



(10) **DE 10 2006 007 172 B4** 2013.01.17

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2006 007 172.7**  
 (22) Anmeldetag: **08.02.2006**  
 (43) Offenlegungstag: **16.08.2007**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **17.01.2013**

(51) Int Cl.: **G01J 3/06 (2006.01)**  
**G01B 11/24 (2006.01)**  
**G01B 11/25 (2006.01)**  
**G01J 3/28 (2012.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Universität Stuttgart, 70174, Stuttgart, DE**

**Leonberg, DE; Ruprecht, Aiko, Dipl.-Phys., 70374, Stuttgart, DE; Wiesendanger, Tobias, Dipl.-Ing., 69231, Rauenberg, DE; Pruss, Christoph, Dipl.-Phys., 70839, Gerlingen, DE; Osten, Wolfgang, Prof. Dr., 70569, Stuttgart, DE**

(74) Vertreter:  
**Müller-Boré & Partner Patentanwälte, European Patent Attorneys, 81671, München, DE**

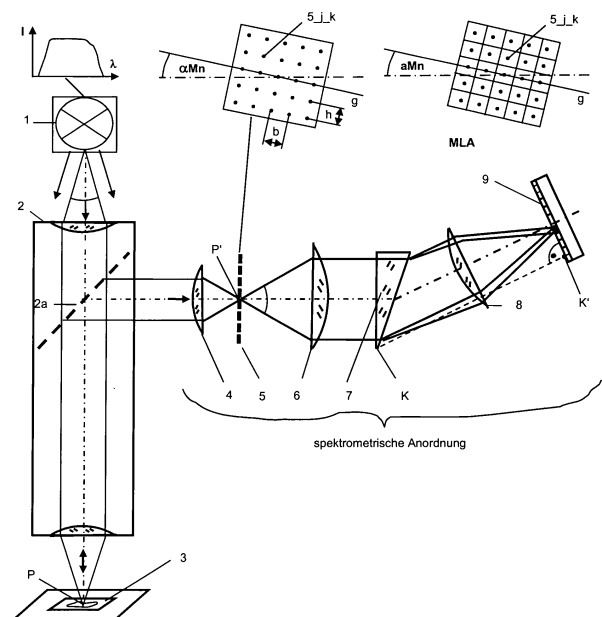
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:  
**Körner, Klaus, Dr., 15566, Schöneiche, DE;**  
**Kohler, Christian, Dipl.-Ing., 74193, Schwaigern, DE;**  
**Papastathopoulos, Evangelos, Dr., 71229,**

**US 2002 / 0 141 051 A1**  
**US 5 486 701 A**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging oder zur 3D-Erfassung mittels Spektroskopie**

(57) Hauptanspruch: Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, mit folgenden Komponenten in der Anordnung: Eine polychromatische Lichtquelle (1), ein gerastertes, flächiges Array (5) von Pinholes oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki und diesen Foki zugeordneten Pinholes, welche ein Array von Pinholes bilden, ein optisches Abbildungssystem (6) für das Array (5), mindestens eine flächige Detektor-Matrix (9) im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung (7) und Mittel zur Fokussierung (8) auf die flächige Detektor-Matrix (9) vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix (9) mindestens eine spektrale Achse besteht, wobei mindestens ein Fernrohr-, ein Tubus- (4) oder mindestens ein Transferobjektiv zur Objektaufnahme dem gerasterten, flächigen Array (5) vorgeordnet ist, wobei das gerasterte, flächige Array (5) relativ verdreht um einen spitzen Winkel zur spektralen Achse auf der flächigen Detektor-Matrix (9) angeordnet ist, wobei die Drehung um die optische Achse (OA) der Anordnung ausgeführt ist, so dass durch...



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Ein Zeilenspektrometer, beispielsweise das der Firma ZEUTEC OPTO-ELEKTRONIK GmbH, Deutschland, gestattet die zeilenweise spektrale Analyse eines Lichtschnitts beispielsweise in mehr als 500 Punkten lateral und in mehr als 500 Spektralkanälen gleichzeitig durch Aufnahme eines einzigen Kamerabildes. Diese Technik wird auch als Spectral Imaging bezeichnet.

**[0002]** Eine flächige Erfassung von Farb- oder spektroskopischen Informationen ist hier jedoch nur durch einen mechanischen Scan erreichbar.

**[0003]** In der Dissertation von J. Schmoll mit dem „Titel 3D-Spektrofotometrie extragalaktischer Emissionslinien“, eingereicht bei der Universität Potsdam im Juni 2001, wird die Linsenraster-Direktkopplung auf den Seiten 12 bis 13 beschrieben, die von Courtes et al. erstmals 1988 beim TIGER-Spektrografen eingesetzt wurde. Hierbei wird das Linsenraster um einen Winkel  $\phi$  gegen die Dispersionsrichtung des Spektrometers verdreht. Diese Technik gilt in der Auswertung durch die Verschiebung benachbarter Spektren auf dem Flächensensor als kompliziert. Außerdem wird der Flächensensor in seiner Fläche nicht ökonomisch ausgenutzt, da durch die vergleichsweise großen Pupillen der Mikrolinsen kein hoher Flächenfüllfaktor besteht.

**[0004]** In wissenschaftlichen Arbeiten werden für die orts aufgelöste, flächige, spektroskopische Analyse auch die Begriffe 3D-Spektrofotometrie und abbildende Spektroskopie sowie auch Integral-Field-Spektrofotometrie verwendet. Im kommerziellen Bereich findet sich für die orts aufgelöste, flächige, spektroskopische Analyse auch der Begriff Spectral Imaging, wobei hier in der Regel keine sehr hohe spektroskopische Auflösung vorausgesetzt wird.

**[0005]** In der Schrift DE 103 21 895 A1 wird eine spektral-interferometrische Anordnung mit einer brechkraftvariablen Komponente, beispielsweise eine diffraktive Komponente, beschrieben. In der Figur dieser Schrift ist zur Gewinnung der Signale über der Wellenlänge ein Spektrometer nachgeordnet, so dass Linienprofile mittels eines einzigen Kamerabildes aufgenommen werden können. In der Schrift DE 103 21 896 A1 wird eine Anordnung zur chromatischen Objektiefenabtastung mit einem brechkraftvariablen System beschrieben, wobei im Beobachtungsstrahlengang eine spektrale Zerlegung des Lichts mittels Dispersionskeil vorgeschlagen wird, so dass Linienprofile mittels eines einzigen Kamerabildes aufgenommen werden können. In diesen beiden Schriften sind jedoch keine Merkmale zur dreidimensionalen Messung der Objektform oder der Mikroobjektform mittels chromatischer Technik innerhalb eines Zeitintervalls zur Aufnahme eines einzigen Kamerabildes, also der Integrationszeit eines Kamera-Frames, angegeben.

**[0006]** In der Veröffentlichung von H. J. Tiziani, M. Wegner, D. Steudle, "Confocal principle for macro- and microscopic surface and defect analysis" in der Zeitschrift Optical Engineering Vol. 39, No. 1 (2000) wird auf den Seiten 32–39 ein Messaufbau vorgestellt, bei dem eine flächige Spektralanalyse mittels einer Farbkamera dazu verwendet wird, eine flächig aufgelöste chromatisch-konfokale One-shot-Topografiemessung durchzuführen. Der Aufbau ist durch die verwendete Farbkamera jedoch auf drei Spektralkanäle begrenzt.

**[0007]** In der Patentschrift DE 699 04 558 T2 wird eine Anordnung mit einer flächigen Aufspaltung in Linien beschrieben. Hierbei ist jedoch ein Übersprechen der Intensität in eine Richtung unvermeidlich. In der Patentschrift DD 283 750 A7 wird eine spektrale Analyse durch Farbfilter vorgeschlagen. Dadurch wird eine höhere laterale Auflösung erreicht. Jedoch erfolgt die spektrale Analyse nicht in der Zeitdauer eines einzigen Kamera-Frames.

**[0008]** US 2002/0141051 A1 beschreibt eine Anordnung zur konfokalen Mikroskopie, wobei als Aperturblende insbesondere ein ganzes Array von Aperturen vorgesehen wird. Dadurch entsteht auf einer zu untersuchenden Probe ein ganzes Array von Foki, die lateral über die Probe gescannt werden. Als Lichtquelle dient dabei vorzugsweise ein Laser.

**[0009]** US 5,486,701 A beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Reflexionsmessung in zwei Wellenlängenbändern, um die Dicke von sehr dünnen Filmen bestimmen zu können. Dabei werden Intensitäten eines von dem zu untersuchenden dünnen Film reflektierten Lichtspektrums mit Intensitäten eines Referenzspektrums verglichen.

## Anwendungsgebiet der Erfindung

**[0010]** Die hier dargestellte Erfindung kann erstens zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging in Auflicht, Durchlicht oder Emission eines flächigen Strahlenbündels eingesetzt werden, welches die Information über ein flächiges oder auch ein volumenhaftes Objekt trägt. Unter spektroskopischer Analyse soll hierbei die Messung der Intensität in einem bestimmten Wellenlängen- oder Wellenzahlbereich verstanden werden. Dabei werden hierbei insbesondere auch Anwendungen der spektroskopischen Analyse gesehen, die mit einer vergleichsweise geringen spektralen Auflösung auskommen, bei denen jedoch die spektroskopische Information stets zweidimensional, also flächig orts aufgelöst vorliegen soll. Auch die Bestimmung der Intensität muss nicht mit sehr hoher fotometrischer Auflösung erfolgen. Diese Technik wird in der Praxis auch als Spectral Imaging bezeichnet. Das Anwendungsgebiet umfasst beispielsweise die Werkstofftechnik, die Drucktechnik, die Webtechnik von Stoffen, die Herstellung von Farben, die Medizintechnik, die Lebensmitteltechnik und die Fleischverarbeitung zur Reife- und Frischegradkontrolle, biologische Techniken, die Kriminalistik, die terrestrische Luftraumüberwachung und die extraterrestrische Raumüberwachung, und Planeten- und Mondoberflächenbeobachtung, also auch extraterrestrische Applikationen, sowie ganz allgemein die Materialanalyse. Darüber hinaus, kann das Anwendungsgebiet der Erfindung aber auch die Lichttechnik und Laserbearbeitungstechnik sein, bei welcher mittels der Erfindung flächig orts aufgelöste Emissionsspektren gewonnen werden können.

**[0011]** Zweitens kann die Erfindung auch zur geometrischen 3D-Messtechnik eines oder mehrerer Objekte mit Anordnungen auf der Basis der Spektral-Interferometrie, oder der chromatisch-konfokalen Technik gemäß der Schrift DE 103 21 885 A1 oder der chromatischen Streifen triangulation gemäß der Schrift DE 103 21 896 A1 mit chromatischem Tiefen-Scan eingesetzt werden, wobei die Tiefen- oder Abstandsdaten mittels Spektroskopie gewonnen werden.

**[0012]** Das Anwendungsgebiet der Erfindung betrifft also vielfältige Aufgaben in der Technik, beispielsweise auch für die schnelle Bestimmung der dreidimensionalen Form von kleineren, insbesondere tief- oder hochgeformten Objekten im Maschinenbau, in der Feinwerktechnik, in der Mikrosystemtechnik und in der Nanotechnik. Letzteres insbesondere in Verbindung mit interferometrischen Anordnungen. Die Erfindung kann also in einem sehr weiten Skalenbereich, eingesetzt werden.

