

Thema: Genauigkeit und Grenzen der Messung von UV-Strahlung

Zusatzinformationen zum Vortrag

1 Referent:

Dipl.-Ing. Wolfgang Mohr

Hochschulausbildung an der TU Hannover zum Elektroingenieur mit Schwerpunkt Elektrowärme. Danach viele Jahre in der Entwicklung von Transformatoren, elektrischen und elektronischen Geräten tätig.

Jetzt seit 22 Jahren bei der Firma Eltosch Torsten Schmidt GmbH in Hamburg beschäftigt. In dieser Zeit immer für die Entwicklung aller Trocknungssysteme zuständig: IR – Trockner, Warmlufttrockner ("Thermolufttrockner") und UV-Härtungssysteme. Ansprechpartner für die Entwicklungsabteilungen der Druckmaschinenindustrie.

Mitglied im VDD (Verein Deutscher Druckingenieure) und Mitarbeit in diversen Arbeitskreisen der FGD (Forschungsgemeinschaft Druckmaschinen e.V.)

2 Eltosch Torsten Schmidt GmbH

Seit 1967 Trocknerspezialist für den Bogenoffset-Druck

Elektrotechnik [Torsten Schmidt](#) > [eltosch](#)

Gegründet 1967 durch Torsten Schmidt. Erste IR-Trockner im Bogenoffset

1978 Umwandlung in Eltosch Torsten Schmidt GmbH

Fertigung und Vertrieb von Infrarot, Thermoluft und UV-Systemen für den graphischen Markt

> 1985 Aufbau des Bereichs Industrieanwendungen (IR + UV)

Ab März 2002 100%ige Tochterfirma der Adphos AG

Ab Mai 2008 Mitglied in der Firmengruppe der Dr. Hönle AG

Eltosch bietet heute ein umfassendes Technologieportfolio mit UV, Thermoluft und Infrarot und beliefert als Partner und Zulieferer wichtige Bogenoffset-Druckmaschinenhersteller mit komplexen Trocknersystemen - baut für die industrielle Beschichtungsindustrie projektspezifische Trocknungs- und Härtungsanlagen

Die Firmengruppe der Dr. Hönle AG umfaßt neben der Hauptfirma Hönle AG (UV-Anlagen) die Firmen Eltosch (UV/IR/TL-Anlagen), printconcept (UV-Anlagen), Panacol und Wellomer (UV-Klebstoffe, Vergußmassen) und aladin (Strahlerfertigung)

3 Zusammenfassung des Vortragsinhaltes

3.1 Warum gerade dieses Thema?

UV-Messung ist in aller Munde, unsere Kunden in der Industrie müssen zunehmend einen Nachweis über die Qualität ihrer Produktionsanlagen abgeben.

Wir haben in vielen Beispielen bei der Bewertung von UV-Messungen eine große Unsicherheit und Unkenntnis erlebt. Insbesondere die Bewertung der Meßergebnisse zeigte, daß die Personen, die die Messungen durchgeführt haben, diese Ergebnisse häufig aus Unkenntnis über die Systemgrenzen der UV-Messung, falsch interpretieren.

Nach Aufklärung der Sachlage sind sie meistens äußerst überrascht über den relativ großen Toleranzbereich und die vielen Einschränkungen, die bei der Interpretation der Meßwerte notwendig ist.

Das Problem ist also die Darstellung von Daten als Fakten, ohne die Randparameter ausreichend zu berücksichtigen und darzustellen (weil man sie nicht kennt).

Es müssen somit alle an dem UV-Prozeß Beteiligten ein großes Interesse daran haben, daß keine falschen Daten und unzulässige Vergleiche gemacht werden.

Ich möchte betonen, daß es natürlich auch viele Fachleute gibt, die die komplexe Sachlage durchblicken und dementsprechend die Meßergebnisse korrekt interpretieren und darstellen.

Mein Ziel ist es, dem Personenkreis, der nicht mit der UV-Meßtechnik auf Du und Du steht, einen Einblick zu verschaffen, was bei der Messung von UV-Anlagen zu beachten ist.

Die Beurteilung der Härtung ist ein anderes Thema und wird in diesem Referat nicht behandelt.

