIR Netzteil auf.
- Laden Sie den Akku über ein mit dem Computer verbundenes USB-Kabel.

Hinweis Das Laden der Kamera über ein mit einem Computer verbundenes USB-Kabel dauert *erheblich* länger als über das FLIR Netzteil oder das externe FLIR Ladegerät.

2. Verbinden Sie ein Erdungskabel mit der Erdungsschraube an der ESD-Matte des Kamerastativs.
3. Drücken Sie die Ein/Aus-Taste, um die Kamera einzuschalten.
4. Richten Sie die Position der Kameraeinheit aus.
5. Drücken Sie die Speichern-Taste, um ein Bild zu speichern.

(Optionale Schritte)

6. Besuchen Sie die folgende Website, um FLIR Tools/Tools+ herunterzuladen¹:

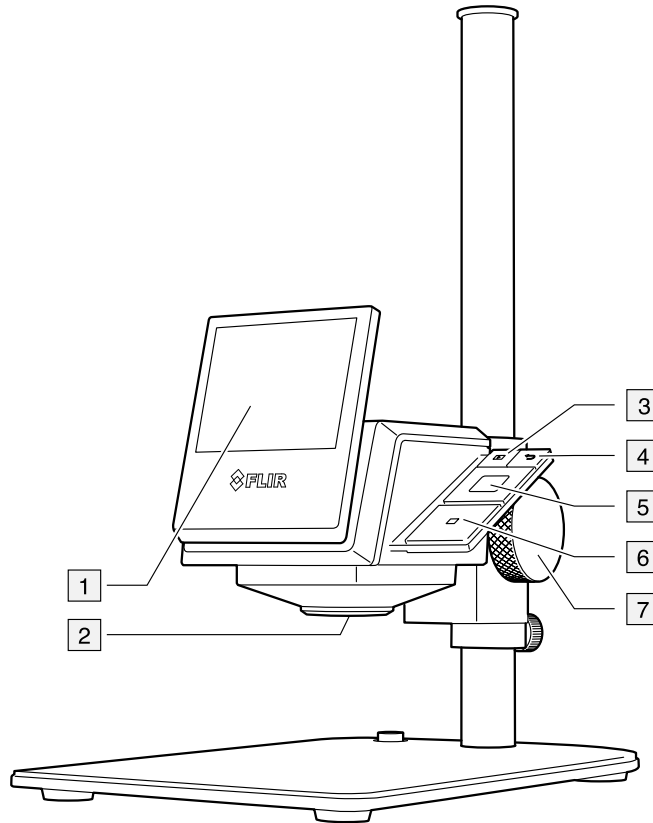
<http://support.flir.com/tools>

7. Installieren Sie FLIR Tools/Tools+ auf Ihrem Computer.
8. Starten Sie FLIR Tools/Tools+.
9. Schließen Sie die Kamera über das USB-Kabel an Ihren Computer an.
10. Importieren Sie die Bilder in FLIR Tools/Tools+.

1. Online-Dokumentation zu FLIR Tools/Tools+ finden Sie auf <http://support.flir.com/resources/f22s/>. FLIR Tools+ ist eine lizenzierte Software.

7.1 Ansicht von vorn

7.1.1 Abbildung

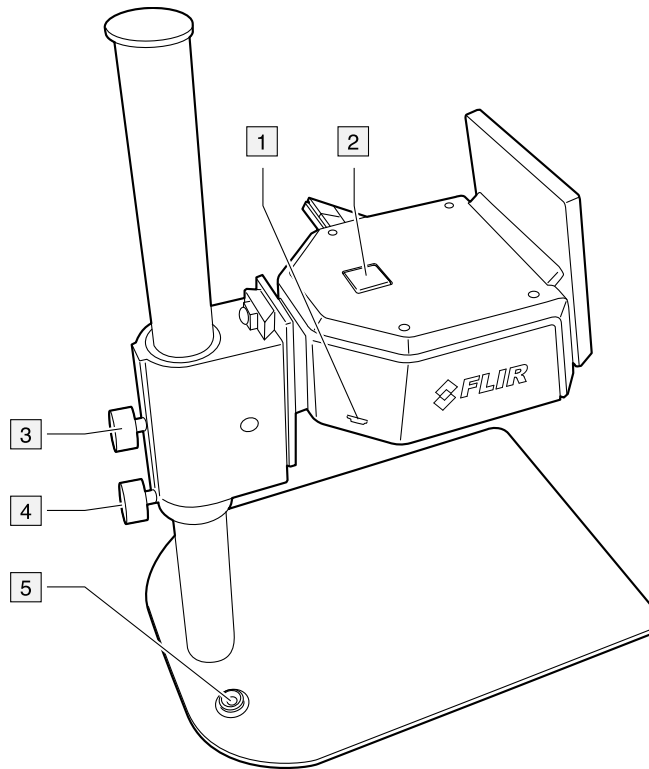


7.1.2 Erläuterung

1. LCD-Display.
2. Objektiv der Wärmebildkamera
3. Archiv-Taste
Funktion:
 - Drücken Sie die Taste, um das Bildarchiv zu öffnen.
4. Schaltfläche „Zurück/Abbrechen“
Funktion:
 - Drücken Sie die Taste, um wieder in das Menüsystem zu gelangen.
 - Drücken Sie die Taste, um die Auswahl abzubrechen.
5. Navigationstaste
Funktion:
 - Drücken Sie rechts/links bzw. nach oben/unten, um in Menüs, Untermenüs und Dialogfeldern zu navigieren.
 - Drücken Sie zur Bestätigung in der Mitte.
6. Schaltfläche Speichern.
Funktion:
 - Drücken, um ein Bild zu speichern
7. Drehknopf zur Feineinstellung

7.2 Rückansicht

7.2.1 Abbildung



7.2.2 Erläuterung

1. USB-Anschlüsse.

2. Ein/Aus-Taste.

Funktion:

- Drücken Sie die Ein/Aus-Taste, um die Kamera einzuschalten.
- Halten Sie die Ein-/Aus-Taste kürzer als 5 Sekunden gedrückt, um die Kamera in den Standby-Modus zu versetzen. Die Kamera schaltet sich automatisch nach 48 Stunden aus.
- Halten Sie die Ein/Aus-Taste länger als 10 Sekunden gedrückt, um die Kamera auszuschalten.

3. Drehknopf für die Stativhalterung

4. Drehknopf für den Stützring

5. Erdungsschraube

7.3 USB-Anschluss

Mit diesem USB-Anschluss können Sie:

- den Akku über das FLIR Netzteil laden.
- den Akku über ein mit dem Computer verbundenes USB-Kabel laden.

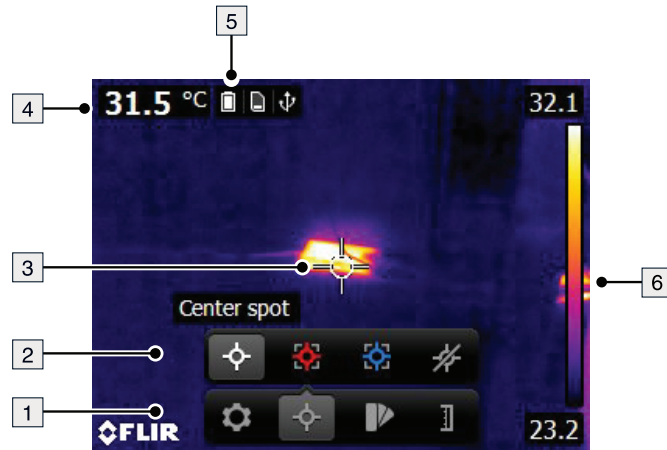
Hinweis Das Laden der Kamera über ein mit einem Computer verbundenes USB-Kabel dauert *erheblich* länger als über das FLIR Netzteil.

- Bilder von der Kamera auf einen Computer verschieben, um sie in FLIR Tools/Tools+ zu analysieren.

Hinweis Installieren Sie FLIR Tools/Tools+ auf Ihrem Computer, bevor Sie die Bilder verschieben.

7.4 Bildschirmelemente

7.4.1 Abbildung



7.4.2 Erläuterung

1. Hauptmenüleiste.
2. Untermenüleiste.
3. Messpunkt.
4. Ergebnistabelle.
5. Statussymbole.
6. Temperaturskala.

8.1 Laden des Akkus



WARNUNG

Stellen Sie sicher, dass sich die Steckdose in der Nähe des Geräts befindet und leicht zugänglich ist.

8.1.1 Laden des Akkus über das FLIR Netzteil

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Verbinden Sie das Netzteil mit einer Steckdose.
2. Verbinden Sie das Kabel des Netzteils mit dem USB-Anschluss an der Kameraeinheit.
3. Es empfiehlt sich, das Netzteil von der Steckdose zu trennen, wenn der Akku vollständig aufgeladen ist.

Hinweis Die Ladezeit für einen vollständig entleerten Akku beträgt 2 Stunden.

8.1.2 Den Akku über ein mit dem Computer verbundenes USB-Kabel laden

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Schließen Sie die Kameraeinheit über ein USB-Kabel an einen Computer an.

Hinweis

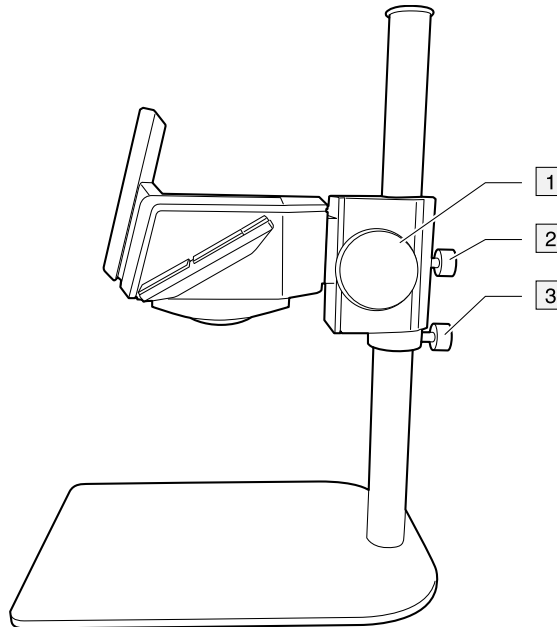
- Zum Laden der Kamera muss der Computer eingeschaltet sein.
- Das Laden der Kamera über ein mit einem Computer verbundenes USB-Kabel dauert *erheblich* länger als über das FLIR Netzteil.

8.2 Die Kamera ein- und ausschalten

- Drücken Sie die Ein/Aus-Taste, um die Kamera einzuschalten.
- Halten Sie die Ein/Aus-Taste kürzer als 5 Sekunden gedrückt, um die Kamera in den Standby-Modus zu versetzen. Die Kamera schaltet sich nach 48 Stunden automatisch aus.
- Halten Sie die Ein/Aus-Taste länger als 10 Sekunden gedrückt, um die Kamera auszuschalten.

8.3 Ausrichten der Kameraeinheit

8.3.1 Abbildung



8.3.2 Erläuterung

1. Drehknopf zur Feineinstellung
2. Drehknopf für die Stativhalterung
3. Drehknopf für den Stützring

8.3.3 Vorgehensweise

Hinweis Berühren Sie nicht die Objektivoberfläche. Sollten Sie die Objektivoberfläche berührt haben, reinigen Sie das Objektiv gemäß den Anweisungen unter 12.2 *Infrarotobjektiv*, Seite 36.

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drehen Sie zur Feineinstellung den entsprechenden Drehknopf.
2. Führen Sie folgende Schritte aus, um die Grobeinstellungen vorzunehmen:
 - 2.1. Lösen Sie den Drehknopf für die Stativhalterung und bewegen Sie die Stativhalterung an die gewünschte Position. Drehen Sie den Drehknopf für die Stativhalterung wieder fest.
 - 2.2. Lösen Sie den Drehknopf für den Stützring und bewegen Sie den Stützring nahe der Stativhalterung. Drehen Sie den Drehknopf für den Stützring wieder fest.

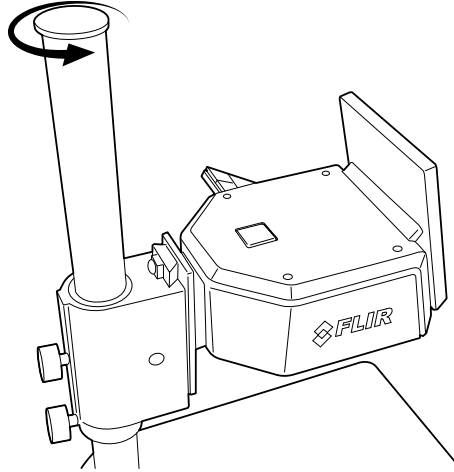
8.4 Entfernen der Stativhalterung von der Kameraeinheit

Hinweis Berühren Sie nicht die Objektivoberfläche. Sollten Sie die Objektivoberfläche berührt haben, reinigen Sie das Objektiv gemäß den Anweisungen unter 12.2 *Infrarotobjektiv*, Seite 36.

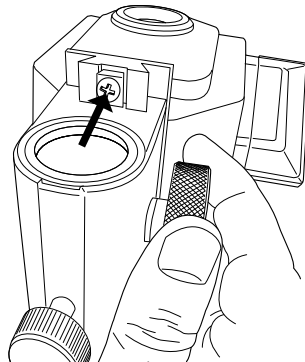
8.4.1 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

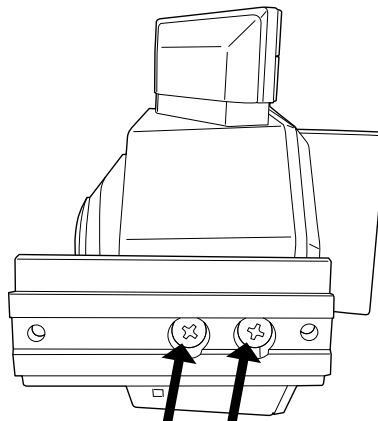
1. Drehen und entfernen Sie den oberen Teil des Stativs.



2. Lösen Sie den Drehknopf für die Stativhalterung und entfernen Sie die Kameraeinheit vom Stativ.
3. Drehen Sie den Drehknopf zur Feineinstellung gegen den Uhrzeigersinn, bis Sie eine Schraube sehen können. Entfernen Sie die Schraube.



4. Drehen Sie den Drehknopf zur Feineinstellung im Uhrzeigersinn, bis Sie auf der anderen Seite eine Schraube sehen können. Entfernen Sie die Schraube.
5. Entfernen Sie die Stativhalterung von der Kameraeinheit.
6. Entfernen Sie die beiden Schrauben, die die Halterung mit der Kameraeinheit verbinden.



-
7. Entfernen Sie die beiden Schrauben, die die Halterung mit der Kameraeinheit verbinden.
 8. Entfernen Sie die Halterung von der Kamera.

9.1 Speichern von Bildern

9.1.1 Allgemein

Sie können mehrere Bilder im internen Kameraspeicher speichern.

9.1.2 Speicherkapazität

Im internen Kameraspeicher können ungefähr 1500 Bilder gespeichert werden.

9.1.3 Benennungskonventionen

Bilder werden standardmäßig mit *FLIRxxxx.jpg* benannt, wobei mit *xxxx* automatische durchnummeriert wird.

9.1.4 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie zum Speichern eines Bilds die Speichern-Taste.

9.2 Erneutes Aufrufen von Bildern

9.2.1 Allgemein

Wenn Sie ein Bild speichern, wird es im internen Kameraspeicher gespeichert. Um das Bild erneut anzuzeigen, können Sie es aus dem internen Kameraspeicher abrufen.

9.2.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie die Archivtaste.
2. Um das gewünschte Bild auszuwählen, drücken Sie die Navigationstaste nach rechts/links oder nach oben/unten.
3. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste, um das ausgewählte Bild anzuzeigen.
4. Führen Sie eine der folgenden Aktionen durch:
 - Drücken Sie auf die Mitte des Navigationstastenfelds, um sich eine Symbolleiste anzeigen zu lassen. Über diese können Sie das Bild im Vollbildmodus sehen, Bildinformationen anzeigen oder das Bild löschen.
 - Um das vorherige/nächste Bild auszuwählen, drücken Sie das Navigationstastenfeld nach rechts/links.
5. Drücken Sie mehrfach auf die Taste „Zurück“ oder drücken Sie auf die Archiv-Taste, um in den Live-Modus zurückzukehren.

9.3 Löschen von Bildern

9.3.1 Allgemein

Sie können ein oder mehrere Bilder aus dem internen Kameraspeicher löschen.

9.3.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie die Archivtaste.
2. Um das gewünschte Bild zu löschen, drücken Sie die Navigationstaste nach links/rechts oder nach oben/unten.
3. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste, um das ausgewählte Bild anzuzeigen.
4. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.

-
- Gehen Sie in der Symbolleiste auf *Delete* . Es erscheint ein Dialogfeld mit den Optionen, das Bild zu löschen oder den Löschvorgang abubrechen.


9.4 Löschen aller Bilder

9.4.1 Allgemein

Sie können alle Bilder aus dem internen Kameraspeicher löschen.

9.4.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

- Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
- Wählen Sie in der Symbolleiste *Optionen*  aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
- Wählen Sie im Dialogfeld *Geräteeinstellungen* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
- Wählen Sie im Dialogfeld *Zurücksetzen* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
- Wählen Sie im Dialogfeld die Option *Delete all saved images* aus. Es erscheint ein Dialogfeld mit den Optionen, alle gespeicherten Bilder endgültig zu löschen oder den Löschvorgang abubrechen.



9.5 Messen der Temperatur mit Hilfe eines Messpunktes

9.5.1 Allgemein

Sie können einen Temperaturwert mithilfe eines Messpunktes ermitteln. Dieser zeigt die Temperatur an der Position des Messpunktes auf dem Bildschirm an.

9.5.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

- Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
- Wählen Sie in der Symbolleiste *Messung*  aus. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
- Wählen Sie in der Symbolleiste *Zentraler Messpunkt*  aus.
Die Temperatur an der Position des Messpunktes wird nun in der oberen linken Ecke des Bildschirms angezeigt.

9.6 Messen der höchsten Temperatur in einem Bereich



9.6.1 Allgemein

Sie können die höchste Temperatur in einem Bereich messen. Daraufhin wird ein beweglicher Messpunkt angezeigt, der die höchste Temperatur anzeigt.

9.6.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

- Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.

-
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Messung*  aus. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
 3. Wählen Sie in der Symbolleiste *Hot spot*  aus.



9.7 Messen der niedrigsten Temperatur in einem Bereich

9.7.1 Allgemein

Sie können die niedrigste Temperatur in einem Bereich messen. Daraufhin wird ein beweglicher Messpunkt angezeigt, der die niedrigste Temperatur anzeigt.

9.7.2 Vorgehensweise



Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Messung*  aus. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
3. Wählen Sie in der Symbolleiste *Cold spot*  aus.

9.8 Verbergen von Messwerkzeugen

9.8.1 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Messung*  aus. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
3. Wählen Sie in der Symbolleiste *Keine Messungen*  aus.


9.9 Ändern der Farbpalette

9.9.1 Allgemein

Sie können die Farbpalette ändern, mit der die Kamera die verschiedenen Temperaturen anzeigt. Eine andere Palette kann die Analyse eines Bildes erleichtern.

9.9.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Farbe*  aus. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
3. Wählen Sie aus der Symbolleiste eine neue Farbpalette aus.

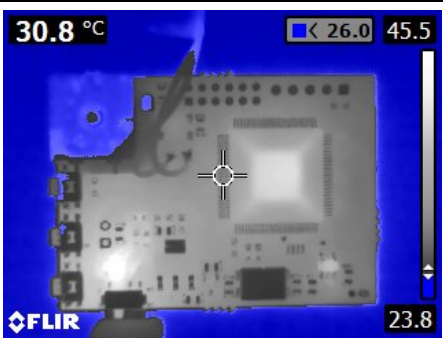
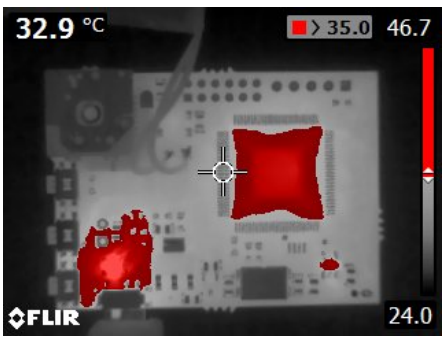
9.10 Arbeiten mit Farbalarmen

9.10.1 Allgemein

Mithilfe von Farbalarmen (Isothermen) können Auffälligkeiten in einem Infrarotbild leicht erkannt werden. Die Isotherme wendet eine Kontrastfarbe auf alle Pixel mit einer Temperatur oberhalb oder unterhalb der festgelegten Temperaturwerte an.




9.10.2 Bildbeispiele

In dieser Tabelle werden die unterschiedlichen Farbalarme (Isotherme) erklärt.

Farbalarm	Bild
Alarm Unterhalb	
Alarm Oberhalb	

9.10.3 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Farbe*  aus. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
3. Wählen Sie auf der Symbolleiste die Art des Alarms aus:
 - *Unterhalb Alarm* .
 - *Oberhalb Alarm* .
4. Drücken Sie auf die Mitte des Navigationstastenfelds. Die Grenztemperatur wird oben im Bildschirm angezeigt.
5. Um den Temperaturgrenzwert zu ändern, drücken Sie das Navigationstastenfeld nach oben/unten.

9.11 Ändern der Einstellung der Temperaturskala

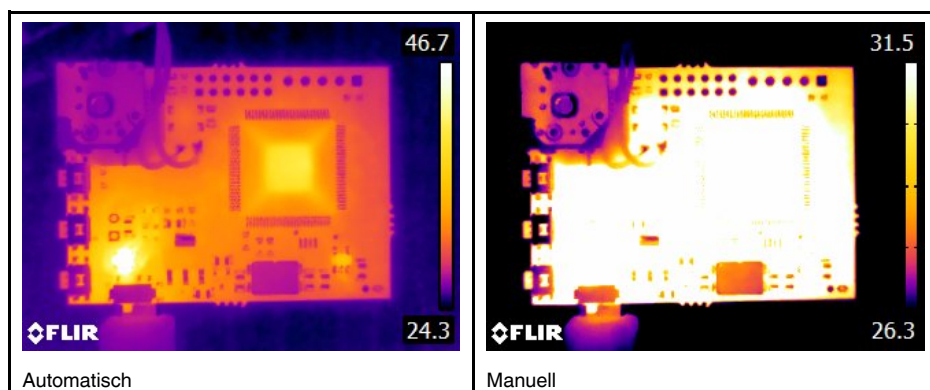
9.11.1 Allgemein

Abhängig vom Kameramodell bietet die Kamera in verschiedenen Modi für die Temperaturskala:

- Modus *Automatisch*: Kontrast und Helligkeit der Kamera werden kontinuierlich automatisch angepasst.
- *Manueller* Modus: In diesem Modus ist die manuelle Einstellung der Temperaturspanne und des Temperaturniveaus möglich.

9.11.2 Hinweise zur Verwendung des *manuellen* Modus

Sie sehen hier zwei Infrarotbilder einer Leiterplatte. Um die Analyse der Temperaturvariationen in der Komponente in der Ecke oben links zu erleichtern, wurden die Werte der Temperaturskala im rechten Bild so geändert, dass sie in etwa der Temperatur der Komponente entsprechen.



9.11.3 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Temperature scale* aus. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
3. Wählen Sie in der Symbolleiste einen der folgenden Modi aus:
 - *Automatisch*
 - *Manuell*
4. Gehen Sie wie folgt vor, um die Temperaturspanne und das Temperaturniveau im Modus *Manuell* zu ändern:
 - Drücken Sie das Navigationstastenfeld nach links oder rechts, um die maximale und/oder minimale Temperatur auszuwählen (hervorzuheben).
 - Drücken Sie das Navigationstastenfeld nach oben/unten, um den Wert der hervorgehobenen Temperatur zu ändern.

