

(12)

Patentschrift

- (21) Anmeldenummer: A 568/2008 (51) Int. Cl.⁸: **F24J 2104** (2006.01)
(22) Anmeldetag: 2008-04-09
(43) Veröffentlicht am: 2009-02-15

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0828144A2 EP 0570003A2
EP 0182496A2 EP 0114515A2
US 3804531A

(73) Patentinhaber:
IPAC IMPROVE PROCESS ANALYTICS
AND CONTROL GMBH
A-9524 ST.MAGDALEN/VILLACH (AT)

(54) VERFAHREN ZUR FARBANALYSE

- (57) Verfahren zur Analyse eines mit einer Anzahl von Grundfarben auf einem vorgegebenen Träger erstellten Bildes (1), dadurch gekennzeichnet, dass
- für eine vorgegebene Anzahl von Bildbereichen (11) des Bildes (1) für eine vorgegebene Anzahl von festgelegten unterschiedlichen spektralen Bereichen von Lichtwellenlängen die Reflektanz bestimmt bzw. gemessen wird,
 - die gemessenen Reflektanzen in eine Reflektanzmatrix (R) eingetragen werden,
 - für die Bestimmung der Reflektanzspektren der Mischfarben angenommen wird, dass die Reflektanz einer aus Grundfarben zusammengesetzte Mischfarbe mittels eines, insbesondere linearen, vorgegebenen Modells gebildet wird,
 - die Gleichung $R = f(C, S)$, insbesondere die lineare Gleichung $R = C \cdot S^T$, herangezogen wird, wobei C eine zu bestimmende Farbverteilungsmatrix ist, und
 - mittels eines Optimierungsverfahrens die Farbverteilungsmatrix (C) und die Spektralmatrix (S) bei gegebener Reflektanzmatrix (R) bestimmt werden.

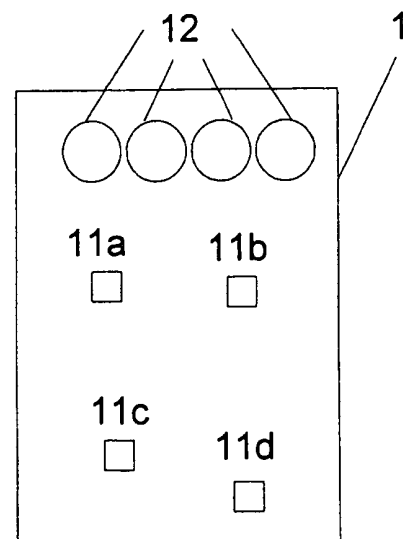


Fig. 7

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren wird im Bereich des Farbdruckes und bei der farbigen Oberflächengestaltung eingesetzt. Das erfindungsgemäße Verfahren kann überall dort eingesetzt werden, wo auf einem Trägermaterial, beispielsweise Papier oder Leinen, Farben aufgetragen sind. Diese Farben können verschiedenste Eigenschaften aufweisen und verschiedene Pigmente beinhalten. Auch kann die Trägersubstanz der Farbe, beispielsweise Öl, Lack oder Wasser, sehr unterschiedlich sein. Als Bild wird in diesem Zusammenhang ein Trägermaterial bezeichnet, auf welches zumindest eine Grundfarbe aufgetragen ist.

Die Farbe ist ein wesentliches Merkmal eines Bildes, welches **durch** verschiedene Techniken wie z.B. Offsetdruck, Tiefdruck, oder Rasterdruck erzeugt wird. Bei jeder dieser Techniken wird die gewünschte Erscheinung des Drucks durch Überlagerung von verschiedenen Pigmentschichten der Grundfarben erzielt. Beim Offsetdruck werden üblicherweise die Grundfarben Cyan, Magenta, Gelb und Schwarz (CYMK) verwendet. Im Bereich des Tiefdrucks können je nach Vorgabe Farbreste der vorhergegangenen Produktionsmasse verwendet werden, jedoch werden die Farben in jedem Fall über subtraktive Synthese zusammengesetzt.