3.2 Der Vortrag gliedert sich deshalb in folgende Bereiche

- Ursachen für die oft fehlerhafte Auswertung der Meßgeräte
- Warum ist Strahlungsmessung so schwierig?
- Die physikalischen Größen bei der UV-Messung
- Die verschiedenen Meßsysteme im UV-Bereich
- Einsatzbereiche für die Systeme
- Grenzen der Messungen und deren Vergleichbarkeit untereinander
- Appell für bessere Bedienungsanleitungen der Meßgeräte mit Schwerpunkt der Handhabung und Aufzeigen der Einsatzgrenzen
- Versachlichung der Diskussion durch Akzeptanz der relativ großen Meßfehlertoleranzen bei der UV-Messung
- UV-Messungen notwendig und sinnvoll, trotz der relativ großen Meßfehlertoleranzen

4.1 Ursachen für die oft fehlerhafte Beurteilung der angezeigten Meßwerte

Die folgende Liste der Ursachen ist sicherlich noch nicht vollständig:

- Es fehlt die Kenntnis und das Verständnis über das, was gemessen wird
- Die physikalischen Randbedingungen sind größtenteils unklar
- In den Betriebsanleitungen für die Meßsysteme sind häufig keine Hinweise über die Meßgrenzen der Meßsysteme und die korrekte Handhabung angegeben
- Die Meßsysteme geben häufig absolute Energie- und Intensitätswerte an (Digitale Anzeigen), dies täuscht eine Vergleichbarkeit der Werte vor, die aber i.d.R. nicht gegeben ist
- Der Meßsensor wird nicht spezifiziert, der Wellenlängenabhängigkeit wird nicht angegeben
- Eine Toleranzangabe für die Meßsysteme fehlt häufig

4.2 Warum ist die UV-Strahlungsmessung so schwierig?

Wir messen etwas unsichtbares, nichts greifbares. Dies haben wir allerdings auch beispielsweise bei einer Strom- und Spannungsmessung vor uns, aber hier gibt es inzwischen für den praktischen Betrieb einfach zu handhabende relativ genau anzeigende Meßgeräte für reproduzierbare Ergebnisse.

Strahlung dagegen ist die Ausbreitung von Wellen. Die Strahlung ist vor allem durch ihre Wellenlänge gekennzeichnet. Wir müssen also einen Sensor haben, der einen bestimmten Wellenlängenbereich erfasst, und die hierbei die auftretende Strahlungsleistung korrekt bewertet. Dazu wird meistens ein Sensor auf Halbleiterbasis zusammen mit einer Filtereinheit als Empfänger verwendet und das Signal über eine Auswerteelektronik zur Anzeige gebracht.

Weiterhin ist es für das Meßergebnis sehr wichtig, in welchem Winkel die Strahlung auf den Sensor auftrifft. In der Meßtechnik spricht man von einer \cos Korrektur, d.h. das Meßsystem mißt nur den Anteil der Strahlung, der die senkrechte Komponente zur Oberfläche darstellt.

Bei der UV-Strahlung sind folgende Meßbereiche nach DIN festgelegt:

UV-C: 200 – 280 nm

UV-B: 280 – 315 nm

UV-A: 315 – 380 nm

UV-Vis: 380 – 450 nm (die Obergrenze ist nicht exakt definiert)

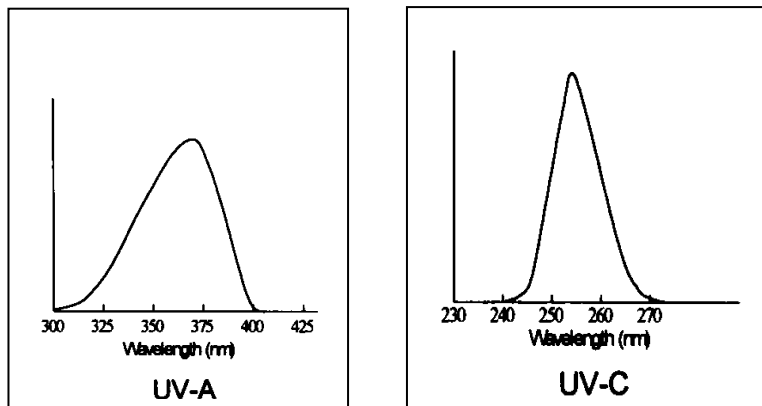
VIS, sichtbarer Wellenlängenbereich: 380 – 780 nm

Die UV-Strahler haben ein diskontinuierliches Spektrum.