9.12 Festlegen des Emissionsgrads durch Auswahl einer Oberflächeneigenschaft

9.12.1 Allgemein


Um Temperaturen exakt messen zu können, muss die Kamera die Art der zu untersuchenden Oberfläche kennen. Sie können folgende Oberflächeneigenschaften auswählen:

- *Matt.*
- *Seidenmatt.*
- *Seidenglänzend.*

Weitere Informationen zum Emissionsgrad finden Sie im Abschnitt 15 *Thermografische Messtechniken*, Seite 43.

9.12.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Optionen*  aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
3. Wählen Sie im Dialogfeld *Messparameter* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
4. Wählen Sie im Dialogfeld *Emissionsgrad* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
5. Wählen Sie im Dialogfeld eine der folgenden Optionen aus:
 - *Matt*.
 - *Seidenmatt*.
 - *Seidenglänzend*.

9.13 Festlegen des Emissionsgrads durch Auswahl eines benutzerdefinierten Materials


9.13.1 Allgemein

Sie können ein benutzerdefiniertes Material aus einer Materialliste auswählen, anstatt für eine Oberflächeneigenschaft matt, seidenmatt oder halbgänzend anzugeben.

Weitere Informationen zum Emissionsgrad finden Sie im Abschnitt 15 *Thermografische Messtechniken*, Seite 43.

9.13.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Optionen*  aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
3. Wählen Sie im Dialogfeld *Messparameter* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
4. Wählen Sie im Dialogfeld *Emissionsgrad* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
5. Wählen Sie im Dialogfeld *Benutzerdefiniertes Material* aus. Daraufhin wird eine Liste von Materialien mit bekanntem Emissionsgrad angezeigt.
6. Wählen Sie in der Liste das Material aus.

9.14 Ändern des Emissionsgrads durch Auswahl eines benutzerdefinierten Werts

9.14.1 Allgemein

Um sehr genaue Messergebnisse zu erzielen, müssen Sie möglicherweise den Emissionsgrad festlegen anstatt eine Oberflächeneigenschaft oder ein benutzerdefiniertes Material auszuwählen. Sie müssen auch verstehen, wie Emissivität und Reflektivität Messungen beeinflussen, und nicht nur einfach eine Oberflächeneigenschaft auswählen.


Der Emissionsgrad gibt an, wie viel Strahlung von einem Objekt gegenüber der von ihm reflektierten Strahlung emittiert wird. Ein niedriger Wert gibt an, dass ein großer Teil reflektiert wird, und ein hoher Wert gibt an, dass ein geringer Teil reflektiert wird.

Polierter Edelstahl hat beispielsweise einen Emissionsgrad von 0,14, und ein strukturierter PVC-Fußboden hat in der Regel einen Emissionsgrad von 0,93.

Weitere Informationen zum Emissionsgrad finden Sie im Abschnitt 15 *Thermografische Messtechniken*, Seite 43.

9.14.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Optionen*  aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
3. Wählen Sie im Dialogfeld *Messparameter* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
4. Wählen Sie im Dialogfeld *Emissionsgrad* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
5. Wählen Sie im Dialogfeld die Option *Benutzerdefinierter Wert* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt, in dem Sie einen benutzerdefinierten Wert festlegen können.

9.15 Ändern der reflektierten scheinbaren Temperatur


9.15.1 Allgemein

Dieser Parameter dient als Ausgleich für die Strahlung, die vom Objekt reflektiert wird. Wenn der Emissionsgrad niedrig ist und sich die Objekttemperatur deutlich von der reflektierten Temperatur unterscheidet, muss die reflektierte scheinbare Temperatur unbedingt korrekt eingestellt und kompensiert werden.

Weitere Informationen zu reflektierten scheinbaren Temperaturen finden Sie unter 15 *Thermografische Messtechniken*, Seite 43.

9.15.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Optionen*  aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
3. Wählen Sie im Dialogfeld *Messparameter* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
4. Wählen Sie im Dialogfeld die Option *Reflektierte Temperatur* aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt, in dem Sie einen Wert festlegen können.

9.16 Inhomogenitätskorrektur (NUC) durchführen

9.16.1 Allgemein

Wenn die Wärmebildkamera *Kalibrieren...* anzeigt, führt Sie eine Aktion aus, die in der Thermografie "Inhomogenitätskorrektur" (Non-uniformity correction – NUC) genannt wird. Unter NUC versteht man *eine Bildkorrektur, die von der Kamerasoftware durchgeführt wird, um unterschiedliche Empfindlichkeiten von Detektorelementen und anderen optischen und geometrischen Störungen auszugleichen*². Weitere Informationen finden Sie in Abschnitt 17 *Informationen zur Kalibrierung*, Seite 54.

2. Definition gemäß Europäischer Norm EN 16714-3:2016, Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung — Teil 3: Begriffe.

Eine NUC wird automatisch durchgeführt, z. B. beim Starten der Kamera oder bei Änderungen in der Umgebungstemperatur.

Sie können eine NUC auch manuell durchführen. Dies bietet sich insbesondere dann an, wenn sie eine kritische Messung durchführen möchten, bei der zu möglichst wenig Bildstörungen kommen sollte.

9.16.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Um eine manuelle NUC durchzuführen, halten Sie die Archiv-Taste länger als 2 Sekunden gedrückt.

9.17 Ändern der Einstellungen

9.17.1 Allgemein

Sie können eine Reihe von Einstellungen für die Kamera ändern.

Das Menü *Einstellungen* umfasst die folgenden Optionen:

- *Messparameter.*
- *Geräteeinstellungen.*

9.17.1.1 Messparameter

- *Emissionsgrad*: Standardwert: 0,95.
- *Reflektierte Temperatur*: Standardwert: 20 °C.
- *Distanz*: Standardwert: 1,0 m.

Hinweis Bei normalem Betrieb ist es in der Regel nicht notwendig, die Standardparameter für die Messung zu ändern. Für sehr genaue Messungen müssen Sie ggf. die Werte für den *Emissionsgrad* und/oder die *Reflektierte Temperatur* einstellen. Weitere Informationen hierzu finden Sie in den Abschnitten 9.12 *Festlegen des Emissionsgrads durch Auswahl einer Oberflächeneigenschaft*, 9.13 *Festlegen des Emissionsgrads durch Auswahl eines benutzerdefinierten Materials*, 9.14 *Ändern des Emissionsgrads durch Auswahl eines benutzerdefinierten Werts* und 9.15 *Ändern der reflektierten scheinbaren Temperatur*.


9.17.1.2 Geräteeinstellungen

- *Sprache, Uhrzeit und Einheiten*:
 - *Sprache.*
 - *Temperatureinheit.*
 - *Entfernungseinheit.*
 - *Datum & Uhrzeit.*
 - *Datums- & Zeitformat.*
- *Zurücksetzen*:
 - *In den standardmäß. Kameramodus zurücks.*
 - *Geräteeinst. auf werkss. Voreinst. zurücksetzen.*
 - *Alle Bilder löschen.*
- *Autom. Abschaltung.*
- *Display-Helligkeit.*
- *Camera information*: Über diesen Menübefehl werden verschiedene Informationen zur Kamera angezeigt, bspw. Modell, Seriennummer und Softwareversion.

9.17.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Drücken Sie in der Mitte der Navigationstaste. Daraufhin wird eine Symbolleiste angezeigt.

-
2. Wählen Sie in der Symbolleiste *Optionen*  aus. Daraufhin wird ein Dialogfeld angezeigt.
 3. Wählen Sie im Dialogfeld die Einstellung aus, die Sie ändern möchten, und zeigen Sie über die Navigationstaste zusätzliche Dialogfelder an.

9.18 Aktualisieren der Kamera

9.18.1 Allgemein

Um die Vorteile unserer neuesten Kamera-Firmware nutzen zu können, ist es wichtig, dass sich Ihre Kamera auf dem aktuellen Stand befindet. Sie aktualisieren Ihre Kamera über FLIR Tools/Tools+.

9.18.2 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Starten Sie FLIR Tools/Tools+.
2. Starten Sie die Kamera.
3. Schließen Sie die Kamera über das USB-Kabel an den Computer an.
4. Klicken Sie im Menü *Hilfe* in FLIR Tools/Tools+ auf *Auf Aktualisierungen überprüfen*.
5. Befolgen Sie die Anweisungen auf dem Bildschirm.

10.1 Online-Bildfeldrechner (Field-of-View, FOV)

Gehen Sie zu unserer Website <http://support.flir.com>, und klicken Sie auf das Foto der Kameraserie, um Bildfeldtabellen für alle Objektiv-Kamera-Kombinationen anzuzeigen.

10.2 Hinweis zu technischen Daten

FLIR Systems behält sich das Recht vor, Spezifikationen ohne Vorankündigung zu ändern. Aktuelle Änderungen finden Sie unter <http://support.flir.com>.

10.3 Hinweis zu maßgeblichen Versionen

Die englische Ausgabe ist die maßgebliche Version dieser Veröffentlichung. Bei Abweichungen aufgrund von Übersetzungsfehlern gilt der englische Text.

Alle nachträglichen Änderungen werden zuerst in die englische Ausgabe eingearbeitet.

10.4 FLIR ETS320

P/N: 63950-1001

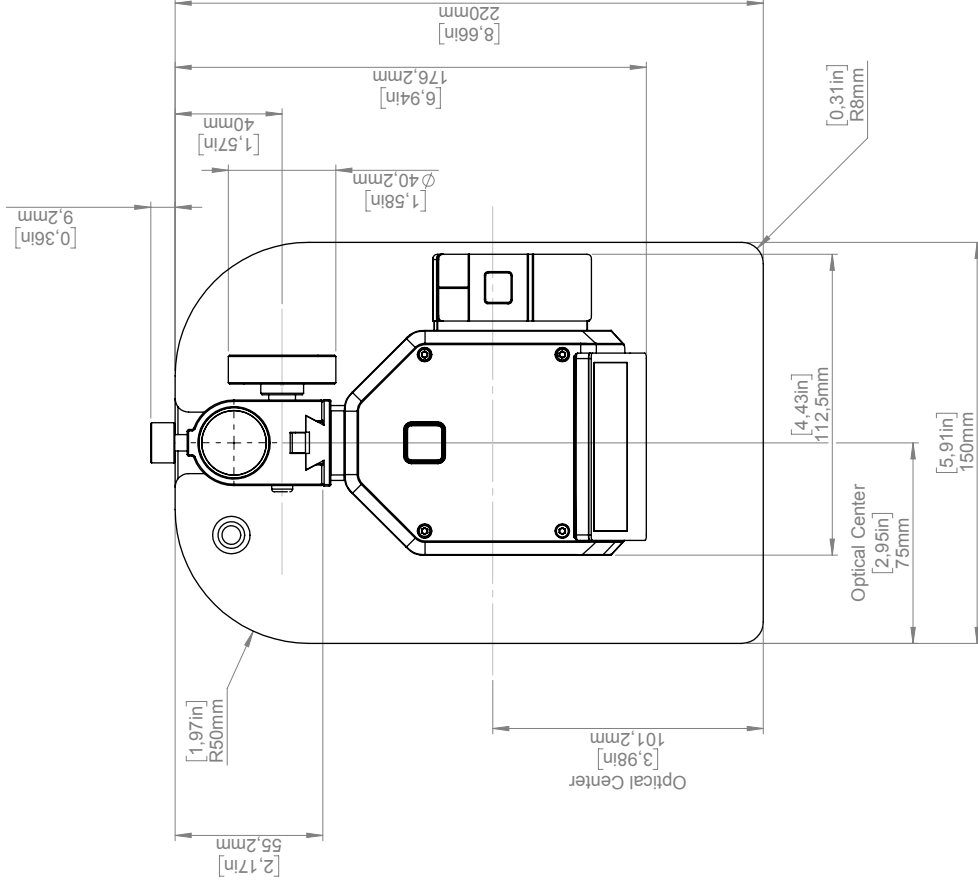
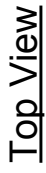
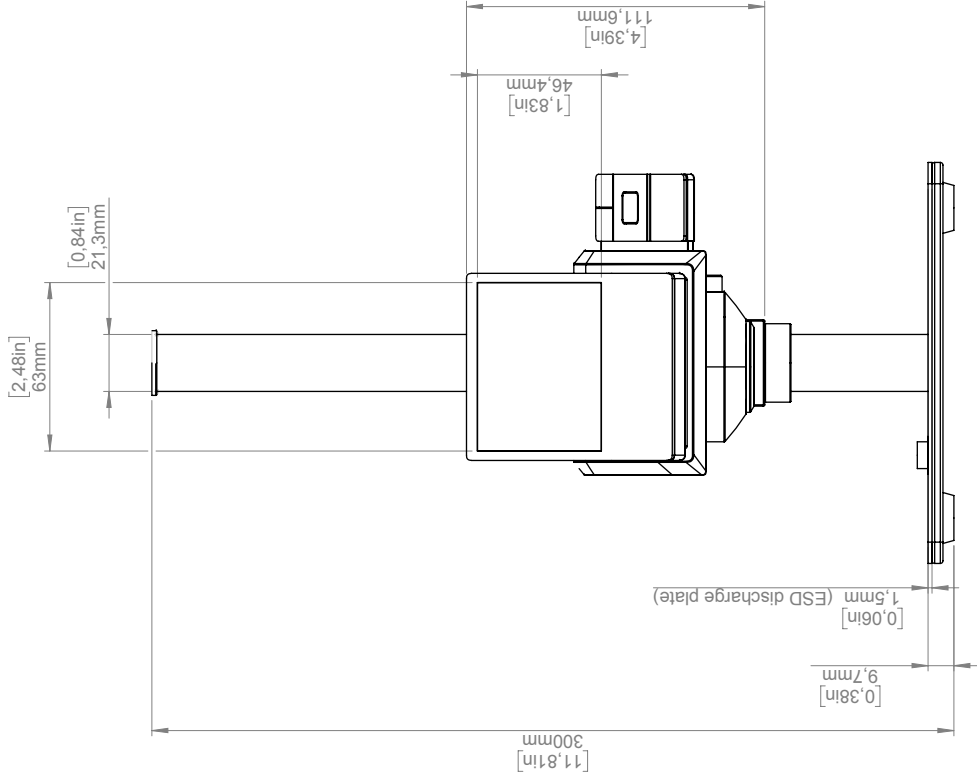
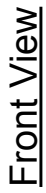
Rev.: 42969

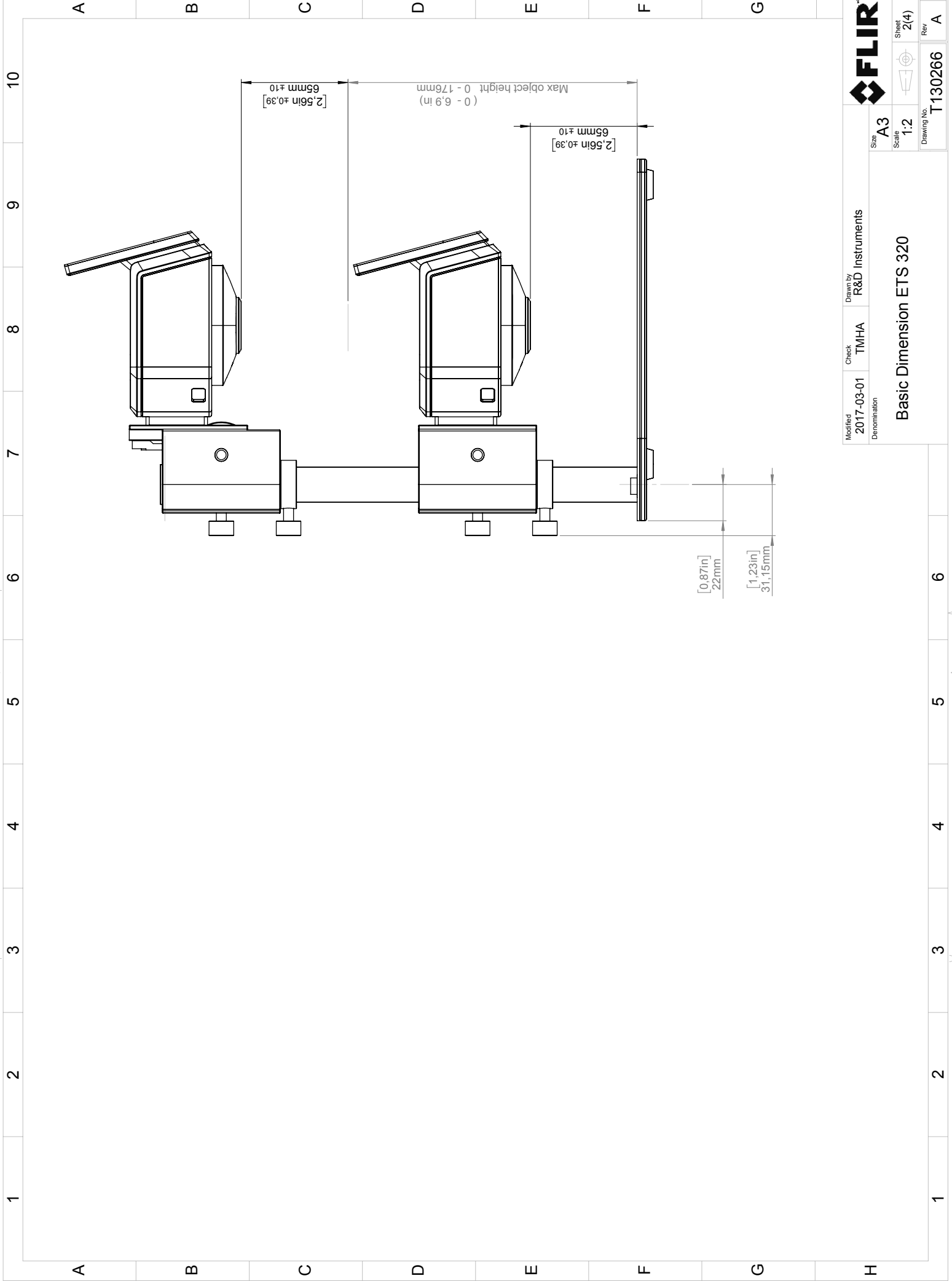
Allgemeine Beschreibung	
<p>Die FLIR ETS320 ist FLIRs erste elektronische Prüftischkamera, welche für die schnelle Temperaturkontrolle von Leiterplatten und elektronischen Bauteilen entwickelt wurde. Die FLIR ETS320 besitzt eine Messgenauigkeit von $\pm 3^\circ\text{C}$ und ist so empfindlich, dass sie selbst äußerst geringe Temperaturunterschiede auflösen kann. Hotspots und mögliche Fehlerstellen lassen sich auf diese Weise schnell finden. Der Infrarotdetektor mit 320×240 Bildpunkten bietet mehr als 76.000 Temperaturmesspunkte und stellt so alte Messwerkzeuge weit in den Schatten. Speziell für die Anforderungen von Tischgerätea- rbeiten entwickelt kann die batteriebetriebene FLIR ETS 320 zur sofortigen Analyse und Weitergabe von thermischen Daten mit Ihrem PC verbunden werden.</p>	
<p>Vorzüge:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verkürzte Testzeit: Hotspots, Temperaturgradienten und mögliche Fehlerstellen schnell finden. • Bessere Produktgestaltung: Genau wissen, wann und wo Ventilatoren und Kühlkörper hinzugefügt werden müssen; sicherstellen, dass die Produkte die spezifizierte maximale Lebensdauer hindurch funktionieren. • Geringere Kosten: schnellere Prototypenstellung und kürzere Produktentwicklungszyklen. • Optimierte Laborzeit: Batteriebetrieben und automatisch; bietet Messung und Analyse komplett in der Kamera. 	
<p>Wichtige Funktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • >76.000 berührungsfreie Temperaturmesspunkte mit nur einem Knopfdruck. • Detektor mit 320×240 Bildpunkten für gestochen scharfe Wärmebilder. • Temperaturmessung über die Zeit mit FLIR Tools+. • Messung von Kleinteilen, bis zu $170 \mu\text{m}$ pro Pixel. • Das Objektiv bietet eine 45-Grad-Ansicht (thermisch) des Messobjekts für eine schnelle Detektion von Hotspots. • Erfassung des radiometrischen Bildmaterials im standardmäßigen JPEG-Format für eine noch unkompliziertere Weitergabe. • Die Genauigkeit von $\pm 3\%$ fördert die Qualitätssicherung und Werkabnahme von Leiterplatten. • Schnelle Montage auf dem mitgelieferten Stativ für sofortigen Einsatz. • Das gestochen scharfe 3-Zoll-LCD-Display bietet thermische Informationen in Echtzeit. • Erstklassige Software für erweiterte Messkorrekturen/-funktionen. 	
Bildaufzeichnung und optische Daten	
IR-Auflösung	320×240 Pixel
Wärmeempfindlichkeit/NETD	$<0,06^\circ\text{C}/<60 \text{ mK}$
Bildfeld (FOV, Field of View)	$45^\circ \times 34^\circ$
Fester Fokusabstand	$70 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$
Geometrische Auflösung (IFOV)	$2,6 \text{ mrad}$
Blendenzahl	1,5
Bildfrequenz	9 Hz
Detektordaten	
Detektortyp	Focal-Plane-Array (FPA), ungekühlter Mikrobolometer
Spektralbereich	$7,5\text{--}13 \mu\text{m}$
Bilddarstellung	
Display	3,0-Zoll-Farb-LCD mit 320×240 Pixeln
Bildanpassung	Automatisch/manuell
Messung	
Temperaturbereich für Messobjekt	-20°C bis $+250^\circ\text{C}$
Genauigkeit	$\pm 3^\circ\text{C}$ oder $\pm 3\%$ des Messwerts, (der jeweils größere Wert), für Umgebungstemperaturen von 10°C bis 35°C und Objekttemperatur über $+0^\circ\text{C}$

Messanalyse	
Messpunkt	Zentraler Messpunkt
Bereich	Rechteck mit Maximum/Minimum
Einstellbarer Emissionsgrad	Zwischen 0,1 und 1,0 einstellbar
Emissionsgradtabelle	Emissionsgradtabelle für vordefinierte Materialien
Korrektur der reflektierten scheinbaren Temperatur	Automatisch, basierend auf Eingabe für reflektierte Temperatur
Einrichtung	
Farbpaletten	Schwarzweiß, Eisen und Regenbogen
Einrichtungsbefehle	Lokale Anpassung von Einheiten, Sprache, Datums- und Uhrzeitformaten
Videostreaming	
Streaming radiometrischer Infrarotvideos	Volldynamisch über USB auf einen PC (FLIR Tools/Tools+)
Streaming nicht radiometrischer Infrarotvideos	Unkomprimiertes eingefärbtes Video über USB
Bildspeicherung	
Dateiformate	Standard-JPEG, 14-Bit-Messdaten enthalten
Schnittstellen für Datenübertragung	
Schnittstellen	USB Micro: Datenübertragung zu und von PC- und Mac-Geräten
Stromversorgung	
Akkutyp	Lithium-Ionen-Akku
Akkuspannung	3,7 V
Akkubetriebsdauer	Circa 4 Stunden bei 25°C Umgebungstemperatur und typischer Verwendung
Ladesystem	Akku wird innerhalb der Kameraeinheit geladen
Ladedauer	2,5 Stunden bis zu einer Kapazität von 90 %
Energiesparoptionen	Automatisches Abschalten
Wechselstrombetrieb	AC-Adapter, 90–260 V AC Eingangsspannung, 5 V DC Ausgangsspannung an Kamera
Umgebungsbedingungen	
Betriebstemperaturbereich	10–40°C
Lagertemperaturbereich	–40 bis +70°C
Luftfeuchtigkeit (Betrieb und Lagerung)	IEC 60068-2-30/24 h 95 % relative Luftfeuchtigkeit
Gehäuseschutzart	IP 40 (IEC 60529)
Richtlinien und Verordnungen	
Richtlinien und Verordnungen	<ul style="list-style-type: none"> • Batterie-Richtlinie 2006/66/EG • EMV-Richtlinie 2014/30/EU • FCC 47 CFR Part 15 Class B Subpart B • REACH-Verordnung EG 1907/2006 • RoHS2-Richtlinie 2011/65/EU • WEEE-Richtlinie 2012/19/EU

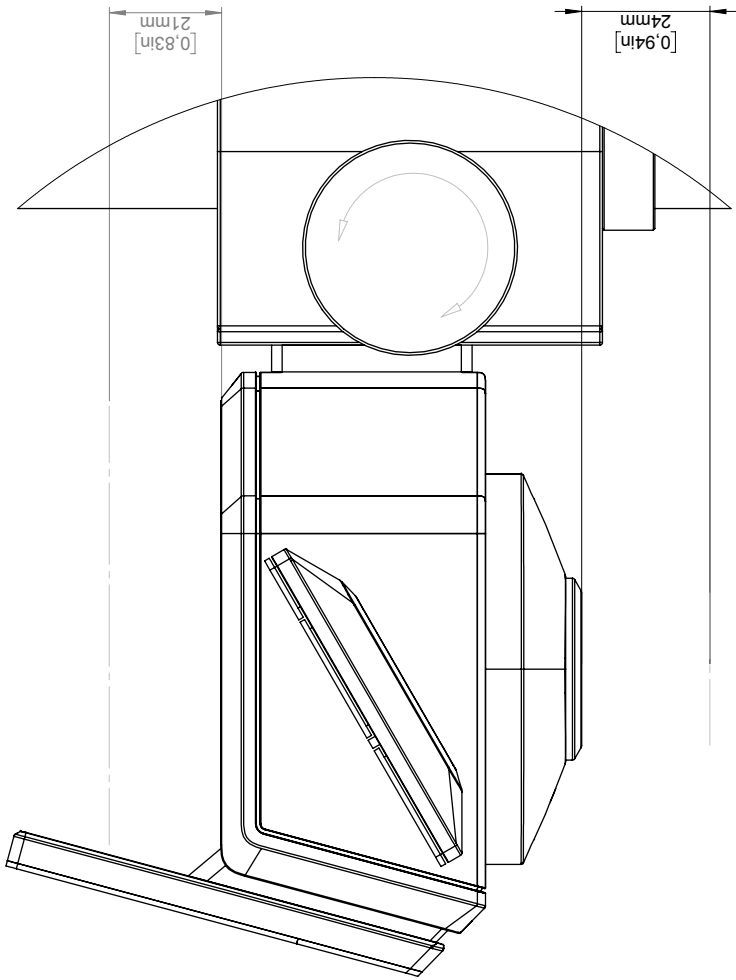
Physische Daten	
Systemgewicht einschließlich Akku	1,8 kg
Abmessungen des Systems (L × B × H)	220 mm × 150 mm × 300 mm
Farbe	Schwarzweiß
Versandinformationen	
Verpackungstyp	Karton
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • FLIR Tools+ • Gedruckte Dokumentation • Stromversorgung • USB-Kabel • Wärmebildkamera
Verpackungsgewicht	2,9 kg
Verpackung, Abmessungen(L × B × H)	290 mm × 170 mm × 378 mm
EAN-13	4743254002913
UPC-12	845188014186
Herkunftsland	Entwickelt und konstruiert von FLIR Systems, Schweden. Montiert in Taiwan.

