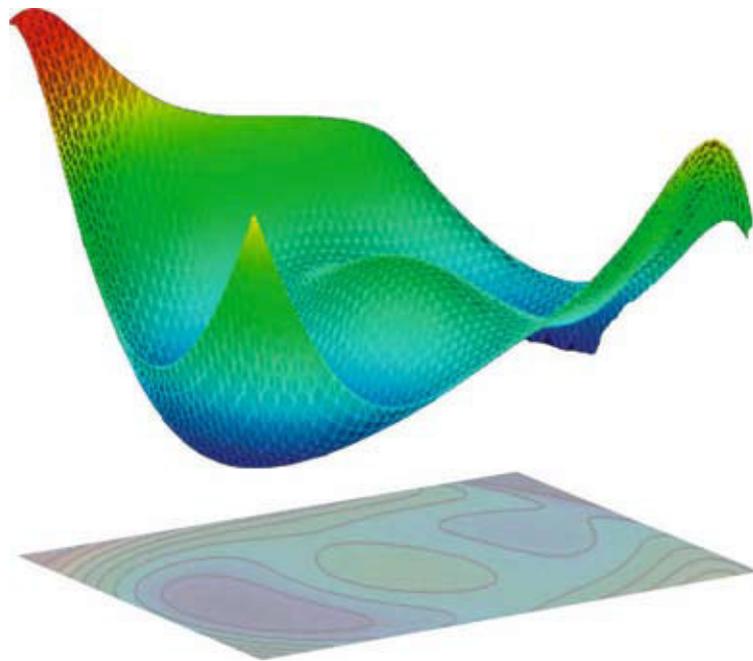




Institut für  
Angewandte Forschung

# Beiträge aus Forschung und Technik 2010



**Hochschule Offenburg**  
University of Applied Sciences



**Institut für  
Angewandte Forschung**

# Beiträge aus Forschung und Technik 2010



**Forschungsbericht der  
Hochschule für Technik, Wirtschaft  
und Medien Offenburg**



**Hochschule Offenburg**  
University of Applied Sciences

# Luftbilder und Magnetfeldkarten – der Hochschul-Helikopter fotografiert aus der Vogelperspektive

**Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder**  
Fakultät Elektrotechnik  
und Informationstechnik (E+I)

Badstraße 24  
77652 Offenburg  
Tel. 0781 205-271  
E-Mail: w.schroeder@fh-offenburg.de

**1954:** Geboren in Osnabrück  
**1979:** Studium der Physik an der Universität Bielefeld mit Abschlussdiplom  
**1982:** Promotion über inelastische Streuprozesse  
**1983–1988:** Aufbau und Leitung der Faserkreiselentwicklung bei der Firma Litef Freiburg  
**Seit 1988:** Professur an der Hochschule Offenburg über Physik, Impulstechnik, Leitung des IAF-Schwerpunkts Physikalische Sensorik. Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft und Society of Photoinstrumentation Engineers, Leitung des Steinbeis-Transferzentrums Physikalische Sensorik  
**Seit 1990:** Mitglied des Instituts für Angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Offenburg  
**1996:** Ausgründung einer Firma mit 12 Mitarbeitern



**Forschungsgebiete:** Laserkreiseltechnik, Photonik, Optische Spektrometrie und ihre Anwendungen in der Navigation

## 2.4 Luftbilder und Magnetfeldkarten – der Hochschul-Helikopter fotografiert aus der Vogelperspektive

Prof. Dr. rer. nat. Werner Schröder

### Einführung

Der autonom und geregelt fliegende Helikopter der Hochschule Offenburg eignet sich als Träger für unterschiedliche Sensoren. Natürlich ist die naheliegendste Anwendung, mit einer Digitalkamera Luftaufnahmen zu machen. Abbildung 2.4-1 zeigt eines der Ergebnisse der ersten Luftbildflüge: Der Campus der Hochschule Offenburg von oben, aufgenommen mit einer digitalen Filmkamera mit entsprechend geringer Auflösung. Um bessere Ergebnisse zu erzielen, wurde inzwischen eine digitale Panorama-kamera mit einem Leica-Objektiv und ca. 10 Mio. Pixel beschafft.



