

# Einsatz industrieller Bildverarbeitung in der Grundlagenforschung

**042** Gerd Küveler, Reiner Klein, Fachhochschule Wiesbaden  
Michele Bianda, Istituto Ricerche Solari Locarno

Wissenschaftliche Bildverarbeitung (BV) unterscheidet sich in einigen Punkten wesentlich von der industriellen. Letztere ist typischerweise eine Echtzeit-Anwendung, deren Ergebnis eine unmittelbare Konsequenz hat, z. B. die, dass ein schadhaftes Produkt aussortiert wird. Bei der wissenschaftlichen BV geht es dagegen meistens um die nachträgliche Analyse eines zuvor aufgenommenen Bildes oder einer Bildsequenz. Dabei kommen Werkzeuge zum Einsatz, deren Flexibilität bezüglich der Ablaufstrukturen einer allgemeinen Programmiersprache wie Fortran oder C nahezu entspricht. Die eigentlichen BV-Elemente sind weniger speziell, also auf einem tieferen Level angesiedelt, weil das Spektrum der möglichen Aufgaben sehr breit ist. Eine häufig eingesetzte Sprache für derartige Offline-Anwendungen ist *Interactive Data Language (IDL)*. Geht es dagegen um Online-BV, also während der wissenschaftlichen Beobachtung, entwickeln die Forscher eine Vorliebe für „selbstgestrickte“ Lösungen, zumeist in C programmiert. Nachteil: jeder noch so fundamentale Filteralgorithmus muss selbst programmiert werden, was einer multiplen Neuerfindung des Rades gleichkommt. Der Einsatz von käuflicher industrieller BV-Software scheitert an deren Inflexibilität, da sie für im Wesentlichen lineare Abläufe konzipiert ist.

In der nachfolgend geschilderten Anwendung setzen wir auf einen Kompromiss: die eigentlichen BV-Schritte überlassen wir dem industriellen BV-Werkzeug *NeuroCheck*, die nichtlinearen Abläufe realisieren wir mit der graphischen Programmiersprache *LabVIEW*. Die Entscheidung für *NeuroCheck* fiel aufgrund der vergleichsweise hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit nach einem Test verschiedener Produkte im Rahmen einer Diplomarbeit. Außerdem ist *NeuroCheck* ActiveX-fähig und damit „fernsteuerbar“. Eine Schnittstelle für selbst (in C++) programmierte Prüfschritte oder sonstige Systemerweiterungen in Form von Plug-in-DLL (Dynamic Link Library, eine MS-Windows Komponente) ist ebenfalls vorhanden, wichtig für „exotische“ Aufgabenstellungen.

## 1 Sonnenphysik und Flares

Nirgendwo wird häufiger mit den Methoden der BV gearbeitet, als auf dem Gebiet der Astrophysik. Eine ihrer Spezialdisziplinen, die Sonnenphysik, befasst sich mit dem physikalischen Aufbau und der zeitlichen Entwicklung unserer Sonne, die als einziger Stern räumlich hochauflösende Beobachtungen erlaubt. Ziel ist es, Sonnenmodelle zu entwickeln bzw. zu verbessern, so dass diese die Beobachtungen hinreichend gut erklären. Das zukünftige Verhalten der Sonne ist von entscheidender Bedeutung für das Leben auf der Erde, es entscheidet über unsere Lebensumstände und unseren möglichen Untergang, zumindest langfristig mehr als jeder andere Faktor.

