

Tafel 2. Einteilung der Fehlergruppen [4]

Fehlergruppe	Temperaturbereich
I	0...10 K
II	10...35 K
III	35...70 K
IV	> 70 K

Tafel 3. Einordnung der Instandsetzungsmaßnahmen

Fehlergruppe	Instandsetzungsmaßnahme
I	keine Maßnahmen
II	Instandsetzung bei der nächsten Revision bzw. planmäßigen Wartung
III	wie Gruppe II; bei einer Leistungsauslastung $I > 60\%$ innerhalb eines Monats
IV	sofortige Instandsetzung

3.2. Bewertung der Ergebnisse

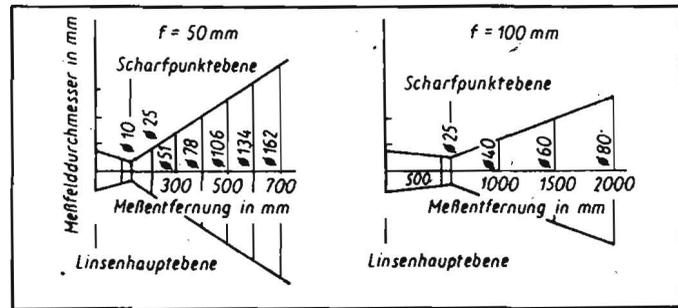
Zur Bewertung der ermittelten Ergebnisse ist eine Einordnung in Fehlergruppen erforderlich (Tafel 2). Diese Einordnung erfolgt auf der Grundlage der Erwärmung des Anschlusses gegenüber dem angeschlossenen Leiter [4]. In Abhängigkeit von der Fehlergruppe sind entsprechende Instandsetzungsmaßnahmen einzuleiten bzw. einzuordnen (Tafel 3).

3.3. Ergebnisse der Diagnose von Elektroanlagen

Seit 1985 werden im Bezirk Schwerin halbjährlich Überprüfungen an Elektroanlagen, wie Haupteinspeisung, Netzersatz-, Kompensations- und Verteilungsanlagen, für die Lüftung, Fütterung, Entmistung, Milchkühlung u. a. in industriemäßigen Anlagen der Tierproduktion durchgeführt. In die Überprüfungen werden 1930er- und 1000er-Milchviehanlagen, Rindermast- und Schweinemastanlagen einbezogen.

Bei den Erprobungsarbeiten wurden rd. 80 Elemente je Anlagenkomplex, z. B. Trenner, Lastschalter, Stromwandler und NH-Si-

Bild 2
Meßfleckdiagramm
des Handpyrometers
HPA [2]



Tafel 4. Fehleranalyse der Meßergebnisse aus den Überprüfungen mit den Pyrometern HPN und HPA [5]

	Fehlergruppe I		Fehlergruppe II		Fehlergruppe III		Fehlergruppe IV	
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%
Haupteinspeisung	22	16,3	25	18,5	25	18,5	10	7,4
sonstige Verteilungen	31	9,0	45	13,2	13	3,8	3	0,9

cherungen, sowie 500 Klemmverbindungen untersucht. Die Ergebnisse sind in Tafel 4 zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, daß die Fehlerhäufigkeit in den Gruppen III und IV der Haupteinspeisung besonders hoch liegt. Zum Teil wurden Temperaturen von 150 bis 190 °C ermittelt, wobei die Elektroanlagen mit rd. 70% belastet waren. Die meisten Fehler waren auf lose Klemmverbindungen zurückzuführen. Nach erfolgter Instandsetzung ging im Jahr 1986 die Fehlerhäufigkeit besonders in den Gruppen III und IV gegenüber 1985 deutlich zurück.

4. Zusammenfassung

Die dargelegten Ergebnisse zum Einsatz der Pyrometermeßtechnik bei der Diagnose von Elektroanlagen in der Landwirtschaft lassen die Vorteile gegenüber den herkömmlichen Prüfverfahren erkennen.

Neben der Ermittlung des technischen Zustands der Anlagen ist eine Fehlersuchdiagnose realisierbar. Weiterhin können Überbelastungen einzelner Leiter ermittelt und abgestellt werden. Die Pyrometermeßtechnik ist eine geeignete

Gerätetechnik für die Elektroprüfdienste der VEB KfL bzw. VEB LTA zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der landtechnischen Ausrüstungen.

