

tm

5 92

Technisches Messen Sensoren, Geräte, Systeme	
Industrielle Farbmess-technik im Umbruch	H. Gerlinger
Entwicklungsstand der Farbmess-technik	F. Macco
Probenspezifische Probleme der Farbmessung	G. Döring K. Witt
Farbmessung und Farbregelung in der Papierproduktion	R. Karremann
Farbmessung an nassen Textilbahnen	H. Beckstein
Automatisierte Farbmessung und Farbkorrektur beim Aufbereiten von Kunststoffen	P. Munkes
Farbmessung von Interferenzpigmenten	P. W. Gabel H. Pieper
Farbmessung an Glimmerpigmenten	W. R. Cramer
Oldenbourg	

Farbmessung an Glimmerpigmenten

Colour measurement of mica pigments

W. R. Cramer

Schlagwörter: Farbmessung, Glimmerpigmente

Glimmerpigmente reflektieren Lichtstrahlen selektiv. Sie zeigen eine Reflexions- und eine komplementäre Transmissionsfarbe. Der Wechsel zwischen den Farben läßt sich farbmetrisch erfassen, wenn bei konstantem Beleuchtungswinkel gemessen wird. Wird der Beleuchtungswinkel geändert, so verschiebt sich die Reflexionsfarbe. Dies kann bei Messungen mit konstantem Beobachtungswinkel nachgewiesen werden, wobei der Beleuchtungswinkel variiert wird. Mit dem Gonio-Meßkopf GK 311/M der Fa. Carl Zeiss lassen sich derartige Messungen durchführen, da Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel unabhängig voneinander eingestellt werden können.

Mica pigments show selective reflection of light. They show a certain color in reflection and the complementary color in transmission. The changes of these colors can be evaluated colorimetrically, if the illumination angle is fixed. As soon as the angle of illumination is changed, the color seen in reflection is shifted considerably. This effect can be demonstrated by measurements where the angle of view is fixed and the angle of illumination is varied. With the goniometer-measuring head GK 311/M of Carl Zeiss this kind of measurements can be performed, because both angles can be varied by moving illumination and viewing optics independently.

1 Einleitung

Glimmerpigmente werden verstärkt in Autolacken eingesetzt. Sie zeichnen sich durch ungewöhnliche Farbfefekte und einen hohen metallischen Glanz aus. Daraus ergeben sich für die farbmetrische Bewertung auch neue Ansatzpunkte: Im Gegensatz zu absorbierenden Buntpigmenten reflektieren Glimmerpigmente die einfallenden Lichtstrahlen selektiv. Außerdem mischen sie sich untereinander additiv.

Die nachfolgenden Ergebnisse wurden mit dem Goniometer-Meßkopf GK 311/M der Fa. Carl Zeiss erzielt, bei dem die Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel unabhängig voneinander eingestellt werden können. Soweit es nicht anders angegeben ist, beziehen sich die Winkelwerte auf die Probenhorizontale und werden in der Form Beleuchtung/Beobachtung angegeben. Die Pigmente wurden in einem Testlack der Fa. Merck eingeführt (1,7% Konz.) und auf schwarz-weiße Musterkartons aufgezogen.

2 Beschreibung der Glimmerpigmente

Glimmerpigmente bestehen aus dem Glimmerkern, der von einer starkbrechenden Metalloxidschicht ummantelt ist. Bei den eingesetzten Pigmenten im Autolackbereich findet man in der Regel Titandioxid, Eisenoxid oder eine Kombination aus beiden als Metalloxidschicht. Trifft weißes Licht auf das Pigment, so wird ein Teil an der Oberfläche des Metalloxids mit einem Phasensprung reflektiert. Die restlichen Lichtstrahlen wandern unter Brechung durch die Metalloxidschicht zur Grenzschicht Metalloxid/Glimmer. Dort wird wiederum ein Teil reflektiert, der das Glimmerpigment parallel zum ersten Teil verläßt. Durch Interferenz werden Lichtwellen gemindert bzw. verstärkt. Eine komplette Auslöschung findet nicht statt. Die restlichen Lichtstrahlen verlassen das Glimmerpigment rückwärtig, wo ebenfalls Interferenzen stattfinden. Aufgrund des fehlenden Phasensprungs ist die resultierenden Transmissionsfarbe komplementär zur Reflexionsfarbe.