Dotierte UV - Strahler haben gegenüber dem Standard-Quecksilberstrahler eine andere Strahlungsverteilung, die Wellenlängen werden zu höheren Werten hinverschoben.

Die Sensoren mit der Auswerteelektronik müssen diese verschiedenen Meßbedingungen richtig bewerten. Hier setzt nun die Problematik ein. Die Senso-

ren bewerten nicht alle Wellenlängen gleichmäßig. Als Beispiel sind die Sensorcharakteristiken der Fa. EIT angeführt.



□

Als Basis werden die Meßsysteme nach entsprechenden Standards kalibriert. Meistens werden länderspezifische Standards gewählt, z.B. die PTB-Referenz in Braunschweig.

4.3 Die physikalischen Größen bei der UV-Messung

Darstellung der physikalischen Größen und deren Bedeutung für das Meßergebnis

Strahlungsleistung (Intensität, Peak-Intensität)

Die aufgenommene Leistung des UV-Strahlers (Linienstrahler) wird allgemein praktischerweise in $[W/cm]$ angegeben.

Der UV-Strahler gibt eine Strahlungsleistung P ab. In unserem Metier wird diese Leistung als spezifische Leistung pro Fläche angegeben. Nur dadurch sind Vergleiche möglich. Angabe in $[W/m^2]$ oder $[W/cm^2]$ oder $[mW/cm^2]$

Diese spez. Strahlungsleistung ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

- von der spez. Strahlerleistung
- von der Strahlercharakteristik (Standard Hg oder dotiert)
- von der Reflektorgeometrie und Reflektorgüte
- von dem Meßort im Strahlungsbereich
- von der Entfernung zur Strahlenquelle

Energie (Dosis)

Wenn die Strahlungsleistung auf das Produkt eine Zeit lang einwirkt, dann erhalten wir die Strahlungsenergie, häufig auch als Dosis bezeichnet.

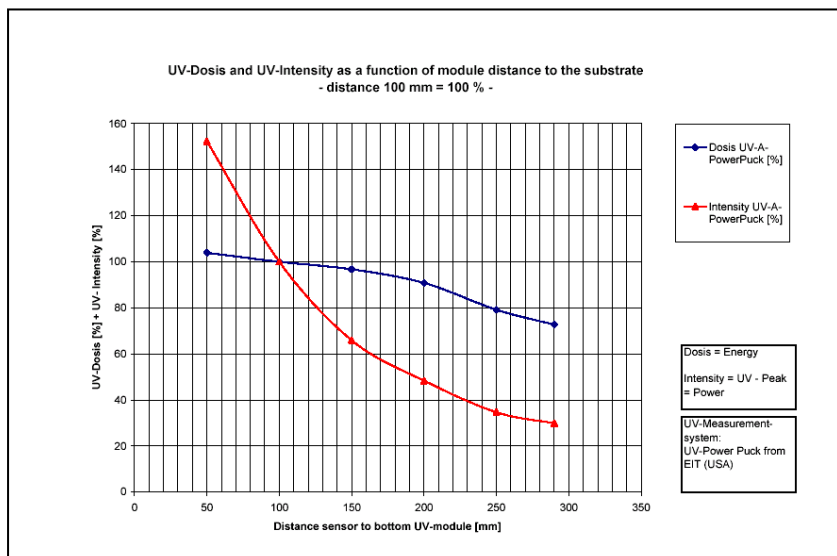
Energie (Dosis) = Strahlungsleistung x Einwirkzeit