**[0013]** Darüber hinaus können auch biologische Objekte, einschließlich einer Vielzahl von Mikroobjekten, sowie auch geformte Kunstobjekte sowie prähistorische Objekte und Objekte der Kriminalistik sowie Gerichtsmedizin aller Art vermessen werden. Die Art der Vermessung kann also flächig spektroskopisch, oder auch dreidimensional unter Nutzung der orts aufgelösten, flächigen Spektroskopie durchgeführt werden.

## Ziele der Erfindung

**[0014]** Das Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine universell anwendbare Anordnung und ein Verfahren zur schnellen, orts aufgelösten, flächig spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, oder zur dreidimensionalen Erfassung eines oder mehrerer flächiger oder volumenhafter Objekte mittels der orts aufgelösten, flächigen Spektroskopie für die gewerbliche Anwendung bereitzustellen. Das technische Ziel der Erfindung besteht in der Erhöhung der flächigen, spektralen Auflösung und der Robustheit, wobei die Flächen-Sensoren gut ausgenutzt werden sollen, so dass ein hoher Flächenfüllfaktor mit Licht gegeben ist.

## Aufgabe der Erfindung

**[0015]** Es besteht zum einen die Aufgabe für die Erfindung, beim flächigen optischen Antasten eines oder mehrerer nichtleuchtender Objekte oder Objektbereiche in Auflicht – oder beim Messen im Durchlichtverfahren von einem oder mehreren selbstleuchtenden Objekten oder Objektbereichen – orts aufgelöst spektroskopische Informationen zu gewinnen. Dies kann beispielsweise folgendes betreffen: Orts aufgelöst in einem flächigen Bereich die Farbe eines Objekts oder auch orts aufgelöst die spektrale Transmission oder die spektrale Emission eines Objekts, insbesondere im Zeitintervall der Aufnahme eines einzigen Kamerabildes zu bestimmen. Dabei kann es sich um feste, flüssige oder gasförmige Objekte aller Art im technischen und nichttechnischen Bereich handeln. Andererseits besteht die erfinderische Aufgabe mittels Nutzung flächiger, spektroskopischer Informationen, ein Objekt oder mehrere Objekte oder Objektbereiche dreidimensional, insbesondere im Zeitintervall der Aufnahme eines einzigen Kamerabildes, zu erfassen.

**[0016]** Es besteht eine weitere Aufgabe, nämlich ein Objekt dreidimensional mittels flächig spektroskopischer Analyse, bzw. mittels Spectral Imaging, insbesondere im Zeitintervall der Aufnahme eines einzigen Kamerabildes, zu erfassen.

#### Beschreibung der Erfindung

**[0017]** Die Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, ist mit folgenden Komponenten in der Anordnung ausgebildet:

Ein gerastertes, flächiges Array von Pinholes oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki und einem diesen Foki zugeordneten Pinholes, welche ein Array von Pinholes bilden, ein optisches Abbildungssystem für das Array, welches einerseits ein Kollimatorobjektiv oder andererseits auch ein optisches System mit Abbildungsfunktion für das gerasterte, flächige Array darstellen kann, mindestens eine flächige Detektor-Matrix im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung und Mittel zur Fokussierung auf die flächige Detektor-Matrix vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix eine spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse besteht, und mindestens ein Fernrohr-, oder ein Tubus- oder mindestens ein Transferobjektiv zur Objektaufnahme dem gerasterten, flächigen Array vorgeordnet ist. Im Fall der Anordnung eines Tubusobjektivs ist dem Tubusobjektiv dabei in der Regel ein Mikroskopobjektiv vorgeordnet, so dass ein mikroskopischer Strahlengang besteht. Im Fall der Anordnung eines Transferobjektivs kann dieses Transferobjektiv ein kurz- oder langbrennweitiges Messobjektiv, ein Fotoobjektiv oder auch ein Videoobjektiv darstellen, welches ein zumindest näherungsweise scharfes Bild eines Objekts auf das Array abbildet. Das Fotoobjektiv kann auch ein Tele-, ein Normal- oder ein Weitwinkelobjektiv darstellen.

**[0018]** Unter der spektralen Achse wird hier die Achse verstanden, entlang welcher entsprechend der Wellenlänge oder Farbe aufgespaltet wird. Für die spektrale Achse wird auch gelegentlich der Begriff Dispersionsachse verwendet. Das gerasterte, flächige Array kann dabei also auch aus einer Kombination eines flächigen Arrays von Mikrolinsen mit einem flächigen Array von Pinholes gebildet sein, wobei die Pinholes dann jeweils zumindest näherungsweise an Orten von Foki angeordnet sind. Dieser Fall soll in der Beschreibung durch die Formulierung „flächiges Array von Pinholes“ jeweils miterfasst sein.

**[0019]** Die Pinholes stellen in dieser Erfindung in der Regel kreisförmige Mikroblenden dar. Andererseits können die Pinholes auch eine ovale Form aufweisen oder auch längliche, also eher rechteckige Schlitze darstellen, wobei die Langachse der rechteckigen Schlitze hier senkrecht zur spektralen Achse stehen sollte. In dieser Erfindung ist für die Mikroblenden jedoch die Annäherung an die Kreisform oder Quadratform von Vorteil, da so – bei Anwendung der Erfindung – das Übersprechen am Besten zu vermeiden ist.

**[0020]** Mittels eines Fernrohr-, oder Tubus- oder eines Transferobjektiv wird ein zumindest näherungsweise scharfes Bild des wie auch immer ausgebildeten Objekts auf das Array fokussiert. Dieses Fernrohr-, oder Tubus- oder Transferobjektiv kann dabei auch Bestandteil eines vorgeordneten optischen Systems sein. Beispielsweise kann in der Erfindung das Tubusobjektiv ein Bestandteil eines Mikroskops zur Analyse von Objekten oder Objektbereichen in der mikroskopischen Skala sein. Andererseits ist es auch möglich, dass in der erfinderischen Anordnung das Fernrohrobjektiv eine Komponente eines terrestrischen oder astronomischen Fernrohrs darstellt.

**[0021]** Das Ziel der Erfindung wird mit den nachstehenden, erfinderischen Merkmalen erreicht: Die Anordnung von Submatrizen zur spektralen Aufspaltung von Objektlicht auf der Detektor-Matrix zwecks spektraler Analyse erfolgt so, dass die Detektor-Matrix zumindest näherungsweise vollflächig mit lateral versetzten, länglichen Submatrizen ausgefüllt ist, die zumindest näherungsweise aneinander grenzen und somit sich nicht überdecken und erfindungsgemäß zumindest näherungsweise parallel zur spektralen Achse sowie vorzugsweise auch parallel zu Zeilen oder Spalten der Detektor-Matrix angeordnet sind, d. h. die Mittel zur spektralen Aufspaltung und die Detektor-Matrix sind entsprechend zueinander rotatorisch justiert. Um die zumindest näherungsweise vollflächige Belegung der Detektor-Matrix mit lateral versetzten, länglichen Submatrizen zu erreichen, ist erfindungsgemäß das gerasterte, vorzugsweise zumindest näherungsweise quadratisch gerasterte, flächige Array von Pinholes oder das Array von Mikrolinsen mit Foki relativ verdreht um einen spitzen Winkel  $\alpha_D$  zur spektralen Achse auf der flächigen Detektor-Matrix angeordnet, wobei diese Drehung um die optische Achse der Anordnung ausgeführt ist, so dass durch die Verdrehung eine Verbindungslinie von Pinholes oder von Foki bei deren Projektion oder Abbildung in die Ebene der Detektor-Matrix dort mit der spektralen Achse, der  $\lambda$ -Achse, einen spitzen Winkel  $\alpha_M$ , also den Verdrehwinkel  $\alpha_M$ , einschließt, so dass ein Winkel ungleich null besteht. In der Regel ist der spitze Winkel  $\alpha_D$  gleich dem spitzen Winkel  $\alpha_M$ , also  $\alpha_D = \alpha_M$  wenn sich keine bildrotierenden Komponenten im Strahlengang befinden, wovon hier ausgegangen wird. Der Verdrehwinkel  $\alpha_D$  stellt eine Starrkörperverdrehung dar, während sich bedingt durch Fertigungsfehler des Arrays von Punktlicht-

quellen oder des Arrays von Mikrolinsen für die einzelnen Pinholes oder Foki durchaus Lageabweichungen ergeben können, so dass Verbindungslinien von Pinholes von projizierten oder abgebildeten auf der Detektor-Matrix einen etwas anderen spitzen Winkel als den Verdrehwinkel aufweisen können. Diese Differenz von Verdrehwinkel  $\alpha_D$  und Winkel  $\alpha_M$  ist in der Regel jedoch eher unerheblich, wobei in dieser Erfindungsbeschreibung stets der Winkel  $\alpha_M$  relevant ist, d. h. die Verdrehung des Arrays ist so ausgeführt, dass sich der spitze Winkel  $\alpha_M$  ergibt.

**[0022]** Durch eine vorzugsweise parallele Orientierung der vorgeordneten Mittel zur spektralen Aufspaltung zu den Zeilen der Detektor-Matrix können auch bei vollständiger Ausnutzung der Fläche der Detektor-Matrix rechteckige, längliche Submatrizen gebildet werden. Die Mittelpunkte dieser Submatrizen schließen dann also den spitzen Winkel  $\alpha_M$  mit der spektralen Achse der vorgeordneten Mittel zur spektralen Aufspaltung und Geraden ein, auf denen sich Mittelpunkte von direkt benachbarten Submatrizen befinden. Die Geraden und die projizierten Verbindungslinien von Pinholes oder von Foki von Mikrolinsen fallen also auf der Detektormatrix zumindest näherungsweise zusammen. Der Verdrehwinkel  $\alpha$  weist für ein quadratisches Raster dabei vorzugsweise einen Betrag im Bereich von 2,8 Altgrad bis 26,6 Altgrad auf, wobei der letztgenannte Winkelwert zu einer sehr geringen spektralen Auflösung und damit auch geringer Tiefen-Auflösung führen würde.

**[0023]** Die auf der Detektor-Matrix bestehende spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse, der vorgeordneten Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung schließt dabei also erfindungsgemäß den spitzen Winkel  $\alpha_M$  mit zumindest näherungsweise parallelen Geraden  $g'_k$  ein. Dabei werden die Geraden  $g'_k$ , wie bereits beschrieben, durch Mittelpunkte  $M_{jk}$  von Submatrizen bestimmt.

**[0024]** Wird ein Verhältnis  $V$  von maximaler Länge  $l_{\max}$  zu maximaler Breite  $b_{\max}$  der Submatrizen beim Design der erfinderischen Anordnung vorgegeben, wobei die Länge  $l_{\max}$  zum Erreichen einer gewünschten Tiefen-Auflösung und die Nutzung der maximalen Breite  $b_{\max}$  zum Verringern, bzw. Vermeidens des Übersprechens zwischen den Intensitätsverteilungen der Submatrizen dient, kann bei einem quadratischen Raster des Arrays von Pinholes oder Foki mittels nachstehender Gleichung (1)

$$V_n = \frac{l_{\max}}{b_{\max}} = \frac{n^2}{\cos^2 \left[ \arctan \left( \frac{1}{n} \right) \right]} = n^2 + 1 \quad (1)$$

durch Iteration ein ganzzahliger Wert  $n$  bestimmt werden, der dem gewünschten Verhältnis  $V$  möglichst nahe kommt, wobei  $n$  stets ganzzahlig und stets größer oder gleich 1 ist. Mittels des so ermittelten ganzzahligen Werts  $n$  kann mittels nachstehender Gleichung (2)

$$\alpha_{Mn} = \arctan\left(\frac{1}{n}\right) \quad (2)$$

der spitze, zu  $n$  zugehörige Winkel  $\alpha_{Mn}$  bestimmt werden, wobei  $n$  stets ganzzahlig und stets größer oder gleich 1 ist, so dass die Detektor-Matrix zumindest näherungsweise vollflächig mit länglichen Submatrizen ausfüllbar ist.

