

# Sonnenscheindetektor

## Intelligente Lösung für die Bestimmung direkter Sonnenstrahlung

**Kostengünstige Miniatursensoren spielen nicht nur im Bereich der sensor-  
netzwerk-basierten Messtechnik eine große Rolle. Meist eröffnen sich neue  
Einsatzgebiete, die aufgrund der Kosten herkömmlicher Sensorik nicht  
denkbar wären.**

Neue Gebäudekonzepte müssen durch aufwändige Messungen in Bezug auf Energieeffizienz und Energieverbrauch analysiert werden. Seit 2006 wird die EU-Richtlinie 2002/91 »Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden« in nationales Recht als EnEV umgesetzt. Dabei ist unter anderem die Tageslichtnutzung in Gebäuden zu erfassen und zu bewerten. Diese Verordnung beruft sich zusätzlich auf die Vornorm DIN 18599 »Energetische Bewertung von Gebäuden«. Neben Energieeinsparung trägt die Tageslichtnutzung aber auch zu gesunden und umweltgerechten Arbeitsplätzen bei.

Nach der EU-Richtlinie 89/654/EWG »Mindestvorschriften für Arbeitsstätten«, die durch die Arbeitsstättenverordnung ArbStättV ins deutsche Recht umgesetzt wird, müssen Arbeitsstätten möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein. Nach BGR 131 fordern die Berufsgenossenschaften daher Tageslicht in Bürogebäuden und nunmehr auch einen verstärkten Einsatz von Tageslicht für Industriebauten.

Für eine effektive Nutzung des Tageslichtes in Innenräumen ist es von großer Bedeutung, den aktuellen Himmelszustand zu erfassen, um eine optimale Nutzung der angebotenen Strahlung zu gewährleisten. Prinzipiell kann zwischen bedeckten und klaren Himmelszuständen respektive diffuser und direkter Sonnenstrahlung unterschieden werden. Sonnenschein ist von der World Meteorological Organization defi-

niert als das Vorhandensein einer Bestrahlungsstärke der Sonne mit einem direkten Anteil von mehr als  $120 \text{ W/m}^2$  auf einer senkrecht zur Sonne stehenden Ebene. Dieser Wert steigt an klaren Tagen auf über  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Um Sonnenschein sicher zu erkennen, muss die Bestrahlungsstärke aus Richtung der Sonne gemessen und die übrige Himmelsstrahlung ausgeblendet werden. In Wetter- bzw. Tageslichtmessstationen werden für diesen Zweck Pyrheliometer eingesetzt. Diese erfassen die direkte Bestrahlungsstärke (in  $\text{Wm}^{-2}$ ) aus der Sonnenrichtung.

der Messgeräte und deren Größe. Bedingt durch den kleinen Öffnungswinkel und der Definition des Sonnenscheins, müssen die Messköpfe ständig der Sonne nachgeführt werden. Dies erfordert neben einer exakten Bestimmung der Position und der Ortszeit ein präzises Positioniersystem. Pyrheliometer sind darauf ausgelegt, die absolute Sonnenbestrahlungsstärke zu erfassen, welche in vielen Anwendungsbereichen nicht benötigt wird. Vielmehr reicht es aus, zwischen bedecktem und klarem Himmel zu unterscheiden. Man ist damit in der Lage, ein Tageslichtlenksystem zu regeln oder bereits existierende Systeme in Hinblick auf deren Funktion zu überprüfen.

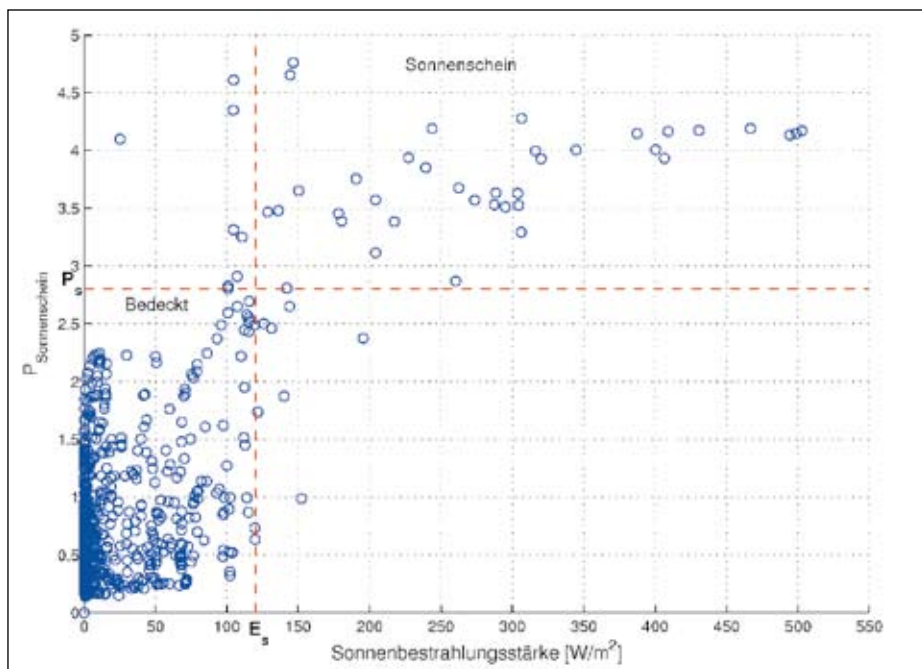
Neben Pyrheliometern existieren einfache Tageslichtmessköpfe für die



