

## Hochauflösende Multisensor- Systeme

GERHARD KEMPER<sup>1</sup>,

*Zusammenfassung: Die Entwicklung im Bereich der Sensorik ist rasant und höhere Leistung wird immer kompakter. Neben Laserscannern und RGB Flächensensoren werden zunehmend auch Thermalkameras, NIR-Sensoren aber auch Hyperspektralscanner eingesetzt. Auch UV-Sensoren sind für spezielle Aufgaben im Bereich des Monitoring zunehmend von Interesse. Die Integration solcher Sensoren in flugzeugbasierte Vermessungssysteme hat eine bisher nie erreichte Qualität und Flexibilität erreicht. Neben einfachen preiswerten Systemen für Aufgabenstellungen im Bereich Monitoring sind auch metrische Sensoren verfügbar welche hochauflösende geometrisch präzise Daten zur Verfügung stellen. Die Kombination solcher Sensorköpfe ermöglicht es heute, nutzerspezifische Plattformen für flexible Aufgaben zu entwickeln.*

### 1 Dual- und Triple RGB Sensoren

"Wide Corridor Mapping" ist insbesondere in strukturell wenig entwickelten Ländern eine wichtige Fragestellung. Nicht immer sind großformatige Kameras verfügbar oder für die Aufgabenstellung geeignet. Für die Befliegung von großen Gebieten im Sudan wurde basierend auf mittelformatigen Phase-One Kameras zunächst eine 2-Kopf-Lösung, bestehend aus 2 PhaseOne iXA-180 und 110 mm Objektiven, entwickelt und erfolgreich in mehreren Projekten getestet. Für ein Eisenbahnprojekt wurde es notwendig eine noch breitere Trasse effizient abdecken zu können. So wurde eine 3-Kopflösung entwickelt und eingesetzt. Als Produkte sollte



ein DGM abgeleitet sowie ein Orthophoto generiert werden. So wurden drei 80 MPix Kameras mit 150 mm Brennweite und einer Überlappung von 20% zwischen den Sensoren in Querausrichtung montiert. Daraus resultiert eine Flächendeckung von 26.800 \* 7.752 Pixeln was einer Flächendeckung von 2.680m \* 775m entspricht. Die Höhengenaugigkeit ist wegen der langen Brennweite nur 32 cm, was jedoch der geforderten Spezifikation des DGM von besser 50 cm lag. Somit war eine geeignete Sensorkombination gefunden.

Abb. 1: Der Triple Sensorkopf aus 3\*80 MPix iXA180 PhaseOne Kameras und GNSS-INS

<sup>1</sup> GGS-GmbH, Kämmererstr.14, D-67346 Speyer, E-Mail: [kemper@ggs-speyer.de]

Die Problematik der Passpunktsignalisierung in solchen Gebieten ist ja bekannt, so wurde auf direkte Georeferenzierung und wenigen Passpunkten in den urbanen Arealen gesetzt. Hierzu war eine Sensor zu Sensorkalibration sowie der Bestimmung der Boresidewinkel notwendig. Dies wurde anhand eines Projektegebietes in Khartum gelöst.