[Siehe folgende Seite]





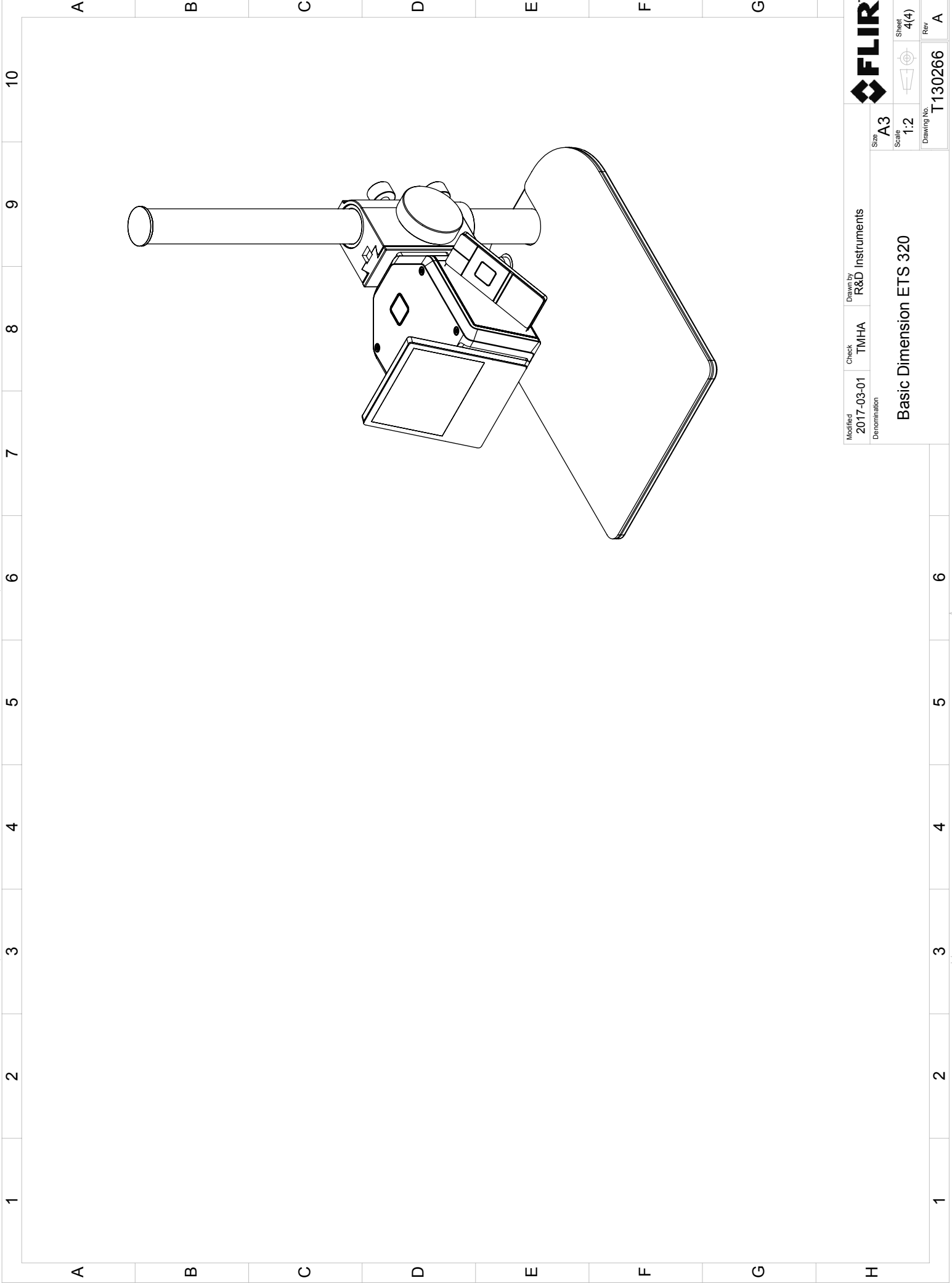
<div>FLIR</div>	<div>Size</div> <div>A3</div>	<div>Scale</div> <div>1:2</div>	<div>Sheet</div> <div>2(4)</div>	<div>Drawing No.</div> <div>T130266</div>	<div>Rev</div> <div>A</div>	
Modified	2017-03-01	Check	TMHA	<div>Drawn by</div> <div>R&D Instruments</div>		
Denomination						
Basic Dimension ETS 320						



DETAIL A
SCALE 1 : 1

Total adjustment length (locked): 45mm (1.77 in)

Modified 2017-03-01 Denomination		Check TMHA	Drawn by R&D Instruments		
Basic Dimension ETS 320				Size A3	Sheet 3(4)
				Scale 1:2	
				Drawing No. T130266	Rev A



© 2016, FLIR Systems, Inc. All rights reserved worldwide. No part of this drawing may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission from FLIR Systems, Inc. Specifications subject to change without further notice. Dimensional data is based on nominal values. Products may be subject to regional market considerations. License procedures may apply. Product may be subject to US Export Regulations. Please refer to exportquestions@flir.com with any questions. Diversion contrary to US law is prohibited.

Modified 2017-03-01		Check TMHA	Drawn by R&D Instruments	FLIR	
Denomination		Size A3		Sheet 4(4)	
Basic Dimension ETS 320		Scale 1:2		Drawing No. T130266	
				Rev A	

12.1 Kameragehäuse, Kabel und weitere Teile

12.1.1 Flüssigkeiten

Verwenden Sie eine der folgenden Flüssigkeiten:

- Warmes Wasser
- Milde Reinigungslösung

12.1.2 Ausrüstung

Ein weiches Tuch

12.1.3 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Tränken Sie das Tuch in der Flüssigkeit.
2. Wringen Sie das Tuch aus, um überschüssige Flüssigkeit zu entfernen.
3. Reinigen Sie das Teil mit dem Tuch.



VORSICHT

Verwenden Sie niemals Verdünnungsmittel oder ähnliche Flüssigkeiten für Kamera, Kabel oder Zubehör. Dies könnte zu Beschädigungen führen.

12.2 Infrarotobjektiv

12.2.1 Flüssigkeiten

Verwenden Sie eine der folgenden Flüssigkeiten:

- Eine handelsübliche Reinigungslösung für Objektive mit über 30%igem Isopropylalkohol
- 96 % Ethylalkohol (C_2H_5OH).

12.2.2 Ausrüstung

Watte



VORSICHT

Wenn Sie ein Objektivreinigungstuch benutzen, muss dieses trocken sein. Verwenden Sie ein Objektivreinigungstuch nicht mit den Flüssigkeiten aus Abschnitt 12.2.1 oben. Diese Flüssigkeiten können dazu führen, dass Material vom Reinigungstuch gelöst wird. Das Material kann unerwünschte Auswirkungen auf die Oberfläche des Objektivs haben.

12.2.3 Vorgehensweise

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Tränken Sie die Watte in der Flüssigkeit.
2. Drücken Sie die Watte aus, um überschüssige Flüssigkeit zu entfernen.
3. Reinigen Sie das Objektiv nur einmal, und werfen Sie die Watte weg.



WARNUNG

Lesen Sie unbedingt alle entsprechenden MSDS (Material Safety Data Sheets, Sicherheitsdatenblätter) und Warnhinweise auf den Behältern durch, bevor Sie eine Flüssigkeit verwenden: Flüssigkeiten können gefährlich sein.

**VORSICHT**

- Gehen Sie bei der Reinigung des Infrarotobjektivs behutsam vor. Das Objektiv ist mittels einer Beschichtung entspiegelt, die sehr empfindlich ist.
- Reinigen Sie das Infrarotobjektiv sehr vorsichtig, da andernfalls die Entspiegelung Schaden nehmen könnte.

1978 gegründet, hat FLIR Systems auf dem Gebiet der Hochleistungs-Infrarotbildsysteme Pionierarbeit geleistet und ist weltweit führend bei Entwicklung, Herstellung und Vertrieb von Wärmebildsystemen für vielfältige Anwendungsbereiche in Handel und Industrie sowie für den Regierungssektor. Heute umfasst FLIR Systems fünf große Unternehmen, die seit 1958 herausragende Erfolge in der Infrarottechnologie verzeichnen: die schwedische AGEMA Infrared Systems (vormals AGA Infrared Systems), die drei US-amerikanischen Unternehmen Indigo Systems, FSI und Inframetrics sowie das französische Unternehmen Cedip.

Seit 2007 hat FLIR Systems mehrere Unternehmen aus dem Bereich Sensortechnologie akquiriert:

- Exttech Instruments (2007)
- Ifara Tecnologías (2008)
- Salvador Imaging (2009)
- OmniTech Partners (2009)
- Directed Perception (2009)
- Raymarine (2010)
- ICx Technologies (2010)
- TackTick Marine Digital Instruments (2011)
- Aerius Photonics (2011)
- Lorex Technology (2012)
- Traficon (2012)
- MARSS (2013)
- DigitalOptics Mikrooptikgeschäft (2013)
- DVTEL (2015)
- Point Grey Research (2016)
- Prox Dynamics (2016)

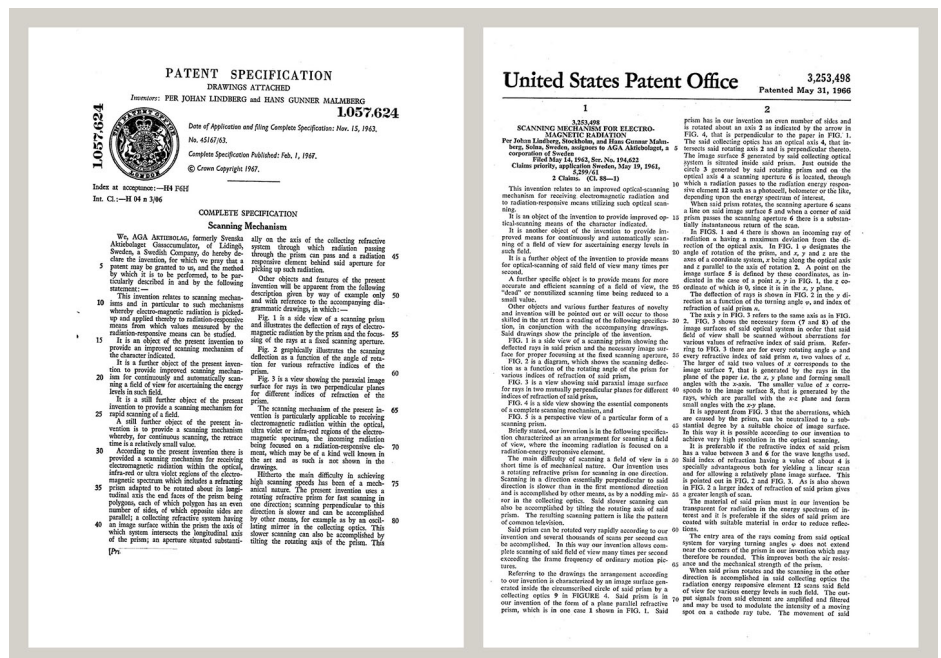


Abbildung 13.1 Patentschriften aus den frühen 1960er Jahren

FLIR Systems besitzt drei Produktionsstätten in den USA (Portland, Boston und Santa Barbara) und eine in Schweden (Stockholm). Seit dem Jahr 2007 gibt es einen weiteren Produktionsstandort in Tallinn in Estland. Niederlassungen mit Direktvertrieb in Belgien, Brasilien, China, Frankreich, Deutschland, Großbritannien, Hongkong, Italien, Japan, Korea, Schweden und den USA sowie ein weltweites Netzwerk aus Vertretern und Vertriebshändlern sind Ansprechpartner für unsere Kunden aus aller Welt.

FLIR Systems übernimmt eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung neuer Infrarottechnologien. Wir greifen der Marktnachfrage vor, indem wir vorhandene Kameras verbessern und neue entwickeln. Das Unternehmen hat bei Produktdesign und Entwicklung stets eine führende Rolle eingenommen, wie beispielsweise bei der Markteinführung der ersten batteriebetriebenen tragbaren Kamera für Industrieüberwachungen und der ersten Infrarotkamera ohne Kühlsystem.



Abbildung 13.2 1969: Modell 661 der Thermovision. Die Kamera wog ca. 25 kg, das Oszilloskop 20 kg und das Stativ 15 kg. Für den Betrieb wurden darüber hinaus ein 220-Volt-Generator und ein 10-Liter-Gefäß mit flüssigem Stickstoff benötigt. Links neben dem Oszilloskop ist der Polaroid-Aufsatz (6 kg) zu erkennen.



Abbildung 13.3 2015: FLIR One, Zubehör für iPhone und Android-Mobiltelefone. Gewicht: 90 g.

FLIR Systems stellt alle zentralen mechanischen und elektronischen Komponenten der Kamerasysteme selbst her. Von Design und Herstellung der Detektoren über Objektive und Systemelektronik bis hin zu Funktionstests und Kalibrierung werden alle Produktionsschritte von unseren Ingenieuren durchgeführt und überwacht. Die genauen Kenntnisse dieses Fachpersonals gewährleisten die Genauigkeit und Zuverlässigkeit aller zentraler Komponenten, aus denen Ihre Infrarotkamera besteht.

13.1 Mehr als nur eine Infrarotkamera

Wir von FLIR Systems haben erkannt, dass es nicht ausreicht, nur die besten Infrarotkameras herzustellen. Wir möchten allen Benutzern unserer Infrarotkameras ein produktiveres Arbeiten ermöglichen, indem wir leistungsfähige Kameras mit entsprechender Software kombinieren. Wir entwickeln Software, die genau auf die Bedürfnisse von F & E, vorbeugender Instandhaltung und Prozessüberwachung zugeschnitten ist. Ein Großteil der Software steht in mehreren Sprachen zur Verfügung.

Wir bieten für alle Infrarotkameras ein umfassendes Sortiment an Zubehörteilen, so dass Sie Ihre Ausrüstung auch an anspruchsvolle Einsätze anpassen können.

13.2 Weitere Informationen

Obwohl sich unsere Kameras durch hohe Benutzerfreundlichkeit auszeichnen, gehört zur Thermografie mehr als nur das Wissen, wie man eine Kamera bedient. Daher hat FLIR Systems das Infrared Training Center (ITC) gegründet, einen eigenständigen Geschäftsbereich, der zertifizierte Schulungen anbietet. Durch die Teilnahme an ITC-Kursen können Sie sich praxisorientiert weiterbilden.

Die Mitglieder des ITC unterstützen Sie auch bei allen Fragen und Problemen, die beim Umsetzen der Theorie in die Praxis auftreten können.

13.3 Support für Kunden

FLIR Systems bietet ein weltweites Service-Netzwerk, um den unterbrechungsfreien Betrieb Ihrer Kamera zu gewährleisten. Bei Problemen mit Ihrer Kamera verfügen die lokalen Service-Zentren über die entsprechende Ausstattung und Erfahrung, um die Probleme innerhalb kürzester Zeit zu lösen. Sie müssen Ihre Kamera also nicht rund um den Globus schicken oder mit einem Mitarbeiter sprechen, der nicht Ihre Sprache spricht.

Terminus	Definition
Absorption und Emission ³	Die Kapazität eines Objekts, einfallende Strahlungsenergie zu absorbieren, entspricht stets seiner Kapazität, die eigene Energie als Strahlung abzugeben.
Ausstrahlung	Die gesamte von der Oberfläche eines Objekts abgeleitete Strahlung, unabhängig von der eigentlichen Strahlungsquelle.
Einfallende Strahlung	Strahlung, die auf ein Objekt trifft und von dessen Umgebung ausgeht.
Emissionsgrad	Verhältnis zwischen der Energie, die von einem realen Körper abgestrahlt wird, und der Energie, die von einem Schwarzkörper mit derselben Temperatur und derselben Wellenlänge abgestrahlt wird. ⁴
Energieerhaltung ⁵	In einem geschlossenen System bleibt die Summe aller Energien stets konstant.
Farbpalette	Weist einzelnen Temperaturbereichen verschiedene Farben zu, um bestimmte Temperaturbereiche der scheinbaren Temperatur sichtbar zu machen. Je nach verwendeten Farben können Farbpaletten eine Darstellung mit hohem oder niedrigem Kontrast bieten.
Fehlerdiagnose	Die Untersuchung von Symptomen zur Ermittlung der Ursache von Störungen und Ausfällen. ⁶
Geometrische Auflösung	Die Fähigkeit einer Wärmebildkamera, kleine Objekte oder Details optisch aufzulösen und darzustellen.
Infrarotthermografie	Die Erfassung und Analyse thermischer Daten mithilfe berührungsloser Wärmebildgeräte.
Isotherme	Ersetzen bestimmte Farben einer Skala durch eine Kontrastfarbe. Markieren einen Bereich mit der gleichen scheinbaren Temperatur. ⁷
Konvektion	Eine Form der Wärmeübertragung, bei der ein Fluid durch Gravitation oder eine andere Kraft in Bewegung versetzt wird, wodurch Wärme von einem Ort zu einem anderen Ort übertragen wird.
Qualitative Thermografie	Vergleichende thermografische Untersuchung, bei der Anomalien durch die Analyse thermischer Muster ermittelt und lokalisiert werden. ⁸
Quantitative Thermografie	Thermografische Untersuchung, bei der das Ausmaß einer Anomalie durch Temperaturmessung genau ermittelt wird, damit Reparaturmaßnahmen entsprechend priorisiert werden können. ⁸
Reflektierte scheinbare Temperatur	Die scheinbare Temperatur der Umgebung, die vom Zielobjekt reflektiert wird und auf die Wärmebildkamera trifft. ⁴
Richtung der Wärmeübertragung ⁹	Ohne äußere Einwirkungen fließt Wärme stets vom wärmeren zum kälteren Objekt, wobei thermische Energie von einem Ort an einen anderen Ort übertragen wird. ¹⁰

3. Kirchhoffsches Strahlungsgesetz.

4. Basierend auf ISO 16714-3:2016 (en).

5. Erster Hauptsatz der Thermodynamik.

6. Basierend auf ISO 13372:2004 (en).

7. Basierend auf ISO 18434-1:2008 (en).

8. Basierend auf ISO 10878-2013 (en).

9. Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik.

10. Hier handelt es sich um eine Folge des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, der eigentliche Hauptsatz ist komplizierter.

Terminus	Definition
Scheinbare Temperatur	Nicht kompensierter Messwert eines Infrarotgeräts, der die gesamte auf das Gerät treffende Strahlungsenergie unabhängig von ihrer jeweiligen Quelle umfasst. ¹¹
Temperatur	Maß der durchschnittlichen kinetischen Energie der Moleküle und Atome, aus denen eine Substanz besteht.
Temperaturgradient	Graduelle Temperaturänderung mit zunehmender/abnehmender räumlicher Entfernung. ¹²
Thermische Energie	Summe der kinetischen Energie der Moleküle, aus denen ein Objekt besteht. ¹³
Thermische Feinabstimmung	Abstimmung der Farbskala auf die Temperaturbereiche des Zielobjekts, um den Kontrast der Darstellung zu erhöhen.
Wärme	Thermische Energie, die zwischen zwei Objekten (Systemen) aufgrund des zwischen ihnen bestehenden Temperaturunterschieds übertragen wird.
Wärmeleitung	Die direkte Übertragung thermischer Energie von einem Molekül zu einem anderen, die durch Kollisionen zwischen den Molekülen verursacht wird.
Wärmeübertragung durch Strahlung	Wärmeübertragung durch Emission und Absorption thermischer Strahlung.
Wärmeübertragungsrate ¹⁴	Die Wärmeübertragungsrate ist unter konstanten Zustandsbedingungen direkt proportional zur thermischen Leitfähigkeit des Objekts, zum Objektquerschnitt, durch den die Wärme fließt, und zum Temperaturunterschied zwischen den zwei Enden des Objekts. Sie ist umgekehrt proportional zur Länge oder Dicke des Objekts. ¹⁵

11. Basierend auf ISO 18434-1:2008 (en).

12. Basierend auf ISO 16714-3:2016 (en).

13. Die thermische Energie ist Teil der inneren Energie eines Objekts.

14. Fouriersches Gesetz.

15. Hier handelt es sich um die eindimensionale Version des fourierschen Gesetzes, die nur unter konstanten Zustandsbedingungen gilt.

15.1 Einleitung

Eine Infrarotkamera misst die von einem Objekt abgegebene Infrarotstrahlung und bildet sie ab. Da die Infrarotstrahlung eine Funktion der Oberflächentemperatur eines Objekts ist, kann die Kamera diese Temperatur berechnen und darstellen.

Die von der Kamera gemessene Strahlung hängt jedoch nicht nur von der Temperatur des Objekts, sondern auch vom Emissionsgrad ab. Auch aus der Umgebung des Objekts stammt Strahlung, die im Objekt reflektiert wird. Die Strahlung des Objekts und die reflektierte Strahlung werden auch von der Absorption der Atmosphäre beeinflusst.

