

Dual-Band-QWIP IR-Kamera „Geminis 110k ML“ Kameratechnik und Einsatzbeispiele

Oliver SCHREER, Christian PEPPERMÜLLER, Uwe SCHMIDT, Mónica LÓPEZ,
IRCAM, Erlangen

Kurzfassung. Die Geminis 110k ML ist die erste kommerziell verfügbare Dual-Band IR-Kamera. Sie ermöglicht die gleichzeitige pixelgenaue Bildaufnahme im mittelwelligen Infrarot (MWIR, Peak-Wellenlänge 4,8 μm) und langwelligen Infrarot (LWIR, Peak-Wellenlänge 8 μm). Der eingesetzte Detektorchip basiert auf QWIP-Technologie und hat 384x288 Bildpunkte. Abhängig von der gewählten Integrationszeit liegt die Bildwiederholrate der Kamera bei 50 bis 300 Hz.

Die Kamera ist mit der weit verbreiteten Camera Link-Schnittstelle ausgestattet. Für radiometrische Anwendungen können interne Temperatursensoren integriert werden. Die „Geminis 110k ML pro“ enthält zusätzlich eine MIO-Schnittstelle für bildsynchroner Signalerzeugung und Signalverarbeitung und kann mit integriertem Filterrad und Gigabit-Ethernet Bilddaten-Schnittstelle ausgestattet werden.

Die vom Detektor gelieferten Bilddaten werden elektronisch sortiert und als zwei Einzelbilder aufbereitet.

Die Software „IRCAM Works“ erlaubt die Anwendung einer linearen Inhomogenitäts-Korrektur für jedes Bild, parallele Livebild-Darstellung und gleichzeitige Aufzeichnung für beide Bänder. Eine spezielle Software „Genius für Works“ ermöglicht die Echtzeit-Überlagerung der beiden Bilder mit komplementären Farbpaletten, um Unterschiede im MWIR- und LWIR-Bild zu visualisieren. Die Überlagerung kann automatisch oder manuell durchgeführt werden.

Bei den ersten Messungen wurden ein speziell entwickeltes Dual-field-of-view Objektiv und ein Standard-MWIR-Objektiv eingesetzt. Es zeigte sich, dass die Geminis 110k in zahlreichen Szenen und bei vielen Objekten einen Unterschied im MWIR- und LWIR-Bild nachweisen kann. Starke Kontraste sind bei intensiven Sonnenreflexen, Wolken, heißen Flugzeugabgasen, Glasscheiben (z.B. an Fahrzeugen) und Fahrbahnbelägen erkennbar. Generell liefert die Geminis 110k subjektiv mehr Information und detailreichere Bilder als eine Single-Band-Kamera, was sich besonders im Außeneinsatz deutlich bemerkbar macht.

Die pixelgenauen, synchronen Messungen in beiden Spektralbändern erlauben, entweder durch direkten Vergleich der MWIR und LWIR Bilder oder durch die Überlagerungsfunktion, Festkörper, Flüssigkeiten und Gase zu charakterisieren und zu analysieren.

1. Einführung

Häufig werden Infrarot-Kameras nur als Wärmebild-Kameras gesehen, die die Temperaturinformationen in einer Szene darstellen. Infrarot-Szenen beinhalten jedoch in der Regel weitere spektrale Informationen, die mit üblichen Infrarot-Kameras, welche nur innerhalb eines Infrarotbandes arbeiten, nicht aufgelöst werden können. Nur multispektrale Infrarot-Kameras ermöglichen es, die umfangreichen Informationen zu gewinnen, die in einer Infrarot-Szene enthalten sind. Generell haben die Aufnahmen einer multispektralen Infrarot-Kamera einen höheren Informationsgehalt als monospektrale Bilder.