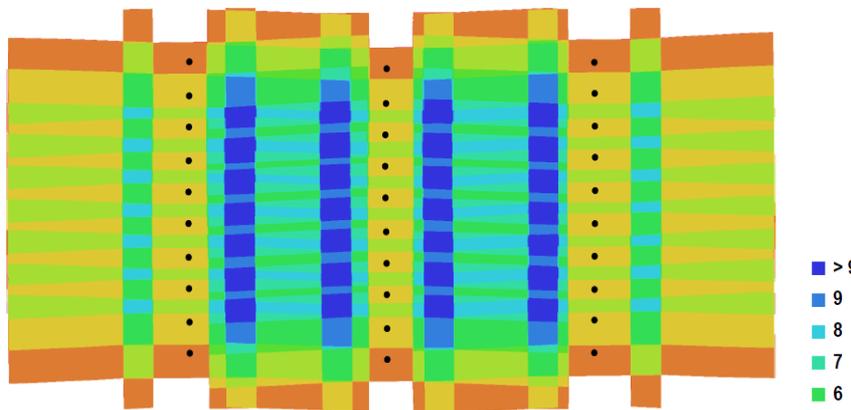


Abb. 2: Überlappungsanalyse des Kalibrierfelds in Nord-Khartum



Abb. 3: Orthophoto-Mosaik des Wad al Basal Gebietes an Nil

Mit den aktuellen 100 MPix PhaseOne iXU Kameras könnten so Sensorköpfe mit 30.000 Pixeln quer zur Flugrichtung realisiert werden. Schon für unter 300 k€ kann so ein komplettes System mit Gyrostabilisierung, GNSS-INS und Flugführung bereitgestellt werden, eine preiswerte und flexible Alternative für Entwicklungsländer. Durch Auswahl von Objektiven von 32-240 mm sind auch höchste Auflösungen von geeigneten Flughöhen möglich.

## 2 DAISI - ein System für die Bestimmung von Vogelarten

Für das zu GICON Firmengruppe gehörende Institut für Angewandte Ökosystemforschung (IfAÖ) wurde ein Sensorsystem zur Erfassung von Seevögeln und Meeressäugern mit einer Auflösung von 2 cm GSD entwickelt. Die IfAÖ stellte am 6. März 2014 DAISI (Digital Aerial Imagery System by IfAÖ) vor. Mithilfe der in einem Flugzeug installierten hochauflösenden Doppelkamera kann DAISI Vögel und Meeressäuger an der Meeresoberfläche automatisiert erfassen. Dieses Verfahren muss seit Anfang des Jahres 2014 als Teil von Umweltverträglichkeitsprüfungen beim Bau von Offshore-Windparks digital und nicht länger manuell durchgeführt werden. Seit 2010 arbeitet das IfAÖ intensiv an der Entwicklung einer entsprechenden Methode. Was bisher von bis zu drei Beobachtern an Bord übernommen wurde, erledigt nun DAISI. Dafür wurde die 2-motorige Partenavia P68c mit zwei gekoppelten Phase One iXA180 Kameras mit einer Grundauflösung von 2cm und einer Abdeckung von 400m x 175m bei einer Flughöhe von 426m ausgestattet. Die Kameras sind mit einer minimalen Überlappung angeordnet um eine möglichst große Fläche abzudecken. Auf einer AeroStab-Twin sind die Kameras stabilisiert und werden durch das FMS getriggert. Der Import des Bildmaterials erfolgt teilautomatisiert mit Georeferenzierung über GPS-IMU. Durch eine spezielle Software werden Vogel- und Säugetierbeobachtungen kategorisiert und gezählt. Um Veränderungen zu dokumentieren, werden die Flächen in der Regel sieben Jahre lang – vor der Genehmigung, in der Bauphase und während der Betriebsphase – jeweils zehnmal jährlich überflogen.