**Abb. 2.4-1:** Der Campus der Hochschule Offenburg mit dem Neubau aus der Vogelperspektive, aufgenommen mit dem geregelten Helikopter

### Luftbilder

Eine Serie von Luftbildern kann dazu verwendet werden, ein digitales 3D-Modell der aufgenommenen Objekte zu erstellen. Hierzu ist als erster Schritt erforderlich, aus jeweils zwei Bildern die verbindende Fundamentalmatrix aus mindestens sieben korrespondierenden Punktpaaren zu berechnen. Sie beinhaltet die Kameraeigenschaften sowie die Verdrehung und Verschiebung der Kamera zwischen den beiden Bildern, die sich daraus mit einiger linearer Algebra berechnen lassen. Hieraus lassen sich auch die sogenannten Epipolarlinien ermitteln, die die Linien angeben, auf denen Punkte im Raum auf beiden Bildern zusammengehören. Abbildung 2.4-3 zeigt das Ergebnis der Berechnung von 8 Epipolarlinienpaaren. Interessant ist, dass bis auf einen linearen Skalenfaktor außer den beiden Bildern keinerlei weitere Information für die Berechnung notwendig ist. Inzwischen gibt es Verfahren,

korrespondierende Punkte in Bildpaaren automatisch zuzuordnen. Dazu werden interessante Punkte mit geeigneten Software-Detektoren (Harris-Detektor, SIFT oder seit neuestem SURF-Detektor) identifiziert und klassifiziert. Über einen Algorithmus, der robust gegenüber Ausreißern ist – die Klassifizierung der interessanten Punkte ist von Natur aus nicht so perfekt wie das menschliche Auge – lässt sich dann die Fundamentalmatrix automatisch ermitteln. Ein bewährter Algorithmus ist z. B. Der RANSAC-Algorithmus. Aus den ermittelten Verdrehungen und Verschiebungen lässt sich über Bündelausgleichsrechnung der genaue Flugweg der Kamera rekonstruieren. Da wir gleichzeitig die – vergleichsweise – ungenauen GPS-Daten haben, lassen sich die Bilder und die Kameraposition und ein mögliches 3D-Modell genau georeferenzieren. Die Leistungsfähigkeit derartiger Algorithmen kann man beispielsweise bei Microsoft's Photosynth bewundern. Mit Software-Detektoren, die sehr schnell und recht zuverlässig wie beispielsweise der SURF-Detektor arbeiten, kann erwartet werden, dass die Flugbahnberechnung auch online aufgrund der Bilddaten erfolgen kann. Die vorhandenen inertialen Sensoren können diese Berechnung und ihre Geschwindigkeit deutlich unterstützen. Die Online-Verarbeitung ist noch ein weites Feld für interessante und anspruchsvolle Abschlussarbeiten.

### Gradienten-Magnetometer

Da der Helikopter ca. 10 cm genau über dem Boden geregelt fliegen kann, lassen sich Magnetfeldgradienten direkt über dem Boden mit Magnetsensoren automatisch kartieren. Auf einer solchen Ma-

