

Verfahren zur Bewertung der Erfassungscharakteristik von Passiv-Infrarot-Bewegungsmeldern

Jens-Olaf Lang, DIAS Infrared GmbH
Rainer Rosch, Robert Zapp, Busch-Jaeger Elektro GmbH

1 Einleitung

Zur bedarfsorientierten Steuerung der Beleuchtung werden Schalter eingesetzt, die Lichtquellen automatisch ein- und ausschalten. Diese Schalter bieten Komfort, erhöhen die Sicherheit und helfen, Energie zu sparen. Wesentliche Anforderungen ergeben sich aus den folgenden Beispielen, die typische Anwendungen beschreiben:

- Ein Hauseingang wird beleuchtet, sobald sich eine Person im Eingangsbereich aufhält. Dies erfreut willkommene Gäste, schreckt aber ungebetene Zeitgenossen ab.
- In Fluren und Treppenaufgängen soll das Licht nur eingeschaltet werden, wenn sich dort wirklich jemand bewegt. Sonst reicht eine geringe Notbeleuchtung.
- Kellerräume betritt man häufig mit irgendwelchen Dingen in den Händen. Das automatisch eingeschaltete Licht beleuchtet Weg und gibt Sicherheit.

Die beschriebene Funktionalität erfordert somit einen Schalter, der Personen erkennt, das Licht beim Betreten eines festgelegten Erfassungsbereichs selbsttätig ein- und beim Verlassen des Erfassungsbereichs nach kurzer Zeit wieder ausschaltet. Dabei wird vorausgesetzt, dass der Schalter auch bei Dunkelheit Personenbewegungen sicher erkennt und das Einschalten der Beleuchtung übernimmt. Derartige Schalter sind „Bewegungsmelder“ [1], die auf der Grundlage unterschiedlicher physikalischer Prinzipien Bewegungen erfassen können. Die hier betrachteten Bewegungsmelder nutzen die von jedem Körper ausgehende Infrarotstrahlung und werden deshalb Passiv-Infrarot-Bewegungsmelder oder PIR-Bewegungsmelder genannt. Einen typischen PIR-Bewegungsmelder für den Außenbereich zeigt die Abbildung 1.

2 Funktionsprinzip eines Passiv-Infrarot-Bewegungsmelders

Jeder Körper mit einer vom absoluten Nullpunkt abweichenden Temperatur ist Quelle einer typischen elektromagnetischen Strahlung, die als Wärme- oder Temperaturstrahlung bezeichnet wird. Zur Beschreibung des Spektrums der emittierten Strahlung dient das Plancksche Strahlungsgesetz. Danach beschränkt sich das Emissionsspektrum von Objekten mit Temperaturen unterhalb von 700 K fast vollständig auf den infraroten Spektralbereich. Die Wärmestrahlung heißerer Körper ist dagegen auch vom Menschen visuell wahrnehmbar.

In unserer unmittelbaren Umgebung befinden sich unterschiedlichste Objekte, die in Abhängigkeit von der Zusammensetzung, der Oberflächenstruktur und der Temperatur eine charakteristische Wärmestrahlung abgeben. Sie bilden eine Infrarotstrahlungsszene, in der Objekte mit gleicher spektraler Ausstrahlung nicht unterschieden werden können.

Die vom Menschen ausgehende Wärmestrahlung ergibt sich vor allem aus der konstanten Temperatur des Körperkerns von ca. 37 °C und dem Emissionsgrad der Haut, der bei Wellenlängen größer 5 µm zwischen 0.93 und 0.98 liegt. Zusätzlichen Einfluss hat die Bekleidung des Menschen, die jahreszeitbedingt bestimmte Regionen des Körpers abdeckt. Die variable Temperatur unbelebter Objekte wird dagegen fast ausschließlich von den klimatischen Bedingungen bestimmt. Dadurch besteht in der mitteleuropäischen Klimazone nahezu immer ein auswertbarer thermischer Kontrast zwischen der

Wärmestrahlung des Menschen und seiner Umgebung, der nachts, aufgrund der geringeren Umgebungstemperatur, besonders stark ausgeprägt ist.

Bewegungen des Menschen können folglich auch im infraroten Spektralbereich beobachtet werden. In einem abgegrenzten Raumwinkel, der von einer Person durchquert wird, verursacht die Bewegung eine zeitliche Änderung der abgegebenen Strahlungsleistung. PIR-Bewegungsmelder sind in der Lage, diese zeitlichen Strahlungsänderungen in bestimmten Bereichen des Raumes zu erfassen. Die einzelnen Bereiche, die Raumwinkel Ω_i , werden auch als empfindliche Zonen oder Keulen bezeichnet. Die Menge aller Raumwinkel Ω_i bildet die Erfassungscharakteristik des PIR-Bewegungsmelders.