▲ Abb. 1: 3D-Modell des Sonnenscheinsensors

Strahlungsleistung wird dabei von einem Thermoelement, einer schwarzen Thermosäule oder einem schwarzen Hohlraumkörper absorbiert und in Wärmleistung umgewandelt, die zu einer Temperaturerhöhung führt, welche proportional zur Strahlungsleistung ist. Systeme zur absoluten Messung vergleichen die absorbierte Strahlungsleistung mit der elektrischen Heizleistung, mit welcher der Absorber auf gleiche Temperatur gebracht wird. Ein gravierender Nachteil der genannten Messmethode ist die Komplexität

Steuerung von Jalousiesystemen. Sie verfügen meist nur über einen photoelektrischen Sensor, mit dem eine Unterscheidung zwischen direkter und indirekter Himmelsstrahlung nicht möglich ist. Photoelektrische Sensorensysteme umfassen meist mehr als vier Sensoren und müssen zudem für eine Bestimmung des Himmelszustandes nach Süden ausgerichtet werden. Für die meisten Regelungsprobleme ist der Himmelszustand an dem jeweiligen Fassadenseitenteil ausreichendes Kriterium für die Steuerung des Tages-



▲ Abb. 2: Vergleich zwischen Sonnenwahrscheinlichkeit und Sonnenbestrahlungsstärke

lichtsystems. Folglich benötigt man einen sehr kleinen, feststehenden, spektral und Himmelsrichtung unabhängigen Fassadensensor, der mit einer Wahrscheinlichkeit von über 98 % direkten Sonnenschein auf der Fassade erkennen kann. Erste Untersuchungen ergaben eine Mindestanzahl von drei Sensoren, um die geforderte Genauigkeit zu erreichen. Besonders wichtig ist die Anordnung und Abgrenzung der Sensorflächen zueinander. Das Ergebnis ist ein Detektor, der aus drei einzelnen Photoelementen besteht, die in einem fest definierten Winkelverhältnis zueinander angeordnet sind. Aufgrund der kleinen Bauweise und der Verwendung handelsüblicher Miniatorsensoren sind die Kosten für die Herstellung des Sonnenscheindetektors gering.

### Aufbau des Sonnenscheindetektors

Der Sonnenscheindetektor besteht aus drei gleichen Si-Photoelementen, die auf einem Sensorhalter untergebracht sind und speziell für die Anbringung an einer Fassade entwickelt wurden. Die Größe und Form ist durch vier Winkel eindeutig definiert: Der Öffnungswinkel der Blenden, den maximalen

Höhenwinkel der Sonne am Standort, den Anstellwinkel der Sensoren und den Winkel zwischen Blende und dem Mittelpunkt der Photoelemente. Der maximale Höhenwinkel in Berlin beträgt ca. 63°. Zusammen mit dem Winkel zwischen Schatter und der imaginären Linie von Sensormittelpunkt zur Außenkante des Schatters in der horizontalen Ebene ist die Ausdehnung des Gesamtsensors festgelegt. Der Anstellwinkel ist die Winkelhalbierende des maximalen Höhenwinkels. Dabei ist es nicht notwendig, den gesamten Azimutwinkelbereich abzudecken. Bei exakter Südausrichtung reicht eine Öffnung des Sensors von Ost nach West (180°). Daraus berechnen sich die Öffnungswinkel der Sensoren mit jeweils 60°.

Um ein über einen großen Messbereich lineares Verhalten der Sensoren zu erreichen, wurden Silizium-Photodioden als Photoelemente betrieben. Der resultierende Photostrom ist über mehrere Größenordnungen linear zur Bestrahlungsstärke und kann ohne weitere Beschaltung über einen A/D-Wandler in einen digitalen Wert umgewandelt werden. Da das Verhältnis der Bestrahlungsstärke der Einzelsensoren Aufschluss über die Wahrscheinlichkeit

eines bedeckten bzw. klaren Himmels liefert, ist es wichtig, die Abweichung untereinander zu minimieren. Dies kann über eine separate Auswahl eines Triplets, unterschiedliche Anpassungen der Verstärkungsfaktoren der Photoelemente oder eine softwareseitige Korrektur der Sensorwerte realisiert werden. Liegen die gemessenen Werte  $E_{S1}$ ,  $E_{S2}$ ,  $E_{S3}$  der Sensoren vor, kann eine Wahrscheinlichkeit des Himmelszustandes mit

$$P_{\text{Sonnenschein}} = \max(x_1, x_2, x_3) - \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^3 x_i$$