Dual-Band Kameras verbinden die Nutzen zweier Infrarot-Bändern in einer Kamera und kombinieren daher die Vorteile der jeweiligen Infrarot-Bänder. Beispielsweise liefern MWIR Kameras prinzipiell schärfere Bilder als LWIR Kameras und bieten eine bessere Performance in feuchter Umgebung, wohingegen LWIR Kameras bessere Ergebnisse bei Streulicht erzielen und Vorteile bieten, wenn sich ein Messobjekt in der Nähe von heißen Strahlungsquellen befindet. Dual-Band Kameras können unter sehr unterschiedlichen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden. Weiterhin ermöglicht es die Dual-Band Technologie, spezifische Objekteigenschaften spektral zu selektieren, um so besser zwischen Objekten und Hintergrundstrahlung unterscheiden zu können. Durch einen spektral unterschiedlichen Emissionsgrad können z.B. im militärischen Bereich getarnte Ziele erkannt und Ziele automatisch verfolgt werden.

2. Kameratechnik

Das Dual-Band IR-Kamerasystem Geminis 110k ML wurde auf Basis eines Dual-Band QWIP Focal-Plane-Array-Detektors mit Bildformat 384x288 Pixel entwickelt. Die Kamera liefert pixelgenaue, simultane Aufnahmen und bietet eine exzellente Temporauflösung (NETD) von <30 mK bei einer Integrationszeit von weniger als 10 ms. Sie ist mit einer Camera Link sowie einer Gigabit Ethernet Datenschnittstelle ausgestattet und wird mit einem Personal Computer betrieben.

Die Geminis 110k ML ist mit einem speziellen Dual-Band/Dual-field-of-view Objektiv (14,6 Grad und 2,8 Grad diagonales FOV) ausgestattet. Um die tatsächliche IR-Strahlung im MWIR und LWIR quantitativ erfassen zu können, wird eine radiometrische Kalibration durchgeführt.



Abb. 1: Dual-Band IR-Kamera Geminis 110k ML mit einem $f=100$ mm Objektiv (links). Das Dual-Band/Dual-field-of-view-Objektiv mit $f=86/390$ mm wurde speziell für diese IR-Kamera entwickelt (rechts).

Die Geminis 110k ML hat ein kompaktes Metallgehäuse, mit einem effektiven Luft-Kühlungs-System. Die Kameraelektronik überträgt die Bilddaten per standardisierter Camera Link Schnittstelle oder Gigabit Ethernet (GigE) Schnittstelle. Weiterhin hat die Kamera eine MIO- (measurement input & output) Schnittstelle für die Synchronisation mit externen Anregungsquellen und anderen externen Geräten und Signalen.

Die Kamera wird mit einer PC-basierten Steuereinheit mit Windows XP Betriebssystem betrieben. Der PC ist mit einer Camera Link Framegrabber-Karte ausgestattet, die an die Kamera angeschlossen ist.

3. Software

Das System nutzt die speziell entwickelte Software „IRCAM Works“, die alle Grundfunktionen, wie Kamerasteuerung, Bildaufnahme und -wiedergabe, lineare Inhomogenitäts-Korrektur für jedes Bild, parallele Livebild-Darstellung, gleichzeitige Aufzeichnung und radiometrische Funktionen für beide Bänder beinhaltet.

Um die – oft sehr kleinen – Unterschiede von MWIR und LWIR Aufnahmen zu extrahieren und zu visualisieren bietet die spezielle Software „Genius für Works“ je nach Applikation unterschiedliche Möglichkeiten.

Liegt das Hauptinteresse darin, die Unterschiede innerhalb der beiden IR-Bänder in nur einem Bild darzustellen, können die Aufnahmen voneinander subtrahiert bzw. dividiert werden. Das Ergebnisbild zeigt dann besonders deutlich die Unterschiede zwischen den Aufnahmen in den beiden Bändern. Diese Variante hat jedoch auch Nachteile: Alle Details, die die gleiche Intensität in beiden Bändern aufweisen, heben sich auf, wodurch die Bilder unnatürlich wirken.