Literatur

- [1] Bedienvorschrift für das digitale Handpyrometer HPN. VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg, 1984.
- [2] Bedienvorschrift für das digitale Handpyrometer HPA. VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg, 1985.
- [3] Entwurf der Diagnosetechnik für die Prüfung von Elektroanlagen mit der Pyrometermeßtechnik. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, 1985.
- [4] Stirl, A.: Beitrag zur Anwendung der Instandhaltung nach Überprüfung für stationäre maschinentechnische Ausrüstungen in Anlagen der Tierproduktion. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Dissertation 1980.
- [5] Kremp, R.; Klemmer, D.: Zwischenbericht zur Diagnosetechnik mit Pyrometermeßtechnik. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, 1986.

A 4990

Einflußfaktoren auf die Meßgenauigkeit bei der Anwendung der Pyrometrie in der technischen Diagnostik

Dr. rer. nat. R. Kranemann, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung

Verwendete Formelzeichen

- A_M Fläche des Meßfeldes
- A_O Objektfläche
- a Objektentfernung
- d_M Meßfelddurchmesser
- f Brennweite des Pyrometers
- T_A vom Pyrometer angezeigte Temperatur
- T_O Temperatur des Diagnoseobjekts
- T_U Umgebungstemperatur
- T_{UE} am Pyrometer eingestellte Umgebungstemperatur
- ϵ_{eff} effektiver Emissionsgrad bei $A_M < A_O$
- ϵ_O^* Emissionsgrad des Diagnoseobjekts
- ϵ_{OE} eingestellter Emissionsgrad

1. Einleitung

Die berührungslose Temperaturmessung mit Strahlungspyrometern ist eine aussagefähige und relativ einfache Meßmethode [1, 2, 3]. In der technischen Diagnostik bilden elektrotechnische Anlagen (Verteilungen, Sicherungselemente, Leitungssysteme) sowie mechanische Reibpaarungen herausragende Anwendungsbereiche. Die Temperaturen liegen überwiegend im Niedertemperaturbereich ($T \leq 200^\circ\text{C}$). Diesen Anforderungen genügt das Handpyrometer HPN aus dem VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg. Eine hohe Meßgenauigkeit wird dann erzielt, wenn die Umgebungstemperatur und der Emissionsgrad des Untersuchungsobj-

jekts am Pyrometer richtig eingestellt worden sind. Bei der Nutzung in der technischen Diagnostik wird die erforderliche Meßgenauigkeit durch die Diagnoseaufgabe festgelegt. Zu fordern ist eine einfache Handhabung des Meßgeräts, d. h. eine unkomplizierte Berücksichtigung der Objektgröße bei kleinen Diagnoseobjekten sowie die Einstellung mittlerer Emissionsgrade entsprechend den Objektgruppen (Tafel 1) und mittleren Umgebungstemperaturen. Im vorliegenden Beitrag werden die wesentlichen Einflußfaktoren diskutiert. Auf der Basis eines vereinfachten Modells [3] werden die zu erwartenden Meßfehler theoretisch abgeschätzt und mit experimentell ermittel-

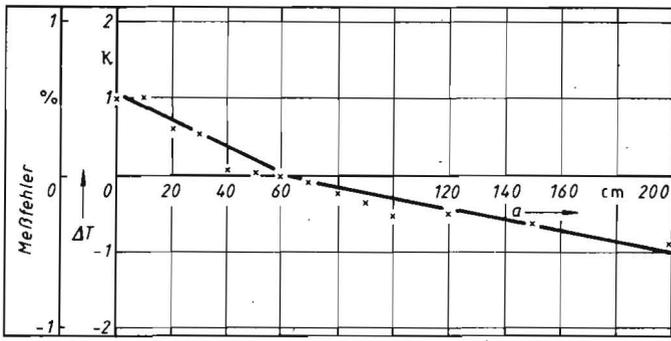
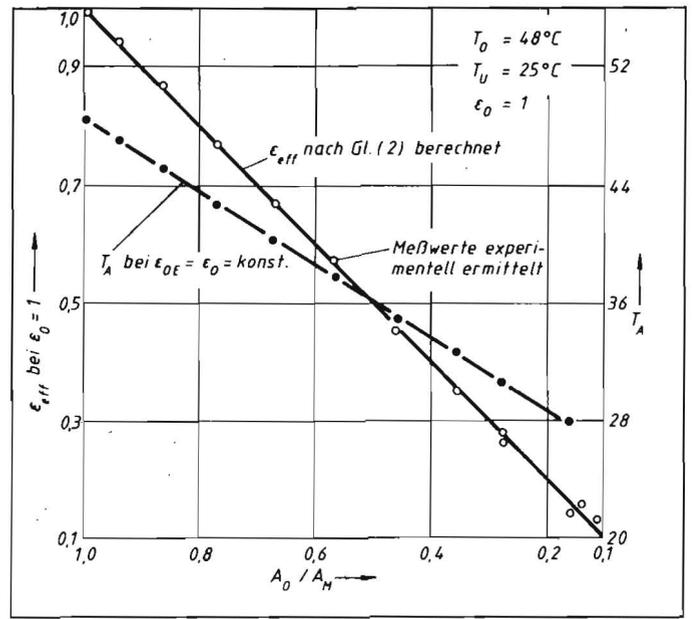