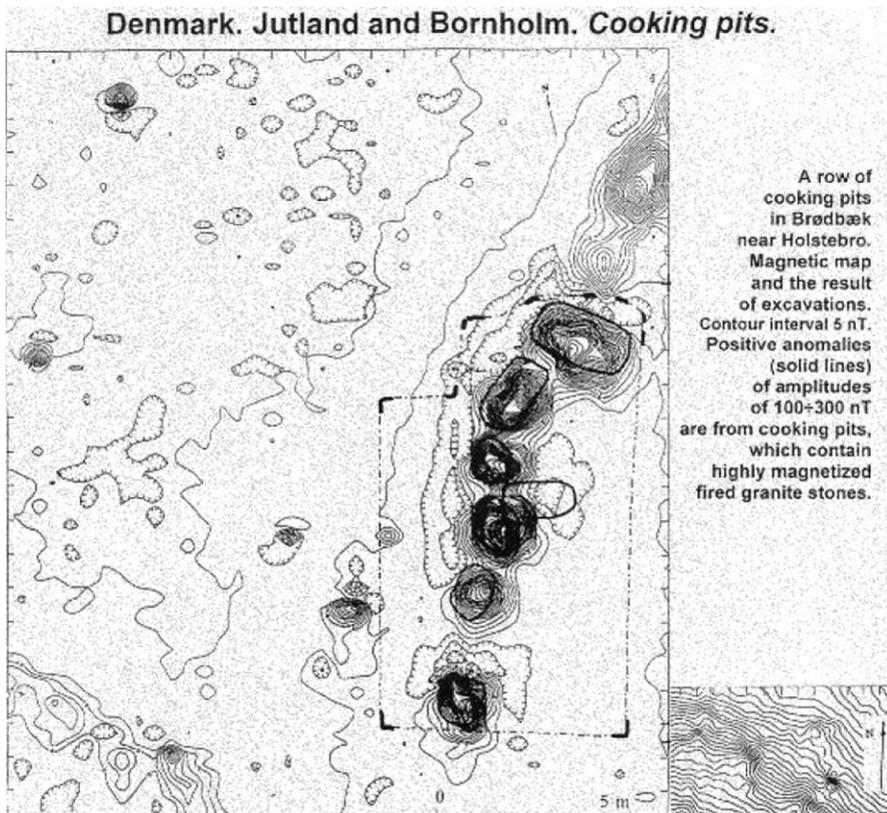


Abb. 2.4-2: Magnetfeldkarte von Feuerstellen (Beispiel entnommen aus <http://www.gemsys.ca>)

gnettefeldkarte kann man Störungen des Erdmagnetfelds erkennen, die beispielsweise durch Metalle im Boden oder Bodenveränderungen hervorgerufen werden. Archäologen verwenden das Prinzip, um damit alte Feuerstellen oder Gebäudereste im Boden aufzufinden. Die Störungen des Erdmagnetfelds durch solche Objekte sind im Allgemeinen allerdings sehr klein, sodass man das Magnetfeld recht hoch auflösend messen muss. Ein Beispiel für eine solche Magnetfeldkarte zeigt Abbildung 2.4-2. Derzeit ist ein solches Magnetometer für den Helikopter an der Hochschule im Rahmen von Projektarbeiten in der Entwicklung. Zwei Fluxgate-Magnetfeldsensoren mit jeweils drei Achsen werden in einem Abstand von ca. 0,5 m etwa 3 m unter den Helikopter gehängt und ihre Daten an die Bodenstation gefunkt. Die Auflösung der Sensoren beträgt einige 100 p.T. – entspricht etwa dem 1/100000-Teil der Stärke des Erdmagnetfelds – bei einer Messfrequenz von etwa 10 Hz. Abbildung 2.4-4 zeigt eines der beiden Magnetfeldsensoren mit Elektronik. Auch auf diesem Gebiet können interessante Projekt- und Abschlussarbeiten angeboten werden.



Abb. 2.4-3: Zwei Ausschnitte von Luftbildern der Hochschule Offenburg mit gerechneten 8 Epipolarlinienpaaren, die Berechnung erfolgte in MathCAD



Abb. 2.4-4: Fluxgate-Sensor mit Auswerteelektronik der Hochschule Offenburg

## 2.5 Holografisches Mikroskop

Prof. Dr. Werner Schröder  
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Weber

### Einführung

Herkömmliche Hellfeldmikroskope bilden ein Objekt mit Hilfe von Linsen auf einer lichtempfindlichen Fläche wie z. B. der Netzhaut im Auge oder einem CMOS- bzw. CCD-Chip ab. Dabei wird nur die Intensität beobachtet, die proportional dem zeitlichen Mittel des Quadrats der E-Felder der elektromagnetischen Wellen (Licht) ist. Durch die teils hohe numerische Apertur des Objektivs kann das Objekt bei Bedarf schichtweise durch Verändern des Objektabstands abgebildet und anschließend zu einem 3D-Bild zusammengesetzt werden. Soll der rekonstruierte Bildstapel also aus 100 Schichten bestehen, muss der Objektträger auch 100-mal bewegt und eine Aufnahme bei gegebener Belichtungszeit erstellt werden, das Objekt selbst sollte sich aber nicht bewegen. Gerade bei lebenden Zellen ist dies ein Problem.

