

# Für Strahlungsmessungen Spektrographenbaugruppe mit Sensorarray

Für spektral aufgelöste Strahlungsmessungen im UV-, VIS- und NIR-Bereich finden zunehmend Spektrographenanordnungen mit ein- und zweidimensionalen Mehrelementsensoren Anwendung. Sie gestatten die simultane Erfassung breiter Bereiche des Spektrums bei gleichzeitigem Wegfall mechanisch bewegter Teile. Die Entwicklung kostengünstiger, leistungsfähiger Mehrelementsensoren für diese Spektralbereiche ermöglicht kompakte, flexibel einsetzbare Baugruppen für industrielle Aufgabenfelder wie Farbprüfung, Stoffanalytik, Schichtdickenmesstechnik.

Für Wellenlängen ab ca. 2  $\mu\text{m}$  werden neben gekühlten und ungekühlten Quantensensoren bevorzugt auch kostengünstigere thermische Sensoren eingesetzt. Mehrelementanordnungen sowohl auf Basis pyroelektrischer als auch thermoelektrischer Sensoren sind seit einiger Zeit verfügbar. Damit sollten kompakte Spektrographenbaugruppen auch für Spektralbereiche von ca. 2 bis 15  $\mu\text{m}$  realisierbar sein. Mögliche Anwendungsbereiche sind die Prozessmesstechnik in der Stoffanalytik (Transmissions- und Reflexionsmessungen), die Überwachung von thermischen Strahlern, die Temperaturmesstechnik (Mehrkanalpyrometrie) und Gasanalytik.

## Systemkonzept

Zur dispergierenden Strahlungsaufteilung auf Mehrelementsensoren stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, u. a.:

- ◆ Filterspektrograph
- ◆ Fourierspektrograph
- ◆ Prismenspektrograph
- ◆ Gitterspektrograph

Filteranordnungen, wahlweise mit Einzelfiltern vor dem empfindlichen Element und einer nicht dispergierenden Strahlteilung oder als rotierendes Filtrerrad vor der Mehrelementanordnung sind nur für geringe Elementanzahlen bzw. Messwellenlängen geeignet.

Autoren: Frank Nagel  
DIAS Angewandte Sensorik GmbH  
Manfred Zimmerhackl  
DIAS Angewandte Sensorik GmbH  
Infos: TRANSMETRA haltec GmbH  
Rundbuckstrasse 2  
8212 Neuhausen  
Tel. 052 624 86 25, Fax 052 624 86 11  
info@transmetra.ch, www.transmetra.ch