Bild 1. Abhängigkeit der Temperaturdifferenz ΔT zwischen Meßwertanzeige T_A und Objekttemperatur T_O und des prozentualen Meßfehlers von der Objektentfernung a bei $T_O = 40^\circ\text{C}$, $T_U = 23^\circ\text{C}$ und $\epsilon_0 = 1$

Bild 2. Scheinbare Veränderung des Emissionsgrades des Diagnoseobjekts ϵ_{eff} und der angezeigten Objekttemperatur T_A , wenn die Objektfläche kleiner als das Meßfeld ist



ten Werten verglichen. Auf Erläuterungen zum Modell und zu den mathematischen Ableitungen wird an dieser Stelle verzichtet. Dazu sei auf die Ausführungen in [3] verwiesen. Die experimentellen Untersuchungen wurden jeweils mit einem Handpyrometer HPN der Objektivbrennweite $f = 100\text{ mm}$ durchgeführt.

2. Einfluß der Objektentfernung und der Objektgröße

Der Meßfelddurchmesser d_M eines Handpyrometers ist von der Objektentfernung a abhängig. Für das Gerät HPN ($f = 100\text{ mm}$) errechnet sich d_M in Abhängigkeit von a für $a \geq 600\text{ mm}$ nach folgender Beziehung [5]:

$$d_M = 0,0674 a - 25,4\text{ mm.} \quad (1)$$

Weichen die Meßentfernungen von der Scharfpunktebene ($a = 600\text{ mm}$) ab, so treten zusätzliche Fehler auf (Bild 1). Der Hersteller [5] gibt als Zusatzfehler an:

- für $a = 0 \dots 0,6\text{ m}$ $\pm 1,5\%$
- für $a = 0,6 \dots 2,0\text{ m}$ $- 2,0\%$

Bei der technischen Diagnose sollte somit nach Möglichkeit eine Objektentfernung von 600 mm angestrebt werden.

Sind Objekte zu diagnostizieren, deren Oberfläche A_O kleiner als das Meßfeld A_M ist, so beeinflusst die Objektgröße das Meßergebnis. Die mathematischen Ableitungen für die Signalspannung zeigen, daß die tatsächliche Objekttemperatur T_O dann auf der Pyrometeranzeige erscheint, wenn mit dem Emissionsgradregler nicht der Emissionsgrad des Untersuchungsobjektes ϵ_0 , sondern der effektive Wert ϵ_{eff} mit

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{A_O}{A_M} \epsilon_0 \quad (2)$$

eingestellt wird. Die Übereinstimmung dieser Beziehung mit den experimentellen Resultaten ist sehr gut (Bild 2). Abweichungen sind allerdings zu erwarten, wenn neben der Objektstrahlung weitere Temperaturstrahler (z. B. Heizkörper, Glühlampen) innerhalb des Meßfeldes einfallen, die durch geeignete Maßnahmen nicht abgeschirmt werden können.

3. Einfluß der Umgebungstemperatur

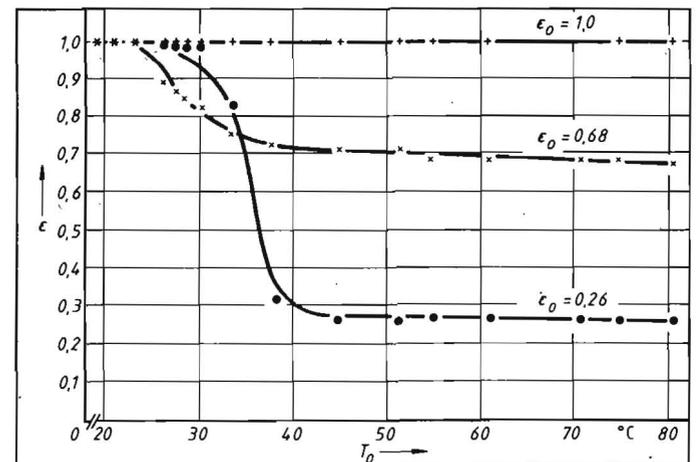
Haben das Diagnoseobjekt und die Umgebung gleiche Temperaturen ($T_O = T_U$), strahlt