Als Strahlungsempfänger werden in PIR-Bewegungsmeldern meist pyroelektrische Sensoren mit zwei kompensierten Elementen eingesetzt. Die Kompensation erfolgt durch Reihen- oder Parallelschaltung von empfindlichen Elementen mit gegensätzlicher Ausrichtung der Polarisation des Pyroelektrikums. Der Vorteil dieser Anordnung liegt in der Unterdrückung von Umgebungstemperatureinflüssen, die durch Konvektion, Wärmeleitung oder einfallende Wärmestrahlung die Temperatur beider empfindlicher Elemente gleichermaßen verändern.

Mit Hilfe einer Multilinse, die aus mehreren Linsensegmenten besteht, werden unterschiedliche Raumausschnitte auf die empfindlichen Elemente abgebildet. Dadurch entsteht eine Vielzahl von empfindlichen Zonen, in denen eine Strahlungsänderung erfasst werden kann. Um Transmissionsverluste zu reduzieren, sind die einzelnen Linsensegmente aus Polyethylen oft als Fresnellinsen ausgebildet.

Aufgrund des nutzbaren Öffnungswinkels verfügbarer pyroelektrischer Sensoren ist die horizontale und vertikale Ausdehnung des Erfassungsbereiches von PIR-Bewegungsmeldern mit einem Sensor auf ca. 120° begrenzt. Größere Erfassungsbereiche erfordern mehrere Sensoren oder den Einsatz spezieller Spiegel-Linsen-Kombinationen.

Das grundlegende Funktionsprinzip des PIR-Bewegungsmelders ist anschaulich rechts in der Abbildung 1 dargestellt. Eine Person durchquert den Erfassungsbereich und verursacht innerhalb der empfindlichen Zonen eine zeitliche Änderung des Strahlungsflusses $\Phi(t)$. Diese wird von den empfindlichen Elementen des Sensors empfangen und in eine Spannung $u(t)$ am Sensorausgang umgewandelt. Zur Signalauswertung dient meist ein Komparator, der das Überschreiten eines festgelegten Spannungswertes und damit eine erkannte Bewegung signalisiert. Mit dem resultierenden, binären Signal lassen sich ein Relais oder Triac ansteuern, die beispielsweise die Beleuchtung einschalten könnten.



Abbildung 1: Busch-Wächter® MASTER 220, Funktionsprinzip eines PIR-Bewegungsmelders

3 Messtechnische Bestimmung der Erfassungscharakteristik

Wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaften eines PIR-Bewegungsmelders hat die Erfassungscharakteristik, die sich aus einer Vielzahl von empfindlichen Zonen zusammensetzt. Aus der geometrischen Lage und der Anzahl der einzelnen Zonen ergibt sich die räumliche Ausdehnung des Erfassungsbereiches. Nur in diesem können Bewegungen mit einer festgelegten räumlichen Auflösung erfasst werden. Eine optimale Bewegungsdetektion im gesamten Erfassungsbereich erfordert

eine homogene Verteilung und gleichmäßige Empfindlichkeit der einzelnen Zonen, damit eine definierte Strahlungsänderung sicher als Bewegung interpretiert wird.

Zum Vergleich unterschiedlicher PIR-Bewegungsmelder werden in der Praxis oft sogenannte Gehtests durchgeführt. Dabei bewegt sich eine Person im vermuteten Erfassungsbereich und beobachtet das Schaltverhalten des PIR-Bewegungsmelders. Die Aufzeichnung aller erfassten Bewegungen liefert ein zweidimensionales Diagramm, das den Erfassungsbereich darstellt. Trotz der einfachen Durchführbarkeit ist diese Methode mit einigen Nachteilen verbunden. Diese liegen vorwiegend in der sich als Testobjekt bewegendem Person begründet. Deren individuelle Bewegungsabläufe, die variable Form der Bekleidung und unterschiedliche Umgebungsbedingungen führen zu erheblichen Messfehlern. Außerdem erfordert der Gehtest einen großen Versuchsraum, der nicht immer zur Verfügung steht.