**[0025]** Technisch sehr interessante Werte für  $n$  im Sinne dieser Erfindung liegen im Bereich von 2 bis 8, wobei der Wert  $n = 4$  besonders interessant für die technische Anwendung ist, für den sich ein Winkel  $\alpha_{M4} = 14,04$  Altgrad und ein Verhältnis  $V_4 = 17$  bei einem quadratischen Raster ergibt. So können für den Wert  $n = 4$  beispielsweise Submatrizen mit  $68 \times 4$  Pixeln auf der Detektor-Matrix gebildet und überdeckungsfrei angeordnet werden, wobei sich hierbei ein Füllgrad der Detektor-Matrix mit Submatrizen zumindest im mittleren Bereich einer zentrierten Detektor-Matrix von 100% ergibt. Für eine Detektormatrix auf der Basis eines Chips mit etwa 30 Mega-Pixel können für den Fall  $n = 4$  etwa 100.000 Objektpunkte mittels eines einzigen Kamera-Frames bei Anwendung der Erfindung detektiert werden.

**[0026]** Um vorzugsweise einen dieser Winkel  $\alpha_{nM}$  muss also erfindungsgemäß das vorzugsweise quadratisch gerasterte, flächige Array von Pinholes oder das Array von Mikrolinsen mit Foki um die optische Achse in Bezug auf die spektrale Achse verdreht und das zugehörige Längen-Breiten-Verhältnis der Submatrizen  $V_n$  realisiert sein, damit sich eine vollständige Abdeckung der Detektor-Matrix mit Submatrizen ohne Überschneidung derselben ergeben kann.

**[0027]** Es sind auch vorzugsweise nichtquadratische Rasterungen des Arrays erfindungsgemäß einsetzbar, jedoch für die messtechnische Applikation meist von etwas geringerem Interesse.

**[0028]** Für ein rechteckiges Raster des Arrays von Pinholes oder Foki folgt der spitze Winkel, zu  $n$  zugehörige Winkel  $\alpha_{Mn\_R}$  mittels nachstehender Gleichung

$$\alpha_{Mn\_R} = \arctan\left(\frac{h}{nb}\right) \quad (3)$$

mit der Rasterkonstanten  $h$  in der Höhe und der Rasterkonstanten  $b$  in der Breite, wobei  $n$  stets ganzzahlig und stets größer oder gleich 1 ist. Bei Einhaltung des Winkels  $\alpha_{Mn\_R}$  ist die Detektor-Matrix zumindest näherungsweise vollflächig mit länglichen Submatrizen ausfüllbar.

**[0029]** Die Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung können dabei als Beugungsgitter oder als Dispersionsprismenkeil mit realer oder gedachter Keilkante ausgebildet sein. Dabei ist die spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse, stets senkrecht zu den Linien oder linienhaften Strukturen des Beugungsgitters, beziehungsweise senkrecht zur realen oder gedachten Kante des Dispersionsprismenkeils orientiert.

**[0030]** Weiterhin ist vorzugsweise das gerasterte, flächige Array in seiner Rasterkonstanten elektronisch steuerbar ausgebildet, beispielsweise als Pinhole-Array auf der Basis eines LC-Displays, eines LCOS-Displays oder eines digitalen Mikrospiegel-Arrays. So kann ein Feld lückenlos spektrometrisch durchgemustert werden, ohne dass eine mechanische Bewegung vonnöten ist, beispielsweise mittels  $10 \times 10$  Pinhole-Positionen, was 100 Kamera-Frames entspricht.

**[0031]** Das gerasterte, flächige Array kann vorzugsweise auch als Mikrolinsen-Array mit in der Fokalebene angeordnetem Pinhole-Array ausgebildet sein.

**[0032]** In einem erfindungsgemäßen Aspekt wird die Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, so verwendet, dass dem gerasterten, flächigen Array eine chromatisch-konfokale Messanordnung zugeordnet ist, welche beispielsweise die dreidimensionale Erfassung einer Objekt Oberfläche in mehreren, lateral in einer Fläche verteilten Messpunkten ermöglicht. Weiterhin kann dabei der chromatisch-konfokalen Messanordnung im Beleuchtungsstrahlengang vorzugsweise ein zweites gerastertes, flächiges Array von Pinholes oder Mikrolinsen oder Mikrolinsen mit Pinholes vorgeordnet sein, welches zur Erzeugung von Punktlichtquellen dient. Es ist aber auch möglich, dass die chromatisch-konfokale Messanordnung das gerasterte, flächige Array von Pinholes oder Mikrolinsen oder Mikrolinsen mit Pinholes im Beleuchtungsstrahlengang nutzt, so dass insgesamt nur ein einziges Array von Pinholes oder Mikrolinsen oder Mikrolinsen mit Pinholes angeordnet ist, welches zur Erzeugung von Punktlichtquellen dient. Dies erübrigt die exakte Positionierung eines ersten zu einem zweiten Array.

**[0033]** Erfindungsgemäß können vorzugsweise auch zumindest teilweise spektral definierte, also spektral vorbestimmte Referenzlichtbündel zur chromatischen Kalibrierung der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, erzeugt werden, welche sich über mindestens eine passive, gerasterte Komponente des Arrays ausbreiten, der in der Anordnung mittels eines dieser Anordnung vorgeordneten Strahlteilers ausgebildet ist, so dass der Referenzstrahlengang optisch mittels Strahlteiler mit der Anordnung gekoppelt ist. So besteht ein mit einem Strahlteiler gekoppelter Referenzstrahlengang mit zumindest teilweise spektral definierten, vorbestimmten Referenzlichtbündeln, welcher zur chromatischen Kalibrierung der Anordnung angeordnet ist.

**[0034]** Für die vorzugsweise Erzeugung der Referenzlichtbündel ist der Messlichtquelle vorzugsweise mindestens eine zusätzliche, zumindest teilweise spektral definierte, also spektral vorbestimmte Referenzlichtquelle beigeordnet oder das zumindest teilweise spektral definierte Referenzlicht wird vorzugsweise auch von der Messlichtquelle vorzugsweise durch optische Filterung erzeugt.

**[0035]** Vorzugsweise jedoch sind zwei, vorzugsweise zumindest näherungsweise monochromatische, vorzugsweise elektrisch schaltbare, separate Referenzlichtquellen dem Mikroblenden-Array oder dem Mikrolinsen-Array oder den Mikrolinsen-Array mit nachgeordnetem Mikroblenden-Array vorgeordnet, welche das Array vorzugsweise vollflächig beleuchten. Die Referenzlichtquellen zur chromatischen Kalibrierung der Anordnung sind dagegen im Messvorgang jedoch vorzugsweise ausgeschaltet. So sendet vorzugsweise nur bei der chromatischen Kalibrierung das mit Referenzlichtquellen beleuchtete Array- oder eine mit Referenzlichtquellen beleuchtete gerasterte Komponente des Arrays-Licht aus, welches über den Referenzstrahlengang mittels Referenzlichtbündel abgebildet wird, wobei im Referenzstrahlengang vorzugsweise auch eine Zwischenabbildung von mindestens einer gerasterten Komponente des Arrays erfolgen kann.

**[0036]** Es ist auch möglich, dass der erfinderischen Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse ein Laserschweißkopf oder ein Laserbearbeitungskopf vorgeordnet ist und mittels eines Transferobjektivs das vom Prozess emittierte und vom Laserschweißkopf oder vom Laserbearbeitungskopf gesammelte Prozesslicht orts aufgelöst spektroskopisch analysiert wird.

**[0037]** Es wird zur Kalibrierung der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, beispielsweise, wenn es sich um ein Auflichtmikroskop handelt, also vorzugsweise die Lichtquelle gewechselt oder vorzugsweise ein optisches Filter eingewechselt oder vorzugsweise die Spektral-Charakteristik der Lichtquelle verändert. Erfindungsgemäß ist es also möglich, dass die Lichtquelle das Spektrum vorbestimmt ändern kann, so dass zum einen polychromatisches Licht für die Messung und spektral eingegrenztes Licht, vorzugsweise zumindest näherungsweise monochromatisches Licht, für die chromatische Kalibrierung erzeugt wird, wobei dies vorzugsweise zu unterschiedlichen Zeitintervallen erfolgt. Bei Emissionsmessungen, insbesondere in einem breiten Spektralbereich, kann zum chromatischen Kalibrieren vorzugsweise ein optischer Schmalbandfilter zeitweise in den Strahlengang eingebracht werden.

**[0038]** Es ist aber auch möglich, dass die polychromatische Messlichtquelle vorzugsweise eine oder mehrere charakteristische, vorbestimmte Merkmale im Spektrum aufweist, beispielsweise lokale Minima oder Maxima sowie steile Kanten, die anstelle von separaten Referenzlichtquelle zur Kalibrierung der Anordnung verwendet werden. Vorteilhaft für die Auswertung ist jedoch ein eher glattes Messlichtspektrum, da so die Auswertung in der Regel eine höhere Genauigkeit ermöglicht.

**[0039]** Zur Kalibrierung der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, wird das Referenzlichtbündel mittels Strahlteiler in den Strahlengang, der zur Detektion führt, eingekoppelt und gelangt nach spektraler Aufspaltung mittels Diffraktions- oder Dispersionselement, also Beugungsgitter oder Dispersionsprismenkeil, vorzugsweise fokussiert mit Mitteln zur Fokussierung, beispielsweise ein Detektorobjektiv, auf die vorzugsweise pixelierte Detektor-Matrix, wobei vorzugsweise die Pupille des Detektorobjektivs sowohl vom Referenzlichtbündel als auch vom Objektlichtbündel zumindest näherungsweise gleichflächig durchstrahlt wird. Mittels der Detektor-Matrix werden die mittels Referenzlichtbündel vorzugsweise scharf abgebildeten Bilder der Pinholes oder Mikrolinsen-Foki, also die Referenzpunktbilder, detektiert. Erfindungsgemäß werden dabei mittels dieser Referenzpunktbilder-Daten viele lateral versetzte Submatrizen zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging von Objektlicht auf der Detektor-Matrix numerisch abgesteckt, die dann gemeinsam ein Submatrizen-Array bilden und zur spektroskopischen Messung genutzt werden. Dabei dient jede Submatrix zur Gewinnung der Messinformation für genau einen Objektpunkt. In jeder Submatrix erfolgt beim Messen durch chromatische Lateralaufspaltung die spektroskopische Analyse des Objektlichts.