Tafel 1. Gesamtemissionsgradbereiche ausgewählter Stoffe im Niedertemperaturbereich (nach [4])

Material	Gesamtemissionsgrad
Aluminium	0,05...0,55
Eisenblech, verrostet	0,60...0,69
Eisenblech, verzinkt	0,07...0,30
Eisenblech, vernickelt	0,06...0,11
schwarzer Lack	0,92...0,96
Gummi	0,85...0,95
Gußeisen	0,6...0,95
Kupfer	0,07...0,78
Messing	0,03...0,60

das Objekt wie ein schwarzer Strahler ($\epsilon = 1$). Die Signalspannung wird dann vom Emissionsgrad des Diagnoseobjektes unabhängig. Mathematisch ergibt sich bei Temperaturerhöhung als Übergang zu ϵ_0 eine Sprungfunktion. Experimentell zeigt sich ein allmählicher Übergang (Bild 3). Erst bei Objekttemperaturen von $(T_O - T_U) \geq 20\text{ K}$ nähert sich der gemessene Emissionsgrad dem erwarteten Wert ϵ_0 an. Die technische Diagnostik sollte deshalb grundsätzlich bei geringen Temperaturerhöhungen ($T_O \approx T_U$) mit einer Emissionsgradeinstellung von $\epsilon_{0E} = 1$ durchgeführt werden.

Bild 3. Scheinbare Änderung des Emissionsgrades ϵ verschiedener Diagnoseobjekte in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur T_O bei $T_U = 18,4^\circ\text{C}$



4. Einfluß der Einstellung von Umgebungstemperatur und Emissionsgrad

Wird in Räumen diagnostiziert, in denen sich die Umgebungstemperatur nicht ausreichend genau ermitteln läßt bzw. sich über die Meßzeit ändert, kann am Umgebungstemperaturregler des Pyrometers nur eine mittlere Temperatur eingestellt werden. Andererseits ist es oft zweckmäßig, nicht den tatsächlichen Emissionsgrad, sondern den Mittelwert einer Objektklasse (Tafel 1) zu verwenden. Die Pyrometerelektronik errechnet dann die Temperatur auf der Basis der gewählten Einstellparameter T_{UE} und ϵ_{0E} . Mathematisch errechnet sich die angezeigte Temperatur T_A entsprechend Gl. (3) (s. a. S. 394).

Um die zusätzlichen Fehler zweckmäßig abschätzen zu können, sind die Einflüsse der Umgebungstemperatur- und der Emissionsgradeinstellung getrennt zu betrachten:

- fehlerhafte Umgebungstempureinstellung $T_{UE} \neq T_U$, $\epsilon_{0E} = \epsilon_0$ (Bild 4)
Für den Meßfehler ergibt sich aus Gl. (3) die in Gl. (4) dargestellte Beziehung.
- fehlerhafte Emissionsgradeinstellung $\epsilon_{0E} \neq \epsilon_0$, $T_{UE} = T_U$ (Bild 5)
Unter diesen Bedingungen ergibt sich der Meßfehler entsprechend Gl. (5).

Bei Diagnoseobjekten mit dem Emissionsgrad $\epsilon_0 = 1$ bleibt, wie zu erwarten, die ein-