Um Temperaturen messen zu können, müssen die Auswirkungen verschiedener Strahlungsquellen kompensiert werden. Dies wird von der Kamera automatisch durchgeführt. Der Kamera müssen jedoch die folgenden Objektparameter übermittelt werden:

- Der Emissionsgrad des Objekts
- Die reflektierte scheinbare Temperatur
- Der Abstand zwischen Objekt und Kamera
- Die relative Luftfeuchtigkeit
- Die Atmosphärentemperatur

15.2 Emissionsgrad

Der Objektparameter, bei dem eine richtige Einstellung am wichtigsten ist, ist der Emissionsgrad. Dieser Wert gibt an, wie viel Strahlung das Objekt im Vergleich zu einem völlig schwarzen Objekt abgibt.

In der Regel gelten für Objektwerkstoffe und Oberflächenbeschichtungen Emissionsgrade von etwa 0,1 bis 0,95. Der Emissionsgrad einer hochpolierten Oberfläche (Spiegel) liegt unter 0,1, während eine oxidierte oder gestrichene Oberfläche einen höheren Emissionsgrad aufweist. Ölfarbe hat unabhängig von der Farbe im sichtbaren Spektrum im Infrarotbereich einen Emissionsgrad von über 0,9. Der Emissionsgrad der menschlichen Haut liegt zwischen 0,97 und 0,98.

Nicht oxidierte Metalle stellen einen Extremfall für perfekte Opazität und hohe Reflexivität dar, die sich mit der Wellenlänge kaum verändert. Daher ist der Emissionsgrad von Metallen niedrig und steigt lediglich mit der Temperatur an. Bei Nichtmetallen ist der Emissionsgrad im Allgemeinen höher und nimmt mit sinkender Temperatur ab.

15.2.1 Ermitteln des Emissionsgrades eines Objekts

15.2.1.1 Schritt 1: Bestimmen der reflektierten Strahlungstemperatur

Die reflektierte scheinbare Temperatur können Sie mit einer der folgenden Methoden bestimmen:

15.2.1.1.1 Methode 1: Direkte Methode

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Suchen Sie nach möglichen Reflektionsquellen und beachten Sie hierbei Folgendes:
Einfallswinkel = Reflektionswinkel ($a = b$).

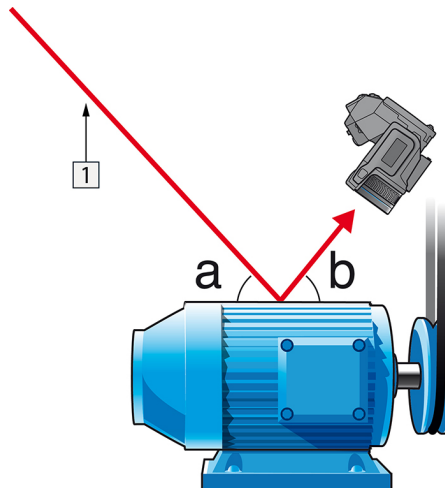


Abbildung 15.1 1 = Reflektionsquelle

2. Wenn es sich bei der Reflektionsquelle um einen Punkt handelt, verdecken Sie sie mit einem Stück Karton.

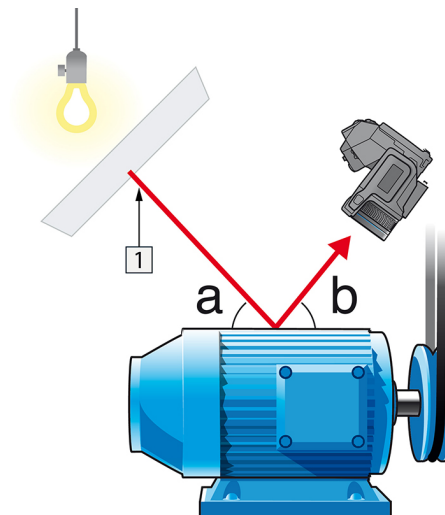


Abbildung 15.2 1 = Reflektionsquelle

3. Messen Sie die Intensität der von der Reflektionsquelle ausgehenden Strahlung (= scheinbare Temperatur) unter Verwendung der folgenden Einstellungen:

- Emissionsgrad: 1,0
- D_{obj} : 0

Sie können die Intensität der Strahlung mit einer der folgenden beiden Methoden ermitteln:

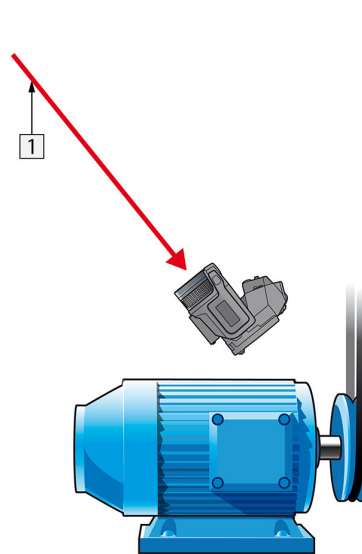


Abbildung 15.3 1 = Reflexionsquelle

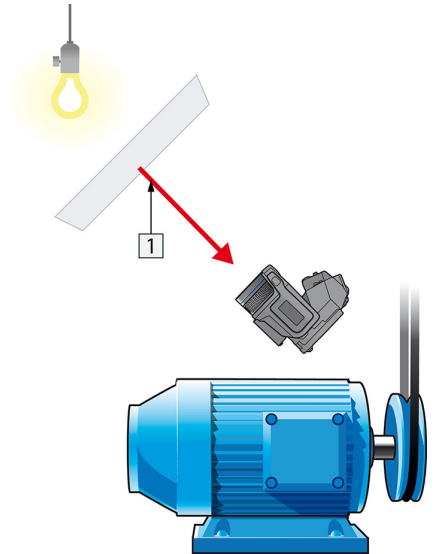


Abbildung 15.4 1 = Reflexionsquelle

Die reflektierte scheinbare Temperatur kann nicht mit einem Thermoelement gemessen werden, da ein Thermoelement die *Temperatur* misst, die scheinbare Temperatur jedoch eine *Strahlungsintensität* ist.

15.2.1.1.2 Methode 2: Reflektormethode

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Knüllen Sie ein großes Stück Aluminiumfolie zusammen.
2. Streichen Sie die Aluminiumfolie wieder glatt und befestigen Sie sie an einem Stück Karton mit derselben Größe.
3. Platzieren Sie den Karton vor dem Objekt, an dem Sie die Messung durchführen möchten. Die Seite, an der die Aluminiumfolie befestigt ist, muss zur Kamera zeigen.
4. Stellen Sie als Emissionsgrad 1,0 ein.

5. Messen Sie die scheinbare Temperatur der Aluminiumfolie und notieren Sie sie. Die Folie ist ein perfekter Reflektor, ihre scheinbare Temperatur entspricht der reflektierten scheinbaren Temperatur der Umgebung.

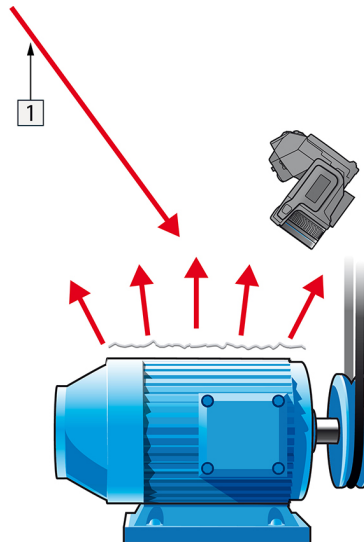


Abbildung 15.5 Messen der scheinbaren Temperatur der Aluminiumfolie.

15.2.1.2 Schritt 2: Ermitteln des Emissionsgrades

Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Wählen Sie die Stelle aus, an der das Messobjekt platziert werden soll.
2. Ermitteln Sie die reflektierte Strahlungstemperatur und stellen Sie sie ein. Gehen Sie hierbei wie oben angegeben vor.
3. Kleben Sie ein Stück Isolierband mit bekanntem, hohem Emissionsgrad auf das Objekt.
4. Erwärmen Sie das Objekt auf mindestens 20 K über Raumtemperatur. Die Erwärmung muss gleichmäßig erfolgen.
5. Stellen Sie den Fokus ein, verwenden Sie die automatische Abgleichfunktion der Kamera und erzeugen Sie ein Standbild.
6. Stellen Sie *Level* und *Span* ein, um optimale Bildhelligkeit und optimalen Kontrast zu erzielen.
7. Stellen Sie den Emissionsgrad des Isolierbandes ein (in der Regel 0,97).
8. Messen Sie die Temperatur des Bandes mit Hilfe einer der folgenden Messfunktionen:
 - *Isotherme* (Hiermit können Sie feststellen, wie hoch die Temperatur ist und wie gleichmäßig das Messobjekt erwärmt wurde)
 - *Punkt* (einfach)
 - *Rechteck Durchschn.* (besonders geeignet für Oberflächen mit variierendem Emissionsgrad).
9. Notieren Sie die Temperatur.
10. Verschieben Sie Ihre Messfunktion zur Objektoberfläche.
11. Ändern Sie die Emissionsgradeinstellung, bis Sie dieselbe Temperatur wie bei Ihrer letzten Messung ablesen.
12. Notieren Sie den Emissionsgrad.

Hinweis

- Vermeiden Sie eine erzwungene Konvektion.
- Suchen Sie nach einer Umgebung mit stabiler Temperatur, in der keine punktförmigen Reflektionen entstehen können.
- Verwenden Sie hochwertiges, nicht transparentes Band mit einem bekannten, hohen Emissionsgrad.
- Bei dieser Methode wird davon ausgegangen, dass die Temperatur des Bandes und die der Objektoberfläche gleich sind. Ist dies nicht der Fall, liefert Ihre Emissionsgradmessung falsche Ergebnisse.

15.3 Reflektierte scheinbare Temperatur

Dieser Parameter dient als Ausgleich für die Strahlung, die im Objekt reflektiert wird. Wenn der Emissionsgrad niedrig ist und die Objekttemperatur sich relativ stark von der reflektierten Temperatur unterscheidet, muss die reflektierte scheinbare Temperatur unbedingt korrekt eingestellt und kompensiert werden.

15.4 Abstand

Der Abstand ist die Entfernung zwischen dem Objekt und der Vorderseite des Kameraobjektivs. Dieser Parameter dient zur Kompensation folgender Gegebenheiten:

- Die vom Messobjekt abgegebene Strahlung wird von der Atmosphäre zwischen Objekt und Kamera absorbiert.
- Die Atmosphärenstrahlung an sich wird von der Kamera erkannt.

15.5 Relative Luftfeuchtigkeit

Die Kamera kann auch die Tatsache kompensieren, dass die Übertragung zudem von der relativen Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre abhängt. Dazu stellen Sie die relative Luftfeuchtigkeit auf den richtigen Wert ein. Für kurze Abstände und normale Luftfeuchtigkeit können Sie für die relative Luftfeuchtigkeit normalerweise den Standardwert von 50 % beibehalten.

15.6 Weitere Parameter

Darüber hinaus können Sie mit einigen Kameras und Analyseprogrammen von FLIR Systems folgende Parameter kompensieren:

- Atmosphärentemperatur, *d. h.* die Temperatur der Atmosphäre zwischen Kamera und Messobjekt.
- Temperatur externe Optik, *d. h.* die Temperatur der vor der Kamera verwendeten externen Objektive und Fenster.
- Transmissionsgrad der externen Optik – *d. h.* die Durchlässigkeit von externen Objektiven oder Fenstern, die vor der Kamera verwendet werden.

16.1 Einleitung

Wärmebildkameras haben sich in den letzten Jahren in vielen beruflichen Umfeldern verbreitet. Ihre Handhabung ist einfach, ein Wärmebild ist schnell gemacht. Dieses wird dann ebenso schnell einem Untersuchungsbericht, z.B. über die Untersuchung einer elektrischen Anlage oder eines Gebäudes, als Nachweis der durchgeführten Arbeit oder gefundener Fehler und Abweichungen beigelegt. Gerne wird dabei vergessen, dass ein Bild, das als Nachweis oder gar Beweis, etwa vor Gericht, dienen soll, bestimmten Anforderungen genügen muss. Mit einem schnellen Schnappschuss ist es nicht getan, doch was macht nun ein wirklich gutes Wärmebild aus?

16.2 Hintergrund

Während der praktischen Übungen in unseren Thermografie-Schulungen stellen wir immer wieder fest, wie schwer sich manche Teilnehmer tun, ihre Kamera optimal für die jeweilige Aufgabe einzustellen. Nicht jeder hat einen Hintergrund in z. B. der Amateurfotografie (näheres zu den Unterschieden zwischen Thermografie und Fotografie finden Sie im nächsten Abschnitt), doch um ein gutes und aussagekräftiges aufzunehmen, sind sowohl Hintergrundwissen als auch dessen praktischen Anwendung wichtig. Daher kann es kaum überraschen, dass viele Thermografen, insbesondere wenn sie unzureichend geschult sind, immer wieder Berichte mit völlig aussagefreien oder sogar irreführenden Wärmebildern produzieren, die letztendlich wertlos sind. Leider passiert das nicht nur in Unternehmen, die die Thermografie lediglich unterstützend einsetzen, sondern auch in solchen, die die Berichte als integralen Bestandteil eines Prozessüberwachungs- oder Wartungsprogramms nutzen. Dafür gibt es vor allem zwei Gründe: entweder wissen die Anwender nicht, wie ein gutes Wärmebild aussieht oder gemacht wird, oder es wird – aus welchen Gründen auch immer – nicht sorgfältig gearbeitet.

16.3 Ein gutes Bild

Thermografie und Fotografie sind eng miteinander verwandt. Daher ist es sinnvoll, sich anzusehen, worauf professionelle Fotografen Wert legen. Wie definieren sie ein gutes Bild? Drei Aspekte gelten als besonders wichtig:

1. Das Bild muss den Betrachter auf irgendeine Art und Weise berühren. Es muss also ungewöhnlich, auffällig oder einzigartig sein und das Interesse und, je nach Genre, auch die Gefühle des Betrachters wecken.
2. Komposition und Balance müssen harmonisieren. Die Details und der Inhalt des Bildes müssen ästhetisch zusammenspielen.
3. Die Lichtverhältnisse müssen interessant sein. So können etwa die Hintergrund- oder Seitenbeleuchtung dramatische Schatten werfen oder die Abendsonne oder andere Lichtquellen eine angenehme Stimmung verbreiten – was immer den vom Fotografen gewünschten Effekt unterstreicht.

In welchem Umfang können diese Aspekte auf die Thermografie übertragen werden?

Auch bei der Thermografie sollte das Motiv relevant sein. In anderen Worten: wir wollen ein Objekt oder seinen Zustand abbilden. Emotionen spielen hier keine Rolle – bei Wärmebildern geht es um Fakten (es sei denn sie sind Bestandteil eines künstlerischen Projekts!). Im Berufsalltag geht es darum, thermische Muster deutlich abzubilden und Temperaturmessungen zu ermöglichen.

Das Wärmebild muss außerdem über einen ausreichenden Detailgrad verfügen und das Objekt in einer passenden Größe und Position abbilden.

Sowohl das menschliche Auge als auch die Fotografie benötigen externe Lichtquellen, denn das, was wir mit unseren Augen sehen oder mit der Kameralinse einfangen, ist letztendlich reflektiertes Licht. In der Thermografie nimmt die Kamera sowohl abgegebene wie reflektierte Strahlung auf. Daher sind das Verhältnis und die Intensität der vom Objekt und von der Umgebung abgegebenen Infrarotstrahlung wichtig. Helligkeit und Kontrast des Bildes werden dann durch Änderungen des angezeigten Temperaturintervalls angepasst.

Der Vergleich zwischen Fotografie und Thermografie lässt sich mithilfe einiger Schlagworte in einer Tabelle zusammenfassen:

Fotografie	Thermografie
Interessantes Motiv	Das zu untersuchende Objekt
„Erzählt eine Geschichte“	„Präsentiert Fakten“
Ästhetisch anspruchsvoll	Klare Wärmemuster
Emotional	Objektiv
Bildausschnitt	Bildausschnitt
Fokus	Fokus
Belichtung	Emission und Reflexion
Helligkeit	Helligkeit
Kontrast	Kontrast

Wie in der Fotografie können die Bilder in der Thermografie auf unzählige unterschiedliche Arten bearbeitet werden – vorausgesetzt, sie wurden als radiometrische Bilder gespeichert. Allerdings können nicht alle Einstellungen geändert und nicht alle Bildfehler korrigiert werden.

16.4 Die drei unveränderbaren Faktoren – Die Grundlage eines guten Bildes

16.4.1 Fokus

Ein professionelles Wärmebild muss immer fokussiert und scharf und das Objekt oder Wärmemuster klar und deutlich erkennbar sein.

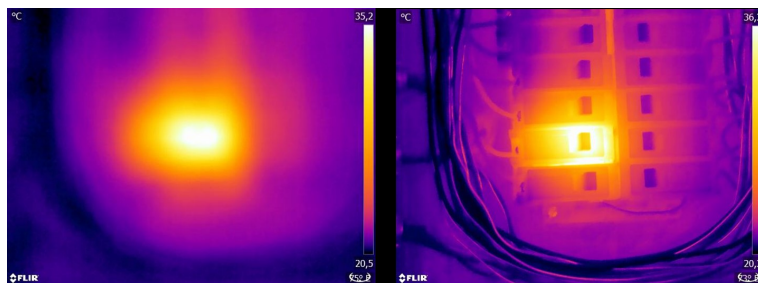


Abbildung 16.1 In einem schlecht fokussierten Bild (links) sind nur verschwommene „Wärmeflecken“ erkennbar. Im gut fokussierten Bild (rechts) ist klar erkennbar, welches Objekt untersucht wird und an welchen Stellen es warm ist.

Ein verschwommenes Bild wirkt nicht nur unprofessionell und erschwert die Identifizierung von Objekten und Mängeln (siehe Abbildung 16.1), sondern kann auch zu Messfehlern führen (siehe Abbildung 16.2) – das wiegt umso schwerer, je kleiner das Messobjekt ist. Selbst wenn alle anderen Parameter richtig eingestellt werden, sind Messwerte von einem schlecht fokussierten Wärmebild mit größter Wahrscheinlichkeit falsch.

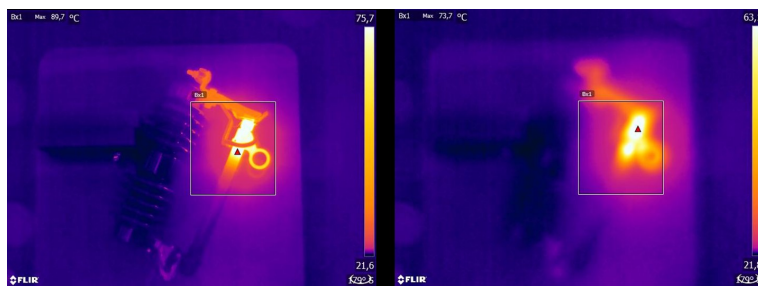


Abbildung 16.2 Gut fokussiertes Wärmebild (links) mit einer maximalen Temperatur $T_{\max} = 89,7\text{ °C}$ und schlecht fokussiertes Wärmebild (rechts) mit einer maximalen Temperatur $T_{\max} = 73,7\text{ °C}$.

Natürlich wirkt sich auch die Größe der Detektormatrix auf die Bildqualität aus. Bilder von Kameras mit kleineren Detektoren (d. h. mit weniger Pixeln) sind verschwommener oder „körniger“ und wirken schlecht fokussiert (siehe Abbildung 16.3). Es ist auch zu beachten, dass manche Kameras nicht fokussiert werden können. In diesem Fall bleibt nur, den Abstand zum Objekt zu verändern.

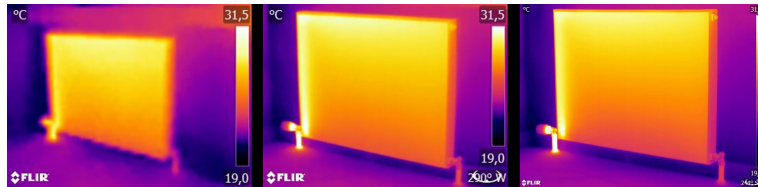


Abbildung 16.3 Derselbe Heizkörper aus derselben Entfernung und mit denselben Einstellungen, aufgenommen mit drei verschiedenen Wärmebildkameras: FLIR C2 (links), FLIR T440 (Mitte) und FLIR T640 (rechts).

16.4.2 Temperaturbereich

Bei handgehaltenen ungekühlten Mikrobolometerkameras wird die „Belichtung“ im Wesentlichen durch die Bildwiederholfrequenz bestimmt. Das heißt, es lässt sich nicht wählen, für wie lange (und damit wie viel) Strahlung auf den Detektor der Kamera trifft. Daher muss ein passender Temperaturbereich gewählt werden, der auf die Menge der einfallenden Strahlung abgestimmt ist. Ist der gewählte Temperaturbereich zu niedrig, ist das Bild übersättigt, da Objekte mit höheren Temperaturen mehr Infrarotstrahlung abgeben als kältere Objekte. Wenn der gewählte Temperaturbereich zu niedrig ist, ist das Bild „überbelichtet“, siehe Abbildung 16.4.



Abbildung 16.4 Bilder von einer FLIR T440 mit Temperaturbereichen von –20 bis +120 °C, (links), 0 bis +650 °C (Mitte) und +250 bis +1200 °C (rechts). Alle anderen Einstellungen sind unverändert.

Um ein Bild aufzunehmen oder eine Temperaturmessung vorzunehmen, sollte der niedrigstmögliche Temperaturbereich der Kamera gewählt werden. Der Temperaturbereich muss allerdings auch die höchste Temperatur in dem Bild umfassen (siehe Abbildung 16.5).

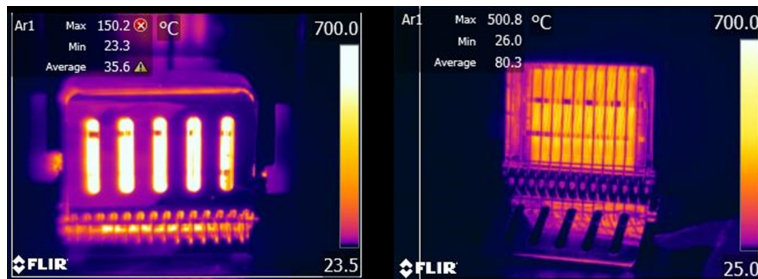


Abbildung 16.5 Ein Bild desselben Objekts, aufgenommen mit verschiedenen Temperaturbereichen: –20 bis 120 °C (links) und 0 bis 650 °C (rechts). Die Temperatur im linken Bild wird mit einem Warnsymbol angegeben (ein roter Kreis mit einem weißen Kreuz), da der gemessene Wert außerhalb des kalibrierten Bereichs liegt.

Je nach Kameramodell und verfügbaren Konfigurationen können über- und untersteuerte Bereiche in Kontrastfarben dargestellt werden.

16.4.3 Bildausschnitt und Entfernung zum Objekt

Der Ausleuchtung in der Fotografie entspricht in der Thermografie das Zusammenspiel zwischen der Strahlung vom Objekt und reflektierter Umgebungsstrahlung, wobei letztere stört und zumindest Punktreflexionen vermieden werden sollten. Daher muss eine geeignete Position gewählt werden, aus der das Bild aufgenommen wird. Das Untersuchungsobjekt sollte deutlich zu sehen und nicht durch andere Gegenstände verdeckt sein. Das mag selbstverständlich erscheinen, aber in Bereichen wie dem Bauwesen sieht man immer wieder Berichte, in denen die zu untersuchenden Leitungen oder Fenster durch Sofas, Pflanzen oder Vorhängen verdeckt sind. In Abbildung 16.6 sehen Sie ein Beispiel für eine solche Situation – die nur allzu häufig auftritt.