Ein weiterer Ansatz ist, die Aufnahmen als Farbbilder darzustellen. Die Software „Genius für Works“ korrigiert und verarbeitet die Aufnahmen und ermöglicht es, diese in Komplementärfarben zu überlagern, so dass die Unterschiede sichtbar und leicht erkennbar werden. Sie separiert die zwei Aufnahmen der Dual-Band Kamera und gibt diese in Echtzeit entweder als Einzelbilder mit individuellem Kontrast und Helligkeit oder als Überlagerungsbild wieder.

Üblicherweise setzen sich Farbdarstellungen aus drei komplementären Farben zusammen, die durch einfache Addition jede beliebige Farbe erzeugen können und die sich insbesondere zu Grauwerten addieren wenn jede Komponente die gleiche Intensität hat (z.B. RGB Farben). Werden (z.B. für eine Dual-Band IR-Kamera) nur zwei Farben verwendet, sollten solche gewählt werden, die bei Überlagerung wiederum Grauwerte liefern, wenn sie die gleiche Intensität haben. Beispiele von Farb-Paaren sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Beispiele von Farb-Paaren für die Dual-band Bildüberlagerung.

	Aufnahme 1 (MWIR)	Aufnahme 2 (LWIR)
Farb-Paar 1	Cyan (RGB 0 %, 100 %, 100 %)	Rot (RGB 100 %, 0 %, 0 %)
Farb-Paar 2	Hellblau (RGB 0 %, 50 %, 100 %)	Orange (RGB 100 %, 50 %, 0 %)

Weist eine der beiden Aufnahme eine höhere Intensität als die andere auf, zeigt sich dies in der Überlagerung durch einen farbigen Bereich. Bei identischer Intensität erscheint die Überlagerung in grau, weiß oder schwarz. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass

sowohl die absolute Intensität als auch die Unterschiede innerhalb der beiden Aufnahmen gleichzeitig dargestellt werden können. Die Überlagerung erscheint als normales IR-Bild mit leichten Einfärbungen.

Die Systemsoftware bietet nicht nur die Möglichkeit, Bilder zu überlagern, sondern auch Live-Bilder automatisch zusammen zu stellen und großflächige Mosaik-Bilder herzustellen.

4. Ergebnisse und Einsatzbeispiele

Das Dual-Band IR Kamera System Geminis 110k ML wurde in verschiedenen Szenen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen getestet. Eine Auswahl dieser Aufnahmen wird hier dargestellt und beschrieben:

- a) Panorama der Stadt Freiburg. Die Aufnahmen wurden von einem Hügel im Stadtzentrum tagsüber aufgenommen.
- b) Wie a), jedoch nachts.
- c) Autobahn-Szene, nachts aufgenommen von einer Brücke über der Autobahn.
- d) Flugzeugstart, aufgenommen von der Seite der Startbahn, bei untergehender Sonne.
- e) Flugzeugstart, von unten aufgenommen, am Ende der Startbahn bei Nacht.

Es wurden Aufnahmen in Freiburg an einem kalten Tag im Januar gemacht, sowohl in der Nacht als auch tagsüber (Abb. 2). Circa 100 einzelne Bilder wurden aufgenommen und zu großen Panoramabildern zusammengesetzt. Die MWIR und die LWIR Aufnahmen wurden mit komplementären Farben überlagert. Das Stadt-Panorama zeigt eine große Zahl an Gebäuden, Straßen, Autos, Bäumen und anderer Vegetation, Berge und Wolken nahe des Horizonts und des Himmels. Dank der farbigen Darstellung können die Unterschiede in der Intensität von MWIR und LWIR einfach und schnell identifiziert werden.