Bringt man Glimmerpigmente auf ein durchsichtiges Medium (Folie, Glasscheibe) auf, so lassen sich im Durch- und Aufsicht beide Farben deutlich beobachten. In der praktischen Handhabung kann dieser Farbwechsel auch dargestellt werden, indem man die Lackproben auf einem weißen Untergrund aufträgt. Allerdings muß beachtet werden, daß die vom Untergrund reflektierte Transmissionsfarbe vom Weiß überlagert wird.

Die unterschiedlichen Farben der Glimmerpigmente von Weiß über Gelb, Rot und Blau zum Grün entstehen durch stärker werdende Schichtstärken des Metalloxidmantels. Die Reflexionskurven zeigen in der angeführten Reihenfolge eine Verschiebung zum Längerwelligen, wobei Blau und Grün Farben 2. Ordnung sind. Bei der vereinfachten Darstellung dieser Interferenzbedingungen geht man von einer Änderung der geometrischen Wegdifferenz (gleich proportional zur Schichtstärke) aus. Ausschlaggebend ist aber die optische Wegdifferenz, die den Vorlauf des ersten reflektierten Anteils berücksichtigt. Die meisten farbmetrischen Betrachtungen der Glimmerpigmente basieren auf Messungen bei konstantem Beleuchtungs- und veränderlichem Beobachtungswinkel vom Glanz oder bei gleichzeitiger Änderung beider Winkel [1]. Die vereinfachte Interferenzbedingung zeigt aber eindeutig, daß auch eine Farbverschiebung auftritt, wenn bei konstantem Beobachtungswinkel der Beleuchtungswinkel geändert wird: Ein Glimmerpigment wird also nicht nur durch den Farbwechsel aufgrund eines veränderten Beobachtungswinkels, sondern auch durch die Farbverschiebung bei verändertem Beleuchtungswinkel cha-

rakterisiert. Letztere kann theoretisch bis zu 30 nm bei den Wellenlängen betragen. Werden bei einer farbmetrischen Messung gleichzeitig der Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel geändert, so muß diese Farbverschiebung berücksichtigt werden.

3 Messungen

3.1 Messungen bei konstantem Beobachtungswinkel

Als Beispiel für die farbmetrischen Betrachtungen wurde das Glimmerpigment Iridin Perlgrün 9235 ausgesucht. Die Auswertung der Meßwerte erfolgte mit der GK-Software der Fa. Carl Zeiss und Charisma von Micrografix. Im Bild 1 sind die a^* , b^* -Werte (CIELAB-System) grafisch zusammengefaßt, die sich durch Messungen bei konstantem Beobachtungswinkel von 15° vom Glanz ergeben. Geändert wurde der Beleuchtungswinkel von 70° nach 25° in 5°-Schritten (entspricht einer Änderung von 20° bis 65° vom Einfallslot). Man stellt hier eine Farbverschiebung des Perlgrün zum Gelbgrünen fest, wenn steiler eingestrahlt wird. Sie läßt sich auch visuell nachvollziehen.

Diese Farbverschiebung ist typisch für die Interferenz der Glimmerpigmente. Hierin liegt vermutlich auch ein Grund für die Schwierigkeiten bei der Rezeptierung von Autoreparaturlacken. Insbesondere die visuellen Beurteilungen müssen entsprechend den Meßergebnissen angepaßt werden.

3.2 Messungen bei konstantem Beleuchtungswinkel

Um den Einfluß des Beleuchtungswinkels zu erfassen, wurden diese Meßreihen bei zwei konstanten Beleuchtungswinkel durchgeführt. In beiden Fällen wurden die Beobachtungswinkel in 5°-Schritten bis 60° vom Glanz geändert; die Messungen erfolgten an Iridin Perlgrün auf weißem Untergrund.

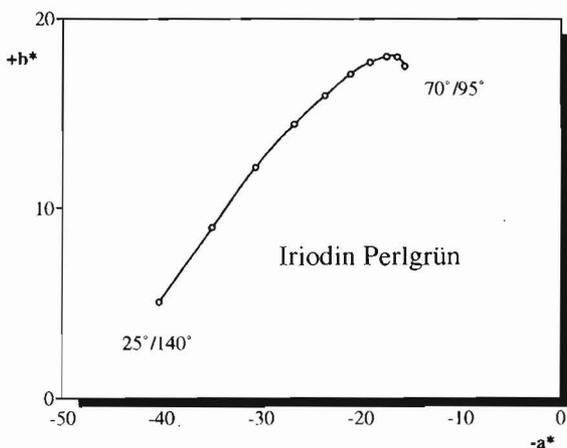


Bild 1. a^* , b^* -Werte von Iridin Perlgrün auf weißem Untergrund; gemessen bei konstantem Beobachtungswinkel 15° vom Glanz und Beleuchtungswinkeln von 25° bis 70°.