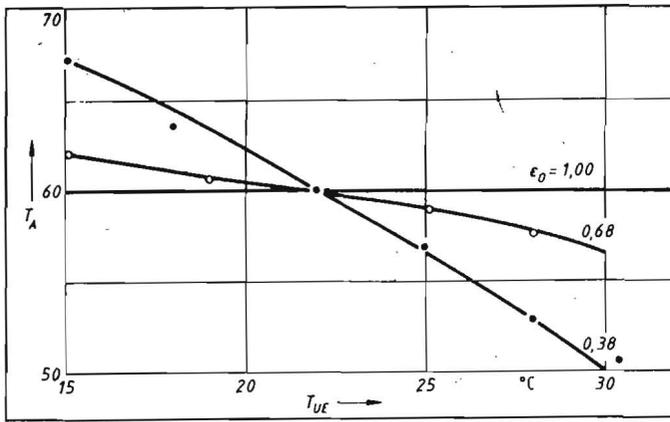
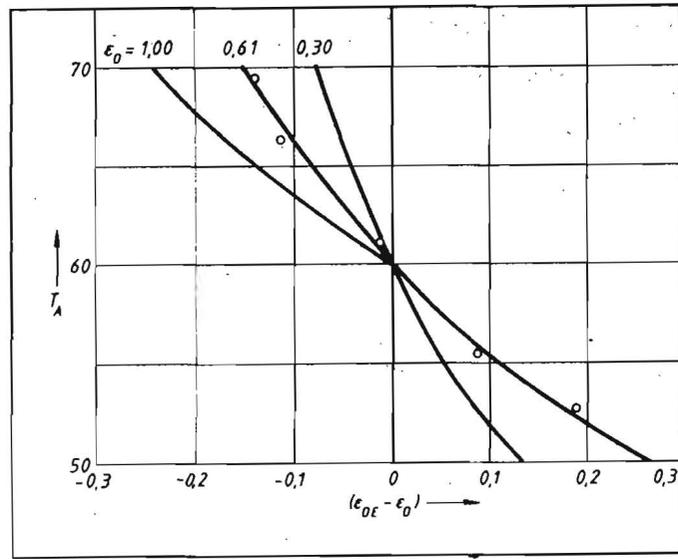


Bild 4. Einfluß einer fehlerhaften Umgebungseinstellung T_{UE} auf die angezeigte Meßtemperatur T_A für $T_O = 60^\circ\text{C}$ und $T_U = 22^\circ\text{C}$

Bild 5. Einfluß einer fehlerhaften Emissionsgradeinstellung ϵ_{OE} auf die angezeigte Meßtemperatur T_A für $T_O = 60^\circ\text{C}$ und $T_U = 22^\circ\text{C}$



$$T_A = \sqrt[4]{\frac{\epsilon_O}{\epsilon_{OE}} (T_O^4 - T_U^4) + \frac{1}{\epsilon_{OE}} (T_U^4 - T_{UE}^4) + T_{UE}^4} \quad (3)$$

$$T_A/T_O = \sqrt[4]{1 + \frac{1 - \epsilon_O}{\epsilon_O} \left[1 - \left(\frac{T_{UE}}{T_U} \right)^4 \right] \left(\frac{T_U}{T_O} \right)^4} \quad (4)$$

$$T_A/T_O = \sqrt[4]{\frac{\epsilon_O}{\epsilon_{OE}} \left[1 - \left(\frac{T_U}{T_O} \right)^4 \right] + \left(\frac{T_U}{T_O} \right)^4} \quad (5)$$

gestellte Umgebungstemperatur ohne Einfluß auf das Meßergebnis, und bei $T_O = T_U$ kann die Emissionsgradeinstellung beliebig gewählt werden. Bei Emissionsgraden < 1 und erhöhten Objekttemperaturen können die Meßfehler dagegen beträchtlich werden, wie die Beispiele in den Bildern 4 und 5 zeigen. Deutlich wird, daß eine fehlerhafte Emissionsgradeinstellung einen wesentlich größeren Einfluß auf die Meßgenauigkeit hat, als die fehlerhafte Umgebungseinstellung. Deshalb ist es oft zweckmäßig, durch Farbauftrag an den jeweiligen Diagnoseobjekten definierte Emissionsgrade (Tafel 1) zu realisieren. Die Übereinstimmung der experimentell ermittelten Werte mit den berechneten Kurven ist gut. Somit ist eine rechnerische Fehlerabschätzung für unterschiedlichste Diagnoseaufgaben leicht möglich.

5. Zusammenfassung

Die Pyrometrie findet bei der Anlageninstandhaltung zunehmend Anwendung. Ein Einsatz in industriemäßig produzierenden Tierproduktionsanlagen wurde erprobt. Diagnostiktechnologien werden gegenwärtig er-

arbeitet [2, 3].