Halle 1.1/Stand B06

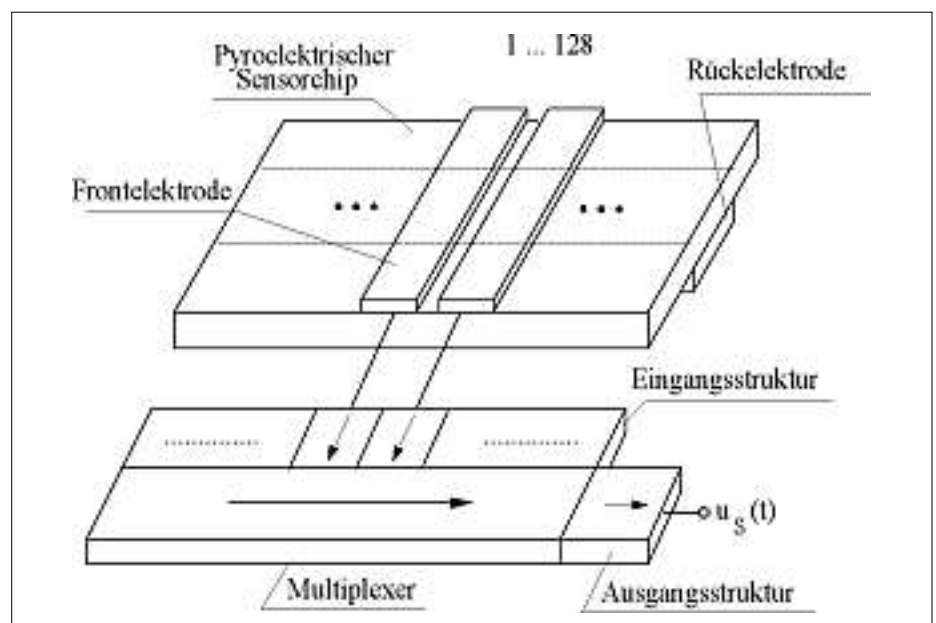


Bild 1: 128-Element-Lineararray mit angepasster Elementlänge zum Einsatz in einem Gitterspektrographen (Variante a)

Fourierspektrographen entstehen aus der Kombination eines Interferometerprinzips (z. B. Michelson-Interferometer) mit einer mehrelementigen Empfängeranordnung. Ausgangssignal des Sensorarrays ist die Fouriertransformierte der spektralen Intensität der Quelle, die rücktransformiert werden muss. Bisher verfügbare Spektrographenbaugruppen basieren meist auf Gitterspektrographen, da diese auch im direkten Vergleich der wellenlängenabhängig strahlableitenden Verfahren höhere Auflösungs-/Lichtleitwertprodukte ermöglichen als Prismenanordnungen. Prinzipiell gilt für Gitteranordnungen zunächst ein nutzbarer Wellenlängenbereich von

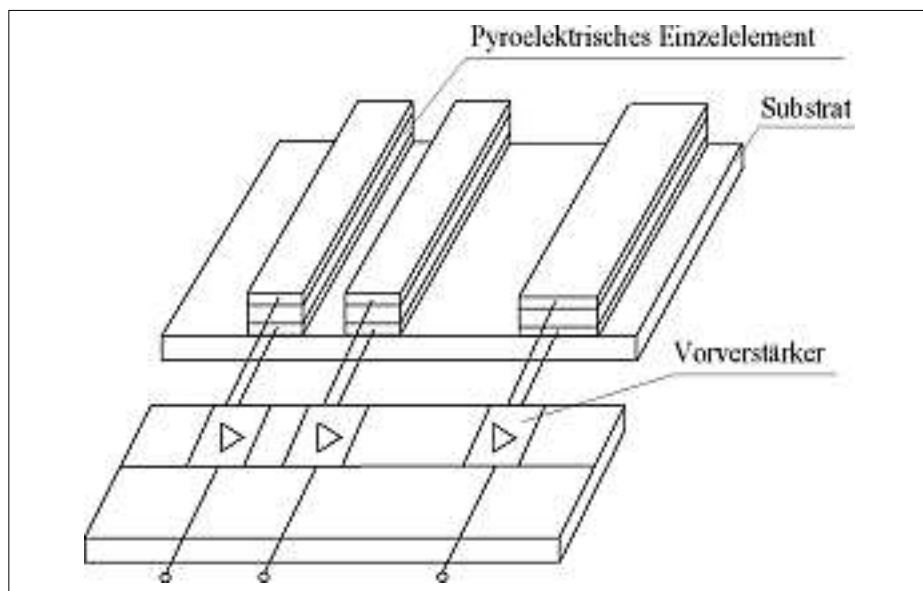
$$\lambda_x < \lambda < 2\lambda_x$$

Unerwünschte Vielfache der Messwellenlänge sind durch Blockungfilter zu unterdrücken. Nur durch spezielle konstruktive Massnahmen sind Erweiterungen dieses Bereichs für ein Array erzielbar (z. B.

Arraysensoren mit abgestuften Ordnungsfiltern).

Die im UV-, VIS- und teilweise auch NIR-Bereich verwendeten aberrationskorrigierten Konkavgitter, die sehr kompakte Baugruppen ermöglichen, stehen aus fertigungstechnischen Gründen derzeit nicht oder nur in eingeschränkter Geometrie für den MIR-Bereich zur Verfügung. Das erzwingt daher zunächst eine Grundkonfiguration aus Plangitter und zwei abbildenden Elementen (in der Regel Hohlspiegel).