Zur Erforschung der Sonne existieren überall in der Welt, seit mehreren Jahren aber auch im Weltall, astronomische Observatorien, die auf die Beobachtung des hellen Tagessterns spezialisiert sind. Die nachstehend geschilderten Untersuchungen werden mit dem Sonnent-

leskop des Istituto Ricerche Solari Locarno (IRSOL) in der Schweiz durchgeführt. Es geht dabei um die Erforschung von Sonneneruptionen, sog. Flares

Unter dem Begriff „aktive Sonne“ fasst man alle solaren magnetischen Erscheinungen zusammen. Die populärsten Vertreter sind die relativ langlebigen und ungefährlichen Sonnenflecken. Dagegen entstehen Flares innerhalb von Sekunden und verschwinden schon nach weniger als einer Stunde wieder. Sehr große Flares setzen eine Energie entsprechend etwa 100 Milliarden Atombomben vom Hiroshima-Typ frei. Flares machen sich vor allem durch starke Röntgen- und Gammastrahlung bemerkbar, die allerdings nur von Satelliten aus messbar ist. Doch in Teilen des elektromagnetischen Spektrums, nämlich im optischen und Radiobereich, sind Flares auch von der Erde aus zu beobachten. Im optischen Bereich machen sie sich durch eine plötzliche Aufhellung bemerkbar, allerdings sind zur Wahrnehmung besondere Filter (s.u.) notwendig.

Erheblich folgenschwerer als die elektromagnetische Strahlung sind Elektronen, Protonen und Atomkerne, die ins Weltall geschleudert werden und für die Polarlichter verantwortlich sind. Im erdnahen Raum können diese Ionen beträchtlichen Schaden anrichten. Satelliten werden gestört oder sogar unbrauchbar gemacht. Astronauten, die sich gerade außerhalb ihres Fahrzeugs aufhalten, könnten lebensgefährliche Verletzungen erleiden. Sogar großräumige Stromausfälle in hohen Breiten (nördliche USA und Kanada) haben sich ereignet. Darüber hinaus existiert ein Zusammenhang zwischen der Flarehäufigkeit und dem irdischen Klimawandel. Aus all diesen Gründen besteht neben dem rein wissenschaftlichen auch ein praktischer Bedarf an der Erforschung von Flares mit dem Endziel einer „Weltraumwetter“-Vorhersage.

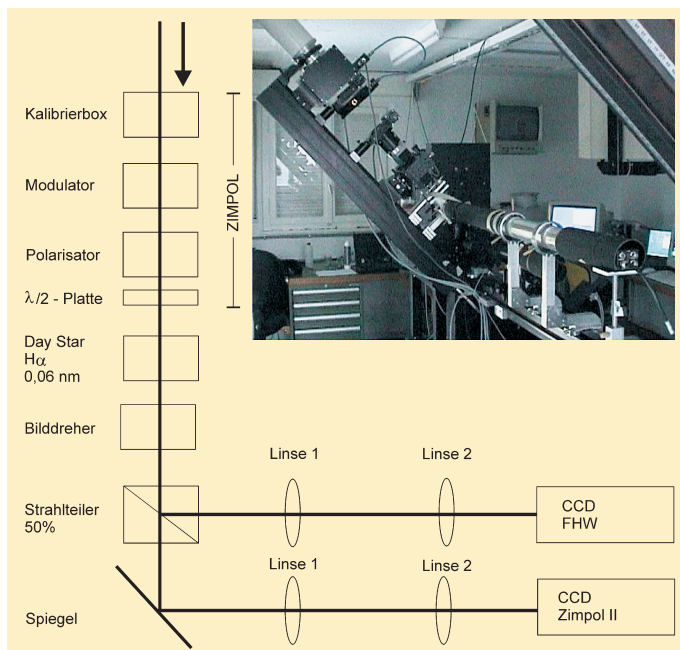
Um diesem Ziel näher zu kommen, startete am 5. Februar 2002 die amerikanisch-schweizerische Flare-Sonde HESSI (High Energy Solar Spectroscopic Imager). Die Sonde soll Flare-Beobachtungen im Gamma- und Röntgenbereich durchführen. Zusätzlich sollen vom Boden aus simultan Beobachtungen im optischen und Radiobereich des elektromagnetischen Spektrums angestellt werden. Die optischen Beobachtungen erfolgen unter Federführung der ETH Zürich am IRSOL.