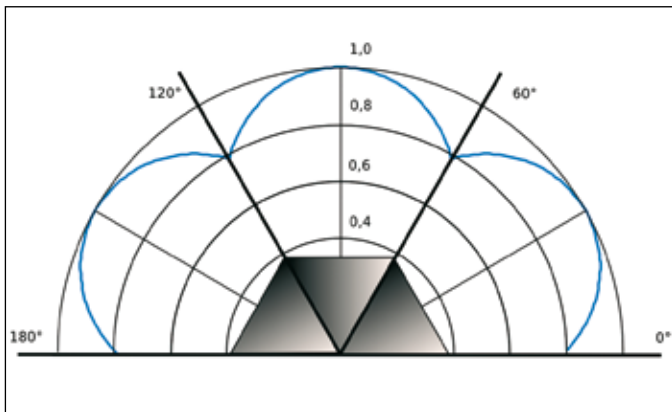
mit

$$x_1 = \frac{E_{S1}}{E_{S2}}, x_2 = \frac{E_{S2}}{E_{S3}}, x_3 = \frac{E_{S3}}{E_{S1}}$$

berechnet werden. Der erste Term bestimmt über das Maximum der Quotienten der Bestrahlungsstärken die Hauptwahrscheinlichkeit des Sonnenscheins. Der zweite Term ist für die Anpassung an kleine Bestrahlungsstärken und die Verringerung der Streuung verantwortlich.

### Tests

Diffuse Strahlung eines bedeckten Himmels erzeugt keinen Schatten, die gemessenen Bestrahlungsstärken haben deshalb bei unverbautem Himmel für alle Richtungen ähnliche Werte. Bei klarem Himmel hingegen unterscheiden sich die Bestrahlungsstärken stark voneinander. Ein Vergleich von 2.200 Messwerten mit einem kalibrierten Pyrheliometer zeigt ein eindeutiges Verhalten. Die aus der Berechnungsvorschrift resultierenden Wahrscheinlichkeiten  $P_{\text{Sonnenschein}}$  liegen ab einer Bestrahlungsstärke von  $120 \text{ Wm}^{-2}$  in Sonnenrichtung oberhalb eines festen Schwellwertes. Im Bereich um  $120 \text{ Wm}^{-2}$  sind Unsicherheiten der Sonnenscheindetektion zu erkennen. Die relative Gesamtunsicherheit liegt bei 0,6 % aller Messwerte. Neben der Berechnung und der Funktion des Sonnenscheindetektors ist auch eine Betrachtung der richtungsabhängigen Bewertung und deren Einfluss auf die Genauigkeit von Bedeutung. Eine Messung der Winkelabhängigkeit der Sensoren in Bezug auf den Detektor ergab die erwartete Zusammenschal-



▲ **Abb. 3: Richtungsabhängigkeit des Detektors**

tung der Einzelempfindlichkeiten. In Abbildung 3 ist die Zeichnung des Sensorsystemes über die Grafik der richtungsabhängigen Empfindlichkeit gelegt, um den direkten Bezug der Gesamtempfindlichkeit auf die Sensoren zu verdeutlichen. Die richtungsabhängige Bewertung hat jedoch nur geringen Einfluss auf die Gesamtfunktion des Detektors. Bei vollständig bedecktem Himmel sind die Messwerte vergleichbar und damit die Quotienten  $X_n$  nahe dem Wert 1. Bei klarem Himmel ist mindestens ein Sensor verschattet und ein Sensor direkt bestrahlt, so dass der Wert eines Quotienten steigt. Bei einer richtungsabhängigen Einstrahlung sind die Sensorwerte demzufolge divergent und beeinflussen nicht die Genauigkeit des Detektors.

## Fazit

Ein einfacher, kostengünstiger Aufbau von drei Photoelementen kann mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit detektieren, ob direkte Sonnenstrahlung vorhanden ist. Die Unterscheidung zwischen diffuser und direkter Sonnenstrahlung ist möglich. Durch die gleichzeitige Verwendung sehr kleiner Photoelemente ist der Detektor für Anwendungen im Embedded-Bereich einsetzbar, und die zugrunde liegenden Berechnungsverfahren können sowohl direkt in einem Mikroprozessor als auch nachträglich von einem PC ausgeführt werden.

## ► INFO

Autoren:  
Heiko Herzberg, H. Kaase

Kontakt:  
Dipl.-Ing. Heiko Herzberg  
Technische Universität Berlin  
Fakultät IV  
Fachgebiet Lichttechnik, Sekr. E6  
Einsteinufer 19  
10587 Berlin  
Tel.: 030 314 78515  
Fax 030 314 22161  
E-Mail: heiko.herzberg@tu-berlin.de