### Holografisches Mikroskop

Beim holografischen Mikroskop wird stattdessen die vom Objekt ausgehende elektromagnetische Welle, die Objektwelle, inklusive der Phasenlage bestimmt, um anschließend das Objekt „offline“ daraus zu rekonstruieren. Das vorgestellte Verfahren zeigt die Erfassung einer komplexen Objektwelle durch Interferenz mit einer Referenzwelle und der anschließenden schichtweisen Rekonstruktion des Objekts. Abbildung 2.5-1a zeigt den verwendeten Aufbau schematisch, Abbildung 2.5-1b den inneren Teil der Optik.

### Beleuchtung und Referenz

Für die Objektbeleuchtung und die Referenzwelle wird der Strahl eines HeNe-Lasers fokussiert und in eine Einmoden-glasfaser eingekoppelt. Ein drehbares Filter erlaubt, die eingekoppelte Leistung anzupassen, um z. B. eine Übersteuerung des CMOS-Sensors zu verhindern. Da der Phasenhub des LCDs von der Eingangspolarisation abhängt, wird diese durch Doppelbrechung in einem Polarisationssteller angepasst. Dabei stehen zwei Kriterien im Vordergrund: maximaler Phasenhub und gleichbleibender Kontrast des Interferenzmusters.

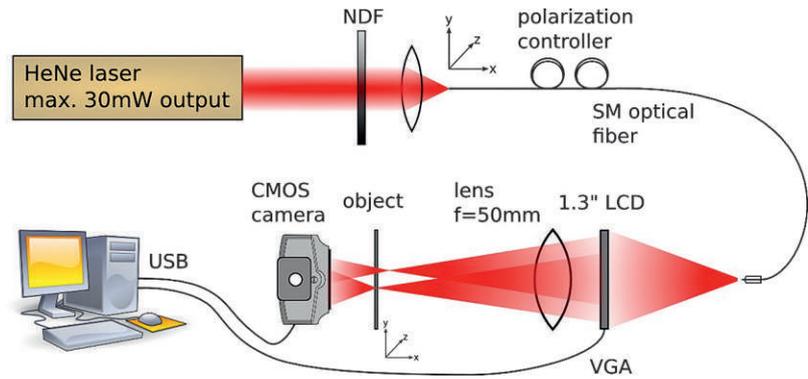


Abb. 2.5-1a: Schematischer Aufbau



Abb. 2.5-1b:  
Innerer Teil der Optik

### LCD als Spatial Light Modulator

Ein LCD wird in herkömmlichen Anwendungen wie in Anzeigen von Uhren, Taschenrechnern, Beamer usw. als „Lichtventil“ verwendet. Einzelne Punkte können durch elektrische Ansteuerung zwischen „durchlässig“ und „geblockt“ gesteuert werden. Dabei ist jeder Punkt eine nematische Drehzelle zwischen 2 Polarisatoren, die die Polarisationsebene proportional der angelegten Spannung dreht. Die Lichtdurchlässigkeit jedes einzelnen Punkts kann somit in z. B. 255 Stufen mit einer Frequenz von 25 bis 50 Hz verändert werden.

In der beschriebenen Anwendung wird das LCD ohne Polarisatoren verwendet, um statt der Amplitude der einzelnen

Punkte die Phasenlage zu beeinflussen. Abbildung 2.5-2 zeigt den gemessenen Phasenhub (grün) in Abhängigkeit der Ansteuerung über VGA bei optimal eingestellter elliptischer Eingangspolarisation und der approximierten Funktion zur Bestimmung der VGA-Ansteuerung bei gegebener Phasenlage (blau). Die Phasenverschiebung wird gemessen, indem eine Doppellochblende vor das LCD geschoben und die Austrittsöffnung der Glasfaser mit Linse auf einen CMOS-Chip abgebildet wird. Dieser Aufbau entspricht dann einem Mach-Zehnder-Interferometer, wobei jeweils eine Seite des LCD die Phasenlage im dazugehörigen optischen Pfad beeinflussen kann. Abbildung 2.5-2 zeigt auch das beobachtete Interferenzmuster bei zwei un-