Als Alternative wurde ein Messverfahren entwickelt, das eine reproduzierbare Messung der Erfassungscharakteristik von PIR-Bewegungsmeldern zulässt. Eine gute Möglichkeit zur Beschreibung der Erfassungscharakteristik eines PIR-Bewegungsmelders bietet die richtungsabhängige Spannungsempfindlichkeit

$$S_V(\varphi, \vartheta) = \frac{\tilde{u}_A}{\tilde{\Phi}(\varphi, \vartheta)}, \quad (1)$$

mit den Effektivwerten des Strahlungsflusses $\tilde{\Phi}$ und der Spannung \tilde{u}_A am Ausgang des Infrarotsensors. Zur Definition der Einfallsrichtung der Strahlung wird ein spezielles Kugelkoordinatensystem verwendet, das in Abbildung 2 dargestellt ist. Der Azimutwinkel φ und der Zenitwinkel ϑ bestimmen die Lage eines Raumwinkelements $d\Omega$, aus dem der Infrarotsensor Strahlung empfängt.

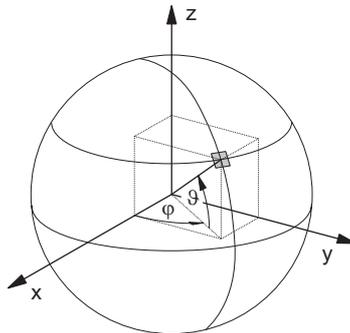


Abbildung 2: Kugelkoordinatensystem zur Beschreibung der Einfallsrichtung des Strahlungsflusses

Zur Berechnung der Spannungsempfindlichkeit S_V nach Gleichung (1) wird der Effektivwert der Spannung am Ausgang des pyroelektrischen Dualelementensensors im PIR-Bewegungsmelder bei definierter Bestrahlung aus unterschiedlichen Richtungen $r(\varphi, \vartheta)$ gemessen.

Als Strahlungsquelle dient ein schwarzer Strahler mit sehr kleiner Apertur, der aus Sicht des PIR-Bewegungsmelders nur einen Raumwinkel Ω von $9,6 \cdot 10^{-6}$ sr ausfüllt. Dies ermöglicht Schrittweiten von $0,5^\circ$ für die Winkel φ und ϑ und damit eine hohe räumliche Auflösung bei der Bestimmung der Spannungsempfindlichkeit S_V .

Da PIR-Bewegungsmelder nur auf Strahlungsänderungen reagieren, muss die emittierte Strahlung zeitlich moduliert werden. Hierfür wird ein mechanischer Chopper mit einer Sektorscheibe benutzt. Die eingestellte Modulationsfrequenz beträgt 10 Hz und liegt damit am oberen Ende des für PIR-Bewegungsmelder typischen Frequenzbereichs von 0,1 bis 10 Hz. Der zeitliche Verlauf der spezifischen Ausstrahlung ergibt sich aus der Form der Modulation. Für die verwendete rechteckförmige Modulation gilt:

$$M_s(t) = \sigma(T_s^4 - T_U^4) \frac{4}{2\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\sin((2m+1) 2\pi f_{Ch} t)}{2m+1} \quad (2)$$

mit der Strahlertemperatur T_s , der Umgebungstemperatur T_U und der Chopperfrequenz f_{Ch} .

Zur Festlegung der Einfallsrichtung werden zwei Drehmesstische mit Schrittmotor eingesetzt, die den PIR-Bewegungsmelder auf den Strahler ausrichten. Diese lassen sich über einen PC steuern und erlauben eine automatische Durchführung der Messung. Beide Drehmesstische mit dem darauf montierten PIR-Bewegungsmelder und den Bezug zu den Winkeln φ und ϑ zeigt die Abbildung 3.

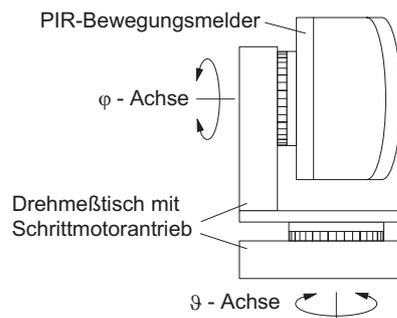


Abbildung 3: Kombination von Drehmeßtischen zur Positionierung des PIR-Bewegungsmelders

Die Auswertung der Spannung am Ausgang des pyroelektrischen Dualelementsensors erfolgt ebenfalls rechnergestützt. Effektivwert und Phase werden aus den digitalen Spannungswerten berechnet, in die ein Analog-Digital-Umsetzer das frequenzselektiv verstärkte Sensorsignal umwandelt. Das Referenzsignal zur Bestimmung der Phase generiert eine mit dem Chopper verbundene Lichtschranke. Da die kompensierten, empfindlichen Elemente eines Dualelementsensors bei gleicher Bestrahlung um 180° zueinander phasenverschobene Ausgangssignale liefern, kann anhand der Phasenlage das jeweils bestrahlte empfindliche Element eindeutig bestimmt werden. PIR-Bewegungsmelder mit komplexen optischen Systemen lassen sich dadurch wesentlich einfacher analysieren.