Übliche Monochromatoranordnungen arbeiten mit Eintrittsspaltbreiten von ca. 50 bis 1000  $\mu\text{m}$  und Eintrittspalthöhen von einigen Millimetern. Die im Infrarotbereich gegenüber dem VIS-NIR-Bereich deutlich geringeren Strahlungsleistungen der Strahlungsquellen und zugleich die deutlich geringere Detektivität der thermischen Sensoren erfordern angepasste Sensoren zur optimalen Ausnutzung des



**Bild 2: Spezieller Mehrelementensensor mit angepasster Elementgröße und -lage zum Einsatz in einem Gitterspektrographen (Variante b)**

zur Verfügung stehenden Strahlungsangebots.

Beispiele zweier möglicher Realisierungsvarianten angepasster eindimensionaler pyroelektrischer Arraysensoren zeigen die Bilder 1 und 2. Beide Varianten zeigen applikationsspezifische Vor- und Nachteile.

**a) 128-Element-Lineararray mit angepasster Elementlänge:** Ausgangspunkt ist ein Zeilensensor, der bereits in einer IR-Linienkamera Anwendung findet. Gegenüber dem dort verwendeten Standardsensor wird jedoch die Elementlänge an die Geometrie des Spalts angepasst. Realisierbar sind Elementlängen bis 2,3 mm. Vorteilhaft ist die grosse Anzahl der Spektralkanäle, welche die Aufnahme kontinuierlicher Spektrabschnitte ermöglicht. Nachteile ergeben sich aus dem thermischen Übersprechen zwischen den Elementen, zu dessen Reduzierung hohe Modulationsfrequenzen (ca. 100 Hz) erforderlich sind.

**b) Spezieller Mehrelementensensor mit angepasster Elementgeometrie und -lage:** Die Platzierung applikationsspezifisch bemessener Einzelsensoren auf einem Substratträger ermöglicht optimierte Anordnungen bezüglich Lage der Mittenwellenlänge, spektraler Auflösung und Strahlungsangebot. Bei reduziertem Übersprechen sind niedrigere Modulationsfrequenzen und damit auch die elektrische Modulation thermischer Strahler gestattet. Gleichzeitig sind mit den diskreten Vorverstärkern etwas höhere Detektivitäten erzielbar. Von Nachteil sind jedoch die deutlich geringere Anzahl von Messwellenlängen (ca. 2 bis 30) und die mangelnde Flexibilität dieser Anordnung.

Beide Varianten besitzen ihre Berechtigung, Lösung b) insbesondere auch im Hinblick auf die im mittleren und fernen Infrarot gegebenen deutlich geringeren Strahlungsleistungen der Strahler bzw. Messobjekte, die eine Optimierung des Systems bezüglich der zur Verfügung stehenden Strahlungsleistung erforderlich machen.

#### Demonstrationsaufbau

Entsprechend des vorgestellten Systemkonzepts wurde eine Demonstrationsbaugruppe zum Nachweis der prinzipiellen Eignung und ersten Parametermessungen aufgebaut. Verwendet wurden ein kommerziell verfügbarer Plangittermonochromator-spektrograph der Fa. ORIEL und ein für diese Baugruppe angepasstes 128-Element-Lineararray. Die Tabelle listet die Komponenten des Demonstrationsaufbaus auf, den prinzipiellen Aufbau skizziert Bild 3.

Gittermonochromator	ORIEL MultiSpec 1/8m Gekreuzte Czerny-Turner-Anordnung mit Plangitter Eintrittsspalt: 0,1 bis 0,3 mm
Gitter	a) Plangitter: 75 LP/mm Blaze-Wellenlänge: 2 $\mu\text{m}$ Spektralbereich: 1,8 bis 3,1 $\mu\text{m}$ lin. Dispersion: 10 nm, Auflösung: ca. 25 nm b) Plangitter: 40 LP/mm Blaze-Wellenlänge 3,5 $\mu\text{m}$ Spektralbereich: 3 bis 5,4 $\mu\text{m}$ lin. Dispersion: 20 nm, Auflösung: ca. 50 nm
Sensorarray	Pyroelektrisches 128-Element-Lineararray Eintrittsfenster: Bandpass 1,2 bis 6 $\mu\text{m}$ Elementgeometrie: 90 $\times$ 2300 $\mu\text{m}^2$ Elementmittenabstand: 100 $\mu\text{m}$
Elektronik	Auslesebaugruppe mit Thermostatierung, 12-Bit-A/D-Wandler, Signalprozessor und serieller Schnittstelle