Ein offenes Problem, das in allen Bereichen der farbbasierten bzw. farb-verarbeitenden Industrie ein zentrales Thema darstellt, ist die Erreichung eines hohen Grades an Farbtreue, in anderen Worten die Fähigkeit, vorgegebene Farben mit minimaler chromatischer Differenz in Bezug auf ein Original zu reproduzieren.

Ein wesentlicher Schritt hierfür ist die Analyse der Farbzusammensetzung eines vorgegebenen Originals sowie das Ermitteln der Reflektanzspektren der, insbesondere für den Druck, verwendeten Grundfarben.

Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren bereitzustellen, welches die anteilmäßige Verteilung der Grundfarben auf einzelne Bildbereiche bzw. die einzelnen Reflektanzspektren der verwendeten Grundfarben ermitteln kann.

Die Erfindung löst die Aufgabe mit den Merkmalen des Kennzeichens des Anspruchs 1.

Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass im Zuge ein und desselben Verfahrens die Anteile der Grundfarben in einzelnen Bildbereichen wie auch die Reflektanzspektren der verwendeten Grundfarben ermittelt werden können. Die Methode ist auf Bilder in ihrer Gesamtheit wie auch auf einzelne Bildbereiche eines Bildes anwendbar. Die Messung des Reflektanzspektrums einzelner Bildbereiche kann mit Farbsensoren nach dem Stand der Technik ermittelt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann in vielen praktischen Fällen sowie auf nahezu jedes Bild, insbesondere Drucke, angewandt werden, da bei jedem Druck die Farben in subtraktiver Weise aus vorgegebenen Grundfarben zusammengesetzt werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann bei einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz kommen. Beispielsweise können die einzelnen Anteile unterschiedlicher Grundfarben zum gesamten farblichen Erscheinungsbild bestimmt werden. In vielen Anwendungen, beispielsweise beim Druck von Marken, Logos oder Dekorpapier, ist die exakte Reproduktion von vorgegebenen Farben und Farbspektren von großer Bedeutung. Das erfindungsgemäße Verfahren stellt ferner ein wichtiges Hilfsmittel bei der Qualitätskontrolle der Farbzusammensetzung bei Druckerzeugnissen, insbesondere Tapeten und Dekorplatten, dar.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Farben und Tinten, bei welchen bestimmte Mischungseigenschaften sowie ein vorgegebenes Erscheinungsbild beim Aufdruck auf Papier vorgegeben sind.

Zusätzlich kann die erfindungsgemäße Methode auch Anwendung bei der Bestimmung von Grundfarben, beispielsweise zur Datierung von Gemälden anhand der Bestimmung der verwendeten Farben, der Analyse von unbekanntem Drucken, sowie bei der Bestimmung der Anzahl der verwendeten Grundfarben finden.

5

Die Merkmale des Anspruchs 2 ermöglichen die Miteinbeziehung von optischen Effekten, welche auf die Farbe des Hintergrundes zurückzuführen sind.

10

Mit den Merkmalen des Anspruchs 3 kann das Optimierungsproblem mittels einfacher algebraischer Methoden gelöst werden.

Mit den Merkmalen des Anspruchs 4 kann die Konvergenz des Verfahrens beschleunigt werden.

15

Mit den Merkmalen des Anspruchs 5 kann die gewünschte Genauigkeit des Verfahrens vorgegeben werden.

Die Merkmale des Anspruchs 6 verbessern die Konvergenz des Verfahrens.

20

Ein Verfahren mit den Merkmalen der Ansprüche 7 und 8 ist besonders effizient und weist eine hohe Konvergenzrate auf.

Ein Verfahren gemäß Anspruch 9 stellt eine Vereinfachung des erfindungsgemäßen Verfahrens aufgrund der einzelnen vorgegebenen Grundfarben dar.

25

Mit den Merkmalen des Anspruchs 10 können nach Beendigung der Farbanalyse weitere Bildbereiche analysiert werden, welche mit den selben Grundfarben gefärbt sind und auf gleichem Trägermaterial, insbesondere auf dem selben Träger, gedruckt sind.

30

Mit den Merkmalen des Anspruchs 11 kann eine verfeinerte physikalische Anpassung mittels des Yule-Nielsen Modells zur Beschreibung der Reflektanzspektren bei vorgegebenen Farbverteilungen und vorgegebenen Spektren der Grundfarben vorgenommen werden, wodurch genauere Ergebnisse erzielt werden können.