Einheit: $[W/cm^2 \times s] = [Ws / cm^2] = [J / cm^2]$

Die spez. Energie ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

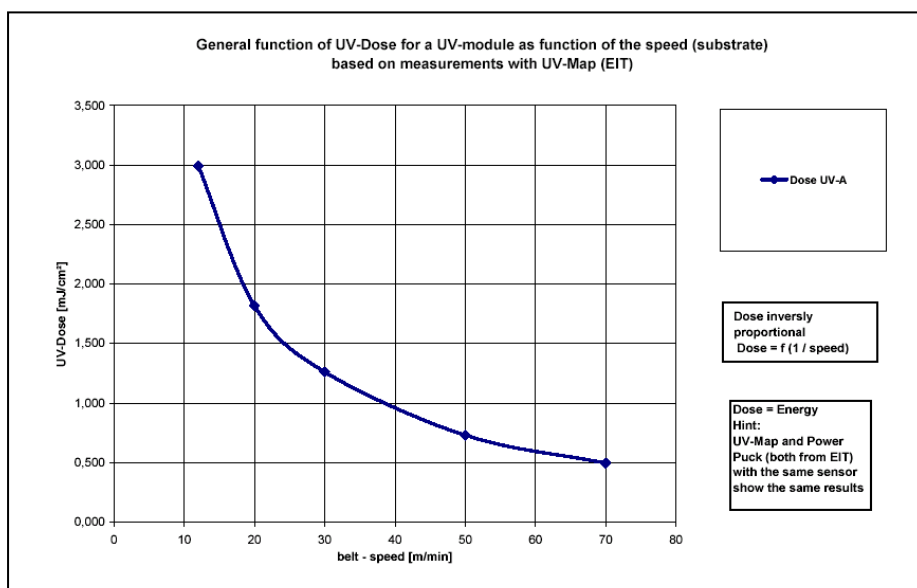
- von der spez. Strahlerleistung (proportional)
- von der Strahlercharakteristik (Standard Hg oder dotiert)
- von der Reflektorgeometrie und Reflektorgüte
- von der Zeiteinwirkung bzw. der Substratgeschwindigkeit

Die spez. Energie ist praktisch unabhängig von der Entfernung des UV-Modules / -Strahlers. Nur bei großen Entfernungen (>150 mm) werden geringere Dosiswerte gemessen (Der nicht mitgemessene Streulichtanteil wird zu groß)



Häufig liegt statt der Zeitangabe die Geschwindigkeitsangabe vor. Dann gilt:

Energie (Dosis) = Strahlungsleistung / Geschwindigkeit
 Einheit: $[W/cm] / [cm/s] = [Ws / cm^2] = [J / cm^2]$



4.4 Die verschiedenen Meßsysteme im UV-Bereich

4.4.1 Meßsysteme mit Halbleiter-Sensoren

Es stehen viele verschiedene Meßsysteme zur Verfügung. Jedes dieser Systeme hat seine spezifischen Randbedingungen. Die Systeme werden nicht im einzelnen erläutert. Es soll nur aufgezeigt werden, worauf man bei den Messungen generell achten sollte.

Punktuelle Messungen im Strahlungsbereich (Intensität [W/cm^2])

Meßköpfe

Meßstäbe

- Messungen mit diesen Systemen bedürfen einer genauen mechanischen Fixierung, so daß immer am gleichen Punkt gemessen wird. Hierbei ist auch der Winkel zu berücksichtigen, mit dem der Sensor auf die Strahlenquelle gerichtet ist.
- Meßköpfe und Meßstäbe – direkt im Strahlungsbereich. Durch die hohen Strahlungsleistungen sind nur kurzzeitige Messungen möglich, Dauermessungen sind nur mit speziell dafür ausgelegten gekühlten Meßsystemen möglich.

Durchlaufmeßgeräte (Intensität und / oder Dosis)

- Diese Meßsysteme werden meistens bei Förderbändern eingesetzt. Sie ermöglichen alle notwendigen Messungen: Intensität / Dosis und teilweise Aufzeichnung des Strahlungsprofils
- Wichtig bei diesen Systemen, die Meßrate (Anzahl der Messungen pro Sekunde). Sie muß im Verhältnis zur Meßgeschwindigkeit ausreichend groß sein, damit die Strahlungsverteilung korrekt bewertet wird.
Beispiel: Bei 60 m/min (= 1,0 m/s), einer Modulbreite von 100 mm, ergibt sich eine Verweilzeit innerhalb der 100 mm von 100 ms. Um überhaupt etwas einigermaßen korrekt zu messen, werden 5 Messungen auf diesen 100 mm angenommen. Das Meßgerät muß dazu also eine Mindestmeßrate (Sampling rate) von $5 \times 100 = 500$ Werte/s haben.