## 2 Problemstellung

Im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit mit dem IRSOL übernahm die FH Wiesbaden die Automatisierung der optischen Beobachtungen. Die wesentlichen Vorgaben waren:

- Beobachtung einer Flare-verdächtigen Region mit einer CCD-Kamera und Speicherung der Bilder mit ca. 10 Hz und einer Ringpufferfunktion von 10 bis 30 Minuten zur Aufzeichnung der Vor-Flare-Phase
- Automatische Erkennung eines Flares, danach kontinuierliche Speicherung der Bilder und Start des ETH-Zürich Magnetographen ZIMPOL II

# BILDERFASSUNG UND -VERARBEITUNG



**Bild 1:** Optischer Aufbau der Beobachtungsapparatur

- Millisekundengenaue Protokollierung der Messungen
- Kommunikation mit der Teleskopsteuerung
- Bereitstellung der notwendigen Werkzeuge zur Verwaltung der großen Datenmengen (bis zu mehreren 10 Gigabyte pro Messung)

Das Wiesbadener System, das wir „Luciflare“ getauft haben, soll also neben der Koordination der Beobachtungen auch für eine beinahe „filmhafte“ Aufzeichnung des optischen Verlaufs eines Flares sorgen. Durch den Ringpuffer ist gewährleistet, dass auch die Vorphase erfasst bleibt, selbst wenn die eigentliche Erkennung erst mit leichter Verspätung erfolgt. ZIMPOL II stellt eine an der ETH Zürich entwickelte, in der Welt einmalige Anlage zur simultanen Aufzeichnung der Stokes-Parameter (Satz von vier Größen, die die komplette Polarisation beschreiben und direkt messbar sind) solarer Magnetfelder dar [1]. „Bilder“ der linearen und zirkularen Polarisation der betrachteten Sonnenregion können mit etwa 1 Hz aufgezeichnet werden.

Über die exakte Protokollierung der Messzeit soll nachträglich eine Synchronisation mit Beobachtungen des Satelliten HESSI und mit anderen Beobachtungen möglich sein. HESSI erfasst im Gegensatz zu unserem System die gesamte sichtbare Sonnenscheibe und somit alle dort stattfindenden Eruptionen. Deshalb ist eine Synchronisation während der Beobachtung unnötig.

Die Auswertung aller Messungen erfolgt in Locarno und an der Universität Bern, die neben der ETH Zürich ebenfalls an den Beobachtungen interessiert ist, mit Hilfe des wissenschaftlichen Bildverarbeitungssystems IDL.

### 3 Realisierung

**Bild 1** zeigt den optischen Aufbau der Anlage. Das Teleskop vom Typ Gregory-Coudé bildet ein kleines Feld, zentrisch um die optische Achse, ab, das 1 % der Sonnenscheibe entspricht. Der Bildaustritt erfolgt durch die Nachführachse. Dies bietet den Vorteil eines ortsfesten Aufbaus der nachfolgenden Komponenten, jedoch erkauft mit einer Bildrotation im Laufe von 24 Stunden. Es folgen die optischen und elektro-optischen ZIMPOL-Komponenten zur Analyse der Licht-Polarisation sowie ein rotierender Bildrückdreher. Ein Day-Star-