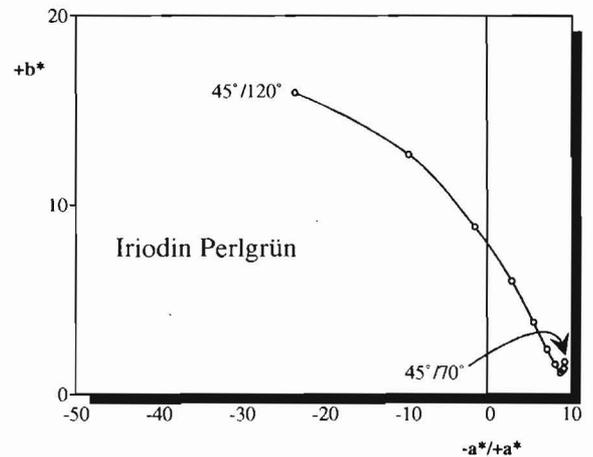


Bild 2. a^* , b^* -Werte von Iridin Perlgrün auf weißem Untergrund; gemessen bei konstantem Beleuchtungswinkel 45° und Beobachtungswinkeln 15° bis 60° vom Glanz.

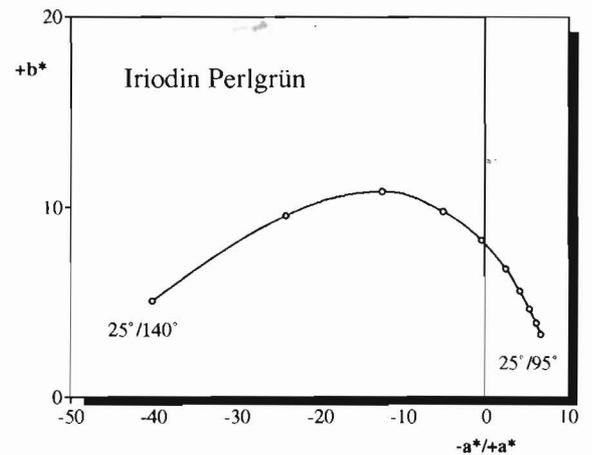


Bild 3. a^* , b^* -Werte von Iridin Perlgrün auf weißem Untergrund; gemessen bei konstantem Beleuchtungswinkel 25° und Beobachtungswinkeln 15° bis 60° vom Glanz.

Die Ergebnisse beider Meßreihen (Bilder 2 und 3) zeigen den Farbwechsel von der Reflexionsfarbe Grün zur Transmissionsfarbe Rot. Anhand der Grafiken fällt auf, daß die Transmissionsfarben bei einer Beleuchtung von 45° und 25° (flache Einstrahlung) ähnlich sind. Ab etwa 25° bis 30° vom Glanz erfolgt der Wechsel zur Reflexionsfarbe. Während der Wechsel bei einer Beleuchtung von 45° ziemlich direkt erfolgt (Bild 2), zeigt sich bei der Beleuchtung von 25° zuerst eine Verschiebung zum Gelben (bis 25° vom Glanz). Danach wechselt die Farbe zum Grün.

An den Ergebnissen dieser Meßreihen wird deutlich, wie entscheidend der Beleuchtungswinkel ist. Bei beiden Einstellungen des Beleuchtungswinkels wird zwar der Farbwechsel erfaßt, trotzdem sind die Einzelschritte deutlich unterschiedlich.