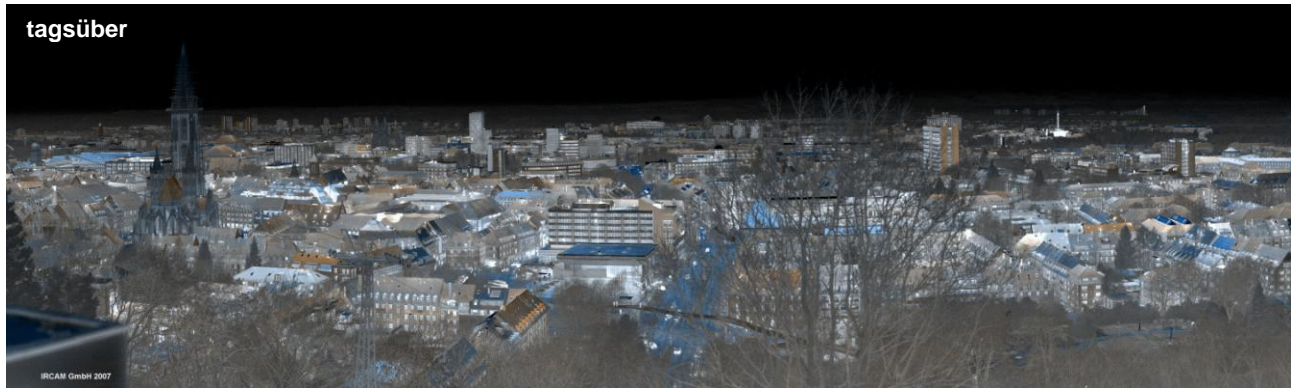


Abb. 2: Dual-Band IR Aufnahmen (3000 x 900 Pixel) der Stadt Freiburg, tagsüber (oben) und nachts (unten). MWIR Bild und LWIR Bild wurden mit Komplementärfarben überlagert. Die Panoramabilder wurden aus ca. 100 einzelnen Aufnahmen zusammengesetzt.

Die Messungen lieferten folgende Ergebnisse:

- a) Sowohl nachts als auch tagsüber fallen die Straßen durch eine höhere Intensität im MWIR auf. Dies wird in Abb. 3 im Detail für die Nachtaufnahme dargestellt.
- b) Tagsüber zeigen einige Dächer eine höhere Intensität im MWIR, andere zeigen im LWIR eine höhere Intensität. Nachts reflektieren die meisten Dächer sowohl im MWIR als auch im LWIR stark den kalten Himmel.
- c) Fensterscheiben haben eine höhere Intensität im MWIR, besonders, wenn sie sich auf dem Dach befinden.
- d) Flammen und heißer Rauch zeigen durch ihren Kohlendioxidgehalt im MWIR eine höhere Intensität als im LWIR.

Generell liefert die Überlagerung der Dual-Band Bilder eine bessere Bildqualität, da sie zusätzliche Farbinformationen enthält und die subjektive Wahrnehmung von Details einer Szene erleichtert.

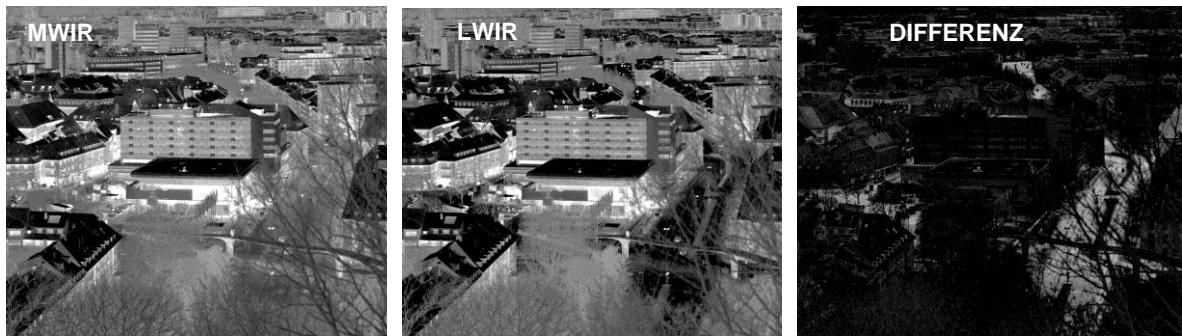


Abb. 3: Aufnahmen der Stadt Freiburg bei Nacht (Details von Abb. 2) MWIR (links) und LWIR (Mitte). Die rechte Aufnahme zeigt ein Differenz-Bild. Die Straße hat einen höheren MWIR Anteil, was sich im Differenz-Bild (rechts) zeigt.