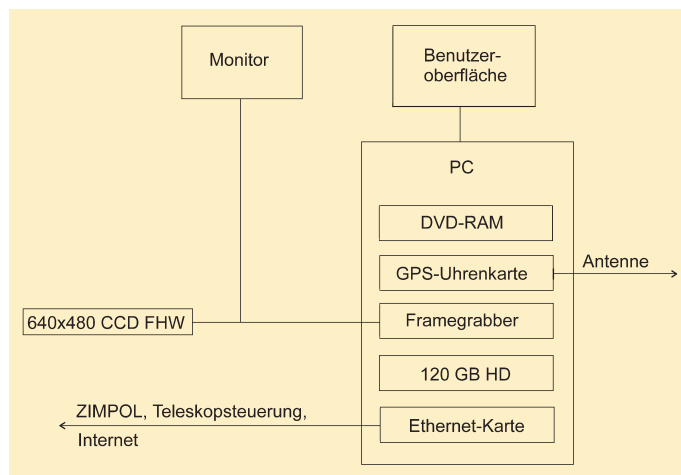
Filter mit 0,06 nm Durchlassbreite lässt nur monochromatisches Licht aus dem Zentrum der starken solaren H $\alpha$ -Absorptionslinie bei 656,3 nm durch. Flares spielen sich im wesentlichen oberhalb der sichtbaren Sonnenoberfläche (Photosphäre) in der Chromosphäre ab. Diese ist normalerweise unsichtbar oder besser gesagt durchsichtig, nicht jedoch im Kern starker Absorptionslinien wie H $\alpha$ . Ein 50 %-Strahlteiler lenkt das Licht in die Luciflare-CCD-Kamera sowie in die ZIMPOL-Spezialkamera. Die Abbildung erfolgt in beiden Fällen über ein geeignetes telezentrisches System, das für eine Verkleinerung des Bildes unter Beibehaltung des parallelen Strahlengangs sorgt. Dieser ist weniger empfindlich gegen Defokussierung. Außerdem wird die Pupille im Unendlichen und nicht in der Nähe des Fokus abgebildet, wie bei Verwendung von nur einer Linse. Optische Fehler und Verschmutzungen haben somit einen geringeren Einfluss.

### 3.1 Hardware

Während ZIMPOL mittels einer an der ETH Zürich entwickelten speziellen Elektronik und einer Alpha-Station unter UNIX gesteuert wird [1], ist Luciflare eine reine PC-Entwicklung unter Windows 98. Die wesentlichen Komponenten lassen sich aus **Bild 2** entnehmen. Die große Festplattenkapazität ist nötig aufgrund der anfallenden hohen Datenmengen. Durchschnittlich werden 15 Bilder/Sekunde zu je 640 x 480 Pixel x 8 Bit aufgenommen. Pro Stunde sind das 15,4 Gigabyte. Aufzeichnungsintervalle von 1 bis 2 Stunden sind üblich. Als „Zwischenlager“ bis zur Auswertung stehen DVD-RAMs mit 5,2 Gigabyte Speicherkapazität zur Verfügung. Die millisekundengenaue Uhrzeit für die Protokollierung kommt von einer GPS-Uhrenkarte. Die Kommunikation mit dem ZIMPOL-Rechner und dem PC für die Teleskopsteuerung [2] erfolgt über TCP/IP, um einerseits ein RS232-Strippengewirr, andererseits eine recht teure Feldbusanbindung zu vermeiden. Gleichzeitig ist eine passwortgeschützte Internet-Anbindung für eine Fernwartung von Wiesbaden aus gegeben.