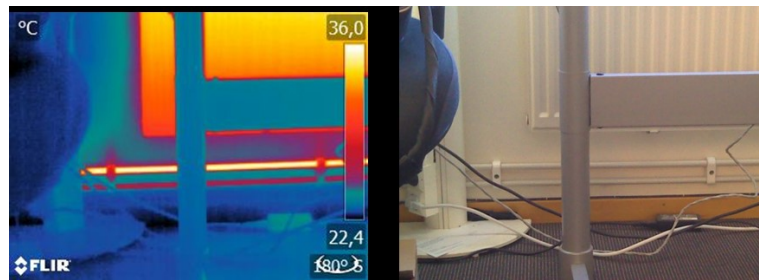


Abbildung 16.6 „Thermografische Inspektion“ eines unzugänglichen Objekts.

Es ist außerdem wichtig, dass das zu untersuchende Objekt oder der zu untersuchende Bereich das gesamte Wärmebild ausfüllt. Das gilt insbesondere bei Temperaturmessungen von kleinen Objekten. Das Messfleck-Werkzeug muss vollständig von dem Objekt ausgefüllt werden, um eine korrekte Temperaturmessung zu ermöglichen. Da das Bildfeld und damit die Messfleckgröße sowohl vom Abstand zum Objekt als auch der Kameraoptik definiert sind, muss in solchen Fällen entweder der Abstand zum Objekt verringert (näher herangehen!) oder ein Teleobjektiv verwendet werden (siehe Abbildung 16.7).

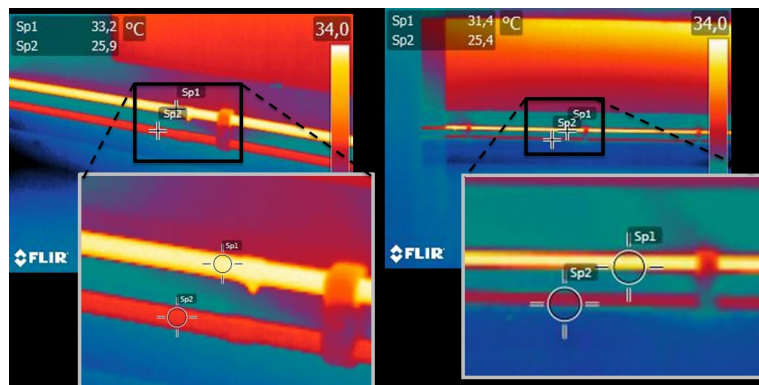


Abbildung 16.7 Zu- und Rücklaufleitungen von einem Heizkörper in einem Großraumbüro. Das linke Bild wurde aus einem Abstand von 1 m aufgenommen: Der Messfleck ist ausgefüllt und die Temperaturmessung ist korrekt. Das rechte Bild wurde aus einem Abstand von 3 m aufgenommen: Der Messfleck ist nicht vollständig ausgefüllt und die gemessenen Temperaturwerte sind nicht korrekt (31,4 und 24,4 °C statt 33,2 und 25,9 °C).

16.5 Die veränderbaren Faktoren – Bildoptimierung und Temperaturmessung

16.5.1 Level und Span

Nach der Auswahl des passenden Temperaturbereichs können Sie Kontrast und Helligkeit des Wärmebilds einstellen, indem Sie die angezeigten Temperaturintervalle verändern. Im manuellen Modus können die in der Palette verfügbaren Falschfarben den Temperaturen des zu untersuchenden Objekts zugewiesen werden. Dieser Vorgang wird häufig als „thermische Feinabstimmung“ bezeichnet. Im automatischen Modus wählt die

Kamera die kältesten und wärmsten scheinbaren Temperaturen des Bilds als Ober- und Untergrenze des aktuell angezeigten Temperaturintervalls.

Die gute d.h. problemspezifische Skalierung des Wärmebildes ist ein wesentlicher Schritt bei der Interpretation des Bildes und wird leider häufig unterschätzt (siehe Abbildung 16.8).

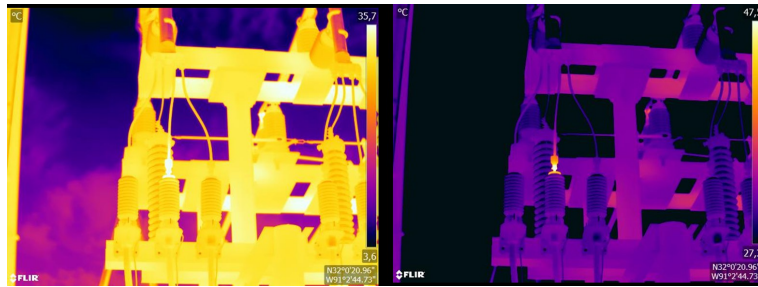


Abbildung 16.8 Ein Wärmebild im automatischen (links) und manuellen Modus (rechts). Das angepasste Temperaturintervall erhöht den Kontrast im Bild und lässt Fehlstellen deutlich werden.

16.5.2 Paletten und Isotherme

Paletten stellen Intervalle mit den gleichen scheinbaren Temperaturen in unterschiedlichen Farben dar. In anderen Worten: Sie übersetzen bestimmte Strahlungsintensitäten in spezifische Farben. Häufig verwendete Paletten sind die Grau-, Eisen- und die Regenbogenpalette (siehe Abbildung 16.9). Grautöne eignen sich besonders gut zur Auflösung kleiner geometrischer Details aber weniger gut zur Anzeige von kleinen Temperaturunterschieden. Die Eisenpalette ist sehr intuitiv und auch für Laien leicht verständlich. Sie stellt einen guten Kompromiss zwischen geometrischer und thermischer Auflösung dar. Die Regenbogenpalette ist bunter und wechselt zwischen hellen und dunklen Farben. Dadurch entsteht ein stärkerer Kontrast, was aber bei Objekten mit unterschiedlichen Oberflächen oder vielen verschiedenen Temperaturen zu einem sehr unruhigen Bild führen kann.

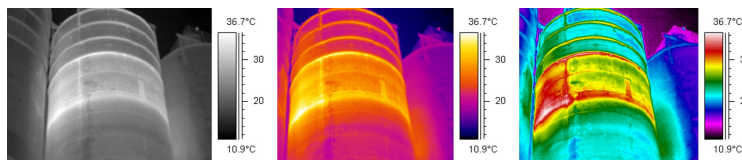


Abbildung 16.9 Graustufen-, Eisen- und Regenbogenpalette (von links nach rechts).

Die Isotherme ist eine Messfunktion, die ein bestimmtes Intervall gleicher scheinbarer Temperatur, bzw. Strahlungsintensität in einer von den Palettenfarben abweichender Farbe darstellt. So können Sie Wärmemuster in einem Bild hervorheben (siehe Abbildung 16.10).

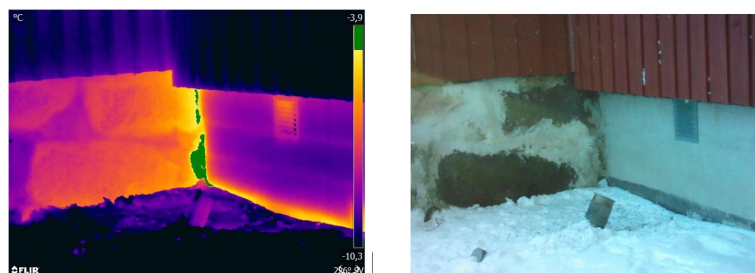


Abbildung 16.10 Grundmauer: Verbindung zwischen den alten (links im Bild) und neuen (rechts im Bild) Teilen des Gebäudes. Die Isotherme hebt einen Bereich mit Luftleckage hervor.

16.5.3 Objektparameter

Wir können also festhalten, dass das Aussehen eines Wärmebilds von der Technik des Thermografen und den gewählten Einstellungen abhängt und dass sich das Aussehen gespeicherter radiometrischer Bilder nachträglich verändern lässt. Es können aber auch die für die Berechnung von Temperaturen relevanten Einstellungen geändert werden. In der Praxis bedeutet das, dass der Emissionsgrad und die reflektierte scheinbare Temperatur nachträglich geändert werden können. Wenn Sie feststellen, dass diese Parameter falsch eingestellt waren oder Messpunkte hinzufügen möchten, werden die Temperaturmesswerte entsprechend der Änderungen (neu) berechnet (siehe Abbildung 16.11).

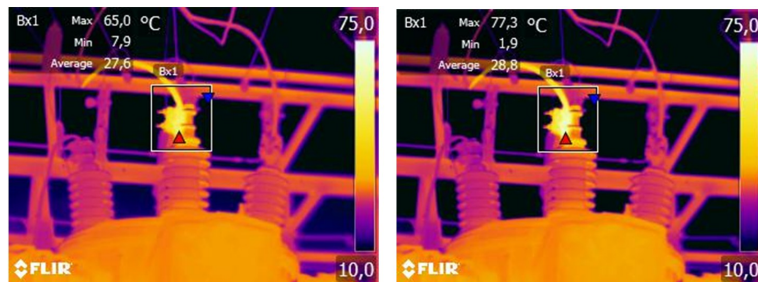


Abbildung 16.11 Änderung des Emissionsgrads bei einem gespeicherten Bild. Die maximale Temperatur beträgt 65,0 °C für $\epsilon = 0,95$ im linken Bild und 77,3 °C für $\epsilon = 0,7$ im rechten Bild.

16.6 Bilder aufnehmen – Tipps für die Praxis

Im Folgenden finden Sie einige Tipps für die Praxis. Bitte beachten Sie jedoch, dass es sich hierbei nicht um eine vollständige Verfahrensbeschreibung zur thermischen Bildgebung handelt.

- Vergewissern Sie sich, dass die Kamera radiometrische Bilder speichert.
- Wählen Sie eine geeignete Aufnahmeposition:
 - Beobachten Sie die Strahlungsverhältnisse.
 - Achten Sie darauf, dass das Objekt frei sichtbar ist und in angemessener Größe und Position abgebildet wird.
- Wenn Sie den Emissionsgrad ändern, achten Sie auf den Temperaturbereich und stellen Sie sicher, dass er passend bleibt.
- Fokussieren Sie.
- Verwenden Sie ein Stativ für eine Aufnahme ohne Verwackeln.
- Führen Sie eine thermische Bildoptimierung durch.
- Notieren Sie Objektbezeichnung, Objektgröße, tatsächliche Entfernung, Umgebungsbedingungen und Betriebsbedingungen.

Es ist einfacher, das Wärmebild zu bearbeiten, nachdem es gespeichert oder „eingefroren“ (als „Vorschau“) wurde. Und da Sie nicht mehr alles vor Ort erledigen müssen, können Sie Gefahrenbereiche sofort verlassen, nachdem Sie das Bild aufgenommen haben. Wenn möglich sollten Sie ein paar Bilder mehr machen, als Sie benötigen – am besten aus verschiedenen Winkeln. Zu viele Bilder sind besser als zu wenige! Sie können dann später in Ruhe das beste Bild auswählen.

16.7 Endergebnis

Um ein gutes Wärmebild aufzunehmen bedarf es keiner Zauberkünste. Solides Handwerk und sauber ausgeführte Arbeit reichen aus. Viele der hier genannten Punkte mögen trivial und wie ein „alter Hut“ erscheinen, insbesondere für Amateurfotografen. Natürlich ist es mit besserer Ausrüstung leichter, gute Bilder zu machen. So erlauben z. B. Kameras mit höherer Auflösung die schnelle Lokalisierung selbst der kleinsten Anomalien und ohne eine gute Fokussierung ist es immer schwierig, gute Bilder zu machen. Gleichzeitig ist eine hochwertige Kamera noch keine Garantie für ein gutes Bild. Die Grundlage guter, professioneller Arbeit sind Ausbildung und Schulung in Thermografie, der Wissensaustausch mit anderen Thermografen und natürlich praktische Erfahrung.

17.1 Einleitung

Die Kalibrierung einer Wärmebildkamera ist eine wichtige Voraussetzung für die Temperaturmessung. Durch die Kalibrierung wird das Verhältnis zwischen dem Eingangssignal und der physikalischen Größe definiert, die der Anwender messen möchte. Trotz seiner häufigen und verbreiteten Benutzung wird der Begriff „Kalibrierung“ häufig missverstanden und falsch angewendet. Regionale und nationale Unterschiede sowie Übersetzungsfehler führen zu weiteren Unklarheiten.

Eine mangelnde Begriffsklarheit kann die Kommunikation erschweren und zu Übersetzungsfehlern führen. Dies wiederum hat fehlerhafte Messwerte aufgrund von Missverständnissen und im schlimmsten Fall sogar Rechtsstreitigkeiten zur Folge.

17.2 Definition: Was genau ist Kalibrierung?

Das internationale Büro für Maß und Gewicht (kurz: IBMG¹⁶ definiert *Kalibrierung*¹⁷ folgendermaßen:

an operation that, under specified conditions, in a first step, establishes a relation between the quantity values with measurement uncertainties provided by measurement standards and corresponding indications with associated measurement uncertainties and, in a second step, uses this information to establish a relation for obtaining a measurement result from an indication.

Die Kalibrierung kann in verschiedenen Formaten dargestellt werden: als Aussage, Kalibrierfunktion, Kalibrierdiagramm¹⁸, Kalibrierkurve¹⁹ oder Kalibriertabelle.

Häufig wird nur der erste Schritt der oben erläuterten Definition als „Kalibrierung“ wahrgenommen und bezeichnet. Dies reicht jedoch nicht (immer) aus.

In Bezug auf den Kalibriervorgang bei einer Wärmebildkamera wird im ersten Schritt der Zusammenhang zwischen der abgegebenen Strahlung (zu messende Größe) und dem elektrischen Ausgangssignal (Ablesewert) ermittelt. Dieser erste Schritt des Kalibriervorgangs umfasst das Erzeugen einer homogenen (reproduzierbaren) Anzeige bei Positionierung der Kamera vor einer Strahlungsquelle.

Da die Temperatur der Referenz-Strahlungsquelle bekannt ist, wird im zweiten Schritt das erhaltene Ausgangssignal (Ablesewert) mit der Temperatur der Referenz-Strahlungsquelle (Messergebnis) verglichen. Der zweite Schritt umfasst auch die Driftmessung und Driftkompensation.

Streng genommen lässt sich die Kalibrierung einer Wärmebildkamera nur auf die Strahldichte ausdrücken. Wärmebildkameras reagieren auf Infrarotstrahlung: Daher sollte zunächst der Strahlungswert ermittelt und dann ein Zusammenhang zwischen Strahlung und Temperatur hergestellt werden. Bei einem Einsatz von Bolometerkameras außerhalb der Forschung und Entwicklung wird die Strahldichte nicht angegeben: Es wird nur die Temperaturangabe bereitgestellt.

17.3 Kalibrierung von Kameras bei FLIR Systems

Ohne Kalibrierung könnte eine Infrarotkamera weder Strahlung noch Temperatur messen. Bei FLIR Systems wird die Kalibrierung ungekühlter Mikrobolometerkameras mit Messfunktion sowohl bei der Herstellung als auch bei der Wartung durchgeführt.

16. <http://www.bipm.org/en/about-us/> [Abgerufen am 31.01.2017]

17. <http://jcgim.bipm.org/vim/en/2.39.html> [Abgerufen am 31.01.2017]

18. <http://jcgim.bipm.org/vim/en/4.30.html> [Abgerufen am 31.01.2017.]

19. <http://jcgim.bipm.org/vim/en/4.31.html> [Abgerufen am 31.01.2017.]

Gekühlte Kameras mit Photonendetektoren werden häufig mithilfe einer speziellen Software durch den Anwender kalibriert. Mithilfe dieser Software ließen sich theoretisch auch gängige tragbare und ungekühlte Wärmebildkameras vom Anwender kalibrieren. Da diese Software sich jedoch nicht zu Dokumentationszwecken eignet, haben sie viele Anwender schlicht und einfach nicht. Bei Geräten ohne Messfunktion, die nur zu Darstellungszwecken dienen, ist eine Temperaturkalibrierung nicht erforderlich. Dies spiegelt sich zum Teil bereits in der Kamera-Terminologie wieder, wenn von Infrarot- oder Wärmebildkameras im Gegensatz zu Thermografiekameras gesprochen wird, wobei letzteres sich Messgeräte bezieht.

Die Kalibrierungsdaten werden sowohl bei der Kalibrierung durch FLIR Systems als auch bei der Kalibrierung durch den Anwender in Kalibrierkurven gespeichert, die durch mathematische Formeln beschrieben werden. Da sich die Strahlungsintensität in Abhängigkeit von der Temperatur und von der Entfernung zwischen Gegenstand und Kamera ändert, werden verschiedene Kurven für die unterschiedlichen Temperaturbereiche und Wechselobjektive erstellt.

17.4 Unterschiede zwischen einer Kalibrierung durch den Anwender und einer direkt bei FLIR Systems durchgeführten Kalibrierung

Zunächst sind die bei FLIR Systems verwendeten Referenzquellen selbst kalibriert und rückführbar. Das bedeutet, dass an jedem Standort von FLIR Systems, an dem eine Kalibrierung durchgeführt wird, die Quellen durch eine unabhängige staatliche Einrichtung kontrolliert werden. Der Kalibrierungsnachweis der Kamera dient als entsprechende Bestätigung und Nachweis, dass nicht nur die Kalibrierung durch FLIR Systems durchgeführt wurde, sondern auch, dass dabei kalibrierte Referenzstrahler verwendet wurden. Einige Anwender haben ebenfalls Zugang zu akkreditierten Referenzquellen, die meisten jedoch nicht.

Außerdem gibt es technische Unterschiede. Bei einer Kalibrierung durch den Anwender wird das Ergebnis meist keiner Driftkompensation unterzogen. Das bedeutet, dass bei den Werten nicht berücksichtigt wird, dass sich die Ausgabewerte der Kamera auch aufgrund einer Schwankung der Innentemperatur der Kamera ändern können. Dementsprechend ist die Unsicherheit größer. Bei der Driftkompensation werden Daten verwendet, die in Klimakammern unter kontrollierten Bedingungen ermittelt wurden. Alle Kameras von FLIR Systems werden vor der ersten Lieferung an den Kunden sowie bei einer Neukalibrierung durch die FLIR Systems Serviceabteilung einer Driftkompensation unterzogen.

17.5 Kalibrierung, Überprüfung (Verifizieren) und Justieren

Es kommt häufig zu Verwechslungen zwischen *Kalibrierung* und *Überprüfung* oder *Justieren*. Die Kalibrierung ist tatsächlich eine Voraussetzung für eine *Überprüfung*, mit der sich bestätigen lässt, dass bestimmte Anforderungen erfüllt werden. Bei der Überprüfung wird ein objektiver Nachweis erbracht, dass ein bestimmter Gegenstand bestimmte Anforderungen erfüllt. Im Rahmen dieser Überprüfung werden bestimmte Temperaturen (ausgegebene Strahlung) von kalibrierten und rückführbaren Referenzquellen gemessen. Die Messergebnisse werden zusammen mit den Abweichungen in einer Tabelle festgehalten. Im Prüfzertifikat wird angegeben, dass diese Messergebnisse bestimmten Anforderungen entsprechen. Manchmal wird ein solches Prüfzertifikat von Unternehmen als „Kalibrierungszertifikat“ bezeichnet und vermarktet.

Eine ordnungsgemäße Prüfung, und dementsprechend auch eine Kalibrierung und/oder Neukalibrierung, lässt sich nur unter Einhaltung eines gültigen Prüfprotokolls erreichen. Das zulässige Verfahren beinhaltet mehr als das bloße Platzieren der Kamera vor einem Schwarzkörper, um zu prüfen, ob die von der Kamera ausgegebenen Werte

(beispielsweise die Temperatur) der ursprünglichen Kalibriertabelle entsprechen. Häufig wird hierbei vergessen, dass eine Kamera nicht die Temperatur, sondern die Strahlung misst. Außerdem handelt es sich bei einer Kamera um ein *bildgebendes* System und nicht um einen einfachen Sensor. Dementsprechend ist eine „Überprüfung“ (sowie auch eine Kalibrierung oder Neukalibrierung) wertlos, wenn die optische Konfiguration, mithilfe derer die Kamera die Strahlung „einfängt“, sich als nicht ausreichend oder fehlerhaft erweist.

Beispielsweise muss sichergestellt werden, dass der Abstand zwischen dem Schwarzkörper und der Kamera sowie der Durchmesser des Schwarzkörper-Hohlraums so ausgewählt wurden, dass eine Streustrahlung sowie der Effekt der Quellengröße vermieden werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Das gültige Protokoll muss den physikalischen Gesetzen in Bezug auf die *Strahldichte* entsprechen und sich nicht nur nach der Temperatur richten.

Die Kalibrierung ist außerdem eine Voraussetzung für das *Justieren*. Dies umfasst die verschiedenen Vorgänge, die an einem Messgerät ausgeführt werden, um sicherzustellen, dass das Gerät vorgegebene Anzeigen ausgibt, die den zu messenden Mengenwerten entsprechen. Dies erfolgt üblicherweise anhand von Messnormalen. Vereinfacht lässt sich sagen: Das Justieren ist eine Änderung, mithilfe derer die ordnungsgemäße Messung von Messgeräten innerhalb ihrer Spezifikationen sichergestellt wird. In der Alltagssprache wird bei Messgeräten meist der Begriff „Kalibrierung“ anstelle von „Justieren“ verwendet.

17.6 Inhomogenitätskorrektur

Wenn die Wärmebildkamera „Kalibrierung...“ anzeigt, wird eine Anpassung an die Abweichungen in Bezug auf die einzelnen Detektorelemente (Pixel) ausgeführt. In der Thermografie wird dies als „Inhomogenitätskorrektur“ (Non-Uniformity Correction, NUC) bezeichnet. Es handelt sich um eine Offsetkorrektur, wobei die Verstärkung unverändert bleibt.

Laut der europäischen Norm EN 16714-3, Non-destructive Testing—Thermographic Testing—Part 3: Terms and Definitions (Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung – Teil 3: Begriffe) ist die Inhomogenitätskorrektur (oder NUC) eine „Bildkorrektur, die von der Kamerasoftware durchgeführt wird, um unterschiedliche Empfindlichkeiten der Detektorelemente und andere optische und geometrische Störungen zu kompensieren.“

Während der Inhomogenitätskorrektur (Offsetkorrektur) wird ein Shutter (interne Markierung) im Strahlengang platziert, und alle Detektorelemente werden derselben, vom Shutter kommenden Strahlungsmenge ausgesetzt. Dementsprechend sollten sie unter perfekten Bedingungen alle dasselbe Signal ausgeben. Da die einzelnen Elemente jedoch unterschiedliche Ansprechverhalten aufweisen, ist das Ausgabesignal nicht einheitlich. Daher wird die Abweichung vom idealen Ergebnis berechnet und für eine mathematische Bildkorrektur verwendet, die praktisch eine Korrektur des angezeigten Strahlungssignals darstellt. Einige Kameras haben keinen Shutter. In diesen Fällen muss eine Offsetkorrektur manuell mithilfe einer speziellen Software sowie einer externen homogenen Strahlungsquelle durchgeführt werden.

Eine NUC wird beispielsweise beim Einschalten, bei einer Änderung des Messbereichs oder bei einer Änderung der Umgebungstemperatur ausgeführt. Bei einigen Kameras ist auch eine manuelle Auslösung möglich. Dies ist besonders praktisch, wenn eine kritische Messung mit so wenigen Bildstörungen wie möglich ausgeführt werden soll.

17.7 Thermische Bildoptimierung

Manchmal wird der Begriff „Bildkalibrierung“ auch im Zusammenhang mit der Anpassung von Kontrast und Helligkeit im Wärmebild zur besseren Darstellung bestimmter

Details verwendet. Hierbei wird das Temperaturintervall so eingestellt, dass alle verfügbaren Farben ausschließlich (oder hauptsächlich) zur Darstellung der Temperaturen Bereichs von Interesse dienen. Der richtige Begriff für diese Einstellung lautet „Thermische Bildoptimierung“. Diese Einstellung kann nur im manuellen Modus vorgenommen werden. Andernfalls werden die Unter- und Obergrenzen des angezeigten Temperaturintervalls automatisch auf die kältesten und wärmsten Temperaturen im Bild eingestellt.