**[0040]** Dabei werden mittels der vorzugsweise ausgebildeten Referenzpunktbilder vorzugsweise der Anfang und das Ende einer Submatrix zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging auf der Detektor-Matrix durch die mittels Detektor-Matrix bei der Kalibrierung gewonnenen Messdaten bestimmt. Dies ist möglich, indem beispielsweise die Schwerpunkt-Positionen oder die Maximums-Positionen der Intensität der Referenzpunktbilder als Referenz-Positionen, d. h. als spektraler Referenzpunkte, auf der Detektor-Matrix numerisch ermittelt werden. Diese spektralen Referenzpunkte dienen zur chromatischen Kalibrierung der Anordnung. Die Verbindungslinie von mindestens zwei spektralen Referenzpunkten bildet dann also die spektrale Achse einer jeden Submatrix zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging auf numerischer Basis. Durch diese mittels Referenzdaten gestützte Bestimmung mittels spektraler Referenzpunkte ist die Kenntnis der winkelmäßigen Orientierung der spektralen Achse auf der Detektor-Matrix mit einer hohen Genauigkeit gegeben. Es ist damit auch möglich, eine Mittelung der in jeder Submatrix bestimmten winkelmäßigen Orientierungen der spektralen Achse – auf der Basis der ermittelten Referenzpunkte – in jeweils einem größeren Bereich auf der Detektor-Matrix durchzuführen, um die Lage der spektralen Achse zumindest in einem Bereich der Detektormatrix noch genauer – als bei einer Bestimmung mittels einer einzigen Submatrix – ermitteln zu können. Durch eine mittels Referenzdaten gestützte Nachjustierung der Anordnung – beispielsweise, indem die Mittel zur spektralen Aufspaltung, beispielsweise ein Dispersionsprismenkeil oder ein Beugungsgitter oder auch die Detektor-Matrix, durch eine Rotation um die optische Achse nachjustiert werden – kann so die spektrale Achse auf der Detektor-Matrix genau parallel zu den Zeilen oder gegebenenfalls auch zu den Spalten der Detektor-Matrix zumindest in der Mitte der Detektor-Matrix ausgerichtet werden. Dies verbessert in hohem Maße die Messgenauigkeit, insbesondere bei einer nicht sehr hochpixligen Detektor-Matrix, da die äußeren Begrenzungsstrecken der vorzugsweise rechteckigen Submatrizen dann stets mit den Zeilen und Spalten der Detektor-Matrix zumindest im inneren Bereich des Feldes identisch sind, also die Begrenzungsstrecken der Submatrizen keine Zeilen oder Spalten wechseln, bzw. schneiden, wodurch sich der numerische Aufwand der Datenauswertung erheblich verringern kann. Dabei ist es möglich, dass beispielsweise aufgrund von Ver-

zeichnungen des Fokussierobjektivs die winkelmäßige Orientierung der spektralen Achse auf der Detektor-Matrix etwas variiert. Im äußeren Bereich des Feldes kann sich bei stärkeren Verzeichnungen durchaus die winkelmäßige Orientierung der spektralen Achse auf der Detektor-Matrix so ändern, dass unerwünschterweise die Begrenzungsstrecken der Submatrizen Zeilen oder Spalten der Detektor-Matrix schneiden. Die Kenntnis der winkelmäßigen Orientierung der spektralen Achse, beispielsweise im äußeren Bereich des Messfeldes, kann somit gezielt zur numerischen Korrektur der Messergebnisse und damit zur Verbesserung der Genauigkeit genutzt werden.

**[0041]** Außerdem wird vorzugsweise der gegebenenfalls etwas ortsabhängige Grad der spektralen Aufspaltung – also entlang der spektralen Achse – auf der Detektor-Matrix beispielsweise aufgrund von Verzeichnungen des Fokussierobjektivs für jede Submatrix mittels der Position von mindestens zwei Referenzpunktbildern, aus denen spektrale Referenzpunkte errechnet werden, numerisch bestimmt. Dadurch wird eine Subpixel-Interpolation entlang der spektralen Achse bei der spektroskopischen Analyse durchführbar und messtechnisch auch sinnvoll. So kann bei der Messung das Spektrum genau bestimmt werden, auch wenn im Strahlengang Verzeichnungen bestehen und/oder die Detektor-Matrix lateral dejustiert ist oder sich beispielsweise durch Temperaturänderungen in der Anordnung oder durch die Alterung von Komponenten der Anordnung sich Dejustierungen ergeben.

**[0042]** Innerhalb einer Kalibrierung – also nach Fertigstellung eines Messgerätes auf Basis dieser Erfindung – werden die Positionen der spektralen Referenzpunkte auf der Detektor-Matrix langfristig für jede einzelne Submatrix gespeichert, welche dann die Sollpositionen der spektralen Referenzpunkte darstellen. Die chromatische Kalibrierung mittels spektraler Merkmale der Messlichtquelle oder mittels einer oder mehrerer Referenzlichtquellen – also eine interne Kalibrierung – erfolgt zu dem Zweck, beim Einsatz eines Messgerätes auf Basis dieser Erfindung Veränderungen der Positionen der spektralen Referenzpunkte im Vergleich zu den Sollpositionen zu erkennen, indem die Positionen der spektralen Referenzpunkte immer wieder in vom Anwender der Anordnung wählbaren Zeitabständen ermittelt und mit den abgespeicherten Sollpositionen der spektralen Referenzpunkte im Kalibrier-File verglichen werden. Dabei wird hier stets von einer sehr genauen spektralen Referenz ausgegangen, beispielsweise auf der Basis von stabilisierten Laserdioden, deren Genauigkeit weit oberhalb der hier betrachteten Ungenauigkeiten durch nicht perfekte Gerätekompontenten, Komponententalterungen oder Dejustierungen liegt.

**[0043]** Zusätzlich werden auch hierbei vorzugsweise die lateralen Positionen der spektralen Referenzpunkte auf der Detektor-Matrix in einem Langzeitspeicher abgelegt, also die Sollpositionen langfristig für jede einzelne Submatrix gespeichert.

**[0044]** Die chromatische Kalibrierung mittels spektraler Merkmale der Messlichtquelle oder von einer oder mehrerer Referenzlichtquellen – also die interne Kalibrierung – erfolgt dann zu dem Zweck, interne Veränderungen beim Einsatz eines Messgerätes auf Basis dieser Erfindung im Trend zu erkennen, indem die aktuellen Lateralpositionen der spektralen Referenzpunkte kontrolliert werden, und ermittelte Abweichungen gegebenenfalls zur Korrektur genutzt werden. Dies kann jeweils vor dem Beginn einer Messung oder einer Messserie erfolgen. Bei extremen Abweichungen der aktuellen Lateralpositionen der spektralen Referenzpunkte von den gespeicherten Soll-Lateralpositionen erfolgt eine Fehlermeldung. In diesem Fall kann eine externe Kalibrierung erfolgen oder das Gerät muss neu justiert oder repariert werden.

**[0045]** Die Quelle elektromagnetischer Strahlung der Anordnung kann breitbandig, beispielsweise im UV-, im VIS- oder auch im IR-Bereich, ausgebildet sein und auch kurzgepulst werden. Beispielsweise kann ein Kurzpulslaser mit einer Pulsfrequenz beispielsweise im 100 Hz-Bereich eingesetzt werden und dessen Pulse mit einer Detektor-Matrix synchronisiert werden. Dies stellt für schnell bewegte Szenen eine Möglichkeit für deren dreidimensionale Vermessung dar. Es kann aber auch eine Fluoreszenz-Anregungslichtquelle, beispielsweise eine UV-Lichtquelle, eingesetzt werden und das Objekt somit zur Fluoreszenz angeregt werden und die sich ergebenden Farben oder Spektren vom Objekt flächig orts aufgelöst ermittelt werden, wobei das Anregungslicht mittels optischer Filterung im Strahlengang von der Detektormatrix ferngehalten wird.

**[0046]** Weiterhin werden die vorzugsweise ausgebildeten Referenzlichtbündel vorzugsweise durch Teilung der Amplitude erzeugt, vorzugsweise durch einen Strahlteiler.

**[0047]** Vorzugsweise kann das optische System für das gerasterte, flächige Array von Pinholes oder von Mikrolinsen als ein System mit chromatischer Tiefenaufspaltung im Objektraum, ausgebildet sein. Dieses kann dem gerasterten, flächigen Array von Pinholes oder von Mikrolinsen mit Foki vorgeordnet, aber auch nachgeordnet sein. Grundsätzlich kann dem gerasterten, flächigen Array von Pinholes oder von Mikrolinsen mit



Foki ein zweites flächiges Array von Pinholes vorgeordnet, aber auch nachgeordnet sein, welches dann zur konfokalen Diskriminierung dient.

**[0048]** In einem weiteren erfindungsgemäßen Aspekt ist der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging ein flächig messendes Spektralinterferometer zugeordnet, mit welchem eine dreidimensionale Messung eines mikroskopisch kleinen technisch Objekts durchgeführt werden kann, die zu einer Punktwolke führt, beispielsweise um die Mikroform desselben zu bestimmen. Dabei kann dem Array das flächig messende Spektralinterferometer vorgeordnet oder auch nachgeordnet sein. In jeder Submatrix der Detektormatrix, die als Spektralzelle dient, der erfindungsgemäßen Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging wird dann bei Kopplung dieser Anordnung mit dem Spektralinterferometer je ein Wavelet, auch als Müllersche Streifen bekannt, detektiert. Aus den Müllerschen Streifen kann in bekannter Art und Weise die Information über den Abstand des zugehörigen Objektpunktes errechnet werden.

**[0049]** In einem weiteren erfindungsgemäßen Aspekt ist der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging eine flächig messende, chromatische Triangulationsmessenordnung mit chromatischer Tiefenaufspaltung gemäß der Schrift DE 103 21 896 A1 vorgeordnet, die eine dreidimensionale Messung eines Objekts ermöglicht, indem die 3D-Punktwolke von einem Objekt bestimmt wird. In jeder Submatrix der Detektormatrix, die als Spektralzelle dient, der erfindungsgemäßen Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging wird dann bei Kopplung dieser Anordnung mit der chromatischen Triangulationsmessenordnung gemäß o. g. Schrift je ein Wavelet detektiert, aus dem in bekannter Art und Weise die Information über den Abstand des zugehörigen Objektpunktes errechnet werden kann.

**[0050]** Vorzugsweise kann der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging aber auch eine Auflichtmessenordnung vorgeordnet sein, mit welcher reflektierende Objekte untersucht werden können.

**[0051]** Es ist auch möglich, dass der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, vorzugsweise ein optischer Laserschweißkopf sowie ein Transferobjektiv vorgeordnet sind und mittels des Transferobjektivs das vom Schweißprozess emittierte und von der Schweißoptik des Laserschweißkopfes gesammelte Prozesslicht spektrometrisch analysiert wird, wobei vorzugsweise dem Array ein System mit chromatischer Tiefenaufspaltung vorgeordnet ist, welches dem optischen Laserschweißkopf nachgeordnet ist.

**[0052]** Weiterhin ist es auch möglich, dass der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, vorzugsweise eine optisch zugängliche Brennkammer vorgeordnet ist und das zu untersuchende Objekt ein Stoffgemisch in einem Verbrennungsvorgang ist. Dieser Verbrennungsvorgang erfolgt in einer vergleichsweise kurzen Zeit. Die erfinderische Anordnung ermöglicht so mittels je einer einzigen Aufnahme durch die Detektor-Matrix eine flächige, orts aufgelöste, spektrale Analyse des Verbrennungsvorganges zu einem bestimmten Zeitpunkt, also in einem vergleichsweise kurzen Zeitbereich. Um auch die Reaktionskinetik dieses Verbrennungsvorganges erfassen zu können, kann eine Serie von Aufnahmen mittels einer Detektor-Matrix in einer Hochgeschwindigkeitskamera durchgeführt werden, so dass dieser Verbrennungsvorgang auch zeitaufgelöst erfasst werden kann.

**[0053]** Es ist auch möglich, dass der Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, vorzugsweise eine gepulste Anregungslichtquelle vorgeordnet ist, die das zu untersuchende Objekt beleuchtet und damit zur Fluoreszenz anregt. So kann das durch Fluoreszenz erzeugte Licht flächig orts aufgelöst in seinem Spektrum erfasst werden.