Die Steuerung des Messablaufs und die Visualisierung der Messwerte übernimmt ein speziell für diese Anwendung entwickeltes Programm. Vor Beginn einer Messung muss der Benutzer die vermutete Ausdehnung des Erfassungsbereichs in Form von Intervallen für die Winkel φ und ϑ angeben. Danach wird die Spannungsempfindlichkeit S_V für unterschiedliche Einfallsrichtungen $r(\varphi, \vartheta)$ im gesamten Bereich automatisch ermittelt. Die verwendete Schrittweite für die Winkel φ und ϑ beträgt $0,5^\circ$.

Trotz der geringen Messzeit von wenigen Sekunden für einen einzelnen Messwert erfordert die gesamte Messung einen relativ großen Zeitaufwand. Bei PIR-Bewegungsmeldern mit großem Erfassungsbereich kann sich dieser auf mehrere Tage belaufen.

Zur Auswertung der großen Datenmenge bieten sich ausschließlich graphische Methoden an. Dazu wird jedem Messwert der Spannungsempfindlichkeit $S_V(\varphi, \vartheta)$ ein Eintrag aus einer Farbskala zugeordnet. Mit den berechneten Farbwerten ließe sich dann die Oberfläche einer Kugel einfärben, die die exakte Lage der einzelnen empfindlichen Zonen wiedergibt. Zu einer wesentlich praktikableren Variante führt dagegen die in Abbildung 4 dargestellte Vereinfachung. Dabei wird der dem Erfassungsbereich entsprechende Ausschnitt aus der Kugeloberfläche in eine ebene Fläche umgewandelt. Alle Farbwerte für die Spannungsempfindlichkeit $S_V(\varphi, \vartheta)$ lassen sich dadurch in Form einer einfachen Bitmap-Graphik darstellen.

Als Beispiel ist in Abbildung 5 die gemessene Erfassungscharakteristik eines PIR-Bewegungsmelders mit einem Dualelementsensor und einer 3-Ebenen-Multifresnellinse dargestellt. Die beiden Farbskalen ermöglichen die Zuordnung von Farbwerten zur entsprechenden Spannung, die am Ausgang des Dualelementsensors bei definierter Bestrahlung gemessen wurde. Um die beiden empfindlichen Elemente voneinander zu unterscheiden, sind zwei unterschiedliche Farbskalen vorgesehen.

Die paarweise auftretenden Maxima markieren die Zonen, in denen eine Strahlungsänderung und folglich auch eine Bewegung erfasst werden kann. Sichtbare Unterschiede in der Empfindlichkeit resultieren vor allem aus dem unterschiedlichen Einfallswinkel, mit dem die Strahlung auf die empfindlichen Elemente auftrifft.

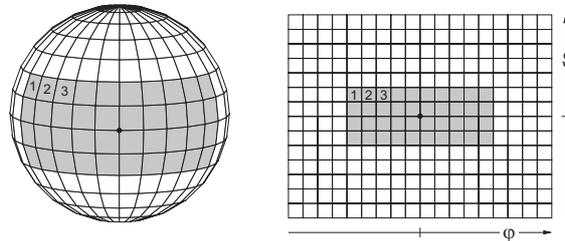


Abbildung 4: Transformation eines Ausschnitts der Kugeloberfläche in ein zweidimensionales φ - ϑ -Diagramm