Vor nicht ganz 200 Jahren war der infrarote Teil des elektromagnetischen Spektrums noch gänzlich unbekannt. Die ursprüngliche Bedeutung des infraroten Spektrums, auch häufig als Infrarot bezeichnet, als Form der Wärmestrahlung war zur Zeit seiner Entdeckung durch Herschel im Jahr 1800 möglicherweise augenfälliger als heute.

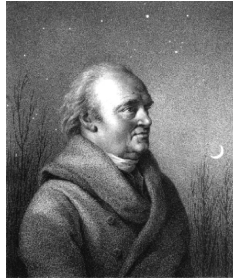


Abbildung 18.1 Sir William Herschel (1738 – 1822)

Die Entdeckung war ein Zufall während der Suche nach einem neuen optischen Material. Sir William Herschel, Hofastronom bei König Georg III von England und bereits aufgrund seiner Entdeckung des Planeten Uranus berühmt, suchte nach einem optischen Filtermaterial zur Reduzierung der Helligkeit des Sonnenabbaus in Teleskopen bei Beobachtungen der Sonne. Beim Testen verschiedener Proben aus farbigem Glas, bei denen die Reduzierung der Helligkeit ähnlich war, fand er heraus, dass einige Proben sehr wenig, andere allerdings so viel Sonnenwärme durchließen, dass er bereits nach wenigen Sekunden der Beobachtung eine Augenschädigung riskierte.

Sehr bald war Herschel von der Notwendigkeit eines systematischen Experiments überzeugt. Dabei setzte er sich das Ziel ein Material zu finden, mit dem sowohl die gewünschte Reduzierung der Helligkeit als auch die maximale Verringerung der Wärme erzielt werden konnte. Er begann sein Experiment mit der Wiederholung des Prismenexperiments von Newton, achtete dabei jedoch mehr auf den Wärmeeffekt als auf die visuelle Verteilung der Intensität im Spektrum. Zuerst färbte er die Spitze eines empfindlichen Quecksilberthermometers mit schwarzer Tinte und testete damit als Messeinrichtung die Erwärmung der verschiedenen Farben des Spektrums, die sich auf einem Tisch bildeten, indem Sonnenlicht durch ein Glasprisma geleitet wurde. Andere Thermometer, die sich außerhalb der Sonneneinstrahlung befanden, dienten zur Kontrolle.

Beim langsamen Bewegen des schwarz gefärbten Thermometers durch die Farben des Spektrums zeigte sich, dass die Temperatur von Violett nach Rot kontinuierlich anstieg. Dies war nicht ganz unerwartet, da der italienische Forscher Landriani in einem ähnlichen Experiment im Jahr 1777 den gleichen Effekt beobachtet hatte. Herschel erkannte jedoch als erster, dass es einen Punkt geben muss, an dem die Erwärmung einen Höhepunkt erreicht, und dass bei Messungen am sichtbaren Teil des Spektrums dieser Punkt nicht gefunden wurde.



Abbildung 18.2 Marsilio Landriani (1746 – 1815)

Durch das Bewegen des Thermometers in den dunklen Bereich hinter dem roten Ende des Spektrums bestätigte Herschel, dass die Erwärmung weiter zunahm. Er fand den

Punkt der maximalen Erwärmung schließlich weit hinter dem roten Bereich. Heute wird dieser Bereich "infrarote Wellenlänge" genannt.

Herschel bezeichnete diesen neuen Teil des elektromagnetischen Spektrums als "thermometrisches Spektrum". Die Abstrahlung selbst nannte er manchmal "dunkle Wärme" oder einfach "die unsichtbaren Strahlen". Entgegen der vorherrschenden Meinung stammt der Begriff "infrarot" nicht von Herschel. Dieser Begriff tauchte gedruckt etwa 75 Jahre später auf, und es ist immer noch unklar, wer ihn überhaupt einführte.

Die Verwendung von Glas in den Prismen bei Herschels ursprünglichem Experiment führte zu einigen kontroversen Diskussionen mit seinen Zeitgenossen über die tatsächliche Existenz der infraroten Wellenlängen. Bei dem Versuch, seine Arbeit zu bestätigen, verwendeten verschiedene Forscher wahllos unterschiedliche Glasarten, was zu unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeiten im Infrarotbereich führte. Durch seine späteren Experimente war sich Herschel der begrenzten Lichtdurchlässigkeit von Glas bezüglich der neu entdeckten thermischen Abstrahlung bewusst und schloss daraus, dass optische Systeme, die den Infrarotbereich nutzen wollten, ausschließlich reflektive Elemente (d. h. ebene und gekrümmte Spiegel) verwenden konnten. Glücklicherweise galt dies nur bis 1830, als der italienische Forscher Melloni entdeckte, dass natürliches Steinsalz (NaCl), das in großen natürlichen Kristallen zur Verwendung in Linsen und Prismen vorhanden war, äußerst durchlässig für den Infrarotbereich ist. Nach dieser Entdeckung wurde Steinsalz für die nächsten hundert Jahre das optische Hauptmaterial für Infrarot, bis in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts Kristalle synthetisch gezüchtet werden konnten.



Abbildung 18.3 Macedonio Melloni (1798 – 1854)

Bis 1829 wurden ausschließlich Thermometer zum Messen der Abstrahlung verwendet. In diesem Jahr erfand Nobili das Thermoelement. (Das Thermometer von Herschel hatte einen Messbereich bis $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, spätere Modelle konnten bis $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ messen.) Melloni gelang ein Durchbruch, als er mehrere Thermoelemente in Serie schaltete und so die erste Thermosäule schuf. Das neue Gerät konnte Wärmeabstrahlung mindestens 40-mal empfindlicher messen als das beste zu dieser Zeit vorhandene Thermometer. So konnte es beispielsweise die Wärme einer drei Meter entfernten Person messen.

Das erste sogenannte "Wärmebild" wurde 1840 möglich, als Ergebnis der Arbeit von Sir John Herschel, Sohn des Entdeckers des Infrarotbereichs und selbst berühmter Astronom. Basierend auf der unterschiedlichen Verdampfung eines dünnen Ölfilms, wenn dieser einem Wärmemuster ausgesetzt wird, wurde das thermische Bild durch Licht, das sich auf dem Ölfilm unterschiedlich spiegelt, für das Auge sichtbar. Sir John gelang es auch, einen einfachen Abzug eines thermischen Bildes auf Papier zu erhalten, der "Thermograph" genannt wurde.



Abbildung 18.4 Samuel P. Langley (1834 – 1906)

Nach und nach wurde die Empfindlichkeit der Infrarotdetektoren verbessert. Ein weiterer Durchbruch gelang Langley im Jahr 1880 mit der Erfindung des Bolometers. Es handelte sich dabei um einen dünnen geschwärzten Platinstreifen, der in einem Arm einer Wheatstone-Brückenschaltung angeschlossen war und der infraroten Strahlung ausgesetzt sowie an ein empfindliches Galvanometer gekoppelt wurde. Damit konnte angeblich die Wärme einer Kuh gemessen werden, die 400 Meter entfernt war.

Ein englischer Wissenschaftler, Sir James Dewar, war der Erste, der bei Forschungen mit niedrigen Temperaturen flüssige Gase als Kühlmittel verwendete (wie beispielsweise flüssigen Stickstoff mit einer Temperatur von -196°C). 1892 erfand er einen einzigartigen isolierenden Vakuumbehälter, in dem flüssige Gase tagelang aufbewahrt werden konnten. Die herkömmliche Thermosflasche zur Aufbewahrung heißer und kalter Getränke beruht auf dieser Erfindung.

Zwischen 1900 und 1920 „entdeckten“ die Erfinder in aller Welt den Infrarotbereich. Viele Geräte zum Erkennen von Personen, Artillerie, Flugzeugen, Schiffen und sogar Eisbergen wurden patentiert. Die ersten modernen Überwachungssysteme wurden im Ersten Weltkrieg entwickelt, als beide Seiten Programme zur Erforschung des militärischen Nutzens von Infrarotstrahlung durchführten. Dazu gehörten experimentelle Systeme in Bezug auf das Eindringen/Entdecken von Feinden, die Messung von Temperaturen über große Entfernungen, sichere Kommunikation und die Lenkung „fliegender Torpedos“. Ein Infrarotsuchsystem, das in dieser Zeit getestet wurde, konnte ein Flugzeug im Anflug in einer Entfernung von 1,5 km oder eine Person, die mehr als 300 Meter entfernt war, erkennen.

Die empfindlichsten Systeme dieser Zeit beruhten alle auf Variationen der Bolometer-Idee. Zwischen den beiden Weltkriegen wurden jedoch zwei neue, revolutionäre Infrarotdetektoren entwickelt: der Bildwandler und der Photonendetektor. Zunächst schenkte das Militär dem Bildwandler die größte Aufmerksamkeit, da der Beobachter mit diesem Gerät zum ersten Mal in der Geschichte im Dunkeln sehen konnte. Die Empfindlichkeit des Bildwandlers war jedoch auf die Nah-Infrarot-Wellenlängen beschränkt und die interessantesten militärischen Ziele (z. B. feindliche Soldaten) mussten mit Infrarot-Suchstrahlern ausgeleuchtet werden. Da hierbei das Risiko bestand, dass ein feindlicher Beobachter mit ähnlicher Ausrüstung die Position des Beobachters herausfand, schwand das militärische Interesse am Bildwandler.

Die taktischen militärischen Nachteile sogenannter aktiver (d. h. mit Suchstrahlern ausgestatteter) thermografischer Systeme gaben nach dem zweiten Weltkrieg den Anstoß zu umfangreichen geheimen Infrarot-Forschungsprogrammen des Militärs, wobei die Möglichkeiten "passiver" Systeme (ohne Suchstrahler) auf Grundlage des äußerst empfindlichen Photonendetektors erforscht wurden. In dieser Zeit wurde der Status der Infrarot-Technologie aufgrund von Geheimhaltungsvorschriften des Militärs nicht öffentlich bekannt gegeben. Erst Mitte der fünfziger Jahre wurde die Geheimhaltungspflicht gelockert und seitdem sind angemessene thermografische Geräte auch für die zivile Forschung und Industrie erhältlich.

19.1 Einleitung

Das Gebiet der Infrarotstrahlung und die damit zusammenhängende Technik der Thermografie ist vielen Benutzern einer Infrarotkamera noch nicht vertraut. In diesem Abschnitt wird die der Thermografie zugrunde liegende Theorie behandelt.

19.2 Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum ist willkürlich in verschiedene Wellenlängenbereiche unterteilt, die als *Bänder* bezeichnet werden und sich jeweils durch die Methode zum Erzeugen und Messen von Strahlung unterscheiden. Es gibt keinen grundlegenden Unterschied zwischen der Strahlung in den verschiedenen Bändern des elektromagnetischen Spektrums. Für sie gelten dieselben Gesetze und die einzigen Unterschiede beruhen auf Unterschieden in der Wellenlänge.

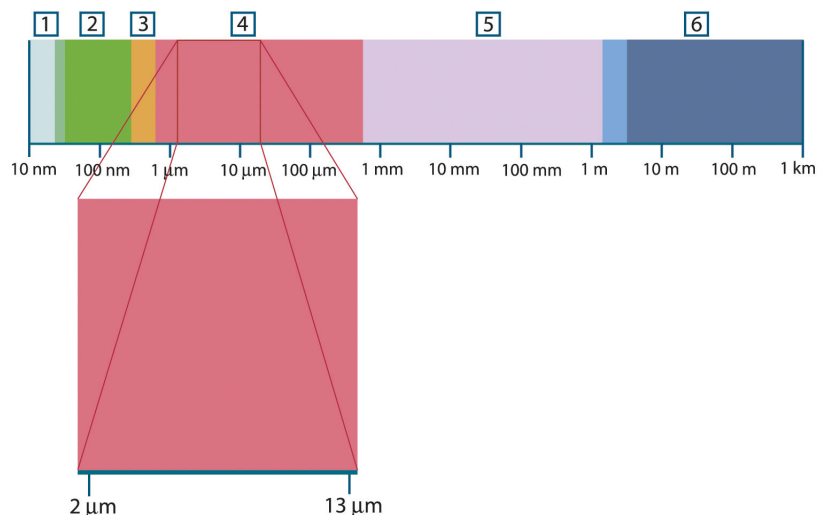


Abbildung 19.1 Das elektromagnetische Spektrum. 1: Röntgenstrahlung; 2: UV-Strahlung; 3: Sichtbares Licht; 4: IR-Strahlung; 5: Mikrowellen; 6: Radiowellen.

Die Thermografie nutzt das Infrarotspektralband aus. Am kurzwelligen Ende des Spektrums grenzt sie an das sichtbare Licht, bei Dunkelrot. Am langwelligen Ende des Spektrums geht sie in die Mikrowellen (Millimeterbereich) über.

Das Infrarotband ist weiter untergliedert in vier kleinere Bänder, deren Grenzen ebenfalls willkürlich gewählt sind. Sie umfassen: das *nahe Infrarot* (NIR) (0,75 – 3 µm), das *mittlere Infrarot* (MIR) (3 – 6 µm), das *ferne Infrarot* (FIR) (6 – 15 µm) und das *extreme Infrarot* (15 – 100 µm). Zwar sind die Wellenlängen in µm (Mikrometern) angegeben, doch werden zum Messen der Wellenlänge in diesem Spektralbereich oft noch andere Einheiten verwendet, z. B. Nanometer (nm) und Ångström (Å).

Das Verhältnis zwischen den verschiedenen Wellenlängenmaßeinheiten lautet wie folgt:

$$10\,000\,\text{\AA} = 1\,000\,\text{nm} = 1\,\mu = 1\,\mu\text{m}$$

19.3 Strahlung des schwarzen Körpers

Ein schwarzer Körper ist definiert als ein Objekt, das jegliche einfallende Strahlung aller Wellenlängen absorbiert. Die offensichtlich falsche Bezeichnung *schwarz* im Zusammenhang mit einem Objekt, das Strahlung aussendet, wird durch das kirchhoffsche

Gesetz (nach *Gustav Robert Kirchhoff*, 1824 – 1887) erklärt, das besagt, dass ein Körper, der in der Lage ist, die gesamte Strahlung beliebiger Wellenlängen zu absorbieren, ebenso in der Lage ist, Strahlung abzugeben.



Abbildung 19.2 Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887)

Der Aufbau eines schwarzen Körpers ist im Prinzip sehr einfach. Die Strahlungseigenschaften einer Öffnung in einem isothermen Behälter, die aus einem undurchsichtigen absorbierenden Material besteht, repräsentieren fast genau die Eigenschaften eines schwarzen Körpers. Eine praktische Anwendung des Prinzips auf die Konstruktion eines perfekten Strahlungsabsorbers besteht in einem Kasten, der mit Ausnahme einer Öffnung an einer Seite lichtundurchlässig ist. Jede Strahlung, die in das Loch gelangt, wird gestreut und durch wiederholte Reflexionen absorbiert, so dass nur ein unendlich kleiner Bruchteil entweichen kann. Die Schwärze, die an der Öffnung erzielt wird, entspricht fast einem schwarzen Körper und ist für alle Wellenlängen nahezu perfekt.

Durch Ergänzen eines solchen isothermen Behälters mit einer geeigneten Heizquelle erhält man einen so genannten *Hohlraumstrahler*. Ein auf eine gleichmäßige Temperatur aufgeheizter isothermer Kasten erzeugt die Strahlung eines schwarzen Körpers. Dessen Eigenschaften werden allein durch die Temperatur der des Hohlraums bestimmt. Solche Hohlraumstrahler werden gemeinhin als Strahlungsquellen in Temperaturreferenzstandards in Labors zur Kalibrierung thermografischer Instrumente, z. B. einer FLIR Systems-Kamera, verwendet.

Wenn die Temperatur der Strahlung des schwarzen Körpers auf über 525 °C steigt, wird die Quelle langsam sichtbar, so dass sie für das Auge nicht mehr schwarz erscheint. Dies ist die beginnende Rottemperatur der Strahlungsquelle, die dann bei weiterer Temperaturerhöhung orange oder gelb wird. Tatsächlich ist die sogenannte *Farbtemperatur* eines Objekts als die Temperatur definiert, auf die ein schwarzer Körper erhitzt werden müsste, um dasselbe Aussehen zu erzeugen.

Im Folgenden finden Sie drei Ausdrücke, mit denen die von einem schwarzen Körper abgegebene Strahlung beschrieben wird.

19.3.1 Plancksches Gesetz



Abbildung 19.3 Max Planck (1858 – 1947)

Max Planck (1858 – 1947) konnte die spektrale Verteilung der Strahlung eines schwarzen Körpers mit Hilfe der folgenden Formel darstellen:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \times 10^{-6} [\text{Watt} / \text{m}^2, \mu\text{m}]$$

Es gilt:

$W_{\lambda b}$	Spektrale Abstrahlung des schwarzen Körpers bei Wellenlänge λ
c	Lichtgeschwindigkeit = 3×10^8 m/s
h	Plancksche Konstante = $6,6 \times 10^{-34}$ Joule Sek
k	Boltzmann-Konstante = $1,4 \times 10^{-23}$ Joule/K
T	Absolute Temperatur (K) eines schwarzen Körpers
λ	Wellenlänge (μm)

Hinweis Der Faktor 10^{-6} wird verwendet, da die Spektralstrahlung in den Kurven in $\text{Watt}/\text{m}^2, \mu\text{m}$ angegeben wird.

Die plancksche Formel erzeugt eine Reihe von Kurven, wenn sie für verschiedene Temperaturen dargestellt wird. Auf jeder planckschen Kurve ist die Spektralstrahlung Null bei $\lambda = 0$ und steigt dann bei einer Wellenlänge von λ_{max} rasch auf ein Maximum an und nähert sich nach Überschreiten bei sehr langen Wellenlängen wieder Null an. Je höher die Temperatur, desto kürzer ist die Wellenlänge, bei der das Maximum auftritt.

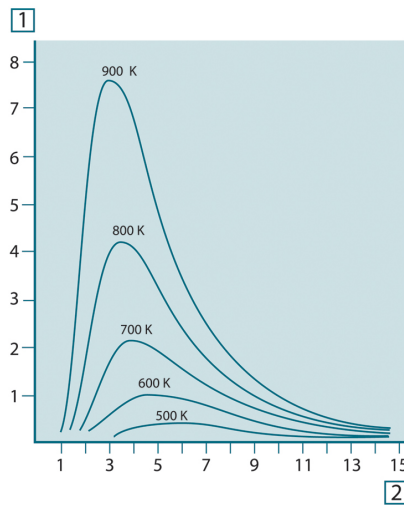


Abbildung 19.4 Die spektrale Abstrahlung eines schwarzen Körpers gemäß dem Planckschen Gesetz, für verschiedene absolute Temperaturen dargestellt. 1: Spektrale Abstrahlung ($\text{W}/\text{cm}^2 \times 10^3(\mu\text{m})$); 2: Wellenlänge (μm)

19.3.2 Wiensches Verschiebungsgesetz

Durch Ableitung der planckschen Formel nach λ und Ermittlung des Maximums erhalten wir:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2898}{T} [\mu\text{m}]$$

Dies ist das Wiensche Verschiebungsgesetz (benannt nach *Wilhelm Wien*, 1864 – 1928), die mathematisch darstellt, dass mit zunehmender Temperatur des thermischen Strahlers die Farben von Rot in Orange oder Gelb übergehen. Die Wellenlänge der Farbe ist identisch mit der für λ_{max} berechneten Wellenlänge. Eine gute Näherung für den Wert

von λ_{\max} für einen gegebenen schwarzen Körper wird erzielt, indem die Faustregel $3000/T \mu\text{m}$ angewendet wird. So strahlt ein sehr heißer Stern, z. B. Sirius (11000 K), der bläulich weißes Licht abgibt, mit einem Spitzenwert der spektralen Abstrahlung, die innerhalb des unsichtbaren ultravioletten Spektrums bei der Wellenlänge $0,27 \mu\text{m}$ auftritt.

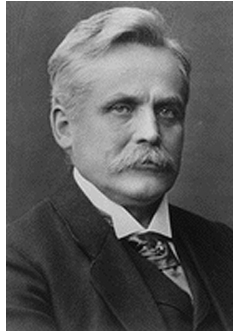


Abbildung 19.5 Wilhelm Wien (1864 – 1928)

Die Sonne (ca. 6000 K) strahlt gelbes Licht aus. Der Spitzenwert liegt in der Mitte des sichtbaren Lichtspektrums bei etwa $0,5 \mu\text{m}$.

Bei Raumtemperatur (300 K) liegt der Spitzenwert der Abstrahlung bei $9,7 \mu\text{m}$ im fernen Infrarotbereich, während bei der Temperatur von flüssigem Stickstoff (77 K) das Maximum einer beinahe zu vernachlässigenden Abstrahlung bei $38 \mu\text{m}$ liegt – extreme Infrarot-Wellenlängen.

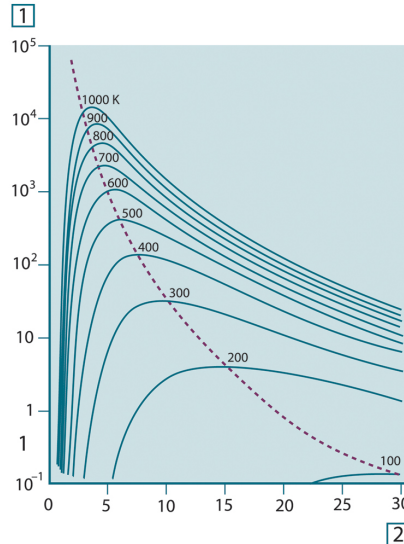


Abbildung 19.6 Plancksche Kurven auf halb-logarithmischen Skalen von 100 K bis 1000 K. Die gepunktete Linie stellt den Ort der maximalen Abstrahlung bei den einzelnen Temperaturen dar, wie sie vom Wienschen Verschiebungsgesetz beschrieben wird. 1: Spektrale Abstrahlung ($\text{W}/\text{cm}^2 (\mu\text{m})$); 2: Wellenlänge (μm).

19.3.3 Stefan-Boltzmann-Gesetz

Durch Integration der Planckschen Formel von $\lambda = 0$ bis $\lambda = \infty$ erhält man die gesamte abgegebene Strahlung eines schwarzen Körpers (W_b):

$$W_b = \sigma T^4 [\text{Watt}/\text{m}^2]$$

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz (nach *Josef Stefan*, 1835 – 1893, und *Ludwig Boltzmann*, 1844 – 1906) besagt, dass die gesamte emittierte Energie eines schwarzen Körpers proportional zur vierten Potenz seiner absoluten Temperatur steigt. Grafisch stellt W_b die

Fläche unterhalb der planckschen Kurve für eine bestimmte Temperatur dar. Die emittierte Strahlung im Intervall $\lambda = 0$ bis λ_{\max} beträgt demnach nur 25 % der Gesamtstrahlung. Dies entspricht etwa der Strahlung der Sonne, die innerhalb des sichtbaren Spektralbereichs liegt.



Abbildung 19.7 Josef Stefan (1835 – 1893) und Ludwig Boltzmann (1844 – 1906)

Wenn wir die Stefan-Boltzmann-Formel zur Berechnung der von einem menschlichen Körper ausgestrahlten Leistung bei einer Temperatur von 300 K und einer externen Oberfläche von ca. 2 m² verwenden, erhalten wir 1 kW. Dieser Leistungsverlust ist nur erträglich aufgrund von kompensierender Absorption der Strahlung durch Umgebungsflächen, von Raumtemperaturen, die nicht zu sehr von der Körpertemperatur abweichen, oder natürlich durch Tragen von Kleidung.