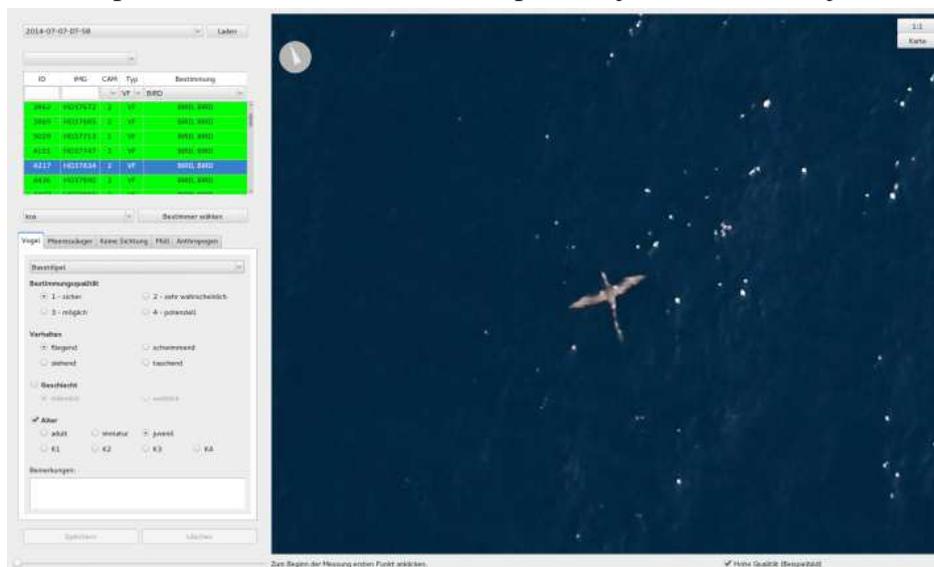


Abb. 4: Screen-shot des Auswerteprogramms zur automatisierten Vor-Bestimmung von Vogelarten (Beispiel zeigt einen jungen Töpel)

Bereits erfolgreich getestet wurde im letzten Jahr eine 3-Kameralösung (2\*RGB und 1\*NIR), die zur Glare-Kompensation (Reflektion in an der Wasseroberfläche insbesondere Wellen) dient. Glare-Effekte stören bei der automatischen Erkennung der Arten, deren Geschlecht und deren Anzahl. Durch das NIR-Band können Reflektionen in den RGB Bildern zugeordnet werden und so werden in den automatischen Vorselektionsschritten Interpretationsfehler reduziert. Dieses Jahr soll ein solches System basierend auf der iXU-1000 (100 MPix) installiert werden.

### 3 OIS- Oblique Imaging System

Oblique Kamerasysteme für die 3D Modellierung historischer Städte oder Objekte kann heute dank mittelformatiger metrischer 100-MPix Sensoren eine GSD von  $< 2$  cm erreichen. Je nach Art der Integration können höchstgenaue Modelle gerechnet werden. Neben preisgünstigen Systemen (OIS-S) mit  $5 \times 36$  MPix Nikon-Kameras oder bzw. mit der Canon 5DSR (50 MPix) welche alle auf der SLR Technologie basieren sind Systeme mit bis zu sieben 100 Mpix PhaseOne Kameras (OIS XL) möglich.

Um hohe geometrische Genauigkeiten zu erzielen sind nur Kameras mit Zentralverschluss geeignet. Es ist auch möglich SLR-Kameras mit Schlitzverschluss (Focal Plane Shutter) zu kalibrieren, jedoch ist die Entzerrung der Bilder zur Rückführung der durch den Verschluss verursachten Pixelverschiebungen gerade bei hohen Auflösungen komplex und gerade bei verschiedenen Einbaulagen obliquer Systeme eigentlich nicht zu realisieren.

Im Sommer wurde ein Kamerasystem mit einer iXU-180 als Nadir-Sensor und 4 iXU 150 als Oblique-Sensoren aufgebaut und kalibriert.

Die Kalibrierung beinhaltet neben der Kalibrierung der Kameras auch die Kalibrierung der Relativwinkel und Verschiebungen sowie die Boreside-Winkel. Im Sommer 2015 wurde die Befliegung mit einer Cessna 206 über Speyer durchgeführt. Es wurden 2 Flughöhen gewählt und bei großer Überlappung zudem Querstreifen in den Bildblock geplant. In Speyer besteht ein dichtes Netz von Passpunkten sowie eine GNSS Referenzstation.