35

Mit den Merkmalen des Anspruches 12 kann das erfindungsgemäße Verfahren an beliebige Reflektanzmodelle angepasst werden.

Fig. 1 zeigt ein Bild mit einigen ausgewählten Bildbereichen.

40

Fig. 2 zeigt Reflektanzspektren einzelner Bildbereiche.

Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau der Reflektanzmatrix.

Fig. 4 zeigt schematisch den Aufbau der Farbverteilungsmatrix.

45

Fig. 5 zeigt schematisch den Aufbau der transponierten Spektralmatrix S^T .

Fig. 6 zeigt das Reflektanzspektrum von Grundfarben sowie von einer aus diesen Grundfarben zusammengesetzten Mischfarbe.

50

Fig. 7 zeigt ein Bild, auf welchem einzelne Bildbereiche mit lediglich einer Grundfarbe gefärbt sind.

55

Fig. 8 zeigt den Verlauf eines Lichtstrahls bei einem sehr einfachen physikalischen Modell.

Fig. 9 zeigt den Verlauf eines Lichtstrahls bei einem multiplen Flux-Modellansatz.

Fig. 1 zeigt ein Bild 1 mit vier ausgewählten Bildbereichen 11a, 11b, 11c und 11d. Ferner wird angenommen, dass die Oberfläche des Bildes mit Mischfarben gefärbt ist, welche aus zwei Grundfarben C_1 , C_2 zusammengesetzt sind. Die Reflektanzen der einzelnen Bildbereiche 11 werden mittels eines Reflektanzmessgeräts bestimmt. Ein derartiges Reflektanzmessgerät kann entweder einen durchstimmbaren Laser aufweisen, welcher auf die einzelnen Bildbereiche 11 gerichtet ist, wobei mittels eines lichtempfindlichen Elements die Reflektanz für die einzelnen, vom Laser ausgesandten Wellenlängen bzw. -bereichen bestimmt wird. Bei der Bestimmung der Reflektanz ist bei einem derartigen Vorgehen auf die Wirkungsgrade bzw. die Lichtausbeute des Lasers sowie des fotoempfindlichen Elements zu achten und gegebenenfalls eine Kalibrierung mit vorgegebenen Farben durchzuführen.

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Reflektanz besteht darin, die Bildbereiche 11 oder aber auch das gesamte Bild 1 mit weißem Licht mit einem vorgegebenen Spektrum zu bestrahlen. In diesem Fall wird entweder eine Vielzahl unterschiedlicher, auf einen jeweils unterschiedlichen Wellenlängenbereich abgestimmter Lichtsensoren verwendet oder es kommt ein durchstimmbarer, auf unterschiedliche begrenzte Frequenzbänder einstellbarer Lichtsensor zur Anwendung. Wiederum ist auf den Wirkungsgrad der Lichtsensoren für die jeweiligen Wellenlängenbereiche Rücksicht zu nehmen und eine Kalibrierung durchzuführen.

Nach der Aufnahme der Reflektanzspektren in einzelnen Bildbereichen 11a, ..., 11d des Bildes 1 stehen die Reflektanzspektren dieser einzelnen Bildbereiche zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Eine grafische Darstellung der Reflektanzspektren der einzelnen Bildbereiche 11a bis 11c ist in Fig. 2 gezeigt. Hierbei ist auf der Ordinate die Reflektanz r aufgetragen und auf der Abszisse die Wellenlänge bzw. die Wellenlängenbereiche λ . Für die Aufnahme eines Reflektanzspektrums wird die Reflektanz für eine Vielzahl von Wellenlängenbereichen, insbesondere im sichtbaren Wellenlängenbereich, aufgenommen bzw. ermittelt. Bei einer typischen Ausführungsform der Erfindung wird der Bereich des sichtbaren Lichts, gegebenenfalls angrenzende Bereiche des nahen infraroten bzw. ultravioletten Lichts, in eine Anzahl von etwa 10 bis 200 Wellenlängenbereiche unterteilt. Für jeden einzelnen Bereich 11 des Bildes 1 wird ein Reflektanzwert r bestimmt, welcher den nach Beleuchtung des jeweiligen Bildbereichs 11 reflektierten Anteil des Lichts innerhalb eines vorgegebenen Wellenlängebereichs 2 angibt.