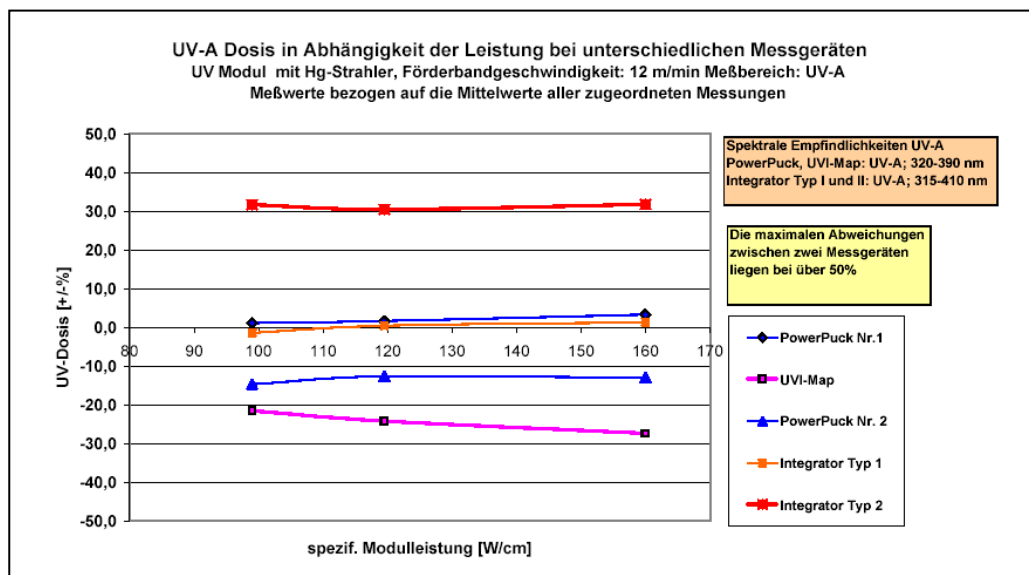
Insgesamt ist bei diesen Meßgeräten zu berücksichtigen:

- Temperaturbelastbarkeit der Systeme (Kurzzeitmessung, Dauermessung)
- Reinhaltung der Meßoptik (Reinigung, bei festen Installationen: Blasluft oder Stickstoffspülung)
- Meßbereich, Sensitivität als Funktion der Wellenlänge
- Kalibrierungsstandard

Meßtoleranzen

- Die Toleranzangaben werden vom Benutzer der Systeme häufig nicht wahrgenommen, sondern die Werte der digitalen Anzeige als die "Wahrheit" betrachtet
- Die Toleranzen der Systeme liegen nach den Bedienungsanleitungen ("Manuals") im Bereich +/- 5%, bis +/- 10%.

- Diese Werte sind nach unseren Erfahrungen für ein einzelnes Meßsystem mit wiederholbaren Messungen auch unter Beachtung aller notwendigen Parameter möglich. Allerdings gelten Sie nicht im Vergleich zu anderen Meßsystemen.
 - Gleiche Meßgeräte vom gleichen Hersteller weichen bis zu 15 / 20 % voneinander ab. Der Vorteil bei einem solchen Vergleich ist, daß die Abweichung relativ konstant ist, da die gleiche Optik/Filter und das gleiche Kalibrierverfahren verwendet wird.
 - Vergleiche mit anderen Fabrikaten sind nur mit entsprechenden Kalibrierungsmessungen möglich. Die Abweichungen können größer als 100% werden



4.4.2 Meßstreifensysteme, basierend auf chemischen Vorgängen

Neuerdings stehen einige "Meßsysteme" in der Art eines Meßstreifens, der auf das zu bestrahlende Produkt geklebt wird, zur Verfügung. Die Einsatzmöglichkeiten sind deshalb fast unbegrenzt.