19.3.4 Nicht-schwarze Körper als Strahlungsquellen

Bisher wurden nur schwarze Körper als Strahlungsquellen und die Strahlung schwarzer Körper behandelt. Reale Objekte erfüllen diese Gesetze selten über einen größeren Wellenlängenbereich, obwohl sie sich in bestimmten Spektralbereichen dem Verhalten der schwarzen Körper annähern mögen. So erscheint beispielsweise eine bestimmte Sorte von weißer Farbe im sichtbaren Bereich perfekt *weiß*, wird jedoch bei 2 µm deutlich *grau* und ab 3 µm sieht sie fast *schwarz* aus.

Es gibt drei Situationen, die verhindern können, dass sich ein reales Objekt wie ein schwarzer Körper verhält: Ein Bruchteil der auftretenden Strahlung α wird absorbiert, ein Bruchteil von ρ wird reflektiert und ein Bruchteil von τ wird übertragen. Da alle diese Faktoren mehr oder weniger abhängig von der Wellenlänge sind, wird der Index λ verwendet, um auf die spektrale Abhängigkeit ihrer Definitionen hinzuweisen. Daher gilt:

- Die spektrale Absorptionsfähigkeit α_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die von einem Objekt absorbiert wird, zum Strahlungseinfall.
- Die spektrale Reflektionsfähigkeit ρ_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die von einem Objekt reflektiert wird, zum Strahlungseinfall.
- Der spektrale Transmissionsgrad τ_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung, die durch ein Objekt übertragen wird, zum Strahlungseinfall.

Die Summe dieser drei Faktoren muss für jede Wellenlänge immer den Gesamtwert ergeben. Daher gilt folgende Beziehung:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Für undurchsichtige Materialien ist $\tau_\lambda = 0$. Die Beziehung vereinfacht sich zu:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Ein weiterer Faktor, Emissionsgrad genannt, ist zur Beschreibung des Bruchteils ε der Abstrahlung eines schwarzen Körpers, die von einem Objekt bei einer bestimmten Temperatur erzeugt wird, erforderlich. So gilt folgende Definition:

Der spektrale Emissionsgrad ε_λ = Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung eines Objekts zu der spektralen Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers mit derselben Temperatur und Wellenlänge.

Mathematisch ausgedrückt kann dies als Verhältnis der spektralen Strahlungsleistung des Objekts zur spektralen Strahlungsleistung eines schwarzen Körpers wie folgt beschrieben werden:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

Generell gibt es drei Arten von Strahlungsquellen, die sich darin unterscheiden, wie sich die Spektralstrahlung jeder einzelnen mit der Wellenlänge ändert.

- Ein schwarzer Körper, für den gilt: $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = 1$
- Ein grauer Körper, für den gilt: $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon = \text{Konstante kleiner 1}$
- Ein selektiver Strahler, bei dem ε sich mit der Wellenlänge ändert

Nach dem kirchhoffschen Gesetz entsprechen für alle Werkstoffe die emittierte Strahlung und die spektrale Absorptionsfähigkeit eines Körpers einer bestimmten Temperatur und Wellenlänge. Das bedeutet:

$$\varepsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$$

Daraus erhalten wir für ein undurchsichtiges Material (da $\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$):

$$\varepsilon_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1$$

Für hochpolierte Materialien nähert sich ε_{λ} Null an, so dass für einen vollkommen reflektierenden Werkstoff (d. h. einen perfekten Spiegel) gilt:

$$\rho_{\lambda} = 1$$

Für einen grauen Körper als Strahlungsquelle wird die Stefan-Boltzmann-Formel zu:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

Dies sagt aus, dass die gesamte Strahlungsleistung eines grauen Körpers dieselbe ist wie bei einem schwarzen Körper gleicher Temperatur, der proportional zum Wert von ε des grauen Körpers reduziert ist.

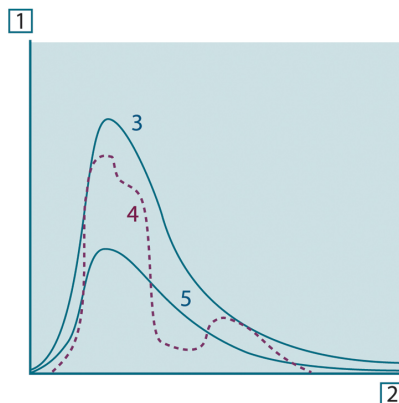


Abbildung 19.8 Spektrale Abstrahlung von drei Strahlertypen 1: Spektrale Abstrahlung; 2: Wellenlänge; 3: Schwarzer Körper; 4: Selektiver Strahler; 5: Grauer Körper.

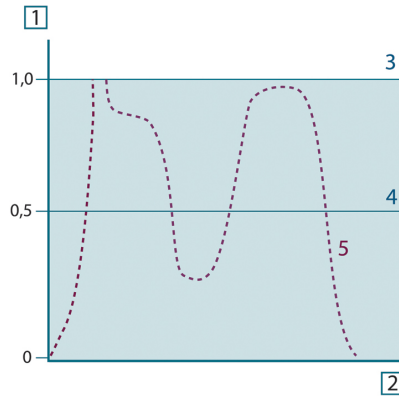


Abbildung 19.9 Spektraler Emissionsgrad von drei Strahlertypen 1: Spektraler Emissionsgrad; 2: Wellenlänge; 3: Schwarzer Körper; 4: Grauer Körper; 5: Selektiver Strahler.

19.4 Halb-transparente Infrarotmaterialien

Stellen Sie sich jetzt einen nicht-metallischen, halb-transparenten Körper vor, z. B. in Form einer dicken, flachen Scheibe aus Kunststoff. Wenn die Scheibe erhitzt wird, muss sich die in dem Körper erzeugte Strahlung durch den Werkstoff, in dem sie teilweise absorbiert wird, an die Oberflächen durcharbeiten. Wenn sie an der Oberfläche eintrifft, wird außerdem ein Teil davon in das Innere zurückreflektiert. Die zurückreflektierte Strahlung wird wiederum teilweise absorbiert, ein Teil davon gelangt jedoch zur anderen Oberfläche, durch die der größte Anteil entweicht; ein Teil davon wird wieder zurückreflektiert. Obwohl die nachfolgenden Reflexionen immer schwächer werden, müssen sie alle addiert werden, wenn die Gesamtstrahlung der Scheibe ermittelt werden soll. Wenn die resultierende geometrische Reihe summiert wird, ergibt sich der effektive Emissionsgrad einer halb-transparenten Scheibe als:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Wenn die Scheibe undurchsichtig wird, reduziert sich diese Formel auf die einzelne Formel:

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

Diese letzte Beziehung ist besonders praktisch, da es oft einfacher ist, die Reflexionsfähigkeit zu messen, anstatt den Emissionsgrad direkt zu messen.

Wie bereits erwähnt empfängt die Kamera beim Betrachten eines Objekts nicht nur die Strahlung vom Objekt selbst. Sie nimmt auch die Strahlung aus der Umgebung auf, die von der Objektoberfläche reflektiert wird. Beide Strahlungsanteile werden bis zu einem gewissen Grad durch die Atmosphäre im Messpfad abgeschwächt. Dazu kommt ein dritter Strahlungsanteil von der Atmosphäre selbst.

Diese Beschreibung der Messsituation, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, ist eine recht genaue Erläuterung der tatsächlichen Bedingungen. Vernachlässigt wurden wahrscheinlich die Streuung des Sonnenlichts in der Atmosphäre oder die Streustrahlung von starken Strahlungsquellen außerhalb des Betrachtungsfeldes. Solche Störungen sind schwer zu quantifizieren, in den meisten Fällen jedoch glücklicherweise so gering, dass sie vernachlässigbar sind. Ist dies nicht der Fall, ist die Messkonfiguration wahrscheinlich so ausgelegt, dass zumindest ein erfahrener Bediener das Störungsrisiko erkennen kann. Dann liegt es in seiner Verantwortung, die Messsituation so zu ändern, dass Störungen vermieden werden, z. B. durch Ändern der Betrachtungsrichtung, Abschirmen starker Strahlungsquellen usw.

Unter Berücksichtigung der obigen Beschreibung kann mit Hilfe der nachfolgenden Abbildung eine Formel zur Berechnung der Objekttemperatur über das Ausgangssignal der kalibrierten Kamera abgeleitet werden.

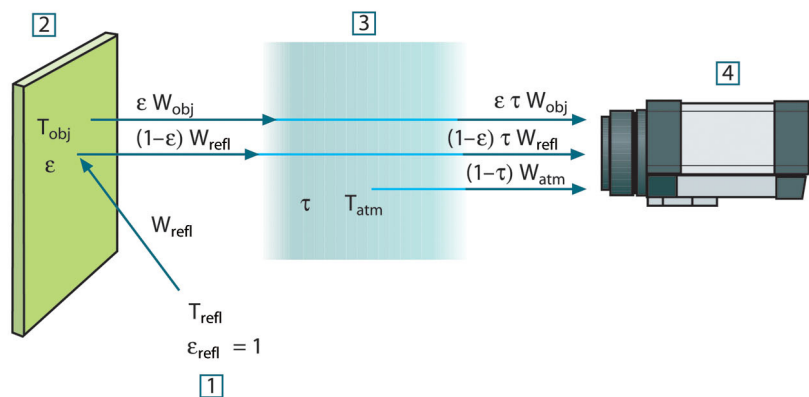


Abbildung 20.1 Schematische Darstellung der allgemeinen thermografischen Messsituation 1: Umgebung; 2: Objekt; 3: Atmosphäre; 4: Kamera

Wir gehen davon aus, dass die empfangene Strahlungsleistung W von einem Schwarzkörper als Temperaturquelle T_{source} bei einer kurzen Entfernung ein Ausgangssignal U_{source} der Kamera erzeugt, das proportional zum Leistungseingang ist (Kamera mit linearer Leistung). Daraus ergibt sich (Gleichung 1):

$$U_{\text{source}} = CW(T_{\text{source}})$$

oder einfacher ausgedrückt:

$$U_{\text{source}} = CW_{\text{source}}$$

wobei C eine Konstante ist.

Handelt es sich um einen Graukörper mit der Abstrahlung ϵ , ist die empfangene Strahlung folglich $\epsilon W_{\text{source}}$.

Jetzt können wir die drei gesammelten Größen zur Strahlungsleistung notieren:

1. *Emission vom Objekt* = $\epsilon \tau W_{\text{obj}}$, wobei ϵ die Abstrahlung des Objekts und τ die Transmission der Atmosphäre ist. Die Objekttemperatur ist T_{obj} .

2. *Reflektierte Emission von Strahlungsquellen der Umgebung* $= (1 - \varepsilon)\tau W_{\text{refl}}$, wobei $(1 - \varepsilon)$ die Reflektion des Objekts ist. Die Strahlungsquellen der Umgebung haben die Temperatur T_{refl} .

Hier wurde davon ausgegangen, dass die Temperatur T_{refl} für alle emittierenden Oberflächen innerhalb der Halbsphäre, die von einem Punkt auf der Objektoberfläche betrachtet wird, gleich ist. Dies ist in einigen Fällen natürlich eine Vereinfachung der tatsächlichen Situation. Diese ist jedoch notwendig, damit eine praktikable Formel abgeleitet werden kann. T_{refl} kann – zumindest theoretisch – ein Wert zugewiesen werden, der eine effiziente Temperatur einer komplexen Umgebung darstellt.

Als Abstrahlung für die Umgebung wurde der Wert 1 angenommen. Dies ist in Übereinstimmung mit dem Kirchhoffschen Gesetz richtig: Die gesamte Strahlung, die auf die umgebenden Oberflächen auftritt, wird schließlich von diesen absorbiert. Daher ist die Abstrahlung $= 1$. (Es ist zu beachten, dass entsprechend neuester Erkenntnisse die gesamte Sphäre um das betreffende Objekt beachtet werden muss.)

3. *Emission von Atmosphäre* $= (1 - \tau)\tau W_{\text{atm}}$, wobei $(1 - \tau)$ die Abstrahlung der Atmosphäre ist. Die Temperatur der Atmosphäre ist T_{atm} .

Die gesamte empfangene Strahlungsleistung kann nun notiert werden (Gleichung 2):

$$W_{\text{tot}} = \varepsilon\tau W_{\text{obj}} + (1 - \varepsilon)\tau W_{\text{refl}} + (1 - \tau)W_{\text{atm}}$$

Wir multiplizieren jeden Ausdruck mit der Konstante C aus Gleichung 1 und ersetzen die Produkte aus CW durch das entsprechende U gemäß derselben Gleichung und erhalten (Gleichung 3):

$$U_{\text{tot}} = \varepsilon\tau U_{\text{obj}} + (1 - \varepsilon)\tau U_{\text{refl}} + (1 - \tau)U_{\text{atm}}$$

Gleichung 3 wird nach U_{obj} aufgelöst (Gleichung 4):

$$U_{\text{obj}} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{\text{tot}} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} U_{\text{refl}} - \frac{1 - \tau}{\varepsilon\tau} U_{\text{atm}}$$

Dies ist die allgemeine Messformel, die in allen thermografischen Geräten von FLIR Systems verwendet wird. Die Spannungen der Formel lauten:

Tabelle 20.1 Spannungen

U_{obj}	Berechnete Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{obj} , also eine Spannung, die sofort in die tatsächliche Temperatur des betreffenden Objekts umgewandelt werden kann.
U_{tot}	Gemessene Ausgabespannung der Kamera für den tatsächlichen Fall.
U_{refl}	Theoretische Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{refl} entsprechend der Kalibrierung.
U_{atm}	Theoretische Ausgabespannung der Kamera für einen Schwarzkörper der Temperatur T_{atm} entsprechend der Kalibrierung.

Der Bediener muss mehrere Parameterwerte für die Berechnung liefern:

- die Objektabstrahlung ε ,
- die relative Luftfeuchtigkeit,
- T_{atm}
- Objektentfernung (D_{obj})
- die (effektive) Temperatur der Objektumgebung oder die reflektierte Umgebungstemperatur T_{refl} und
- die Temperatur der Atmosphäre T_{atm}

Diese Aufgabe ist für den Bediener oft schwierig, da normalerweise die genauen Werte für die Abstrahlung und die Transmission der Atmosphäre für den tatsächlichen Fall nur schwer zu ermitteln sind. Die zwei Temperaturen sind für gewöhnlich ein geringeres

Problem, wenn in der Umgebung keine großen und intensiven Strahlungsquellen vorhanden sind.

Eine natürliche Frage in diesem Zusammenhang ist: Wie wichtig ist die Kenntnis der richtigen Werte dieser Parameter? Es kann hilfreich sein, bereits an dieser Stelle ein Gefühl für diese Problematik zu entwickeln, indem verschiedene Messfälle betrachtet und die relativen Größen der drei Strahlungsgrößen verglichen werden. Daraus lässt sich ersehen, wann es wichtig ist, die richtigen Werte bestimmter Parameter zu verwenden.

Die folgenden Zahlen stellen die relativen Größen der drei Strahlungsanteile für drei verschiedene Objekttemperaturen, zwei Abstrahlungen und zwei Spektralbereiche dar: SW und LW. Die übrigen Parameter haben die folgenden festen Werte:

- τ : 0,88
- $T_{\text{refl}} = +20^\circ\text{C}$
- $T_{\text{atm}} = +20^\circ\text{C}$

Es ist offensichtlich, dass die Messung niedriger Objekttemperaturen kritischer ist als die Messung hoher Temperaturen, da die Störstrahlungsquellen im ersteren Fall vergleichsweise stärker sind. Falls zusätzlich die Objektabstrahlung schwach ist, wird die Situation noch schwieriger.

Schließlich muss geklärt werden, wie wichtig es ist, die Kalibrierungskurve über dem höchsten Kalibrierungspunkt nutzen zu dürfen (Extrapolation genannt). Angenommen, in einem bestimmten Fall werden $U_{\text{tot}} = 4,5$ Volt gemessen. Der höchste Kalibrierungspunkt der Kamera liegt im Bereich von 4,1 Volt, einem Wert, der dem Bediener unbekannt ist. Selbst wenn das Objekt ein Schwarzkörper ist, also $U_{\text{obj}} = U_{\text{tot}}$ ist, wird tatsächlich eine Extrapolation der Kalibrierungskurve durchgeführt, wenn 4,5 Volt in Temperatur umgerechnet werden.

Es wird nun angenommen, dass das Objekt nicht schwarz ist, seine Abstrahlung 0,75 und die Transmission 0,92 betragen. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die beiden zweiten Ausdrücke der Gleichung 4 zusammen 0,5 Volt ergeben. Die Berechnung von U_{obj} mit Hilfe der Gleichung 4 ergibt dann $U_{\text{obj}} = 4,5 / 0,75 / 0,92 - 0,5 = 6,0$. Dies ist eine recht extreme Extrapolation, besonders wenn man bedenkt, dass der Videoverstärker die Ausgabe wahrscheinlich auf 5 Volt beschränkt. Beachten Sie jedoch, dass die Anwendung der Kalibrierungskurve eine theoretische Vorgehensweise ist, bei der weder elektronische noch andere Beschränkungen bestehen. Wir sind davon überzeugt, dass bei einer fehlenden Signalbegrenzung in der Kamera und deren Kalibrierung auf weit mehr als 5 Volt die entstehende Kurve der tatsächlichen Kurve mit einer Extrapolation von mehr als 4,1 Volt sehr ähnlich gewesen wäre, vorausgesetzt, der Kalibrierungsalgorithmus beruht auf Gesetzen der Strahlungsphysik, wie zum Beispiel der Algorithmus von FLIR Systems. Natürlich muss es für solche Extrapolationen eine Grenze geben.

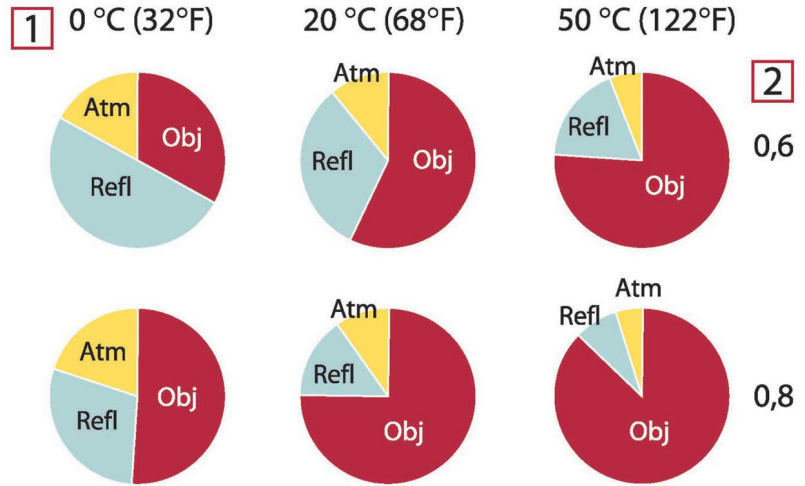


Abbildung 20.2 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (SW-Kamera). 1: Objekttemperatur; 2: Abstrahlung; Obj: Objektstrahlung; Refl: Reflektierte Strahlung; Atm: Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20 \text{ °C}$; $T_{\text{atm}} = 20 \text{ °C}$.

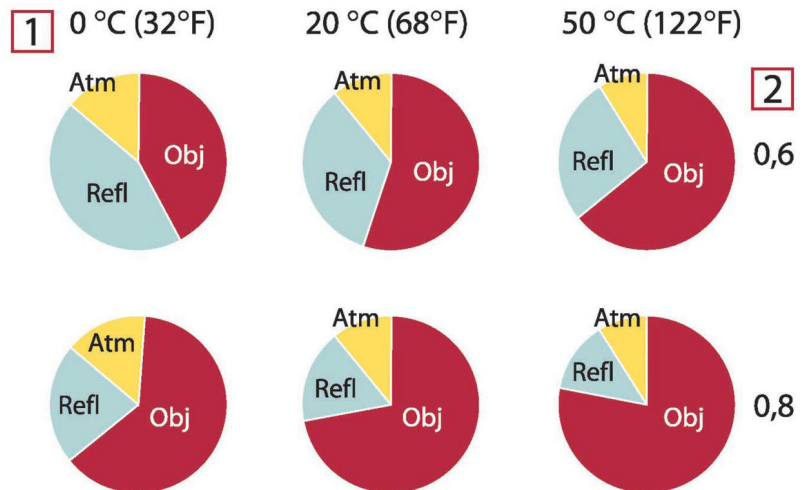


Abbildung 20.3 Relative Größen der Strahlungsquellen unter verschiedenen Messbedingungen (LW-Kamera). 1: Objekttemperatur; 2: Abstrahlung; Obj: Objektstrahlung; Refl: Reflektierte Strahlung; Atm: Atmosphärenstrahlung. Feste Parameter: $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20 \text{ °C}$; $T_{\text{atm}} = 20 \text{ °C}$.

In diesem Abschnitt finden Sie eine Aufstellung von Emissionsdaten aus der Fachliteratur und eigenen Messungen von FLIR Systems.

21.1 Referenzen

1. Mikael A. Bramson: *Infrared Radiation, A Handbook for Applications*, Plenum press, N.Y.
2. William L. Wolfe, George J. Zissis: *The Infrared Handbook*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3. Madding, R. P.: *Thermographic Instruments and systems*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin – Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4. William L. Wolfe: *Handbook of Military Infrared Technology*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5. Jones, Smith, Probert: *External thermography of buildings...*, Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London.
6. Paljak, Pettersson: *Thermography of Buildings*, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7. Vlcek, J: *Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$* . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8. Kern: *Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*, Defence Documentation Center, AD 617 417.
9. Öhman, Claes: *Emittansmätningar med AGEMA E-Box*. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)
10. Mattei, S., Tang-Kwor, E: *Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between -36°C AND 82°C* .
11. Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12. ITC Technical publication 32.
13. ITC Technical publication 29.
14. Schuster, Norbert and Kolobrodov, Valentin G. *Infrarotthermographie*. Berlin: Wiley-VCH, 2000.

Hinweis Die Emissionswerte in der Tabelle unten wurden mit einer Kurzwellenkamera aufgenommen. Die Werte gelten lediglich als Empfehlung und sind mit Sorgfalt zu verwenden.