**[0054]** Das erfinderische Verfahren zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging ist mit folgenden Komponenten ausgebildet:  
Ein gerastertes, flächiges Array von Pinholes oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki und einem diesen Foki zugeordneten Pinholes, welche ein Array von Pinholes bilden, ein optisches Abbildungssystem für das Array, welches einerseits ein Kollimatorobjektiv oder andererseits auch ein optisches System mit Abbildungsfunktion für das gerasterte, flächige Array darstellen kann, mindestens eine flächige Detektor-Matrix im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung und Mittel zur Fokussierung auf die flächige Detektor-Matrix vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix eine spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse besteht, und mindestens ein Fernrohr-, oder ein Tubus- oder mindestens ein Transferobjektiv zur Objektaufnahme dem gerasterten, flächigen Array vorgeordnet ist.

Im Fall der Anordnung eines Tubusobjektivs ist dem Tubusobjektiv dabei in der Regel ein Mikroskopobjektiv vorgeordnet, so dass ein mikroskopischer Strahlengang besteht.

**[0055]** Erfindungsgemäß wird zur chromatischen Kalibrierung einer verfahrensmäßigen Anordnung mit den oben genannten Komponenten mindestens ein einziges, zumindest teilweise spektral definiertes Referenzlichtbündel erzeugt, welche sich sowohl über mindestens eine Komponente des flächigen Arrays als auch über einen Referenzstrahlengang ausbreitet und mittels Strahlteiler wieder in den Strahlengang, der zur Detektion führt, eingekoppelt wird, so dass nach spektraler Aufspaltung zumindest näherungsweise fokussierte Referenzpunktbilder auf der Detektor-Matrix entstehen und mittels dieser Referenzpunktbilder mehrere, lateral versetzte Submatrizen zur spektralen Analyse von Objektlicht auf der Detektor-Matrix numerisch abgesteckt werden, die als Spektralzellen zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging genutzt werden. So kann durch das Abbilden von fokussierten Referenzpunktbildern und numerischer Bestimmung von deren Position eine Vielzahl von Submatrizen numerisch gebildet werden. Diese stellen Submatrizen auf der Detektor-Matrix dar. Diese Submatrizen können als Regionen von besonderem Interesse (Regions of Interest, ROI) auf der Detektor-Matrix interpretiert werden, die erfindungsgemäß mittels Abbildung fokussierter Bündel und mittels numerischer Bestimmung erzeugt werden. Die zu diesen so bestimmten Submatrizen gehörenden Pixel der Detektor-Matrix können vorzugsweise durch geeignete Mittel und Verfahrensschritte in einem Block vorzugsweise zeitgleich erfasst, vorzugsweise zeitgleich ausgelesen und vorzugsweise einer besonders schnellen Signalverarbeitung zugeführt werden. Diese schnelle Signalverarbeitung kann vorzugsweise mit bekannten Spezialprozessoren erfolgen. Neben der chromatischen Kalibrierung kann auch noch eine fotometrische Kalibrierung durchgeführt werden, die somit auch zu besseren fotometrischen Ergebnissen führt.

**[0056]** Dabei kann für die Absteckung einer Submatrix im Minimum ein einziges fokussiertes Referenzpunkt-bild verwendet werden. Andererseits können vorzugsweise auch zwei fokussierte Referenzpunkt-bilder genutzt werden, die den geometrischen Anfang und das Ende einer Submatrix zumindest näherungsweise definieren. Weiterhin können mehrere fokussierte Referenzpunkt-bilder genutzt werden, die zur spektralen Referenz dienen können, beispielsweise wenn durch Verzeichnungen in der Anordnung „Dehnungen der spektralen Achse“ auftreten. So kann eine Korrektur der bestimmten Daten ermöglicht werden.

**[0057]** Ein weiteres erfinderisches Verfahren zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging ist mit folgenden Komponenten ausgebildet: Ein gerastertes, flächiges Array von Mikrolinsen, ein optisches Abbildungssystem für das Array, mindestens eine flächige Detektor-Matrix im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung und Mittel zur Fokussierung auf die flächige Detektor-Matrix vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix eine spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse besteht. Dabei ist das flächige Array von Mikrolinsen relativ verdreht um einen spitzen Winkel zur spektralen Achse auf der flächigen Detektor-Matrix angeordnet, wobei die Drehung um die optische Achse der Anordnung ausgeführt ist, so dass durch die Verdrehung eine Verbindungslinie von Foki der Mikrolinsen bei deren Projektion oder Abbildung in die Ebene der Detektor-Matrix dort mit der spektralen Achse, der  $\lambda$ -Achse, zumindest näherungsweise einen spitzen Winkel einschließt. Weiterhin ist mindestens ein Fernrohr-, oder ein Tubus- oder mindestens ein Transferobjektiv zur Objektaufnahme dem gerasterten, flächigen Array vorgeordnet. Erfindungsgemäß wird zur chromatischen Kalibrierung mindestens ein einziges, zumindest teilweise spektral definiertes Referenzlichtbündel erzeugt, welches sich sowohl über mindestens eine Komponente des flächigen Arrays als auch über einen Referenzstrahlengang ausbreitet und mittels Strahlteiler wieder in den Strahlengang, der zur Detektion führt, eingekoppelt wird, so dass nach spektraler Aufspaltung zumindest näherungsweise fokussierte Referenzpunkt-bilder auf der Detektor-Matrix entstehen und mittels dieser Referenzpunkt-bilder mehrere, lateral versetzte Submatrizen zur spektralen Analyse von Objektlicht auf der Detektor-Matrix numerisch abgesteckt werden, die als Spektralzellen zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging genutzt werden, so dass eine Vielzahl von Submatrizen numerisch gebildet wird.

**[0058]** Ein weiteres erfinderisches Verfahren zur 3D-Erfassung mittels Spektroskopie ist mit folgenden Komponenten ausgebildet: Ein gerastertes, flächiges Array von Pinholes oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki und diesen Foki zugeordneten Pinholes, welche ein Array von Pinholes bilden, ein optisches Abbildungssystem für das Array, mindestens eine flächige Detektor-Matrix im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung und Mittel zur Fokussierung auf die flächige Detektor-Matrix vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix eine spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse besteht, und ein Spektralinterferometer oder eine chromatisch-konfokale Anordnung oder eine Triangulationsanordnung mit chromatischem Tiefen-Scan den Komponenten vorgeordnet ist. Erfindungsgemäß wird zur chromatischen Kalibrierung mindestens ein einziges, zumindest teilweise spektral definiertes Referenzlichtbündel erzeugt, welches sich sowohl über mindestens eine Komponente des flächigen Arrays als auch über einen Referenzstrahlengang ausbreitet und mittels Strahlteiler wieder in den Strahlengang, der zur De-

tektion führt, eingekoppelt wird, so dass nach spektraler Aufspaltung zumindest näherungsweise fokussierte Referenzpunktbilder auf der Detektor-Matrix entstehen und mittels dieser Referenzpunktbilder mehrere, lateral versetzte Submatrizen zur spektralen Analyse von Objektlicht auf der Detektor-Matrix numerisch abgesteckt werden, die als Spektralzellen zur 3D-Erfassung genutzt werden, so dass eine Vielzahl von Submatrizen numerisch gebildet wird.

**[0059]** Weiterhin ist es vorzugsweise möglich, dass anstelle einer monochromen Detektor-Matrix auch eine Mehr-Chip-Farbkamera eingesetzt wird. Dies ermöglicht eine Verringerung der lateralen Abstände der Messpunkte entlang der  $\lambda$ -Achsen der einzelnen Messpunkte, da die entstehenden Spektren in ihrer  $\lambda$ -Achse durch die Farbfilter auf die Kamerachips verteilt werden. Durch den vorzugsweisen Einsatz einer Drei-Chip-Farbkamera kann die Auflösung entlang der  $\lambda$ -Achse etwa um den Faktor 2–3 gesteigert werden, wobei die mögliche Steigerung der lateralen Auflösung durch die spektrale Überlappung der Farbkanäle beeinflusst wird.

#### Beschreibung der Figuren

**[0060]** Die Erfindung wird anhand der [Fig. 1](#) bis [Fig. 10](#) beschrieben.

**[0061]** Die [Fig. 1](#) stellt eine Anwendung zur orts aufgelösten spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging dar. Das Licht der flächig ausgedehnten, polychromatischen Lichtquelle **1**, die Messlichtquelle, gelangt in ein Auflichtmikroskop **2**, passiert einen Strahlteiler **2a** und wird auf das Objekt **3** gelenkt. Das vom Objekt **3** an einem Punkt P reflektierte Licht gelangt wieder in den Strahlengang des Auflichtmikroskops **2**. Am Strahlteiler **2a** wird das reflektierte Messlicht aus dem Auflichtmikroskop **2** ausgekoppelt, welches das Objekt, also auch den Punkt P, nach Unendlich abbildet, und gelangt über das Objektiv **4**, welches funktional ein Tubussystem darstellt, in die spektroskopische Anordnung und dort auf ein Pinhole-Array **5**, passiert dieses in den Pinholes und durchsetzt ein Kollimatorobjektiv **6**, einen Dispersionsprismenkeil **7** und ein Fokussierobjektiv **8** und gelangt lateral aufgespalten auf die Detektor-Matrix **9**. Auf dieser Detektor-Matrix **9** entsteht das Spektrum der Intensität über der Wellenlänge jeweils als Lichtband, welches die Information über das Spektrum des jeweils angemessenen Objektpunktes enthält.

**[0062]** Durch die vom Objekt **3** mittels reflektierten Messlichts abgebildeten Pinholes, die mittels Pinhole-Array **5** erzeugt werden, ist es möglich, dass sich die Lichtbänder nicht überdecken.

**[0063]** Durch die Verdrehung sowohl des Pinhole-Arrays **5** um die optische Achse AO – also relativ zur Detektor-Matrix **9** – um einen spitzen Winkel  $\alpha_{Mn}$  gemäß Gleichung (1) können bei nahezu vollständiger Ausnutzung der Fläche der Detektor-Matrix **9** rechteckige Submatrizen gebildet werden. Das Auffinden und numerische Abstecken der Submatrizen auf der Detektor-Matrix **9** erfolgt hierbei durch Bilddaten, die durch eine Kalibrierung mit einer weißen oder grauen Referenzplatte gewonnen werden.

**[0064]** Die [Fig. 2](#) zeigt die Anordnung eines Mikrolinsen-Arrays mit seinen Foki, welches ebenfalls um den Winkel  $\alpha_{Mn}$  gedreht ist.

**[0065]** Die [Fig. 3](#) zeigt ausschnittsweise die Anordnung für den Fall  $n = 2$ , s. a. Gleichungen (1) und (2) und die Ausbildung von Submatrizen als Spektralzellen mit den geometrischen Mittelpunkten M auf einer hochpixeligen Detektor-Matrix **9**. Der Winkel  $\alpha_2$  beträgt hierbei  $\alpha_2 = 26,57$  Altgrad und das Längen-Breiten-Verhältnis der Submatrizen  $V_2 = 5$ , wenn ein Füllgrad mit Submatrizen von 100% erreicht werden soll. Dabei liegt die Spektralachse, die  $\lambda$ -Achse, in der Zeichenebene und jeweils in horizontaler Richtung. Dies bedeutet, dass hierbei die lang gezogenen Spektralzellen, also die Submatrizen **9a**, **9b**, **9c**..., senkrecht zur realen oder gedachten, parallel projizierten Keilkante K' des Dispersionsprismenkeils **7** oder zu den Linien eines Beugungsgitters zur Spektralanalyse in der Zeichenebene orientiert sind. Die parallelen Geraden  $g'_k$ ,  $g'_k + 1$ ,  $g'_k + 2$ , welche spektrale Mittelpunkte  $M_{j_k}$ ,  $M_{j_k + 1}$ ,  $M_{j_k + 2}$ , ... direkt benachbarter Submatrizen verbinden, schließen also jeweils einen Winkel von  $\alpha_2 = 26,57$  Altgrad mit den Längsachsen der zueinander parallelen Submatrizen ein.