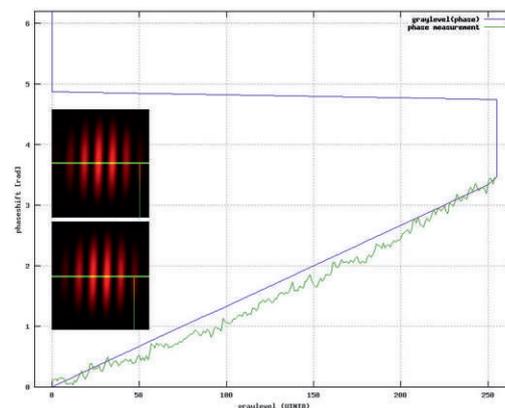


Abb. 2.5-2: Interferenz zur Ermittlung der Phasenverschiebung und daraus ermittelte (grün) sowie approximierte Phasenverschiebung (blau)

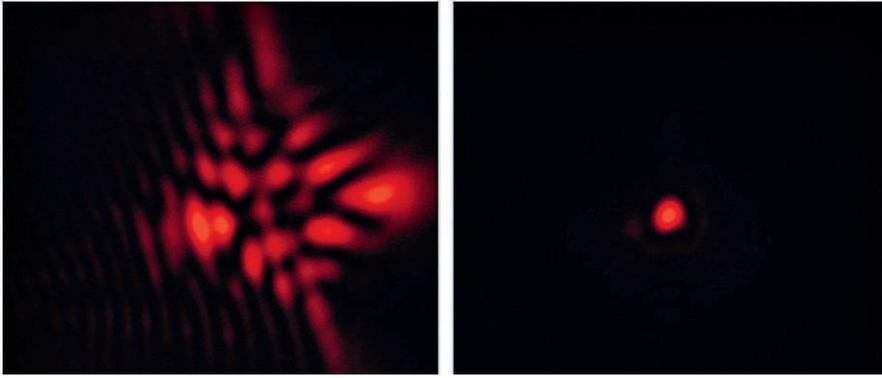


Abb. 2.5-3: Links: Fokus 40-fach vergrößert ohne Phasenkorrektur, rechts: mit aktiver Korrektur