**Tabelle: Komponenten des Demonstrationsaufbaus**

Als nachfolgende Signalelektronik wurde eine Auslesebaugruppe einer IR-Linienkamera verwendet. Für die Signalkorrektur stehen Kapazitäten des internen Signalprozessors bzw. der über serielle Schnittstelle angeschlossene PC zur Verfügung. Die für pyroelektrische Sensoren erforderliche Signalmodulation übernimmt in dieser Anordnung ein mit der Auslesebaugruppe gekoppelter Chopper unmittelbar vor dem Array. Die Modulationsfrequenz liegt bei 128 Hz. Gerade beim Übergang zu grösseren Wellenlängen ist jedoch eine Modulation in der Ebene des Eintrittsspalt oder besser noch eine Modulation der Lichtquelle zu bevorzugen, um Fremdlicht und insbesondere die Eigenstrahlung der Strahlteilerbaugruppe zu unterdrücken.

Auf die meist günstigere Möglichkeit der elektrischen Quellenmodulation wurde bereits verwiesen.

#### Ergebnisse

Mit dem hier vorgestellten Demonstrationsaufbau erfolgten Versuchsmessungen mit unterschiedlichen Gitter/Spalt/Sensor-Anordnungen. Als Strahlungsquellen wurden Halogenlampen für Wellenlängen bis ca. 2,5  $\mu\text{m}$  und ein Hohlraumstrahler für Wellenlängen > 3  $\mu\text{m}$  verwendet.

Bild 4 zeigt beispielhaft ein unkorrigiertes Differenzspektrum des 700- $^{\circ}\text{C}$ -Hohlraumstrahlers mit einem zusätzlichen Langpassfilter 2,9  $\mu\text{m}$  zur Unterdrückung unerwünschter Oberwellen.

Eine Besonderheit des verwendeten 128-Element-Arrays wird in der starken Welligkeit des Signalverlaufs sichtbar. Am Schichtsystem Frontelektrode-Pyroelektrikum-Rückelektrode treten durch Rückreflexion von Strahlung Interferenzen auf, die eine charakteristische Welligkeit der spektralen Empfindlichkeit bewirken. Diese wird unmittelbar im unkorrigierten Signalverlauf sichtbar.

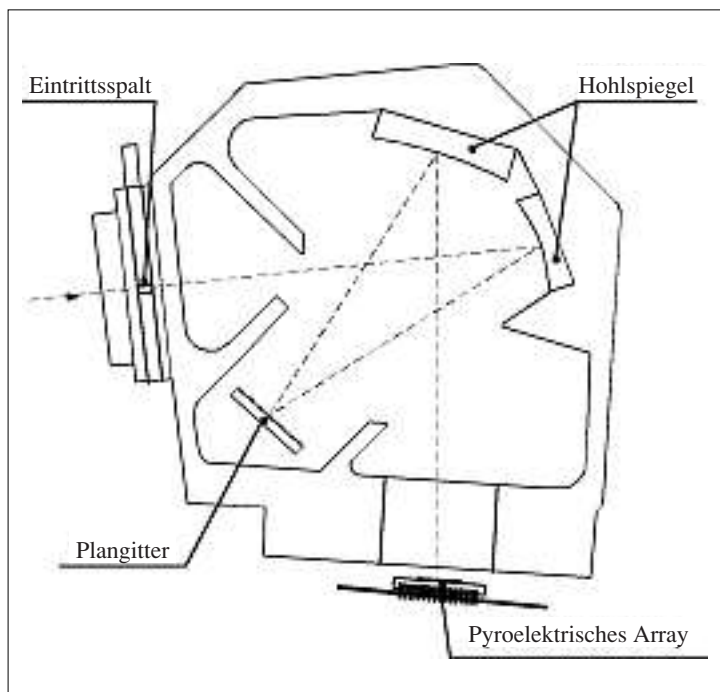


Bild 3:  
Prinzipieller  
Aufbau der  
Spektrographen-  
baugruppe mit  
Lineararray