Basierend auf den Reflektanzspektren von Pigmenten wurde der Mechanismus der subtraktiven Synthese eingehend untersucht. Neugebauer formulierte ein Überlagerungsmodell, welches die Reflektanz einer bedruckten Probe wie folgt beschreibt:

$$R(\lambda) = \sum a_i R_i(\lambda)$$

$R(\lambda)$ ist das gemessene Reflektanzspektrum, $R_i(\lambda)$ ist das Reflektanzspektrum der i -ten Grundfarbe und a_i ist ein Gewichtungsfaktor, welcher der Farbmenge der Grundfarbe bzw. dem Anteil der jeweiligen Grundfarbe an der gemessenen Mischfarbe angibt. Die Reflektanzfaktoren, die in der Neugebauer-Gleichung auftreten, sind üblicherweise die Kubelka-Munk Reflektanzfaktoren

$$R = \frac{K}{S} = \frac{R_\infty^2}{1 - R_\infty}$$

wobei K den Raumabsorptionskoeffizienten, S den Streukoeffizienten und R_∞ den Reflektanzfaktor einer unendlich dicken Schicht von Pigmenten einer Grundfarbe repräsentiert. Solch ein Modell hat auch einige Nachteile, vorwiegend jenen, dass es den Einfluss von gestreutem Licht aus der Umgebung des beobachteten Bereichs, das in ebendiesem Bereich wieder austritt, vernachlässigt. Dieses Phänomen ist besser bekannt als "dot gain" (Farbton-/Punktzuwachs). Yule und Nielsen modifizierten die Neugebauer Gleichung, um den dot gain zu berücksichtigen, was auf folgende Gleichung führte:

$$R(\lambda) = \left(\sum (a_i R_i(\lambda))^{\frac{1}{x}} \right)^x$$

Das Yule-Nielsen Modell erzielt sehr gute Ergebnisse und wird häufig in der Druckindustrie verwendet, um das farbliche Erscheinungsbild von Drucken vorherzusagen. Es ist jedoch zu erwähnen, dass alle genannten Modelle auf der Annahme basieren, dass die Reflektanzspektren der einzelnen Grundfarben bekannt sind. Problematisch bei der Bestimmung dieser Reflektanzspektren ist, dass die Farbe eines Objekts in fast allen Fällen das Resultat der Überlagerung von mehreren Farbschichten ist, welche einen bestimmten Beitrag zur letztendlichen Gesamtfarbe liefern.

Aufgrund der Tatsache, dass die Farbschichten niemals komplett undurchsichtig bzw. voll deckend sind, und immer ein farblicher Beitrag des Hintergrunds vorhanden ist, lässt sich die Separation des Reflektanzspektrums des Hintergrunds von den Reflektanzspektren der verwendeten Farben schwer durchführen.

Der klassische Zugang zu dieser Problemstellung bestand in der Festlegung komplexer experimenteller Methoden, um die verschiedenen Beiträge der Farben und des Hintergrunds zu isolieren bzw. zu trennen. Im Allgemeinen sind diese Methoden jedoch sehr kompliziert und erfordern beträchtlichen experimentellen Aufwand. Die Neuerung der vorgestellten Methode besteht darin, dass der experimentelle Zugang durch eine algorithmische Prozedur ersetzt wird, in der die individuellen Beiträge der einzelnen Farben zur gesamten beobachteten Reflektanz aus einer einzelnen bedruckten Probe bestimmt werden. Dies wird erst durch eine flächig-aufgelöste Messung der Reflektanz einer Probe möglich, sodass die Probe durch eine Vielzahl von Spektren beschrieben wird.