**[0066]** Mittels Auswertung der Intensitätsverteilung in jeder Submatrix **9a**, **9b**, **9c**... beziehungsweise einer Submatrix  $j_k$  wird das orts aufgelöste Spektrum des Objekts **3** bestimmt mit einer Messzeit entsprechend der Zeitdauer für die Aufnahme eines Kamera-Frames der Detektor-Matrix **9**. dies kann die Messfehler durch Verwackelungen erheblich verringern, wobei die Zeitdauer der Signalauswertung wesentlich länger als die Aufnahmezeit sein kann.

**[0067]** In [Fig. 3](#) ist die Intensitätsverteilung in der mittleren Zeile  $z_m$  einer Submatrix  $j_k$  mit einem möglichen Spektrum dargestellt. Aus dieser Intensitätsverteilung kann das Spektrum mittels jeder Submatrix als Spektralzelle errechnet werden, wobei sich die Lage der Submatrizen mittels a priori-Informationen ergibt, die – wie bereits erwähnt – durch eine externe spektroskopische Kalibrierung gewonnen werden.

**[0068]** Die [Fig. 4](#) zeigt ein Fluoreszenzmikroskop mit einem Referenzstrahlengang und einer Referenzlichtquelle **11** zur spektroskopischen Kalibrierung. Beim Messen des Objekts **3** ist die schaltbare Referenzlichtquelle **11** in der Regel ausgeschaltet.

**[0069]** Die [Fig. 5](#) zeigt die Anordnung eines schaltbaren Pinhole-Arrays auf Basis eines LCDs, welches ebenfalls um den Winkel  $\alpha$  gedreht ist. In [Fig. 6](#) ist eine Anordnung mit einem Mikrolinsen-Array dargestellt.

**[0070]** Die [Fig. 7](#) zeigt die Bilddetektor-Matrixebene. In der Submatrix  $j_k$ , also hier der Submatrix **9a**, sind zwei Foki als spektral aufgespaltete Bilder des Pinholes  $P_{j_k}$  auf dem Array **5** zu sehen, beispielsweise die Bilder  $P_{\lambda_{\max_j k}}$  und  $P_{\lambda_{\min_j k}}$ , die mit einer Referenzlichtquelle **11** beleuchtet sind und zum numerischen Definieren und zur spektralen Kalibrierung dieser Submatrix genutzt werden. Jede einzelne Submatrix detektiert zur Kalibrierung diese zwei Foki, die durch Beleuchtung mit der Referenzquelle **11** entstehen.

**[0071]** Durch die mittels Licht der Referenzlichtquelle **11** erzeugten Bilder  $P_{\lambda_{\max_j k}}$  und  $P_{\lambda_{\min_j k}}$  der Punkte  $P_{j_k}$ , die mittels Pinhole-Array **5** erzeugt werden, ist es möglich, Submatrizen auf der Detektor-Matrix **9** numerisch abzustecken, in denen die Auswertung jeweils eines Spektrums erfolgt, welches mittels Objekt **3** erzeugt wird. Dargestellt ist hier beispielsweise die Submatrix **9a** sowie die Anordnung der Submatrizen **9b** und **9c**. Durch die Verdrehung des Arrays **5** um die optische Achse AO also relativ zur Detektor-Matrix **9** um einen spitzen Winkel  $\alpha_{Mn}$  gemäß Gleichung (1) können bei nahezu vollständiger Ausnutzung der Fläche der Detektor-Matrix **9** rechteckige Submatrizen gebildet werden. Mittels Auswertung der Intensitätsverteilung in jeder Submatrix **9a**, **9b**, **9c**... beziehungsweise einer Submatrix  $j_k$  wird das Spektrum des Objekts **3** mit einer Messzeit entsprechend der Zeitdauer für die Aufnahme eines Kamera-Frames der Detektor-Matrix **9** bestimmt, was die Messfehler durch Verwackelungen erheblich verringern kann, wobei die Zeitdauer der Signalauswertung wesentlich länger als die Aufnahmezeit sein kann.

**[0072]** Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel nach [Fig. 8](#) zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging wird ein Spektralinterferometer der Anordnung vorgeordnet. Die [Fig. 9](#) zeigt: Das Array **5** kann auch als elektrisch steuerbares Array ausgebildet sein, beispielsweise als steuerbares Pinhole-Array, oder diffraktives, steuerbares Mikrolinsen-Array.

**[0073]** Die [Fig. 10](#) zeigt ausschnittsweise die Anordnung für den Fall  $n = 4$ , s. a. Gleichungen (1) und (2), und die Ausbildung von Submatrizen  $j_k$  als Spektralzellen mit den geometrischen Mittelpunkten M auf einer hochpixligen Detektor-Matrix **9**. Der Winkel  $\alpha_4$  beträgt hierbei  $\alpha_4 = 14,04$  Grad und das Längen-Breiten-Verhältnis der Submatrizen  $V_4$  beträgt hierbei  $V_4 = 17$ , wenn ein Füllgrad mit Submatrizen von 100% erreicht werden soll.

**[0074]** Je kleiner der Winkel  $\alpha_n$ , desto lang gezogener die Submatrix und desto höher ist in der Regel die spektrale Auflösung und damit auch die Tiefenauflösung. Die Tiefenmessgenauigkeit in einem Objektpunkt kann sich mit höherer spektraler Auflösung jedoch nur verbessern, wenn die verfügbare Lichtenergie noch zur Aussteuerung der Detektor-Matrix **9** ausreicht.

**[0075]** In den [Fig. 1](#) bis [Fig. 10](#) wird davon ausgegangen, dass im dargestellten Ausschnitt der Detektor-Matrix **9** durch präzise Justierung der Anordnung die spektrale Achse jeweils exakt parallel zur Zeilenrichtung der Detektor-Matrix **9** orientiert ist.

### Patentansprüche

1. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, mit folgenden Komponenten in der Anordnung:

Eine polychromatische Lichtquelle (**1**), ein gerastertes, flächiges Array (**5**) von Pinholes oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki und diesen Foki zugeordneten Pinholes, welche ein Array von Pinholes bilden, ein optisches Abbildungssystem (**6**) für das Array (**5**), mindestens eine flächige Detektor-Matrix (**9**) im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung (**7**) und Mittel zur Fokussierung (**8**) auf die flächige Detektor-Matrix (**9**) vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix (**9**) mindestens eine spektrale Achse besteht, wobei mindestens ein Fernrohr-, ein Tubus- (**4**) oder mindestens ein Transferobjektiv zur Ob-

jekttaufnahme dem gerasterten, flächigen Array (5) vorgeordnet ist, wobei das gerasterte, flächige Array (5) relativ verdreht um einen spitzen Winkel zur spektralen Achse auf der flächigen Detektor-Matrix (9) angeordnet ist, wobei die Drehung um die optische Achse (OA) der Anordnung ausgeführt ist, so dass durch die Verdrehung eine Verbindungslinie von Pinholes oder von Foki der Mikrolinsen bei deren Projektion oder Abbildung in die Ebene der Detektor-Matrix (9) dort mit der spektralen Achse, der  $\lambda$ -Achse, zumindest näherungsweise einen spitzen Winkel  $\alpha_M$  einschließt und die Detektor-Matrix (9) mit länglichen Submatrizen (9a, 9b, 9c...) zumindest näherungsweise vollflächig ausgefüllt ist, die zumindest näherungsweise parallel zur spektralen Achse angeordnet sind und sich zumindest näherungsweise nicht überdecken, und wobei die Anordnung eine dem gerasterten, flächigen Array (5) zugeordnete chromatisch-konfokale Messanordnung oder ein flächig messendes Spektralinterferometer (14) oder eine flächig messende, chromatische Triangulationsmessanordnung mit chromatischer Tiefenaufspaltung aufweist.

2. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach Anspruch 1 gekennzeichnet dadurch, dass der spitze Winkel  $\alpha_M$  zumindest näherungsweise nach der Gleichung  $\alpha_{Mn} = \arctan(\frac{1}{n})$  für ein quadratisches Raster oder nach der Gleichung  $\alpha_{Mn,R} = \arctan(\frac{h}{nb})$  mit einem ganzzahligen n, n größer oder gleich 1, gebildet ist, wobei h und b die Rasterkonstanten eines rechteckigen Rasters darstellen.

3. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der Ansprüche 1 und 2, gekennzeichnet dadurch, dass das gerasterte, flächige Array in seiner Rasterkonstanten elektronisch steuerbar ausgebildet ist.

4. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet dadurch, dass das gerasterte, flächige Array (5) als Pinhole-Array auf der Basis eines LC-Displays (5.1), eines LCOS-Displays oder eines digitalen Mikrospiegel-Arrays ausgebildet ist.

5. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass dem gerasterten, flächigen Array (5) eine chromatisch konfokale Messanordnung zugeordnet ist und dass der chromatisch-konfokalen Messanordnung im Beleuchtungsstrahlengang ein zweites gerastertes, flächiges Array von Pinholes oder Mikrolinsen oder Mikrolinsen mit Pinholes vorgeordnet ist, welches zur Erzeugung von Punktlichtquellen dient.

6. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet dadurch, dass dem gerasterten, flächigen Array (5) eine chromatisch konfokale Messanordnung zugeordnet ist und dass die chromatisch-konfokale Messanordnung das gerasterte, flächige Array (5) von Pinholes oder Mikrolinsen oder Mikrolinsen mit Pinholes im Beleuchtungsstrahlengang nutzt, so dass insgesamt nur ein einziges Array von Pinholes oder Mikrolinsen oder Mikrolinsen mit Pinholes angeordnet ist, welches zur Erzeugung von Punktlichtquellen dient.

7. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass ein mit Strahlteiler (13) gekoppelter Referenzstrahlengang mit zumindest teilweise spektral definierten, vorbestimmten Referenzlichtbündeln zur chromatischen Kalibrierung der Anordnung angeordnet ist.

8. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass mindestens eine, zumindest näherungsweise monochromatische, separate Referenzlichtquelle (11) dem gerasterten, flächigen Array (5) vorgeordnet ist.

9. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass zwei, zumindest näherungsweise monochromatische, separate Referenzlichtquellen dem gerasterten, flächigen Array vorgeordnet sind.

10. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektrometrischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass der Anordnung eine optisch zugängliche Brennkammer vorgeschaltet ist und das zu untersuchende Objekt ein Stoffgemisch in einem Verbrennungsvorgang ist.

11. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektrometrischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet dadurch, dass der Anordnung eine gepulste Anregungslichtquelle vorgeschaltet ist, die das zu untersuchende Objekt beleuchtet und damit zur Fluoreszenz anregt.

12. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet dadurch, dass die Submatrizen (**9a**, **9b**, **9c**...) parallel zu Zeilen oder Spalten der Detektor-Matrix (**9**) angeordnet sind.

13. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet dadurch, dass eine Mehr-Chip-Farbkamera eingesetzt wird.

14. Anordnung zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 12, gekennzeichnet dadurch, dass eine Drei-Chip-Farbkamera eingesetzt wird.

15. Verfahren zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, mittels einer Vorrichtung, welche folgende Komponenten umfasst: Ein gerastertes, flächiges Array (**5**) von Pinholes oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki und diesen Foki zugeordneten Pinholes, welche ein Array von Pinholes bilden, ein optisches Abbildungssystem (**6**) für das Array (**5**), mindestens eine flächige Detektor-Matrix (**9**) im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung (**7**) und Mittel zur Fokussierung (**8**) auf die flächige Detektor-Matrix (**9**) vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix (**9**) eine spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse, besteht, wobei mindestens ein Fernrohr-, ein Tubus- (**4**) oder mindestens ein Transferobjektiv zur Objektaufnahme dem gerasterten, flächigen Array (**5**) vorgeordnet ist, gekennzeichnet dadurch, dass zur chromatischen Kalibrierung mindestens ein einziges, zumindest teilweise spektral definiertes Referenzlichtbündel erzeugt wird, welches sich sowohl über mindestens eine Komponente des flächigen Arrays (**5**) als auch über einen Referenzstrahlengang ausbreitet und mittels Strahlteiler (**13**) wieder in den Strahlengang, der zur Detektion führt, eingekoppelt wird, so dass nach spektraler Aufspaltung zumindest näherungsweise fokussierte Referenzpunktbilder ( $P_{\lambda_j k}$ ) auf der Detektor-Matrix (**9**) entstehen und mittels dieser Referenzpunktbilder mehrere, lateral versetzte Submatrizen (**9a**, **9b**, **9c**...) zur spektralen Analyse von Objektlicht auf der Detektor-Matrix (**9**) numerisch abgesteckt werden, die als Spektralzellen zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging genutzt werden, so dass eine Vielzahl von Submatrizen (**9a**, **9b**, **9c**...) numerisch gebildet wird.

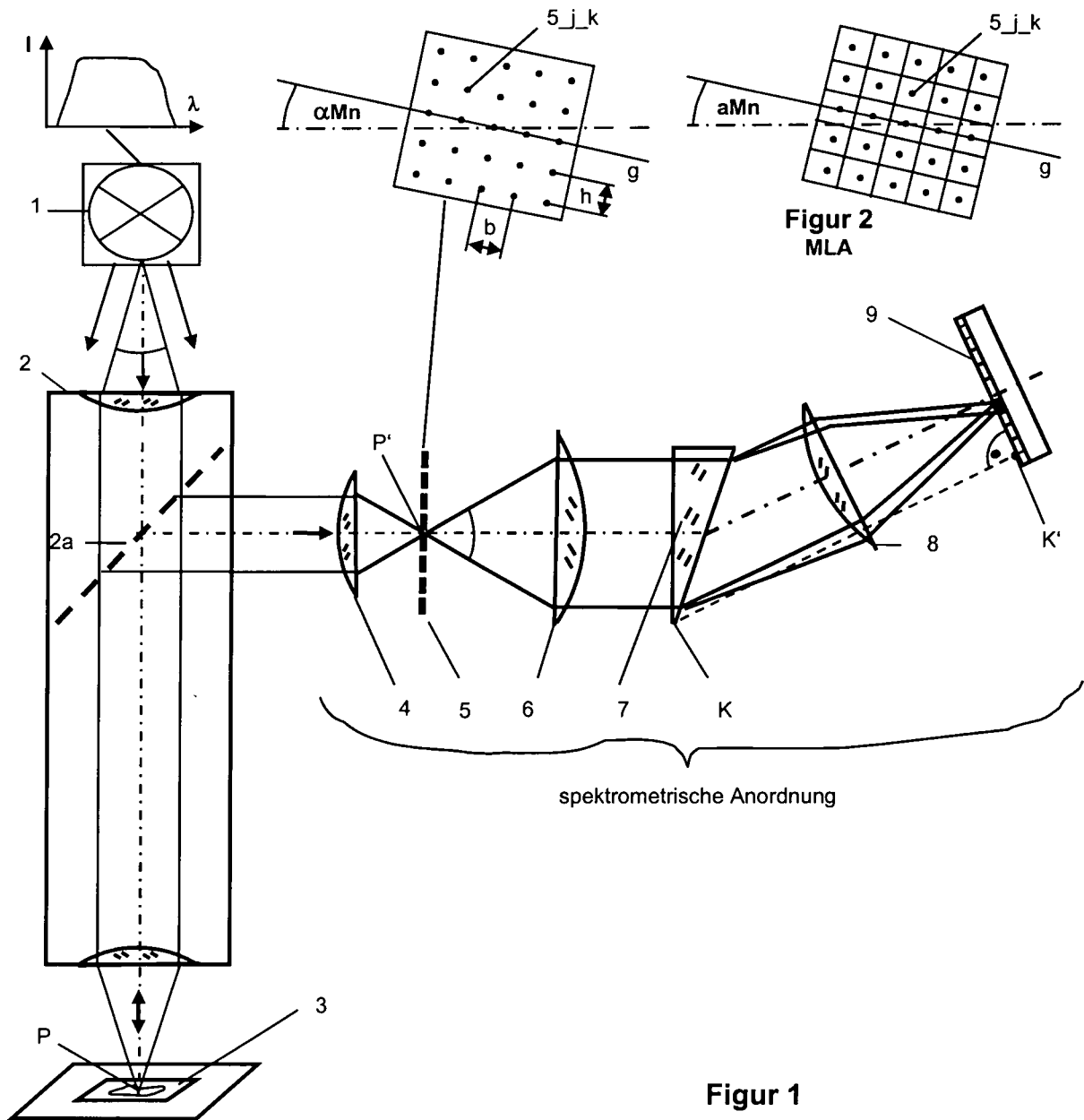
16. Verfahren zur schnellen, orts aufgelösten, flächigen, spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging, mittels einer Vorrichtung, welche folgende Komponenten umfasst: Ein gerastertes, flächiges Array (**5**) von Mikrolinsen, ein optisches Abbildungssystem (**6**) für das Array (**5**), mindestens eine flächige Detektor-Matrix (**9**) im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung (**7**) und Mittel zur Fokussierung (**8**) auf die flächige Detektor-Matrix (**9**) vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix (**9**) eine spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse, besteht, wobei das flächige Array von Mikrolinsen relativ verdreht um einen spitzen Winkel zur spektralen Achse auf der flächigen Detektor-Matrix (**9**) angeordnet ist, wobei die Drehung um die optische Achse (OA) der Anordnung ausgeführt ist, so dass durch die Verdrehung eine Verbindungslinie von Foki der Mikrolinsen bei deren Projektion oder Abbildung in die Ebene der Detektor-Matrix (**9**) dort mit der spektralen Achse, der  $\lambda$ -Achse, zumindest näherungsweise einen spitzen Winkel  $\alpha_M$  einschließt, wobei mindestens ein Fernrohr-, ein Tubus- (**4**) oder mindestens ein Transferobjektiv zur Objektaufnahme dem gerasterten, flächigen Array (**5**) vorgeordnet ist, gekennzeichnet dadurch, dass zur chromatischen Kalibrierung mindestens ein einziges, zumindest teilweise spektral definiertes Referenzlichtbündel erzeugt wird, welches sich sowohl über mindestens eine Komponente des flächigen Arrays (**5**) als auch über einen Referenzstrahlengang ausbreitet und mittels Strahlteiler (**13**) wieder in den Strahlengang, der zur Detektion führt, eingekoppelt wird, so dass nach spektraler Aufspaltung zumindest näherungsweise fokussierte Referenzpunktbilder ( $P_{\lambda_j k}$ ) auf der Detektor-Matrix (**9**) entstehen und mittels dieser Referenzpunktbilder mehrere, lateral versetzte Submatrizen (**9a**, **9b**, **9c**...) zur spektralen Analyse von Objektlicht auf der Detektor-Matrix (**9**) numerisch abgesteckt werden, die als Spektralzellen zur spektroskopischen Analyse, bzw. zum Spectral Imaging genutzt werden, so dass eine Vielzahl von Submatrizen (**9a**, **9b**, **9c**...) numerisch gebildet wird.

17. Verfahren zur 3D-Erfassung mittels Spektroskopie, mittels einer Vorrichtung, welche folgende Komponenten umfasst: Ein gerastertes, flächiges Array (**5**) von Pinholes oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki oder ein flächiges Array von Mikrolinsen mit Foki und diesen Foki zugeordneten Pinholes, welche ein Array von Pinholes bilden, ein optisches Abbildungssystem (**6**) für das Array (**5**), mindestens eine flächige De-

tektor-Matrix (**9**) im Detektionsstrahlengang, der Mittel zur lateralen spektralen Aufspaltung (**7**) und Mittel zur Fokussierung (**8**) auf die flächige Detektor-Matrix (**9**) vorgeordnet sind, so dass auf der Detektor-Matrix (**9**) eine spektrale Achse, die  $\lambda$ -Achse, besteht, wobei ein Spektralinterferometer (**14**) oder eine Triangulationsanordnung mit chromatischem Tiefen-Scan den Komponenten vorgeordnet ist, gekennzeichnet dadurch, dass zur chromatischen Kalibrierung mindestens ein einziges, zumindest teilweise spektral definiertes Referenzlichtbündel erzeugt wird, welches sich sowohl über mindestens eine Komponente des flächigen Arrays (**5**) als auch über einen Referenzstrahlengang ausbreitet und mittels Strahlteiler (**13**) wieder in den Strahlengang, der zur Detektion führt, eingekoppelt wird, so dass nach spektraler Aufspaltung zumindest näherungsweise fokussierte Referenzpunktbilder ( $P\lambda_{j,k}$ ) auf der Detektor-Matrix (**9**) entstehen und mittels dieser Referenzpunktbilder mehrere, lateral versetzte Submatrizen (**9a**, **9b**, **9c**...) zur spektralen Analyse von Objektlicht auf der Detektor-Matrix (**9**) numerisch abgesteckt werden, die als Spektralzellen zur 3D-Erfassung genutzt werden, so dass eine Vielzahl von Submatrizen (**9a**, **9b**, **9c**...) numerisch gebildet wird.