Korrekturmöglichkeiten bestehen prinzipiell

a) durch baugruppenspezifische Kalibrierung der spektralen Empfindlichkeit nach erfolgter Justage des Sensors

b) durch zusätzliche Absorberschichten auf der Frontelektrode zur Reduzierung der Rückreflexion

c) durch geeignete Änderungen im Schichtsystem z.B. Dicke des Pyroelektrikums zur Verschiebung der Interferenzen ausserhalb des Messwellenlängenbereichs

Die Eignung des angepassten 128-Element-Lineararrays für einen kompakten Gitterspektrographen konnte erfolgreich nachgewiesen werden. Die Elementanzahl

in Verbindung mit dem erreichten Signal/Rausch-Verhältnis schränkt jedoch die Anwendbarkeit auf Messaufgaben mit geringeren Anforderungen an die spektrale Auflösung ein. Realisierbar sind derzeit Auflösungen von  $\Delta\lambda/\lambda \geq 0,01$ .

Weitere Verbesserungen der Sensortechnologie, insbesondere die Homogenisierung der spektralen Empfindlichkeit können die Leistungsfähigkeit steigern.

Für spezielle Messaufgaben können Arrays aus wenigen Einzelementen gefertigt werden, die in ihrer Geometrie für spezielle Mess- und Referenzwellenlängen und spektrale Bandbreiten optimiert sind.

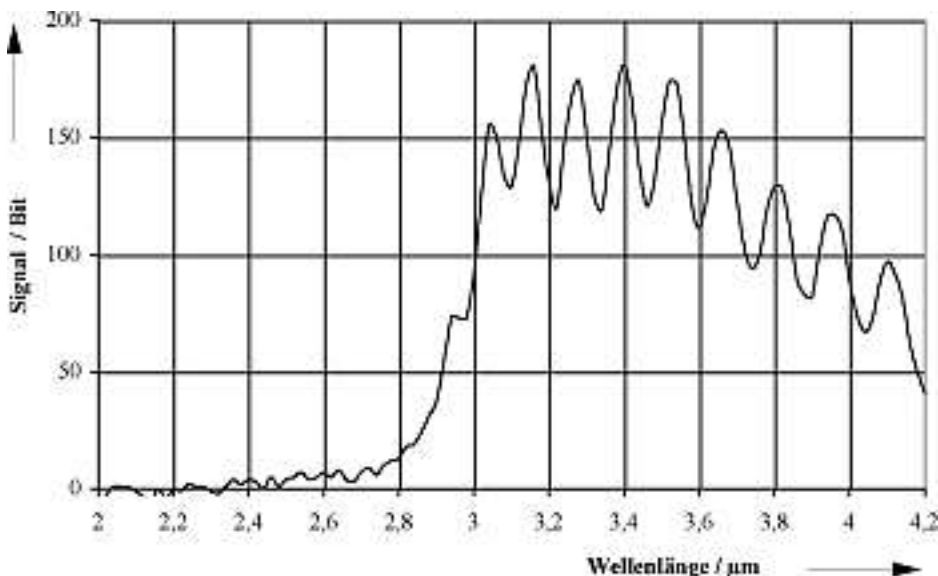


Bild 4: Unkorrigiertes Signal eines 700-°C-Strahlers (Differenzspektrum); Parameter: Gitter 40 LP/mm, Langpass 2,9  $\mu\text{m}$ , Spaltbreite 0,1 mm, spektrale Auflösung ca. 50 nm

1/3 Seite  
Inserat