Ohne Einschränkung der Allgemeinheit wird das erfolgsgemäße Verfahren im Folgenden unter Annahme der Gültigkeit der Neugebauer-Gleichung erläutert. Für den Fall des linearen Neugebauer Modells lässt sich das erfindungsgemäße Verfahren in Matrix-Schreibweise formulieren, wobei zur Darstellung der Reflektanzspektren, Farbverteilungen und der Spektren der Grundfarben jeweils Matrizen verwendet werden. Bei der rechnerischen Durchführung des Modells treten dabei lineare Überlagerungen der einzelnen spektralen Anteile der Grundfarben auf, was auf einfache Weise als Matrix-Multiplikation formalisiert werden kann. Die einzelnen spektralen Anteile der Grundfarben werden dabei mit den Anteilen der jeweiligen Grundfarbe an der Farbmischung gewichtet.

Bei Anwendung des Yule-Nielsen Modells bzw. eines anderen nichtlinearen Modells, das eine lokale, für jeden Bildbereich separat bestimmbare Beziehung zwischen den Reflektanzspektren der einzelnen Farben und dem Reflektanzspektrum des fertigen Drucks voraussetzt, bleibt der Lösungszugang unverändert. Für das nichtlineare Yule-Nielsen Modell werden ebenfalls die spektralen Anteile von Grundfarben mit den Anteilen der jeweiligen Grundfarbe an der Farbmischung gewichtet, wobei im Gegensatz zum Neugebauer Modell statt der linearen Überlagerung auf die einzelnen gewichteten Spektralanteile zunächst eine x-te Potenz angewendet wird und nach der Überlagerung die jeweilige x-te Wurzel aus der Summe gezogen wird. Die Spezifikation des Yule-Nielsen Verfahrens kann somit formal ähnlich als Abwandlung der Matrix-Multiplikation aufgefasst werden.

An Stellen, wo Unterschiede zwischen dem linearen und den nichtlinearen Verfahren auftreten, wird im folgenden darauf hingewiesen. Im übrigen werden sowohl für das lineare als auch für das nichtlineare Verfahren dieselben Formalismen verwendet.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es selbstverständlich auch möglich, weitere nichtlineare Modelle zu berücksichtigen, beispielsweise das Multiple-Flux Modell, dargestellt in den Fig. 8 und Fig. 9. Um im Detail die Verwendung eines nichtlinearen Reflexionsmodells zu illustrieren, soll eine Variante eines Multiple-Flux-Modells betrachtet werden.

Bei einem konventionellen Modell, wie in Fig. 8 dargestellt, wird ein einfallender Lichtstrahl 51 angenommen, welcher an der Grenzfläche 61 zwischen der aufgetragenen Farbschicht 72 und dem über der Farbe befindlichen Medium 73, insbesondere Luft, teilweise reflektiert wird und teilweise in die aufgetragene Farbe 72 eindringt. Der in die Farbschicht 72 eingedrungene Anteil des einfallenden Lichtstrahls 51 durchdringt die Farbe und gelangt schließlich zum Trägermaterial 71, insbesondere Papier. Das restliche Licht wird in Form eines Lichtstrahls 52 reflektiert. An der Grenzschicht 62 zwischen dem Trägermaterial 71 und der Farbschicht 72 wird der Lichtstrahl 51 erneut teilweise reflektiert und gelangt teilweise in das Trägermaterial 71, wo er typischerweise stark absorbiert wird. Der reflektierte Lichtstrahl 53 wird während des Durchdringens der Farbschicht abermals abgeschwächt und in das umgebende Medium 73, insbesondere Luft, zurückgestrahlt. Das Spektrum des Lichts wird hierbei aufgezeichnet.

Bei einem Multiple-Flux Modell geht man von der Annahme aus, dass der aus der Farbschicht 72 in das umgebende Medium 73 austretende Lichtstrahl 52 beim Austritt reflektiert wird und ein Teil des Lichtstrahls wiederum in die Farbschicht 72 reflektiert wird.

Fig. 9 zeigt eine solche Modellierung für eine Farbschicht 72. Die gemessene Reflektanz ist die Summe der Reflexionen an der Grenzfläche 61 zwischen der Farbschicht 72 und dem umgebenden Medium 73 sowie an der Grenzfläche 62 zwischen der Farbschicht 72 und dem Trägermaterial 71. Weiters wäre es möglich, weitere Grenzschichtreflexionen von Lichtstrahlen bei exponentiell fallenden Lichtintensitäten dieser Lichtstrahlen 54a..54c in der Farbschicht zu modellieren. Dies würde auf ein Modell ähnlich des Kubelka-Munk Modells führen.