3.3 Verschiebung der Maxima

Neben den farbmetrischen L^* , a^* , b^* -Werten sind bei den Glimmerpigmenten auch die Reflexionswerte betrachtenwert. Die Farbverschiebung bei konstantem Beobachtungswinkel läßt sich auch anhand der Reflexions-

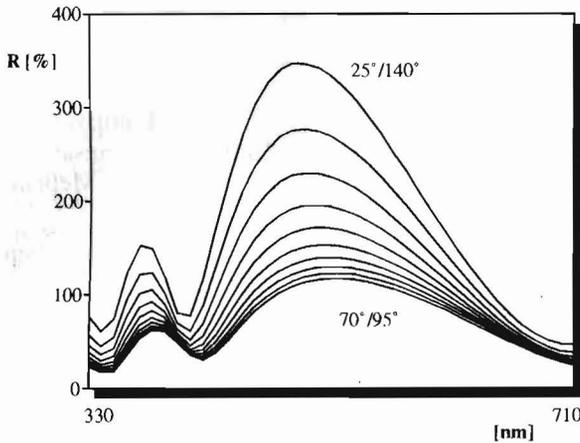


Bild 4. Reflexionskurven von Iridin Perlgrün auf schwarzem Untergrund; Meßwerte bei konstantem Beobachtungswinkel 15° vom Glanz und Beleuchtungswinkeln von 70° bis 25°.

kurven darstellen. Aufgetragen sind in Bild 4 die Reflexionskurven des Iridin Perlgrün auf schwarzem Untergrund. Bei konstantem Beobachtungswinkel von 15° vom Glanz wurde der Beleuchtungswinkel von 70° (steile Einstrahlung) nach 25° (flache Einstrahlung) geändert. Deutlich vergrößern sich die Maximawerte, wenn flacher eingestrahlt wird. Dieses Verhalten wird durch die Reflexionsgesetze bestätigt und entspricht demjenigen der L^* -Werte.

Die Reflexionskurven zeigen auch, daß sich mit flacherem Beleuchtungswinkel die Maxima zum Kurzwelligigen verschieben. Berechnet man anhand der einfachen Interferenzformel die theoretischen Werte, so ergibt sich der in Bild 5 gezeigte Kurvenverlauf. In der Berechnung wurde der Brechungsindex für Titandioxid mit $n = 2,7$ angenommen. Als Wellenlänge für das Maximum wurde der interpolierte Wert 521 eingesetzt, der bei der Messung bei der 45°-Beleuchtung ermittelt wurde. Die Berechnung der optischen Wegdifferenz erfolgte gemäß

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2} \tag{1}$$

mit d : Schichtstärke, n : Brechungsindex von Titandioxid, α : Winkel vom Einfallslot, λ : Wellenlänge des Maximums bei 45° (Phasensprung).

Die theoretische Kurve gibt die Farbverschiebung zum Kurzwelligigen bei flacherer Einstrahlung wieder. Die Meßwerte sind als Punkte in Bild 5 eingetragen und zeigen im flachen Bereich (25° Beleuchtung = 65° vom Einfallslot) eine stärkere Verschiebung des Maxima als die Theorie.

3.4 Umkehrung der Meßgeometrien

Da die Interferenz vom Winkel der Beleuchtung abhängt, können Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel nicht getauscht werden, wenn das gleiche Ergebnis erzielt werden soll. In Tabelle 1 sind L^* , a^* , b^* -Werte zusammengefaßt, die sich aus Messungen von Iridin Perlgrün auf schwarzem Untergrund ergeben. In den Wertereihen a sind die ursprünglichen Meßgeometrien aufgeführt: 25° bis 40° Beleuchtungswinkel (BEL_W) und die dazugehörigen Beobachtungswinkeln (BEOB_W) jeweils 15° vom Glanz (DIFF_W). Die getauschten Meßgeometrien befinden sich in den Reihen b, beispielsweise 40°/155 als Umkehrung von 25°/140°. Da in den hier aufgeführten Geometrien die neuen Beobachtungswinkel *trans*-Glanz sind, wurden zusätzlich noch *cis*-Glanz-Messungen in den Reihen c zusammengefaßt. Sie ergeben sich durch Umkehrung des Beleuchtungswinkels, wobei der Beobachtungswinkel jeweils 15° vom Glanz zum Einfallslot hin liegt.