Mit diesen Systemen sind nur Dosismessungen möglich. Jedes dieser Systeme hat ebenfalls seine spezifischen Randbedingungen.

- Es lassen sich nur eingegrenzten Dosiswertebereiche messen, da eine Überhitzung, bedingt durch die Strahlungsabsorption, vermieden werden muß
- Vorteil: Die Systeme messen direkt auf Substrathöhe. Es kann eine Messung in Bogenoffsetmaschinen erfolgen, was mit Durchlaufmeßgeräten nicht möglich ist. Anwenderhinweise für diese Messungen stehen bei Eltosch zur Verfügung
- Eine Kalibrierung ist größtenteils nicht vorhanden, die Ergebnisse der Systeme sind nicht miteinander vergleichbar

Meßtoleranzen

- Bei den Streifenmeßsystemen ist die Streuung der Meßwerte größer als bei den bisher betrachteten Halbleitersensoren.
- Seit Jahren befindet sich nur ein System mit einem Meßgerät als Auswerteeinheit am Markt (Radcheck). Es wird die Extinktion (Durchlässigkeit des Streifens) vor und nach der Bestrahlung gemessen und ins Verhältnis gesetzt. Die Streifen reagieren hauptsächlich auf UV-A. Diese Messungen haben nach unseren Erfahrungen eine Meßtoleranz von durchschnittlich +/- 20 - 25%. Es erfolgt keine direkte Angabe der Dosiswerte. Der Kunde kann sich bei Bedarf seine eigene Kalibrierung mit einem direkt anzeigenden Meßgerät machen. Für eine Auswertung ist nur der Quotientenbereich von 0,15 bis 0,8 sinnvoll.
- Die Systeme mit Farbumschlag sind nur unter Beachtung der Einhaltung sehr vieler Parameter (z.B. Vermeidung der Bestrahlung durch Leuchtstoffröhren) als Meßsystem brauchbar.
- Ein neues System ist deshalb eine wesentliche Bereicherung der Streifenmeßgeräte. Die Toleranzen des Tesa-Hönle Meßsystems liegen im Bereich +/- 15% und damit signifikant besser als die bisherigen Systeme. Die Bedienung ist ebenfalls sehr viel einfacher. Die Dosisangabe erfolgt direkt digital am Meßgerät. Es sind keine zwei Messungen notwendig wie beim Extinktionsmeßgerät. Das System ist auf die PTB rückführbar. Das System arbeitet im UV-C Bereich. Neben der relativen Toleranz ist die absolute +/- 5 mJ/cm² bei kleinen Meßwerten zu berücksichtigen. Der Meßwert sollte möglichst zwischen 40 – 120 mJ/cm² liegen.

5 Grenzen der Messungen und deren Vergleichbarkeit untereinander

In der Praxis werden immer wieder Dosiswerte gefordert, die nicht verwertbar sind, da die notwendigen Parameterangaben fehlen.

Achtung wichtiger Hinweis: Es ist nicht möglich, aufgrund der Angabe eines Dosiswertes die Härtung (Farbe / Lack / Beschichtung) zu garantieren! Es sind zu viele Parameter an dem Prozeß beteiligt! Neben der Dosis ist auch die Intensität, das Wellenlängenspektrum und die Temperatur für die Härtung von entscheidender Bedeutung.

Dosiswerte können nur eine Hilfestellung für die Auslegung der Anlage darstellen. Sie stellen, wie auch die Intensitätswerte, eine gute Möglichkeit zur Anlagenüberwachung dar.

Wenn eine Angabe von Dosiswerten zur Härtung von Farben etc. erfolgt, dann sind unbedingt folgende zusätzliche Daten notwendig:

- Meßsystem: Hersteller, Geräte- + Sensortyp, Meßbereich, Toleranz, Kalibrierung

Meßbedingungen (UV-Strahlertyp, Dotierung, wenn ja, welche)

Weitere ergänzende Daten sinnvoll: UV-System – fokussierend oder breitstrahlend, Transportgeschwindigkeit des Sensors, Abstand des Sensors zum Bestrahlungssystem

Mit diesen Werten kann eine UV-Anlage grob ausgelegt werden, wenn das angegebene Meßsystem bekannt ist. Ansonsten bleibt nur eine Kalibrierung der Meßsysteme untereinander.