Um die spektrale Signatur von Autos zu untersuchen, wurden Aufnahmen mit der Geminis 110k ML von einer Brücke über der Autobahn gemacht (Abb. 4). Die fahrenden Autos wurden dabei von vorne aufgenommen. Die Straßenoberfläche erscheint wie erwartet mit einem höheren MWIR-Anteil. Die Windschutzscheiben der Autos emittieren größtenteils die IR Strahlung, reflektieren jedoch gleichzeitig den (kalten) Himmel. Da die Volumenemission des Glases im MWIR größer ist, zeigt die Windschutzscheibe immer eine höhere Intensität im MWIR. Auch die Frontscheinwerfer zeigen einen höheren MWIR-Anteil. Der Grund dafür liegt darin, dass das Glas eine gewisse MWIR Transmission aufweist und daher die IR-Strahlung der heißen Glühbirne passieren kann.



Abb.4: Dual-Band IR Aufnahme einer Autobahn bei Nacht. Links: MWIR, Mitte: LWIR, rechts: Differenz zwischen MWIR und LWIR. Das Differenz-Bild zeigt klar, dass die Windschutzscheiben und die Frontlichter eine höhere Strahlung im MWIR als im LWIR zeigen.

Weiterhin wurden bei Nacht Aufnahmen am Ende einer Flughafen-Landebahn gemacht, um ein Flugzeug beim Start vom Abheben bis zum Überfliegen der Kameraposition zu messen (Abb. 5). Es zeigte sich, dass die ausgestoßenen Gase nur in der MWIR-Aufnahme sichtbar sind. Der Grund dafür ist, dass das heiße Kohlendioxid nur im MWIR emittiert, nicht jedoch im LWIR. Wenn jedoch die Detektion der von Kohlendioxid verursachten IR-Emissionen das Ziel ist (beispielsweise für ein Raketenwarn-System), sollte eine Dual-Color MWIR Detektor vorgezogen werden, da dieser für Kohlendioxid selektiver arbeitet und höhere Kontraste liefert.