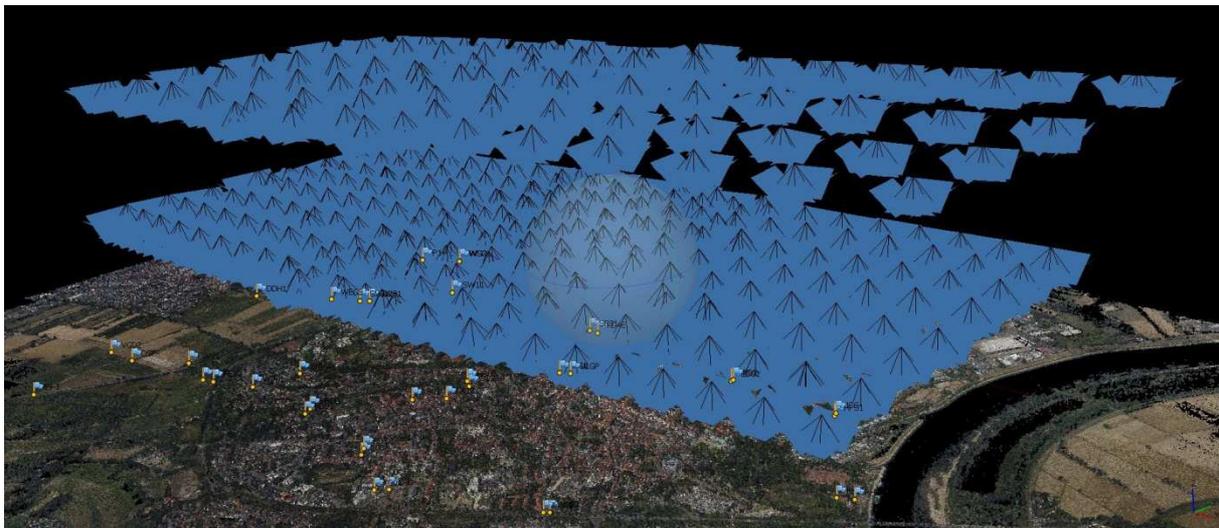


Abb. 5: Aerotriangulation aller Bilder und Flughöhen in Photoscan

Bereits der erste Versuch einer Aerotriangulation aller Bilddaten war erfolgreich. Durch die große Überlappung wurden sehr viele Verknüpfungspunkte gefunden und eine robuste erste Lösung erreicht. Die Daten wurden dann in Bingo weiterverarbeitet. Hier wurden zunächst Fehlmessungen automatisch korrigiert und mit den Passpunkten eine präzise AT erzielt. Daraus wurden die einzelnen Kameras zunächst mit klassischen verfahren, dann zur Eliminierung der Restfehler mit zusätzlichen Parametern kalibriert.