Tabelle 1. Umkehrung des Beleuchtungs- und Beobachtungswinkels.
Reihe a: ursprüngliche Meßgeometrie
Reihe b: getauschte Meßgeometrie
Reihe c: getauschter Beleuchtungswinkel, Beobachtungswinkel *cis*-Glanz

	BEL_W	BEOB_W	DIFF_W	L^*	a^*	b^*
a	25	140	15	144.16	-48.03	2.92
b	40	155	-15	134.94	-42.98	3.03
c	40	125	15	120.05	-37.03	15.02
a	30	135	15	134.56	-43.98	7.62
b	45	150	-15	126.38	-39.81	7.19
c	45	120	15	114.79	-34.2	17.77
a	35	130	15	126.44	-40.25	11.68
b	50	145	-15	118.29	-36.4	10.68
c	50	115	15	110.61	-31.86	19.98
a	40	125	15	120.04	-37.07	14.91
b	55	140	-15	112.51	-33.6	13.56
c	55	110	15	107.13	-29.95	21.91

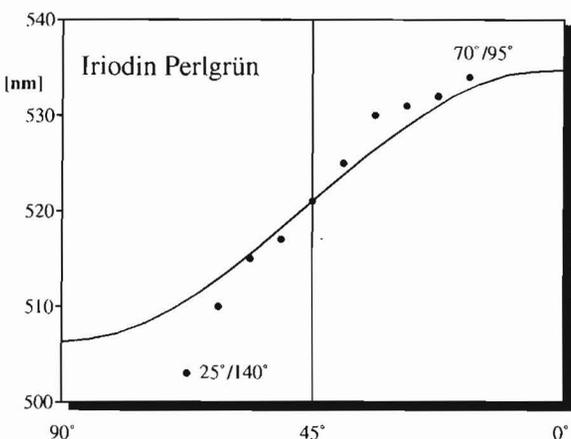


Bild 5. Iridin Perlgrün auf schwarzem Untergrund; Verschiebung der Reflexionsmaxima in Abhängigkeit vom Beleuchtungswinkel bei konstantem Beobachtungswinkel von 15° vom Glanz.

Linie: nach Gl. (1) berechnet
Punkte: interpolierte Meßergebnisse von 25° bis 70° (entsprechend 65° bis 20° vom Einfallslot)

Auch an diesen Meßergebnissen zeigt sich der Einfluß des Beleuchtungswinkels, wie es nach den vorherigen Messungen und der Interferenzformel zu erwarten war. Die L^* , a^* , b^* -Werte der Wertereihen b zeigen zwar nicht die starken Unterschiede zu den Reihen a, wie es bei den Reihen c auftritt (siehe auch Bild 1). Dennoch sind die Unterschiede zwischen den Wertereihen a und b beachtenswert.

4 Schlußfolgerungen

Glimmerpigmente stellen aus farbmetrischer Sicht sensible Gebilde dar: Aufgrund der Interferenzerscheinungen müssen die Meßgeometrien in konstanten Reihen aufgebaut werden. Daß erfordert Meßköpfe wie den GK 311/M, bei dem Beleuchtungswinkel und Beobachtungswinkel getrennt voneinander eingestellt werden. Der Einfluß des Beleuchtungswinkels macht auch deutlich, daß ein Tauschen der Beleuchtungs- und Beobachtungswinkel nicht so ohne weiteres möglich ist, wie man es vom Reflexionsgesetz vermuten könnte: Die optische Wegdifferenz und damit die Interferenz ändern sich deutlich bei verändertem Beleuchtungswinkel.

Literatur

[1] Hofmeister, F. und Pieper, H.: Einfluß einer variablen Meßgeometrie auf die Farborte von Interferenzpigmenten. Farbe + Lack 10 (1990), S. 773–775.

Werner Rudolf Cramer, W-4400 Münster.

Veranstaltungen

IV. Meßtechnisches Symposium

Am 10. und 11. Oktober 1991 trafen sich in Aachen die Hochschullehrer für Meßtechnik zum IV. Meßtechnischen Symposium, das von Prof. T. Pfeifer (Lehrstuhl für Fertigungsmeßtechnik und Qualitätssicherung am WZL der RWTH Aachen) organisatorisch betreut wurde. Die „Meßtechnischen Symposien“ bilden das alljährliche Fachforum des Arbeitskreises der Hochschullehrer für Meßtechnik e.V. In diesem Verband haben sich die auf dem Gebiet der Meßtechnik tätigen deutschsprachigen Hochschulprofessoren zusammengeschlossen, um ihre Universitätsdisziplin zu fördern. Die Arbeitsschwerpunkte der Hochschulgruppe sind:

- Weiterentwicklung der Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Meßtechnik,
- Pflege des wissenschaftlichen Erfahrungsaustausches,
- Ausarbeitung von Vorschlägen für Forschungs- und Entwicklungsprogramme,
- Abgabe von Empfehlungen für die Ausbildung in der Meßtechnik an wissenschaftlichen Hochschulen,
- Unterstützung des Wissenstransfers zwischen Forschung und Praxis.