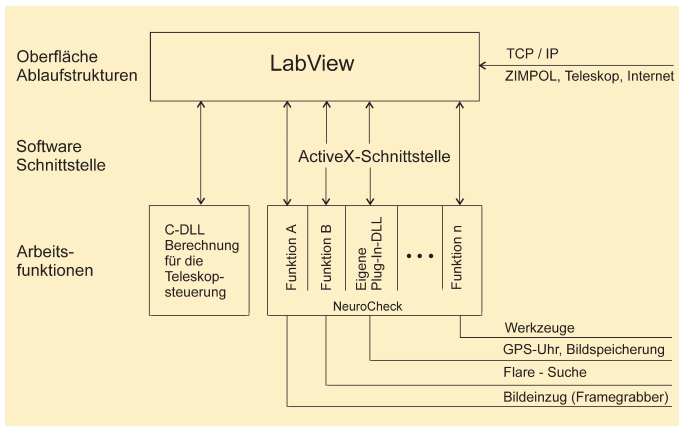
### 3.2 Software

Die Software stellt ein hybrides Gebilde aus verschiedenen Werkzeugen und Programmiersprachen dar. Alle Benutzeroberflächen und Programm-Ablaufstrukturen wurden mit LabVIEW (Vers. 6.i) realisiert, ebenso die Kommunikation mit den beiden anderen beteiligten Rechnern über TCP/IP. Die Flareerkennung erfolgt mit NeuroCheck, einem industriellen Bildverarbeitungssystem der NeuroCheck GmbH, wobei die beiden Softwaresysteme über die ActiveX-Schnittstelle von Windows kommunizieren. Damit lassen sich Anwendungen aus anderen Systemen heraus nach dem Client-Server-Prinzip „fernsteuern“. In unserem Fall ist LabVIEW der Client,

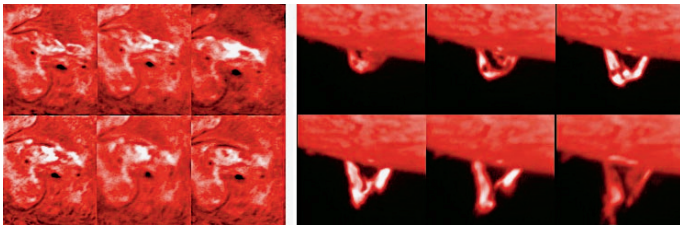


**Bild 2:** Konfiguration der elektronischen Hardware von Luciflare

# BILDERFASSUNG UND -VERARBEITUNG



**Bild 3:** Softwarekonzept von Luciflare



**Bild 4:** Entwicklung zweier Flares, auf der Sonnenscheibe (links) und am Sonnenrand (rechts), beobachtet mit Luciflare. Der zeitliche Abstand zwischen den abgebildeten Aufnahmen beträgt mehrere Minuten.

der die gewünschten Funktionen des Servers NeuroCheck startet und von diesem Mitteilung über das Suchergebnis erhält. Spezielle Funktionen nehmen C++-DLL wahr, in einem Fall sogar mit Inline-Assembler-Befehlen zum schnellen Auslesen der Ports einer GPS-Uhrenkarte unter Windows 98. Unter NT oder XP wäre das nicht möglich, weil Hardwarezugriffe nur „akkreditierten“ Treibern erlaubt sind. DLL lassen sich von LabVIEW aus problemlos aufrufen, inkl. Parameterübergabe. In der vorliegenden Anwendung bildet LabVIEW also „nur“ die Schale um die Kernaktionen, die durch NeuroCheck oder eigene C-Funktionen erledigt werden:

- Einzug der Bilder über einen Framegrabber
- Prüfschritte zur Erkennung eines Flares aufgrund des Helligkeitszuwachs einer Region
- Abspeichern der Bilder auf Festplatte
- Protokollierung der Bilder in einer Datei (jeweils eine Zeile mit Bildnummer und Aufnahmezeitpunkt)
- Löschen von Bilddateien, sofern sie aus dem Ringpuffer fallen, mit entsprechender Korrektur der Protokolldatei

NeuroCheck ist für industrielle Prüfaufgaben konzipiert. Es bietet eine Sammlung von Modulen, die in jeder sinnvollen Kombination hintereinander angeordnet werden können. Im Grob Ablauf sind aber nur Sequenzen möglich, keine Schleifen-Strukturen. Dadurch ist das Programm sehr schnell, aber für manche wissenschaftlichen Anwendungen zu inflexibel. Der Hersteller nimmt das bewusst in Kauf und stellt stattdessen eine ActiveX-Schnittstelle zur Verfügung. Insofern bietet LabVIEW die ideale Ergänzung zur Programmierung einer komplexen Ablaufsteuerung und einer benutzerfreundlichen Oberfläche, die darunter liegende Schichten total verbirgt. Für die Lösung der vorliegenden Aufgabe war es nötig, NeuroCheck um einige Zusatzfunktionen zu erweitern, z. B. rein binäres Abspeichern der Bilder, beliebig viele Bilder pro Messserie und eine spezielle Ringpufferstruktur mit Protokollierung der Aufnahmedaten. Diese Funktionen haben wir selbst als C++-Plug-In-DLL erstellt.