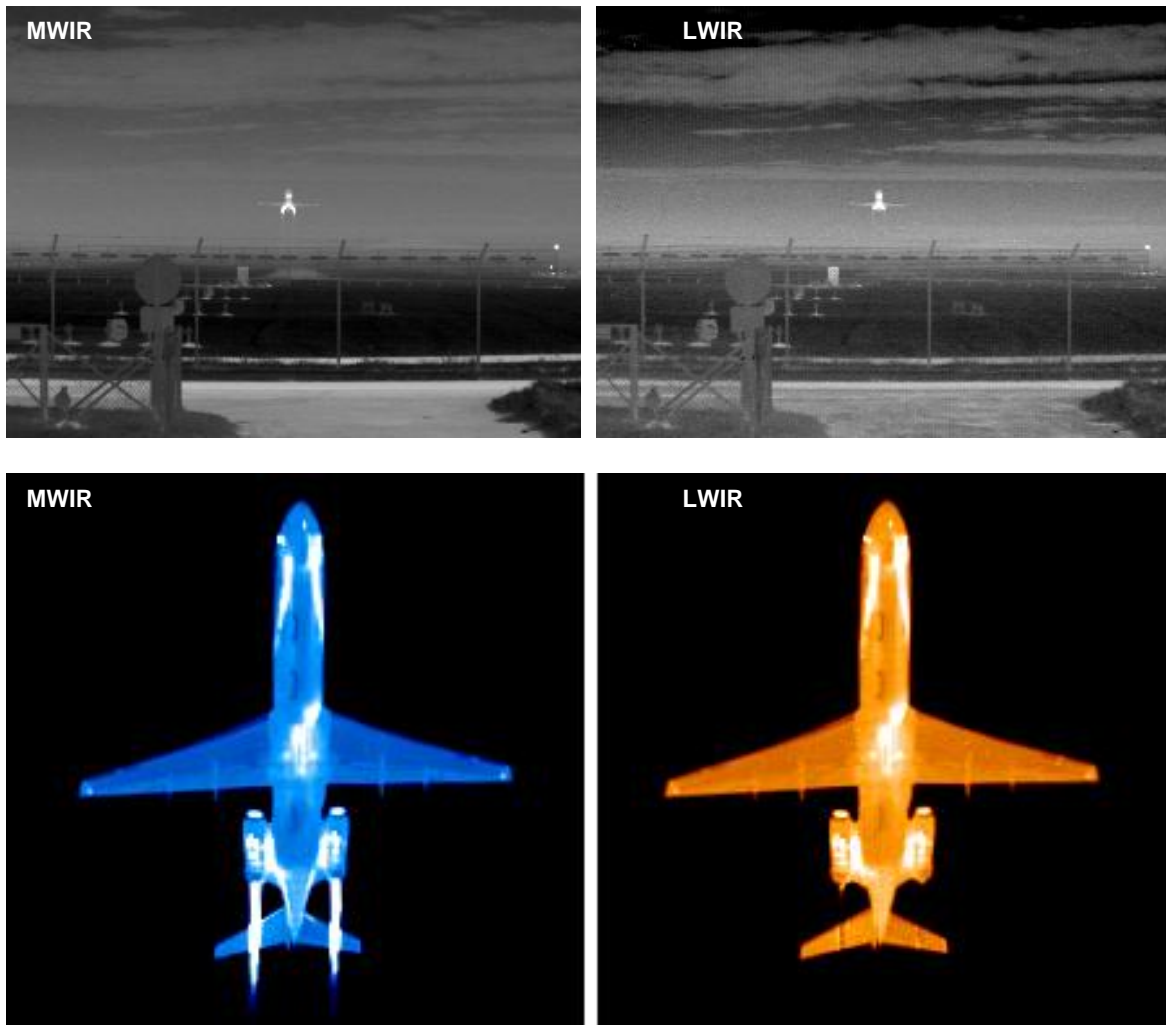


Abb.5: Dual-Band IR-Aufnahme eines startenden Flugzeuges, direkt nach dem Abheben (Gruwertbilder, oben) und direkt über der Position der IR-Kamera (Farbbilder, unten): MWIR (links) und LWIR (rechts). Nur in der MWIR Aufnahme sind die Abgase sichtbar.

Mit der Geminis 110k ML wurden Aufnahmen eines startenden Flugzeuges gegen die untergehende Sonne am wolkigen Himmel gemacht (Abb. 6). Die MWIR-Aufnahme zeigt eine starke Emission durch die Abgase. Weiterhin zeigen sich sehr deutlich Sonnenreflexe auf den Wolken und auf der Startbahn, die die Erkennung des Flugzeuges erschweren. Das LWIR-Bild zeigt keine Reflexionen und die Szene wirkt völlig ungestört.