Meßsysteme mit Halbleitersensoren:

Messungen in den Maschinen

Es sind praktisch nur Relativmessungen möglich, d.h.

Messungen mit immer demselben Meßgerät bei gleichen Bedingungen, insbesondere gleicher Geschwindigkeit, gleichen Meßabständen und gleichen Modultypen.

Neues System = 100 %

Immer mehrere Messungen durchführen, Mittelwertbildung.

Mindestens 2 Stck., so kann sofort erkannt werden, ob sich ein "Ausreißer" dabei befindet und ob die Messung wiederholt werden muß.

Absolutmessungen und vergleichende Messungen sind nur vom Fachmann unter Beachtung vieler Parameter möglich. Diese Messungen erfolgen am besten außerhalb der Maschine im Meßlabor.

Meßsysteme mit UV-Meßstreifen

Messungen in den Maschinen und auf Transportbändern

Es sind nur Relativmessungen möglich!

Messungen mit immer demselben Meßgerät unter gleichen Bedingungen, insbesondere gleicher Geschwindigkeit, gleichen Meßpositionen, Meßabständen, Modultypen und gleichen Modulpositionen durchführen.

Neues System = 100 %

Immer mehrere Meßstreifen verwenden, Mittelwertbildung.

Am besten 3 Stck. so kann sofort erkannt werden, ob sich ein "Ausreißer" dabei befindet und welches der korrektere Meßwert ist.

Absolutmessungen und vergleichende Messungen sind nicht zulässig.

Die Ursache liegt in der chemischen Umsetzung der Strahlung im Sensor. Die Praxis hat gezeigt, daß auch verschiedene Modultypen ein und desselben Herstellers bei gleichen Strahlerleistungsbedingungen nicht verwertbare Ergebnisse liefern, obwohl die Strahlungsmessung mit einem entsprechenden UV-Meßgerät mit Halbleitersensoren als vergleichbar einstuft.

6 Appell für bessere Bedienungsanleitungen der Meßgeräte mit Schwerpunkt der Handhabung und Aufzeigen der Einsatzgrenzen

Es fehlen häufig Basisinformationen für den Benutzer, Angabe des Wellenlängenbereiches, spektrale Empfindlichkeit des Sensors

Hinweise auf die minimale und max. Durchlaufgeschwindigkeit bei Durchlaufmeßgeräten

Hinweise auf die notwendige immer gleiche Ausrichtung von Meßköpfen auf die Strahlereinheit

Mehrfachmessungen und Bildung von Mittelwerten empfehlen

Grenzen des Meßsystems aufzeigen

Handhabung für eine korrekte Anwendung darstellen

7 UV-Messungen notwendig und sinnvoll, trotz der relativ großen Meßfehler toleranzen, siehe auch Folie über die Kundenmessung

- Die relativ großen Toleranzen sind leider da und lassen sich nicht wegdiskutieren. Sie können durch korrekte Anwendung der Meßsysteme in einem vertretbaren Rahmen gehalten werden.
- Durch Aufklärung der Bediener über die Meßmethodik können Fehler vermieden werden.
- Die UV-Messung zur Qualitätskontrolle der in sich Betrieb befindlichen UV-Anlagen ist in Zukunft unumgänglich. Nur durch diese Maßnahme kann die mit der Betriebszeit schleichende Leistungsreduzierung, hauptsächlich durch Verschmutzung bedingt, meßtechnisch erfaßt werden.
- Nur durch Anwendung der Methode kann diese im Laufe der Zeit verbessert werden.

8 UV-Meßtechnik - Informationen

Bitte schreiben Sie Ihre Meinung zu diesem Thema an

Wolfgang Mohr, Eltosch Torsten Schmidt GmbH

E-Mail: wolfgang.mohr@eltosch.de

Ebenfalls stehe ich gerne für weitere Fragen zum allgemeinen Thema UV-Meßtechnik oder Detailfragen zum Vortrag zur Verfügung.

Wolfgang Mohr
Im Oktober 2009