21.2 Tabellen

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 μm ; LW: 8–14 μm , LLW: 6.5–20 μm ; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in $^{\circ}\text{C}$; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz

1	2	3	4	5	6
3M Scotch 35	PVC-Elektroisolierband (verschiedene Farben)	< 80	LW	$\approx 0,96$	13
3M Scotch 88	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 105	LW	$\approx 0,96$	13
3M Scotch 88	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 105	MW	< 0,96	13
3M Scotch Super 33+	schwarzes PVC-Elektroisolierband	< 80	LW	$\approx 0,96$	13
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	SW	0,05-0,08	9

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Aluminium	Blech, 4 Muster unterschiedlich zerkratzt	70	LW	0,03-0,06	9
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	SW	0,61	9
Aluminium	eloxiert, hellgrau, stumpf	70	LW	0,97	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	SW	0,67	9
Aluminium	eloxiert, schwarz, stumpf	70	LW	0,95	9
Aluminium	eloxiertes Blech	100	T	0,55	2
Aluminium	Folie	27	10 µm	0,04	3
Aluminium	Folie	27	3 µm	0,09	3
Aluminium	geraut	27	10 µm	0,18	3
Aluminium	geraut	27	3 µm	0,28	3
Aluminium	Guss, sandgestrahlt	70	SW	0,47	9
Aluminium	Guss, sandgestrahlt	70	LW	0,46	9
Aluminium	in HNO ₃ getaucht, Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	poliert	50-100	T	0,04-0,06	1
Aluminium	poliert, Blech	100	T	0,05	2
Aluminium	polierte Platte	100	T	0,05	4
Aluminium	raue Oberfläche	20-50	T	0,06-0,07	1
Aluminium	stark oxidiert	50-500	T	0,2-0,3	1
Aluminium	stark verwittert	17	SW	0,83-0,94	5
Aluminium	unverändert, Blech	100	T	0,09	2
Aluminium	unverändert, Platte	100	T	0,09	4
Aluminium	vakuumbeschichtet	20	T	0,04	2
Aluminiumbronze		20	T	0,60	1
Aluminiumhydroxid	Pulver		T	0,28	1
Aluminiumoxid	aktiviert, Pulver		T	0,46	1
Aluminiumoxid	rein, Pulver (Aluminiumoxid)		T	0,16	1
Asbest	Bodenfliesen	35	SW	0,94	7
Asbest	Brett	20	T	0,96	1
Asbest	Gewerbe		T	0,78	1
Asbest	Papier	40-400	T	0,93-0,95	1
Asbest	Pulver		T	0,40-0,60	1
Asbest	Ziegel	20	T	0,96	1
Asphaltstraßenbelag		4	LLW	0,967	8

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Beton		20	T	0,92	2
Beton	Gehweg	5	LLW	0,974	8
Beton	rau	17	SW	0,97	5
Beton	trocken	36	SW	0,95	7
Blech	glänzend	20-50	T	0,04-0,06	1
Blech	Weißblech	100	T	0,07	2
Blei	glänzend	250	T	0,08	1
Blei	nicht oxidiert, poliert	100	T	0,05	4
Blei	oxidiert bei 200°C	200	T	0,63	1
Blei	oxidiert, grau	20	T	0,28	1
Blei	oxidiert, grau	22	T	0,28	4
Blei rot		100	T	0,93	4
Blei rot, Pulver		100	T	0,93	1
Bronze	Phosphorbronze	70	SW	0,08	9
Bronze	Phosphorbronze	70	LW	0,06	9
Bronze	poliert	50	T	0,1	1
Bronze	porös, rau	50-150	T	0,55	1
Bronze	Pulver		T	0,76-0,80	1
Chrom	poliert	50	T	0,10	1
Chrom	poliert	500-1000	T	0,28-0,38	1
Ebonit			T	0,89	1
Eis: Siehe Wasser					
Eisen galvanisiert	Blech	92	T	0,07	4
Eisen galvanisiert	Blech, oxidiert	20	T	0,28	1
Eisen galvanisiert	Blech, poliert	30	T	0,23	1
Eisen galvanisiert	stark oxidiert	70	SW	0,64	9
Eisen galvanisiert	stark oxidiert	70	LW	0,85	9
Eisen und Stahl	elektrolytisch	100	T	0,05	4
Eisen und Stahl	elektrolytisch	22	T	0,05	4
Eisen und Stahl	elektrolytisch	260	T	0,07	4
Eisen und Stahl	elektrolytisch, hochglanzpoliert	175-225	T	0,05-0,06	1
Eisen und Stahl	frisch gewalzt	20	T	0,24	1
Eisen und Stahl	frisch mit Schmirgelpapier bearbeitet	20	T	0,24	1
Eisen und Stahl	geschliffenes Blech	950–1.100	T	0,55-0,61	1
Eisen und Stahl	geschmiedet, hochglanzpoliert	40-250	T	0,28	1
Eisen und Stahl	gewalztes Blech	50	T	0,56	1
Eisen und Stahl	glänzend, geätzt	150	T	0,16	1

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Eisen und Stahl	glänzende Oxidschicht, Blech	20	T	0,82	1
Eisen und Stahl	heißgewalzt	130	T	0,60	1
Eisen und Stahl	heißgewalzt	20	T	0,77	1
Eisen und Stahl	kaltgewalzt	70	SW	0,20	9
Eisen und Stahl	kaltgewalzt	70	LW	0,09	9
Eisen und Stahl	mit rotem Rost bedeckt	20	T	0,61-0,85	1
Eisen und Stahl	oxidiert	100	T	0,74	4
Eisen und Stahl	oxidiert	100	T	0,74	1
Eisen und Stahl	oxidiert	1227	T	0,89	4
Eisen und Stahl	oxidiert	125-525	T	0,78-0,82	1
Eisen und Stahl	oxidiert	200	T	0,79	2
Eisen und Stahl	oxidiert	200-600	T	0,80	1
Eisen und Stahl	poliert	100	T	0,07	2
Eisen und Stahl	poliert	400-1000	T	0,14-0,38	1
Eisen und Stahl	poliertes Blech	750-1.050	T	0,52-0,56	1
Eisen und Stahl	rau, ebene Oberfläche	50	T	0,95-0,98	1
Eisen und Stahl	rostig, rot	20	T	0,69	1
Eisen und Stahl	rostrot, Blech	22	T	0,69	4
Eisen und Stahl	stark oxidiert	50	T	0,88	1
Eisen und Stahl	stark oxidiert	500	T	0,98	1
Eisen und Stahl	stark verrostet	17	SW	0,96	5
Eisen und Stahl	stark verrostetes Blech	20	T	0,69	2
Eisen verzinkt	Blech	24	T	0,064	4
Emaile		20	T	0,9	1
Emaile	Lack	20	T	0,85-0,95	1
Erde	mit Wasser gesättigt	20	T	0,95	2
Erde	trocken	20	T	0,92	2
Faserplatte	hart, unbehandelt	20	SW	0,85	6
Faserplatte	Ottrelith	70	SW	0,75	9
Faserplatte	Ottrelith	70	LW	0,88	9
Faserplatte	Partikelplatte	70	SW	0,77	9
Faserplatte	Partikelplatte	70	LW	0,89	9
Faserplatte	porös, unbehandelt	20	SW	0,85	6
Firnis	auf Eichenparkettboden	70	SW	0,90	9
Firnis	auf Eichenparkettboden	70	LW	0,90-0,93	9
Firnis	matt	20	SW	0,93	6
Gips		20	T	0,8-0,9	1
Gipsputz		17	SW	0,86	5

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Gipsputz	Gipsplatte, unbehandelt	20	SW	0,90	6
Gipsputz	raue Oberfläche	20	T	0,91	2
Glasscheibe (Floatglas)	nicht beschichtet	20	LW	0,97	14
Gold	hochglanzpoliert	200-600	T	0,02-0,03	1
Gold	hochpoliert	100	T	0,02	2
Gold	poliert	130	T	0,018	1
Granit	poliert	20	LLW	0,849	8
Granit	rau	21	LLW	0,879	8
Granit	rau, 4 verschiedene Muster	70	SW	0,95-0,97	9
Granit	rau, 4 verschiedene Muster	70	LW	0,77-0,87	9
Gummi	hart	20	T	0,95	1
Gummi	weich, grau, rau	20	T	0,95	1
Gusseisen	bearbeitet	800-1000	T	0,60-0,70	1
Gusseisen	flüssig	1.300	T	0,28	1
Gusseisen	Guss	50	T	0,81	1
Gusseisen	Gusseisenblöcke	1000	T	0,95	1
Gusseisen	oxidiert	100	T	0,64	2
Gusseisen	oxidiert	260	T	0,66	4
Gusseisen	oxidiert	38	T	0,63	4
Gusseisen	oxidiert	538	T	0,76	4
Gusseisen	oxidiert bei 600°C	200-600	T	0,64-0,78	1
Gusseisen	poliert	200	T	0,21	1
Gusseisen	poliert	38	T	0,21	4
Gusseisen	poliert	40	T	0,21	2
Gusseisen	unbearbeitet	900–1.100	T	0,87-0,95	1
Haut	Mensch	32	T	0,98	2
Holz		17	SW	0,98	5
Holz		19	LLW	0,962	8
Holz	gehobelt	20	T	0,8-0,9	1
Holz	gehobelte Eiche	20	T	0,90	2
Holz	gehobelte Eiche	70	SW	0,77	9
Holz	gehobelte Eiche	70	LW	0,88	9
Holz	geschmirlgelt		T	0,5-0,7	1
Holz	Pinie, 4 verschiedene Muster	70	SW	0,67-0,75	9
Holz	Pinie, 4 verschiedene Muster	70	LW	0,81-0,89	9
Holz	Sperrholz, glatt, trocken	36	SW	0,82	7
Holz	Sperrholz, unbehandelt	20	SW	0,83	6
Holz	weiß, feucht	20	T	0,7-0,8	1

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Kalk			T	0,3-0,4	1
Kohlenstoff	Grafit, Oberfläche gefeilt	20	T	0,98	2
Kohlenstoff	Grafitpulver		T	0,97	1
Kohlenstoff	Holzkohlepulver		T	0,96	1
Kohlenstoff	Kerzenruß	20	T	0,95	2
Kohlenstoff	Lampenruß	20-400	T	0,95-0,97	1
Krylon Ultra-flat black 1602	Mattschwarz	Raumtemperatur bis 175	LW	≈ 0,96	12
Krylon Ultra-flat black 1602	Mattschwarz	Raumtemperatur bis 175	MW	≈ 0,97	12
Kunststoff	Glasfaserlaminat (Leiterplatte)	70	SW	0,94	9
Kunststoff	Glasfaserlaminat (Leiterplatte)	70	LW	0,91	9
Kunststoff	Polyurethan-Isolierplatte	70	LW	0,55	9
Kunststoff	Polyurethan-Isolierplatte	70	SW	0,29	9
Kunststoff	PVC, Kunststoffboden, stumpf, strukturiert	70	SW	0,94	9
Kunststoff	PVC, Kunststoffboden, stumpf, strukturiert	70	LW	0,93	9
Kupfer	elektrolytisch, hochglanzpoliert	80	T	0,018	1
Kupfer	elektrolytisch, poliert	-34	T	0,006	4
Kupfer	geschabt	27	T	0,07	4
Kupfer	geschmolzen	1.100-1.300	T	0,13-0,15	1
Kupfer	kommerziell, glänzend	20	T	0,07	1
Kupfer	oxidiert	50	T	0,6-0,7	1
Kupfer	oxidiert schwarz		T	0,88	1
Kupfer	oxidiert, dunkel	27	T	0,78	4
Kupfer	oxidiert, stark	20	T	0,78	2
Kupfer	poliert	50-100	T	0,02	1
Kupfer	poliert	100	T	0,03	2
Kupfer	poliert, kommerziell	27	T	0,03	4
Kupfer	poliert, mechanisch	22	T	0,015	4
Kupfer	rein, sorgfältig vorbereitete Oberfläche	22	T	0,008	4
Kupferdioxid	Pulver		T	0,84	1
Kupferoxid	rot, Pulver		T	0,70	1

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Lack	3 Farben auf Aluminium gesprüht	70	SW	0,50-0,53	9
Lack	3 Farben auf Aluminium gesprüht	70	LW	0,92-0,94	9
Lack	Aluminium auf rauer Oberfläche	20	T	0,4	1
Lack	Bakelit	80	T	0,83	1
Lack	hitzebeständig	100	T	0,92	1
Lack	schwarz, glänzend, auf Eisen gesprüht	20	T	0,87	1
Lack	schwarz, matt	100	T	0,97	2
Lack	schwarz, stumpf	40-100	T	0,96-0,98	1
Lack	weiß	100	T	0,92	2
Lack	weiß	40-100	T	0,8-0,95	1
Lacke	8 verschiedene Farben und Qualitäten	70	SW	0,88-0,96	9
Lacke	8 verschiedene Farben und Qualitäten	70	LW	0,92-0,94	9
Lacke	Aluminium, unterschiedliches Alter	50-100	T	0,27-0,67	1
Lacke	auf Ölbasis, Mittelwert von 16 Farben	100	T	0,94	2
Lacke	chromgrün		T	0,65-0,70	1
Lacke	cadmiumgelb		T	0,28-0,33	1
Lacke	kobaltblau		T	0,7-0,8	1
Lacke	Kunststoff, schwarz	20	SW	0,95	6
Lacke	Kunststoff, weiß	20	SW	0,84	6
Lacke	Öl	17	SW	0,87	5
Lacke	Öl, diverse Farben	100	T	0,92-0,96	1
Lacke	Öl, glänzend grau	20	SW	0,96	6
Lacke	Öl, grau, matt	20	SW	0,97	6
Lacke	Öl, schwarz glänzend	20	SW	0,92	6
Lacke	Öl, schwarz, matt	20	SW	0,94	6
Leder	gebräunt, gegerbt		T	0,75-0,80	1
Magnesium		22	T	0,07	4
Magnesium		260	T	0,13	4
Magnesium		538	T	0,18	4
Magnesium	poliert	20	T	0,07	2
Magnesiumpulver			T	0,86	1

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Messing	abgerieben mit 80er-Schmirgelpapier	20	T	0,20	2
Messing	Blech, gewalzt	20	T	0,06	1
Messing	Blech, mit Schmirgelpapier bearbeitet	20	T	0,2	1
Messing	hochpoliert	100	T	0,03	2
Messing	oxidiert	100	T	0,61	2
Messing	oxidiert	70	SW	0,04-0,09	9
Messing	oxidiert	70	LW	0,03-0,07	9
Messing	oxidiert bei 600°C	200-600	T	0,59-0,61	1
Messing	poliert	200	T	0,03	1
Messing	stumpf, fleckig	20-350	T	0,22	1
Molybdän		1.500-2.200	T	0,19-0,26	1
Molybdän		600-1000	T	0,08-0,13	1
Molybdän	Faden	700-2.500	T	0,1-0,3	1
Mörtel		17	SW	0,87	5
Mörtel	trocken	36	SW	0,94	7
Nextel Velvet 811-21 Black	Mattschwarz	-60-150	LW	> 0,97	10 und 11
Nickel	Draht	200-1000	T	0,1-0,2	1
Nickel	elektrolytisch	22	T	0,04	4
Nickel	elektrolytisch	260	T	0,07	4
Nickel	elektrolytisch	38	T	0,06	4
Nickel	elektrolytisch	538	T	0,10	4
Nickel	galvanisiert auf Eisen, nicht poliert	20	T	0,11-0,40	1
Nickel	galvanisiert auf Eisen, nicht poliert	22	T	0,11	4
Nickel	galvanisiert auf Eisen, poliert	22	T	0,045	4
Nickel	galvanisiert, poliert	20	T	0,05	2
Nickel	hell matt	122	T	0,041	4
Nickel	oxidiert	1227	T	0,85	4
Nickel	oxidiert	200	T	0,37	2
Nickel	oxidiert	227	T	0,37	4
Nickel	oxidiert bei 600°C	200-600	T	0,37-0,48	1
Nickel	poliert	122	T	0,045	4
Nickel	rein, poliert	100	T	0,045	1
Nickel	rein, poliert	200-400	T	0,07-0,09	1
Nickelchrom	Draht, blank	50	T	0,65	1
Nickelchrom	Draht, blank	500-1000	T	0,71-0,79	1

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Nickelchrom	Draht, oxidiert	50-500	T	0,95-0,98	1
Nickelchrom	gewalzt	700	T	0,25	1
Nickelchrom	sandgestrahlt	700	T	0,70	1
Nickeloxid		1.000-1.250	T	0,75-0,86	1
Nickeloxid		500-650	T	0,52-0,59	1
Papier	4 verschiedene Farben	70	SW	0,68-0,74	9
Papier	4 verschiedene Farben	70	LW	0,92-0,94	9
Papier	beschichtet mit schwarzem Lack		T	0,93	1
Papier	dunkelblau		T	0,84	1
Papier	gelb		T	0,72	1
Papier	grün		T	0,85	1
Papier	rot		T	0,76	1
Papier	schwarz		T	0,90	1
Papier	schwarz, stumpf		T	0,94	1
Papier	schwarz, stumpf	70	SW	0,86	9
Papier	schwarz, stumpf	70	LW	0,89	9
Papier	weiß	20	T	0,7-0,9	1
Papier	weiß, 3 verschiedene Glanzarten	70	SW	0,76-0,78	9
Papier	weiß, 3 verschiedene Glanzarten	70	LW	0,88-0,90	9
Papier	weiß, gebunden	20	T	0,93	2
Platin		1.000-1.500	T	0,14-0,18	1
Platin		100	T	0,05	4
Platin		1094	T	0,18	4
Platin		17	T	0,016	4
Platin		22	T	0,03	4
Platin		260	T	0,06	4
Platin		538	T	0,10	4
Platin	Band	900–1.100	T	0,12-0,17	1
Platin	Draht	1.400	T	0,18	1
Platin	Draht	50-200	T	0,06-0,07	1
Platin	Draht	500-1000	T	0,10-0,16	1
Platin	rein, poliert	200-600	T	0,05-0,10	1
Porzellan	glasiert	20	T	0,92	1
Porzellan	weiß, leuchtend		T	0,70-0,75	1
rostfreier Stahl	Blech, poliert	70	SW	0,18	9
rostfreier Stahl	Blech, poliert	70	LW	0,14	9
rostfreier Stahl	Blech, unbehandelt, etwas zerkratzt	70	SW	0,30	9

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
rostfreier Stahl	Blech, unbehandelt, etwas zerkratzt	70	LW	0,28	9
rostfreier Stahl	gewalzt	700	T	0,45	1
rostfreier Stahl	Legierung, 8 % Ni, 18 % Cr	500	T	0,35	1
rostfreier Stahl	sandgestrahlt	700	T	0,70	1
rostfreier Stahl	Typ 18 – 8, glänzend	20	T	0,16	2
rostfreier Stahl	Typ 18-8, oxidiert bei 800 °C	60	T	0,85	2
Sand			T	0,60	1
Sand		20	T	0,90	2
Sandstein	poliert	19	LLW	0,909	8
Sandstein	rau	19	LLW	0,935	8
Schlacke	Kessel	0-100	T	0,97-0,93	1
Schlacke	Kessel	1.400-1.800	T	0,69-0,67	1
Schlacke	Kessel	200-500	T	0,89-0,78	1
Schlacke	Kessel	600-1.200	T	0,76-0,70	1
Schmirkelpapier	grob	80	T	0,85	1
Schnee: Siehe Wasser					
Silber	poliert	100	T	0,03	2
Silber	rein, poliert	200-600	T	0,02-0,03	1
Spanplatte	unbehandelt	20	SW	0,90	6
Stukkatur	rau, gelbgrün	10-90	T	0,91	1
Styropor	Wärmedämmung	37	SW	0,60	7
Tapete	leicht gemustert, hellgrau	20	SW	0,85	6
Tapete	leicht gemustert, rot	20	SW	0,90	6
Teer			T	0,79-0,84	1
Teer	Papier	20	T	0,91-0,93	1
Titan	oxidiert bei 540°C	1000	T	0,60	1
Titan	oxidiert bei 540°C	200	T	0,40	1
Titan	oxidiert bei 540°C	500	T	0,50	1
Titan	poliert	1000	T	0,36	1
Titan	poliert	200	T	0,15	1
Titan	poliert	500	T	0,20	1
Ton	gebrannt	70	T	0,91	1
Tuch	schwarz	20	T	0,98	1
Wasser	destilliert	20	T	0,96	2
Wasser	Eis, bedeckt mit starkem Frost	0	T	0,98	1
Wasser	Eis, glatt	-10	T	0,96	2
Wasser	Eis, glatt	0	T	0,97	1

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 µm; LW: 8–14 µm, LLW: 6.5–20 µm; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in °C; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Wasser	Frostkristalle	-10	T	0,98	2
Wasser	Schicht >0,1 mm dick	0-100	T	0,95-0,98	1
Wasser	Schnee		T	0,8	1
Wasser	Schnee	-10	T	0,85	2
Wolfram		1.500-2.200	T	0,24-0,31	1
Wolfram		200	T	0,05	1
Wolfram		600-1000	T	0,1-0,16	1
Wolfram	Faden	3.300	T	0,39	1
Ziegel	Aluminiumoxid	17	SW	0,68	5
Ziegel	Dinas-Silizium-oxid, Feuerfestprodukt	1000	T	0,66	1
Ziegel	Dinas-Silizium-oxid, glasiert, rau	1.100	T	0,85	1
Ziegel	Dinas-Silizium-oxid, unglasiert, rau	1000	T	0,80	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, Korund	1000	T	0,46	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, Magnesit	1.000-1.300	T	0,38	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, schwach strahlend	500-1000	T	0,65-0,75	1
Ziegel	Feuerfestprodukt, stark strahlend	500-1000	T	0,8-0,9	1
Ziegel	Feuerziegel	17	SW	0,68	5
Ziegel	glasiert	17	SW	0,94	5
Ziegel	Mauerwerk	35	SW	0,94	7
Ziegel	Mauerwerk, verputzt	20	T	0,94	1
Ziegel	normal	17	SW	0,86-0,81	5
Ziegel	rot, normal	20	T	0,93	2
Ziegel	rot, rau	20	T	0,88-0,93	1
Ziegel	Schamotte	1000	T	0,75	1
Ziegel	Schamotte	1200	T	0,59	1
Ziegel	Schamotte	20	T	0,85	1
Ziegel	Siliziumoxid, 95 % SiO ₂	1230	T	0,66	1
Ziegel	Sillimanit, 33 % SiO ₂ , 64% Al ₂ O ₃	1.500	T	0,29	1
Ziegel	wasserfest	17	SW	0,87	5
Zink	Blech	50	T	0,20	1
Zink	oxidiert bei 400°C	400	T	0,11	1
Zink	oxidierte Oberfläche	1.000-1.200	T	0,50-0,60	1
Zink	poliert	200-300	T	0,04-0,05	1

Tabelle 21.1 T: Gesamtspektrum; SW: 2–5 μm ; LW: 8–14 μm ; LLW: 6.5–20 μm ; 1: Material; 2: Spezifizierung; 3: Temperatur in $^{\circ}\text{C}$; 4: Spektrum; 5: Emissionsgrad; 6: Referenz (Forts.)

1	2	3	4	5	6
Öl, Schmieröl	0,025-mm-Film	20	T	0,27	2
Öl, Schmieröl	0,050-mm-Film	20	T	0,46	2
Öl, Schmieröl	0,125-mm-Film	20	T	0,72	2
Öl, Schmieröl	dicke Schicht	20	T	0,82	2
Öl, Schmieröl	Film auf Ni-Basis: nur Ni-Basis	20	T	0,05	2

A note on the technical production of this publication

This publication was produced using XML — the eXtensible Markup Language. For more information about XML, please visit <http://www.w3.org/XML/>

A note on the typeface used in this publication

This publication was typeset using Linotype Helvetica™ World. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980)

LOEF (List Of Effective Files)

T501250.xml; de-DE; AD; 43678; 2017-07-06
T505552.xml; de-DE; 9599; 2013-11-05
T505469.xml; de-DE; 39689; 2017-01-25
T505013.xml; de-DE; 39689; 2017-01-25
T506128.xml; de-DE; AC; 43003; 2017-06-02
T505470.xml; de-DE; 39513; 2017-01-18
T505007.xml; de-DE; 42810; 2017-05-23
T506125.xml; de-DE; 40753; 2017-03-02
T505000.xml; de-DE; 39687; 2017-01-25
T506155.xml; de-DE; 42220; 2017-04-26
T506051.xml; de-DE; 40460; 2017-02-20
T505005.xml; de-DE; 42810; 2017-05-23
T505001.xml; de-DE; 41563; 2017-03-23
T505006.xml; de-DE; 41563; 2017-03-23
T505002.xml; de-DE; 39512; 2017-01-18



Website

<http://www.flir.com>

Customer support

<http://support.flir.com>

Copyright

© 2017, FLIR Systems, Inc. All rights reserved worldwide.

Disclaimer

Specifications subject to change without further notice. Models and accessories subject to regional market considerations. License procedures may apply. Products described herein may be subject to US Export Regulations. Please refer to exportquestions@flir.com with any questions.

SCV_{SA}

Energiekosten sparen
Réduire vos dépenses énergétiques

Rue de l'Hôpital 49, 3280 Meyriez/Murten (Morat)
Tel. 026 672 90 50, Fax 026 672 90 55
info@scv-sa.ch, www.scv-sa.ch

www.scv-sa.ch

Publ. No.: T810252
Release: AD
Commit: 43678
Head: 43696
Language: de-DE
Modified: 2017-07-06
Formatted: 2017-07-06