Eine entsprechende Schnittstelle stellte die Firma NeuroCheck zur Verfügung. **Bild 3** illustriert die wichtigsten Komponenten der Komplett-Software.

Bei einer typischen industriellen Prüfanwendung werden in schneller Folge Einzelbilder auf bestimmte Merkmale hin untersucht. Eine Abhängigkeit vom Vorgänger- oder Nachfolgebild besteht in der Regel nicht. In unserem Fall geht es aber um die Betrachtung von Bildsequenzen. Ein Flare zeichnet sich gegenüber anderen hellen Strukturen auf der Sonne nicht durch seine absolute Helligkeit, sondern durch den Intensitätszuwachs innerhalb kurzer Zeit aus. Unsere Software muss also in der Lage sein, die Identität einer verdächtigen Struktur über mehrere Bilder hinweg zu erkennen. Dieses Problem verschärft sich aufgrund „wabernder“ Bilder, versetzt und verzerrt durch thermodynamische Effekte in der Erdatmosphäre. Derzeit wird dies gelöst, indem wesentliche Merkmale einer Struktur nach „außen“, in unserem Fall an ein LabVIEW-Modul, gemeldet und dort ausgewertet werden. Der Einbau einer aktiven und adaptiven Optik, die nahezu „Weltraumbedingungen“ verspricht, ist in etwa zwei Jahren geplant.

## 4 Erste Ergebnisse

Das Programm arbeitet bisher seit mehr als einem Jahr stabil und ohne „Abstürze“. Im Bildausschnitt erscheinende Flares werden praktisch immer automatisch erkannt, sofern der Beobachter den Schwellenparameter nicht zu hoch wählt. Dies erfordert etwas Übung, denn wählt er ihn zu niedrig, kann es zu einem Fehlalarm kommen. **Bild 4** zeigt eine Sequenz von CCD-Bildern, auf denen die Entwicklung zweier Flares, eins auf der Sonnenscheibe und eins am Sonnenrand, deutlich zu erkennen ist. Der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Aufnahmen beträgt mehrere Minuten. Tatsächlich liegen also mehrere 1000 Aufnahmen zwischen zwei hier gezeigten Phasen.

Erste wissenschaftliche Ergebnisse wurden im Oktober 2002 auf einem Workshop über solare Polarisation in La Laguna/Teneriffa vorgebracht.

## 5 Danksagung

Für die immer freundliche und kompetente Zusammenarbeit danken wir der NeuroCheck GmbH ([www.neurocheck.com](http://www.neurocheck.com)). Der Wiesbadener Teil des Projekts wurde mit Mitteln der Hessischen Ministerin für Wissenschaft und Kunst gefördert.

## Literaturhinweise:

- [1] H. Povel: Imaging Stokes polarimetry with piezoelectric modulators and charge-coupled-device image sensors, *Optical Engineering* 34 (1995), p 1870 ff.
- [2] G. Küveler, E. Wiehr, M. Bianda: Eine sensorgestützte Computerteuerung für Sonnenteleskope, *Automatisierungstechnische Praxis (atp)* 42 (2000), p. 50-54.

## Ansprechpartner:

Prof. Dr. Gerd Küveler  
 Fachhochschule Wiesbaden  
 Am Brückweg 26  
 65428 Rüsselsheim  
 Tel. 06142/898-422  
 Fax 06142/898-421  
 eMail: [kueveler@em.uni-frankfurt.de](mailto:kueveler@em.uni-frankfurt.de)  
 Internet: [umwelttechnik.mnd.fh-wiesbaden.de/divers/irsol](http://umwelttechnik.mnd.fh-wiesbaden.de/divers/irsol)