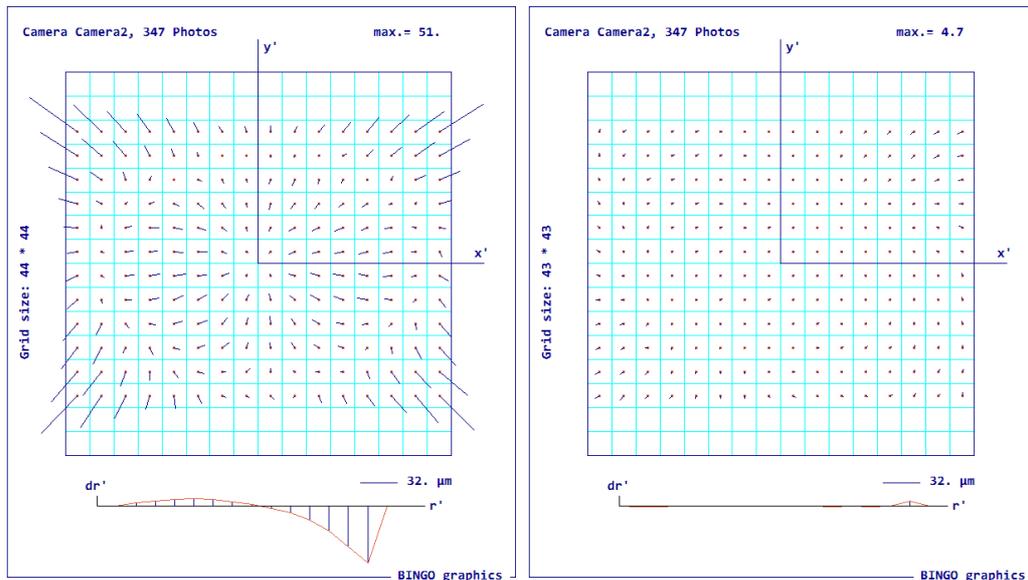


Abb. 6: Verbleibende radiale Verzeichnung vor und nach der Ausgleichung in Bingo

Nach der Kalibration konnten nun die relativen Winkel der obliquen Kameras zur Nadir-Kamera berechnet werden. Die Berechnung der Boreside-Winkel kann grundsätzlich für alle Kameras erfolgen oder zur Nadir-Kamera und von dort Co-Referenziert zu den obliquen Kameras. Beide Wege führen zu vergleichbaren Ergebnissen. Bei der Übernahme der GNSS-INS Daten ist noch die Lage der Nodalpunkte von Bedeutung, diese wird von dem Hersteller der Kamera/Objektive bereitgestellt. Diese ist mit den spezifischen Einbaulagen im Sensorkopf zu verrechnen.



Abb. 7: Ausschnitt des 3D Stadtmodells vom Testgebiet mit dem Dom zu Speyer

## 4 Multispektrale 4/5 Band-Systeme

Multispektrale Setups mit der Kombination von hochauflösenden 4 Kanal Kameras (PhaseOne 4-Band Solution) in Kombination mit thermalen Sensoren eröffnen neue Möglichkeiten auf der Suche nach Objekten im Untergrund. Die Spuren der menschlichen Kultur ist oft unter der Erde verborgen. Luftbilder hatten schon immer mit einer neue Perspektive geholfen Strukturen zu erkennen die so im Gelände nicht sichtbar waren. Sei es durch leichte Deformation der Oberfläche, durch andere Bodenstruktur mit der Wirkung auf die Vegetation oder veränderte hydrologische Bedingungen.

Zusätzlich zu Farbbildern welche darstellen was auch das menschliche Auge wahrnimmt können CIR Daten noch besser Hinweise auf den Zustand der Vegetation geben und somit Rückschlüsse auf Anomalien im Untergrund. Die Chlorophyllgehalt der Pflanzen ist ein Indikator deren Vitalität. Gerade in der Phase der Zustandsänderung ist dies im sichtbaren Band oft noch nicht erkennbar. Besser als mit reinen RGBI Daten können Feuchteunterschiede durch veränderte Evapotranspiration und der damit einhergehenden Temperaturänderung erfasst werden. Thermalsensoren erfassen die thermische Emission und zeigen bei feuchteren Stellen eine niedrigere Temperatur am Tag und höhere Temperaturwerte in der Nacht oder am frühen Morgen.