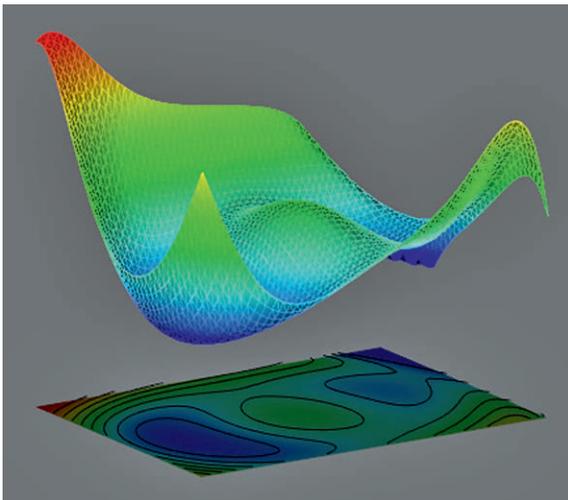


Abb. 2.5-4: Durch Zernike-Polynome approximierte Phasenkorrektur

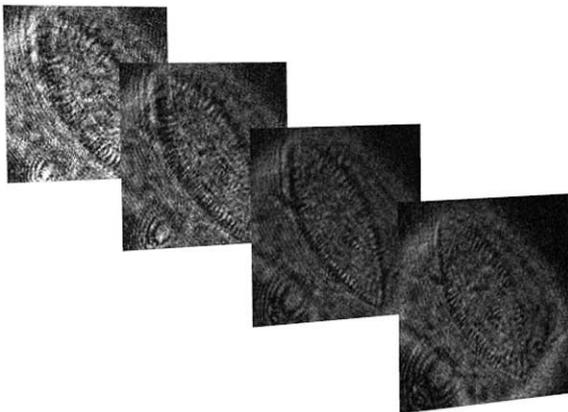


Abb. 2.5-5: In 4 Schichten rekonstruierte Kieselalge

terschiedlichen Phasenlagen. Die Phase wird dabei durch eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) bestimmt und durch eine grüne Senkrechte visualisiert. Wie man weiter sehen kann, ist es mit dem verwendeten LCD im transmittiven Aufbau nur möglich, einen Phasenhub von etwa 3,4 rad bei 632,8 nm Laserwellenlänge zu erzielen.

#### Korrektur der Wellenfrontverzerrungen

Für die Rekonstruktion ist es wichtig, einen optimalen Fokus zu erzeugen. Allerdings ist jedes optische System mit Abbildungsfehlern behaftet, wie z. B.

Sphärischer Aberration oder Koma. Abbildung 2.5-3 links zeigt den Fokus bei gerechneter Fresnellinse mit  $f=1,5$  m auf dem LCD und 40-facher Vergrößerung. Für die Wellenfrontanalyse wurde das System sequenziell durch Muster auf dem LCD abgetastet, die Abweichungen ähnlich einem Hartmann-Shack-Sensor erfasst und anschließend deren Integral iterativ durch Zernike-Polynome approximiert. Abbildung 2.5-4 zeigt die daraus berechnete Matrix zur additiven Phasenkorrektur, Abbildung 2.5-3 rechts zeigt den Fokus nach der Wellenfrontkorrektur.

#### Aufnahmen

Das LCD erzeugt zusammen mit der Linse zwei Fokuse mit unterschiedlicher Brennweite. Ein Fokus dient dazu, das Objekt zu beleuchten, der andere trifft das Objekt nicht und wird als Referenzstrahl verwendet. Dabei ist die Phasenlage der beiden Strahlen zueinander durch die Ansteuerung des LCDs einstellbar. Für die spätere Rekonstruktion werden hintereinander 6 Aufnahmen mit dem CMOS-Sensor gemacht: Intensität der Objektbeleuchtung, der Referenzbeleuchtung, der Interferenz von Objektwelle und Referenzwelle mit Phasendifferenz von  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  und  $270^\circ$ . Dabei ist zu bemerken, dass die Sequenz nur durch Änderung der LCD-Ansteuerung hervorgerufen wird. Es finden keine mechanischen Veränderungen durch Schrittmotoren oder Servos statt, die zu Vibrationen im Aufbau führen könnten und die Aufnahmezeiten verzögern würden.

#### Rekonstruktion

Aus den 4 Intensitäten der Interferenz lässt sich die Phase der rekonstruierten Objektwelle berechnen; die Amplitude der Objektwelle entspricht der Wurzel der getrennt aufgenommenen Intensität bei reiner Objektbeleuchtung. Somit kann die komplexe Objektwelle auf der Sensoroberfläche komplett rekonstruiert werden. Zur Lösung des Fresnel-Kirchhoff'schen Beugungsintegrals wird die rekonstruierte Objektwelle über eine Fresnellinse rechnerisch ins Unendliche abgebildet. Als Beugungsintegral ergibt sich dabei im Wesentlichen gerade die Fourier-Transformierte der Objektwelle. Die schichtweise Rekonstruktion des Objekts ist daher auf modernen Rechnern schnell über eine 2-D-FFT realisierbar. Abbildung 2.5-5 zeigt eine Kieselalge bei unterschiedlicher Brennweite der berechneten Fresnellinse. Wegen der Überschaubarkeit werden hier nur 4 Bilder gezeigt, in der Praxis können einige hundert fein abgestufte Bilder generiert werden.

#### Ausblick

Das vorgestellte Verfahren wird zurzeit aktiv weiterentwickelt, um die Ergebnisse zu verbessern und in Zukunft vielleicht herkömmliche Mikroskope in Herstellungskosten, numerischer Apertur und Auflösungsvermögen zu übertreffen.