Die Vortrags- und Diskussionsthemen der Veranstaltung wurden stark durch Beiträge von Teilnehmern aus den neuen Bundesländern geprägt, da erstmalig alle Vertreter der ostdeutschen Hochschulen ungehindert an einem Meßtechnischen Symposium teilnehmen konnten. Der in den Vorträgen behandelte Themenkatalog umfaßte den gesamten Bereich von der theoretischen Grundlagenforschung bis zu seriennahen Systemuntersuchungen und den daraus abgeleiteten Schlußfolgerungen. Im einzelnen wurden von den Autoren folgende Inhalte besprochen:

Umsetzung neuer Meßprinzipien

H.-J. Dubrau (Dresden) eröffnete den Themenkomplex „Umsetzung neuer Meßprinzipien“ mit einem Grundsatzzvortrag, in dem er ein einheitliches Funktionsschema des Meßprozesses vorstellte. Dieser Modellierungsansatz ermöglicht den rechnergestützten Entwurf von Meßeinrichtungen.

G. Varchmin und K.-W. Högner (Braunschweig) stellten ein Verfahren vor, das die rechnerunterstützte Auswertung einer Hügel-Gerät-Messung ermöglicht.

R. Hampel und F. Worlitz (Zittau) präsentierten die Ergebnisse von theoretischen und experimentellen Untersuchungen zur Verbesserung der Genauigkeit von hydrostatischen Gemischhöhenstandsmessungen in liegenden Dampferzeugern. Ein modellgestütztes Verfahren ermöglicht auf der Basis analytischer Redundanz das rechtzeitige Erkennen und Orten auftretender Sensorfehler.

K.-D. Morgeneier und K. Kupfer (Weimar) erläuterten die Konzeption eines Mikrowellenfeuchte-meßgerätes zur Erfassung der Materialfeuchte an Schüttgütern. Das vorgestellte Konzept ermöglicht die Kompensation schüttdichtebedingter Fehlereinflüsse.

V. Hans und H. Kollmeier (Essen) stellten ein Verfahren zur hochpräzisen Temperaturmessung auf der Basis von Thermistoren vor. Die Genauigkeitssteigerungen gegenüber üblichen Technologien basieren auf einer Verminderung der Abweichung zwischen mathematischer Beschreibung und realer physikalischer Kennlinie.

M. Pandit und K. Buchheit (Kaiserslautern) referierten über die heute üblichen Verfahren der pyrometrischen Temperaturmessung. Sie berichteten insbesondere über ihre Ergebnisse aus Vergleichsmessungen mit einem kommerziell verfügbaren Gerät, das sie zur Temperaturmessung an Aluminium in einer Extruderpresse eingesetzt haben.

T. Gast, H. Röck und K. Kolahi (Berlin) präsentierten ein Verfahren zur Massenstrommessung für Gase unter Normaldruck, das auf dem Coriolisprinzip basiert. Die Massendurchflußmessung für Gase nach dieser Methode scheiterte bisher noch an dem zu geringen Meßeffect.

Signalverarbeitung

Aus dem Bereich Signalverarbeitung berichteten A. Lenk und G. Gerlach (Dresden) über ein Verfahren zur Kompensation quadratischer und kubischer Nichtlinearitäten, das sie am Beispiel des Linearitätsfehlers piezoresistiver Drucksensoren veranschaulichten.

H. Gatzmanga und M. Baecke (Köthen) zeigten in ihrem Vortrag, daß bei der Konzentrationsmessung auf der Basis fotoakustischer Sensoren eine signifikante Reduzierung der Meßunsicherheit durch die mathematische Modellierung des Sensors unter Einbeziehung innerer und äußerer Störgrößen möglich ist.

W. Richter und K. Kunde (Leipzig) leisteten einen Beitrag zur Bestimmung der Parameter von Ringkernstromwandlern. In ihrem Vortrag stellten die Autoren ein Programmsystem vor, mit dessen Hilfe Ringkernstrom-