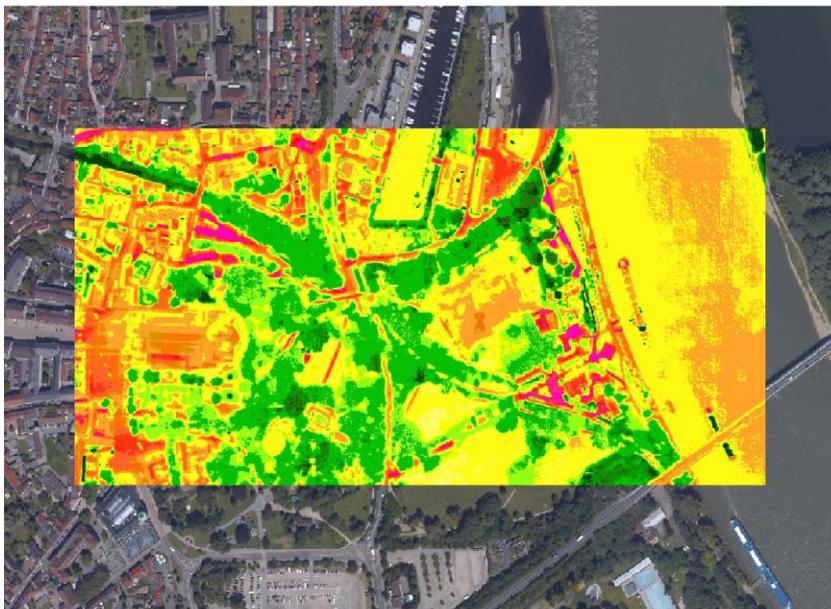


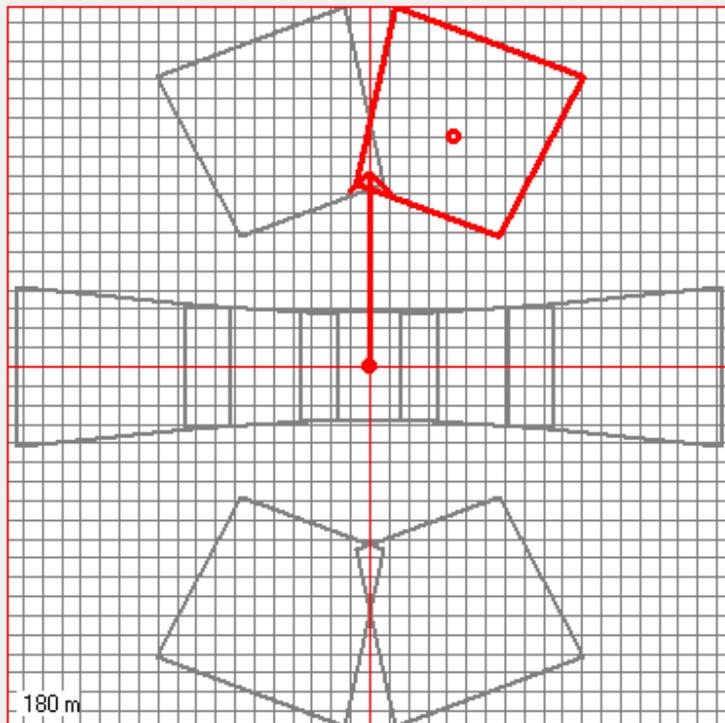
Abb. 8: Orthophoto von Speyer überlagert mit einem thermalen Orthophoto.

Thermaldaten helfen aber auch in Objekten Strukturen zu erkennen, welche sich thermisch durchzeichnen. Das können unterschiedliche Arten der Gesteine sein oder Gradienten des Feuchtetransportes.

## 5 OTS - Oblique Thermal Systeme

Thermalkameras haben noch immer das Problem der geringen Auflösung, Standard ist noch immer 640\*512 Pixel. Damit sind höhere Auflösungen schwierig zu realisieren da sich der Flugaufwand potenziert. Typische GSD für thermale Anwendungen liegen bei 25-100 cm.

Durch die Kombination mehrere Thermalsensoren kann die Erfassungsbreite vergrößert und sogar Schrägansichten in das Thermale Datenmanagement integriert werden. Das Setup des OTS



beinhaltet 9 Sensorköpfe. Dadurch werden 3200 Pixel quer erreicht wobei die äußeren 6 Kameras mit 36 Grad schon klar oblique sind. Dadurch werden auch Fassaden und senkrechte Objekte direkt vermessen und nicht nur der konvektiv indirekt gemessenen Aufstieg der erwärmten Luft.

Abb. 9: Setup des OTS mit seinen 9 Thermalsensoren.

Bei der Thermographie ist es besonders wichtig, das Gebiet zügig zu erfassen da sich über die Zeit die Temperaturverhältnisse ändern. Was bei der klassischen Luftbildbefliegung ein Wandern der Schatten ist, stellt bei der Thermographie eine weitaus größere Problematik dar. Durch das OTS wird das Gebiet nicht nur schneller abgedeckt sondern durch die unzähligen Überlappungen auch Möglichkeiten zur Korrektur der Temperaturdrift eröffnet. Dies führt nicht nur zu homogeneren Daten sondern auch zu einer besseren Interpretierbarkeit.