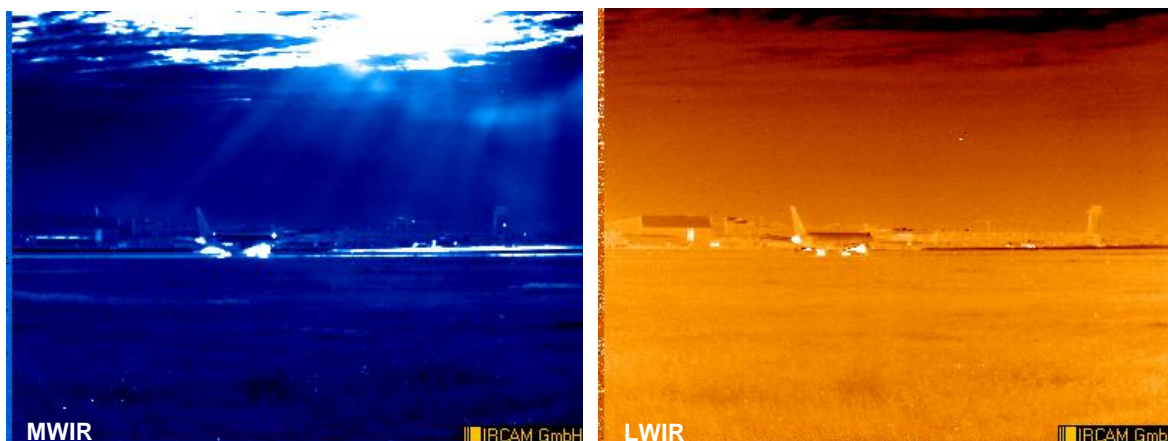


Abb. 6: Dual-Band IR-Aufnahme (MWIR und LWIR) eines startenden Flugzeuges vor dem Start. Die Aufnahmen wurden gegen die Sonne aufgenommen. Die MWIR Aufnahme (links) zeigt starke Sonnenreflexe.

5. Zusammenfassung

Es wurde das Dual-Band IR Kamera System Geminis 110k ML basierend auf einem Dual-Band QWIP Focal Plane Array Detektor entwickelt. Das System ermöglicht, Infrarot-Aufnahmen auf verschiedene Weise aufzuzeichnen und wiederzugeben, u. a. als Überlagerung mit Komplementärfarben. Das Kamera-System wurde unter verschiedenen Bedingungen mit unterschiedlichen Szenen getestet.

Es zeigt sich, dass durch die spektralen Eigenschaften der Materialien in einer Szene der Kontrast von IR-Aufnahmen durch eine Darstellung als echtes Farbbild gesteigert werden kann. Beispielsweise kann die Wahrnehmbarkeit von Details wesentlich verbessert werden. Die Geminis 110k ML liefert großformatige, scharfe Aufnahmen. Sie ermöglicht die Identifikation von Materialien (z.B. Glas, Asphalt, Schiefer, etc.), die Unterscheidung von Sonnenreflexen und heißen Objekten und die Visualisierung heißer Abgase. Weiterhin ermöglicht das System, zwischen zwei spektralen Bändern umzuschalten und so jeweils das Band zu wählen, das unter den gegebenen Bedingungen die subjektiv besseren Bilder liefert.

Referenzen

- [1] O. Schreer, M. López Sáenz, Ch. Peppermüller, Th. Hierl, K. Bachmann, J. Fries, Proc SPIE Vol. 5074, p 637 (2003)
- [2] W. Cabanski, K. Eberhardt, W. Rode, J. Wendler, J. Ziegler, J. Fleissner, F. Fuchs, R. Rehm, J. Schmitz, H. Schneider, M. Walther, Proc SPIE Vol. 5406, p 184 (2004)
- [3] W. Cabanski, M. Münzberg, W. Rode, J. Wendler, J. Ziegler, J. Fleissner, F. Fuchs, R. Rehm, J. Schmitz, H. Schneider, M. Walther, Proc SPIE Vol. 5783, p 340 (2005)
- [4] M. Münzberg, R. Breiter, W. Cabanski, H. Lutz, J. Wendler, J. Ziegler, R. Rehm, M. Walther, Proc SPIE Vol. 6206, (2006)
- [5] R. Rehm, M. Walther, J. Fleißner, J. Schmitz, J. Ziegler, W. Cabanski, R. Breiter, Proc SPIE Vol. 6206 (2006)
- [6] A. Manissadjian, D. Gohier, E. Costard, A. Nedelcu, Proc SPIE Vol. 6206 (2006)
- [7] IRCAM homepage: <http://www.ircam.de>