Als prinzipielle meßtechnische Probleme sind bei der berührungslosen Temperaturmessung die Berücksichtigung des Emissionsgrades und der Eigenschaften der Übertragungsstrecke anzusehen. Wird das Pyrometer in der technischen Diagnostik genutzt, sollte neben einer ausreichend hohen Meßgenauigkeit die vereinfachte Bedienung des Geräts gewährleistet sein. Im vorliegenden Beitrag wird dem Diagnostiker eine Methode vorgestellt, um aus den Diagnosebedingungen und den Anforderungen an die Meßgenauigkeit die Einstellparameter des Pyrometers festzulegen.

In einer Milchviehanlage MVA 1930 sind an verschiedenen Reibpaarungen während eines Meßzyklus folgende Wertbereiche ermittelt worden [6]:

- $\epsilon_O = 0,88 \dots 0,98$
- $T_U = 10 \dots 20^\circ\text{C}$
- $T_O \leq 105^\circ\text{C}$.

Unter Zugrundelegung der Toleranzbereiche von Emissionsgrad, Umgebungs- und Objekttemperatur können mit den Gln. (2) und (3) die Meßfehler berechnet werden. Sind z. B. bei allen Messungen in der

MVA 1930 die mittlere Umgebungstemperatur und der mittlere Emissionsgrad am Pyrometer konstant eingestellt worden, so ergibt sich ein Zusatzfehler von kleiner $\pm 4\text{ K}$ bei der größten Objekttemperatur und bei Objekten, deren Temperatur in der Nähe der Umgebungstemperatur liegt, ein Fehler von kleiner als $\pm 0,4\text{ K}$. Bei verschiedenen Diagnoseaufgaben dürften diese Meßfehler zulässig sein, so daß mit konstanter Pyrometereinstellung gearbeitet werden kann.

Die rechnerische Abschätzung der Meßfehler ergibt somit die Möglichkeit, auf der Basis der Schädigungscharakteristik der Elemente und der Umgebungsbedingungen die Diagnoseparameter zu optimieren.

Literatur

- [1] Einsatz und Nutzen der Pyrovar-Handpyrometer HP. VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg, 1983.
- [2] Stirl, A.: Instandhaltung stationärer maschinentechnischer Anlagen – Vorbereitung des Einsatzes verfügbarer Geräte der technischen Diagnostik. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Forschungsbericht 1985.
- [3] Kranemann, R.; Schosseé, R.: Instandhaltung stationärer maschinentechnischer Anlagen – Erarbeitung technischer Anwendungsbedingungen für ausgewählte Diagnoseverfahren. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1985.
- [4] Emissionsgradtabelle. Application – report Pyrovar System. VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg, 1982.
- [5] Bedienungsvorschrift für die Handpyrometer HPA, HPG, HPK, HPN und HPR. VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg.
- [6] Schoof, M.: Untersuchungen zur Eignung der berührungslosen Temperaturmessung in der Anlageninstandhaltung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1986. A 4969

Fachkolloquium „Bautechnischer Wärmeschutz“

Das gemeinsam von der Informationsleitstelle Land- und Meliorationsbau des Bezirkes Erfurt, dem VEB Landbauprojekt Potsdam, Zentralstelle für Standardisierung Landbau, und der Staatlichen Bauaufsicht Kreis Weimar-Land organisierte Fachkolloquium findet am 24. November 1987 von 10.00 bis 16.00 Uhr in der Weimarahalle (Kultur- und Kongreßzentrum, Schwanseestraße, Weimar 5300) statt. Im Hauptreferat der Veranstaltung werden von Obering. Dipl.-Ing. Kleber, Institut für Heizung, Lüftung und Grund-

lagen der Bautechnik der Bauakademie der DDR, folgende Themen behandelt:

- Begründung: Energieökonomie, Bautechnik, Bauhygiene
- Vorschriftenwerk: Standard TGL 35424, u. a. Geltungsbereich, Nachweise
- Wärmedämmende Baustoffe und Wärmedämmstoffe: Einsatzbereiche
- Qualitätssicherungsmaßnahmen: Projektierung, Bauausführung, Nutzung.

Anschließend wird von Dipl.-Ing. Wenzel, Chefingenieur Bauphysik im VEB Landbau-

projekt Potsdam, zum Thema „Ermittlung energieökonomischer Lösungen im Landwirtschaftsbau“ referiert (Programmänderungen vorbehalten).

Interessenten wenden sich an: ZBO Weimar-Land, Informationsleitstelle Land- und Meliorationsbau des Bezirkes Erfurt, Sitz Mellingen, Umgehungsstraße 78b, Mellingen 5301, Telefon 3 31, Telex 618910 zbowl dd.

Dipl.-Ing. K.-H. Kraass