Fig. 3 zeigt die Reflektanzmatrix R für die Bildbereiche 11a bis 11d gemessenen Spektren. Zur Vereinfachung der Darstellung wurden lediglich vier Wellenlängenbereiche λ_1 bis λ_4 ausgewählt. In der Reflektanzmatrix R werden numerische Werte für die mit vorgegebenen Wellenlängen λ sowie für vorgegebene Bildbereiche 11 aufgenommenen Reflektanzen eingetragen. Hierbei stehen Reflektanzwerte, welche mit der selben Wellenlänge aufgenommen worden sind, in der selben Spalte der Reflektanzmatrix R und Reflektanzwerte, welche im selben Bereich aufgenommen worden sind, in der selben Zeile der Reflektanzmatrix R . Die Anzahl k der Zeilen der Reflektanzmatrix R entspricht der Anzahl der Bildbereiche 11, die Anzahl m der Spalten der Reflektanzmatrix R entspricht der Anzahl der Längenwellenbereiche λ .

Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, die Reflektanzspektren der einzelnen Grundfarben sowie die Anteile der Grundfarben an der Mischfarbe in den einzelnen Bildbereichen 11 zu ermitteln. Die anteilmäßige Verteilung der Grundfarben auf die einzelnen Bereiche 11 ist in Fig. 4 bei der sogenannten Farbverteilungsmatrix C dargestellt. Die Werte der Farbverteilungsmatrix C werden im Zuge des Verfahrens ermittelt. Ferner werden Zwischenergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens in dieser Farbverteilungsmatrix C während der Lösung zwischengespeichert. Die Anzahl der Spalten der Farbverteilungsmatrix C entspricht der Anzahl l der angenommenen Grundfarben. Die Anzahl der Zeilen der Farbverteilungsmatrix C entspricht der Anzahl k der gewählten Bildbereiche 11. Der Anteil einer Grundfarbe an der Mischfarbe in einem der Bereiche 11 wird nach seiner Ermittlung in die Farbverteilungsmatrix C eingetragen. Dies kann insbesondere der mengen- oder volumsmäßige Anteil der Grundfarbe an der Mischfarbe sein, mit welcher der Bereich 11 gefärbt ist.

Fig. 5 zeigt schematisch den Aufbau der Transponierten S^T einer Spektralmatrix S . Diese Spektralmatrix S enthält die zu ermittelnden Spektren der Grundfarben. Die Anzahl der Zeilen der Matrix S entspricht der Anzahl l der angenommenen Grundfarben. Die Anzahl der Spalten der transportierten Matrix S^T entspricht der Anzahl m der vorgegebenen Wellenlängenbereiche.

Wie auch die Farbverteilungsmatrix C wird auch die Spektralmatrix S im Zuge des erfindungsgemäßen Verfahrens bestimmt. Analog wird der für diese Matrix zur Verfügung gestellte Speicherplatz für das Abspeichern von Zwischenergebnissen verwendet.

Die in den Fig. 4 und 5 dargestellten Matrizen C, S können analog auch für das nichtlineare Verfahren verwendet werden.

- 5 Ziel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Bestimmung von optimalen Einträgen für die Farbverteilungsmatrix C und die Spektralmatrix S, sodass für eine Reflektanzmatrix R von gemessenen Reflektanzwerten R_{ij} ein numerisch möglichst kleiner Unterschied zu einem modellierten Reflektanzwert, welcher mittels der Einträge der Matrizen C, S berechnet wird, erreicht wird.
- 10 Eine rechnerische Modellierung der Reflektanzmatrix R lässt sich nach dem Neugebauer-Modell durch das Produkt einer Farbverteilungsmatrix C mit einer Matrix der Einheitsspektren (i.a.W. einer Matrix der Spektren der Grundfarben) S darstellen:

$$R=C \cdot S^T$$

- 15 Die Reflektanzmatrix R der gemessenen Reflektanzen R_{ij} ist eine n