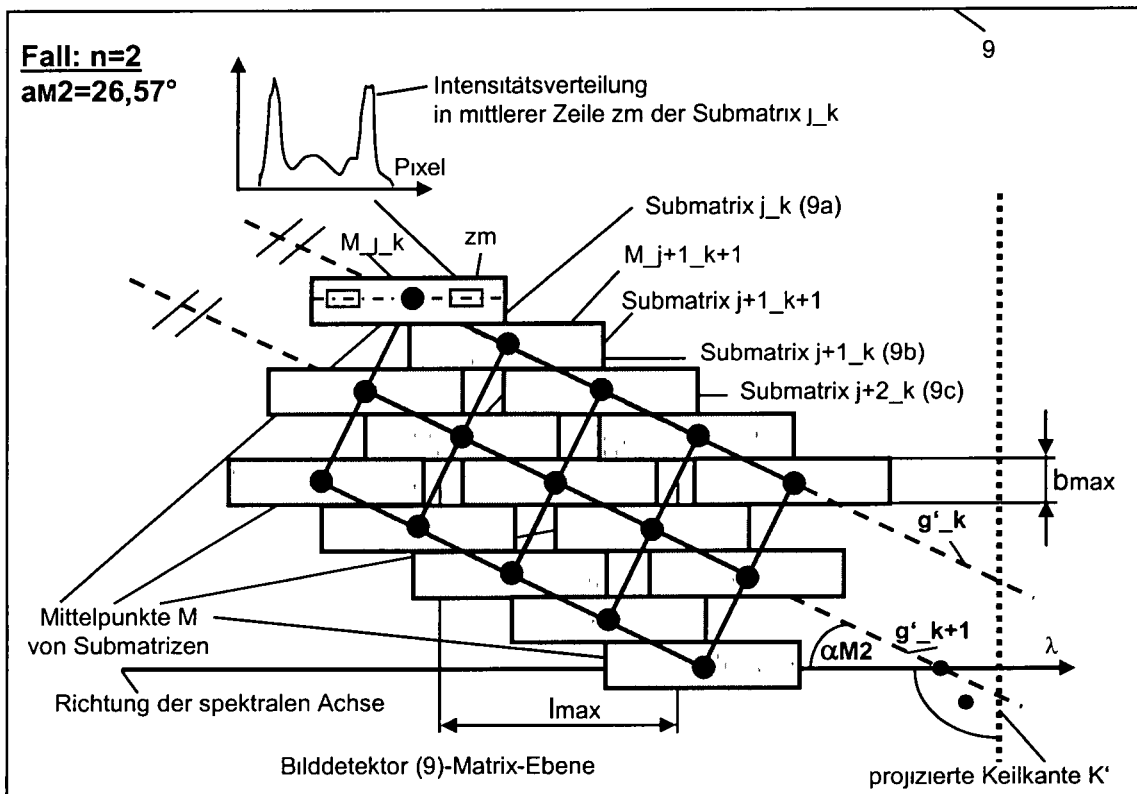
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

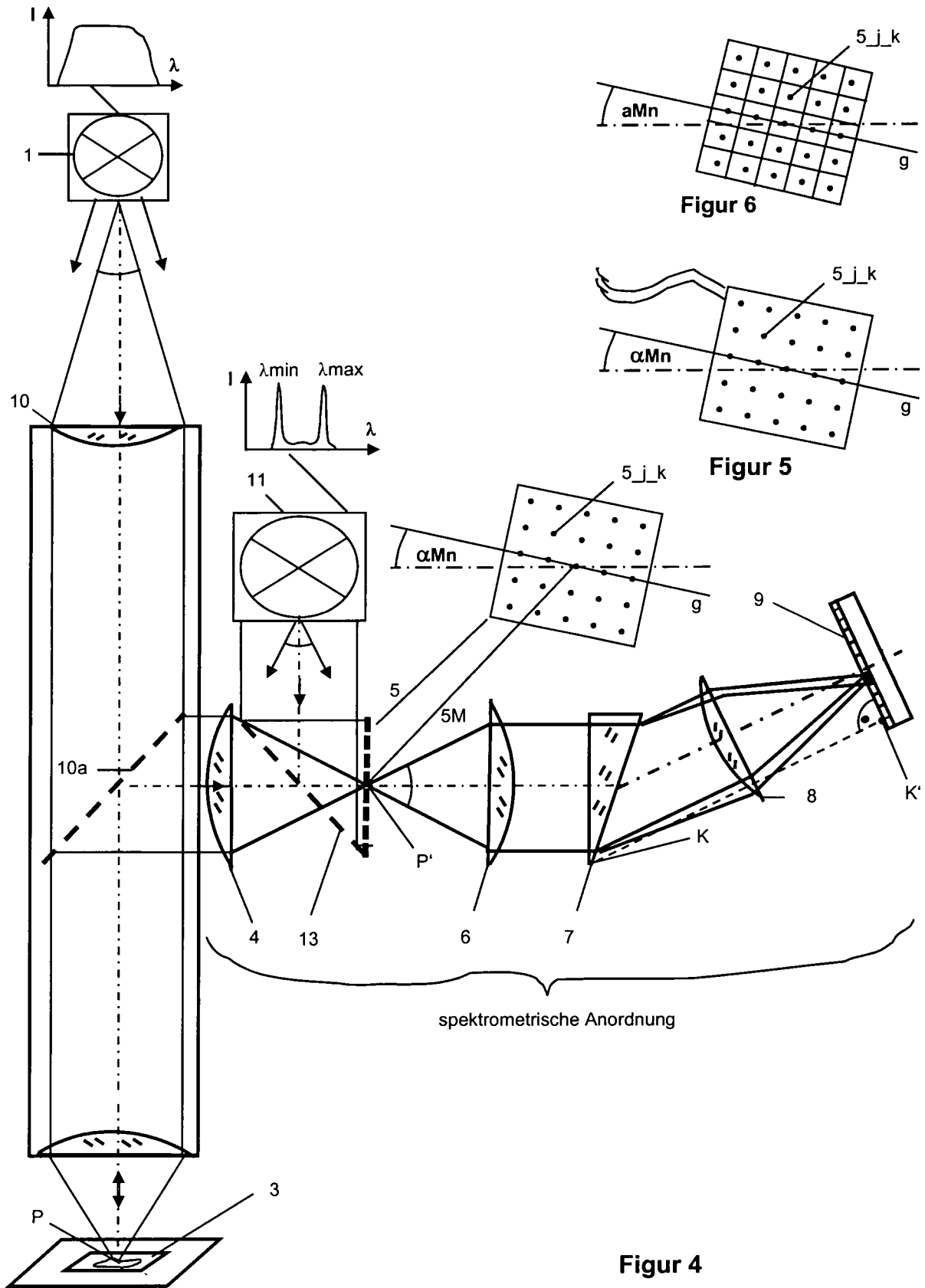


Figur 1

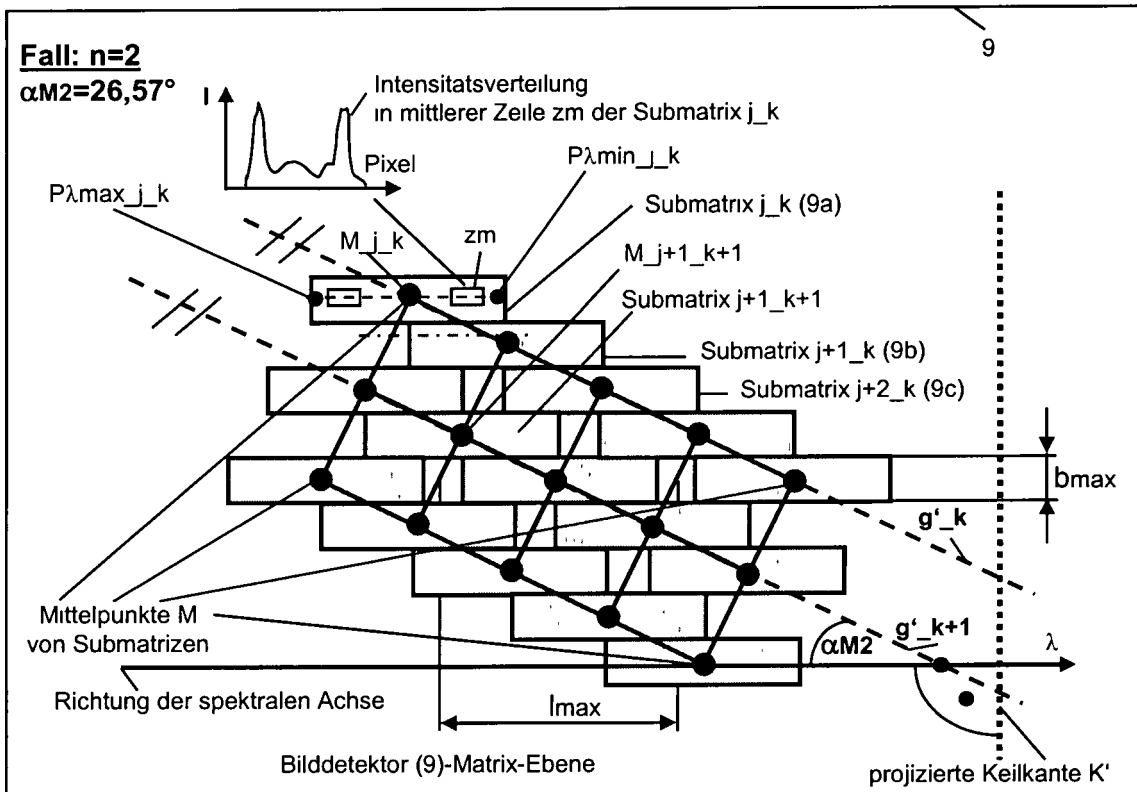




Figur 3

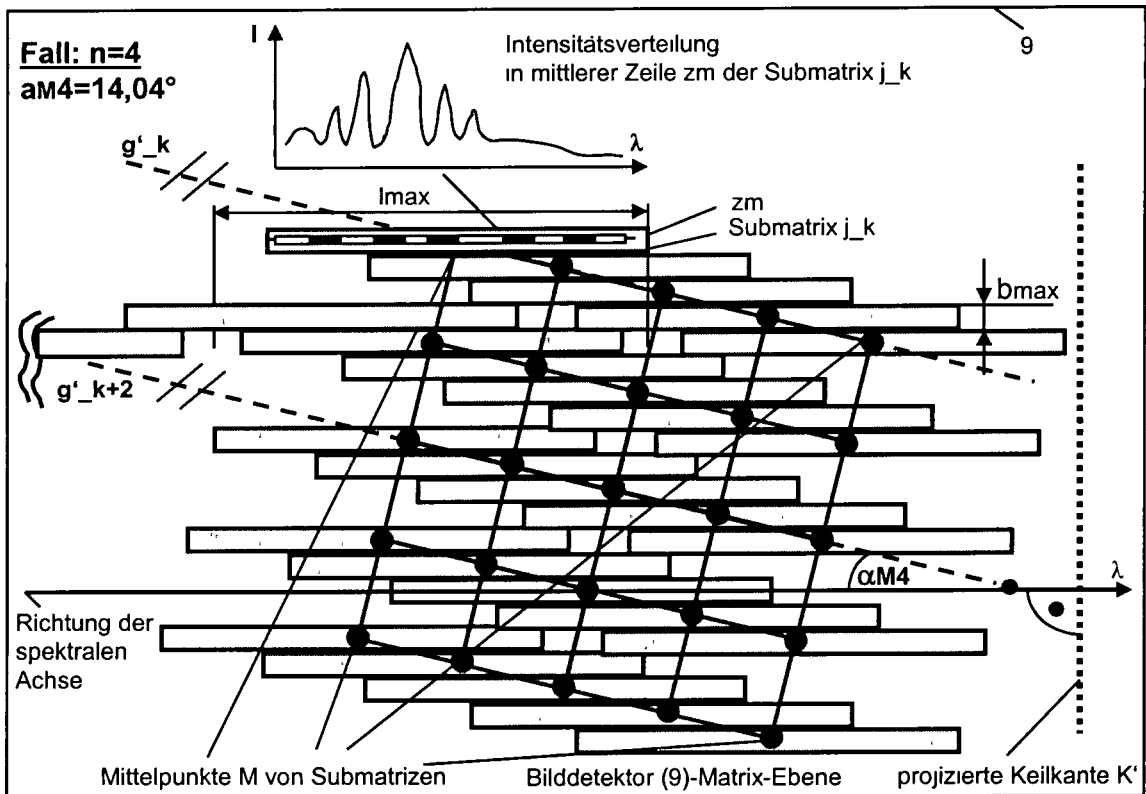


Figur 4



Figur 7





Figur 10