## 6 Ausblick

Die Möglichkeiten heutiger Sensortechnik erlaubt die optimale anwenderspezifische Adaption, sei es für höchste Auflösung z.B. bei Architektur und Denkmalschutz, oder großen Flächen z.B. zur Erfassung von Pyramiden im Sudan. Die Sensoren werden immer leistungsstärker und kompakter was auch den Einsatz in UAVs ermöglicht. Allerdings sind nicht alle Sensoren einfach zu integrieren denn bei Multisensor-Systemen spielt die Synchronität eine wichtige Rolle für die automatisierte Auswerten und auch im Zusammenspiel mit GNSS-INS. Neben der stabilen geometrischen Integration ist also die Synchronisierung eine ernste Aufgabe. Während bei den PhaseOne Kameras schon von Beginn eine "Daisy Chain" Lösung angeboten wurde sind bei einfachen SLR Kameras solche Lösungen selbst zu erarbeiten.

Für Applikationen des hochgenauen Monitorings von Powerlines sind Lösungen mit Lidar, RGB, Thermal und UV in Entwicklung, also fast alles was es an Sensoren heute gibt. Eine solche Integration ist auch finanziell heute möglich.

## 7 Literatur

- BARMETTLER, A., NEBIKER, S., KEMPER, G., KOCH, C, SCHMUTZ, M., STUTZ, C., & PETER, M., 2010: airAGro – Fernerkundungslösung für die Agronomie auf der Basis von Leichtflugzeugen und Minidrohnen. 3 Ländertagung der DGPF, OVG und SGPBF Wien.
- COPPACK, T., WEIDAUER, A. & KEMPER, G., 2015. Erfassung von Seevogel- und Meeressäugerbeständen mittels georeferenzierter Digitalfotografie. AGIT, Journal für Angewandte Geoinformatik, 1, pp. 358-367.
- KEMPER, G., & VASEL, R., 2009: Luftgestützte Thermographie zur Überwachung von Bauwerksschäden; Innovative Feuchtemessung in Forschung und Praxis 4, Berichtsband zum Workshop 2009, Karlsruhe
- KEMPER, G., 2010: Neue luftgestützte Sensoren und Plattformen für verschiedenste Aufgaben in der Fernerkundung. 3 Ländertagung der DGPF, OVG und SGPBF, Wien.
- KEMPER, G., PIVNICKA, F. & GEISSLER, S., 2012: Calibration Procedures in Mid Format Camera Setups; XXII ISPRS Congress, ISPRS Proceedings, Melbourne/ Australia.
- KEMPER, G., 2012. New Airborne Sensors and Platforms for Solving Specific Tasks in Remote Sensing. ISPRS, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIX-B5, pp. 351-356.
- KEMPER, G. , SCHUHMANN, R. & KÖNIGER, F. (2013): New airborne thermal infrared photogrammetric applications and sensors for moisture detection; Proceedings of the 10th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances (ISEMA), Weimar, 25.-27. September 2013, 423-431. Kupfer, K. [Hrsg.]
- KRUCK, E. & MELYKUTI, B., 2014: Kalibrierung von Oblique- und UAV Kameras, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, Hamburg, 2014

- MALLAST, U., SCHWONKE, F., SIEBERT, C., MARASCHEK, U., KEMPER, G., GEYER, S. & KÜHN, F., 2011: Hochauflösende flugzeuggestützte Thermalfernerkundung zur Kartierung submariner und terrestrischer Grundwasserquellen in der hochsalinaren Uferzone des Toten Meeres - Erste Ergebnisse von Befliegungskampagnen am Westufer des Toten Meeres im Januar 2011: DGPF Jahrestagung in Mainz 2011
- VASEL, R., KEMPER, G., SCHUHMAN, R., & KÖNIGER, F., 2012: New airborne thermal infrared photogrammetric applications and sensors for moisture detection; XXII ISPRS Congress, ISPRS Proceedings, Melbourne/ Australia.