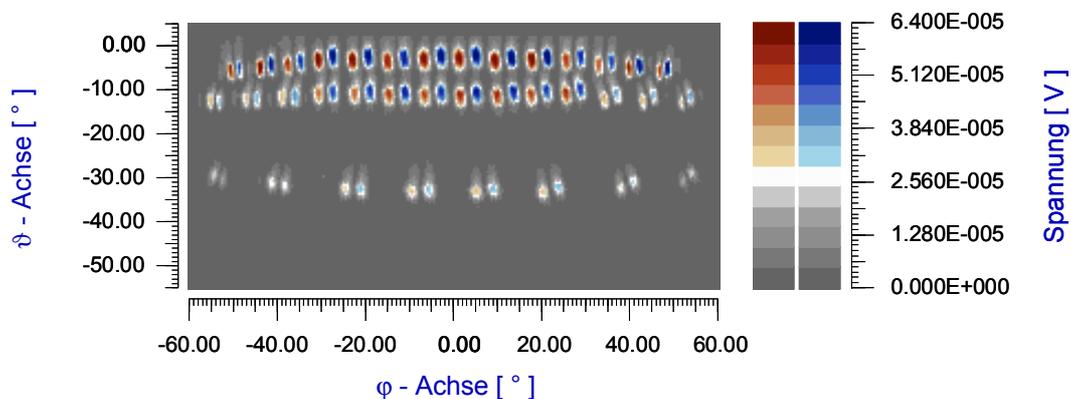


Abbildung 5: Erfassungscharakteristik eines PIR-Bewegungsmelders

4 Simulation des Erfassungsbereichs

Das beschriebene Messverfahren zur Bestimmung der Erfassungscharakteristik bietet die Möglichkeit, die exakte Lage und Empfindlichkeit der einzelnen Zonen zu überprüfen. Es ist demzufolge ein Werkzeug, das ausschließlich vom Entwickler zur Optimierung des PIR-Bewegungsmelders benutzt wird. Der Anwender benötigt dagegen Unterstützung bei der Auswahl und sachgemäßen Montage des PIR-Bewegungsmelders. Als praktisches Hilfsmittel entstand deshalb die Busch-Wächter CAD-Planungssoftware, die die räumliche Lage der einzelnen empfindlichen Zonen unterschiedlicher PIR-Bewegungsmelders veranschaulicht.

Aus den geometrischen Daten des PIR-Bewegungsmelders, der Erfassungscharakteristik und den Koordinaten des begrenzenden Raumes berechnet das Simulationsprogramm eine dreidimensionale Ansicht mit farbigen Drahtgittermodellen. Diese Ansicht lässt sich interaktiv beeinflussen und kann gleichzeitig in mehreren Fenstern dargestellt werden. Den Standort des Beobachters und den Maßstab der Darstellung gibt der Benutzer vor. In unterschiedlichen Fenstern lassen sich dadurch der vergrößerte PIR-Bewegungsmelder und der gesamte Erfassungsbereich gleichzeitig betrachten.

Die Ausrichtung des PIR-Bewegungsmelders ergibt sich aus mehreren Parametern, die vom jeweiligen Bewegungsmeldertyp abhängen. Als Beispiel zeigt die Abbildung 6 die Einstellmöglichkeiten beim Busch-Wächter MASTER 220. Mit zwei beweglichen Gelenken und der variablen Montagehöhe bietet dieser PIR-Bewegungsmelder vielfältige Möglichkeiten, den Erfassungsbereich an die individuellen

Anforderungen des Kunden anzupassen. Die Busch-Wächter CAD-Planungssoftware erlaubt es, die entsprechenden Einstellungen vor der Montage des PIR-Bewegungsmelders am Computer auszuprobieren. Dadurch fördert sie das Verständnis beim Anwender und hilft, Justagefehler zu vermeiden.

Einen Eindruck von der Busch-Wächter CAD-Planungssoftware vermittelt die Abbildung 7. Im großen Fenster ist der simulierte Raum mit einem Teil der empfindlichen Zonen im Nahbereich des PIR-Bewegungsmelders zu erkennen. Auf die Darstellung der gesamten Erfassungscharakteristik muss hier leider verzichtet werden, da dies zu sehr komplexen Bildern führt. Das zweite, kleinere Fenster zeigt einen Ausschnitt mit dem vergrößerten Drahtgittermodell des PIR-Bewegungsmelders. Die umfangreichen Möglichkeiten zur Beeinflussung der Programmparameter verdeutlichen die Schaltflächen in der oben angeordneten Symbolleiste.

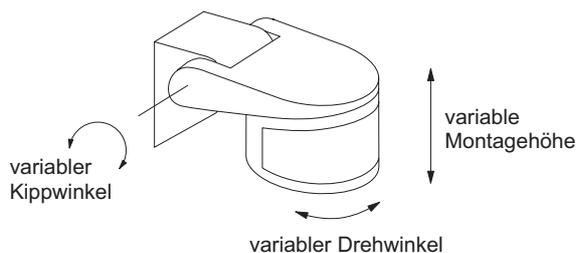


Abbildung 6: Parameter bei der Montage eines PIR-Bewegungsmelders

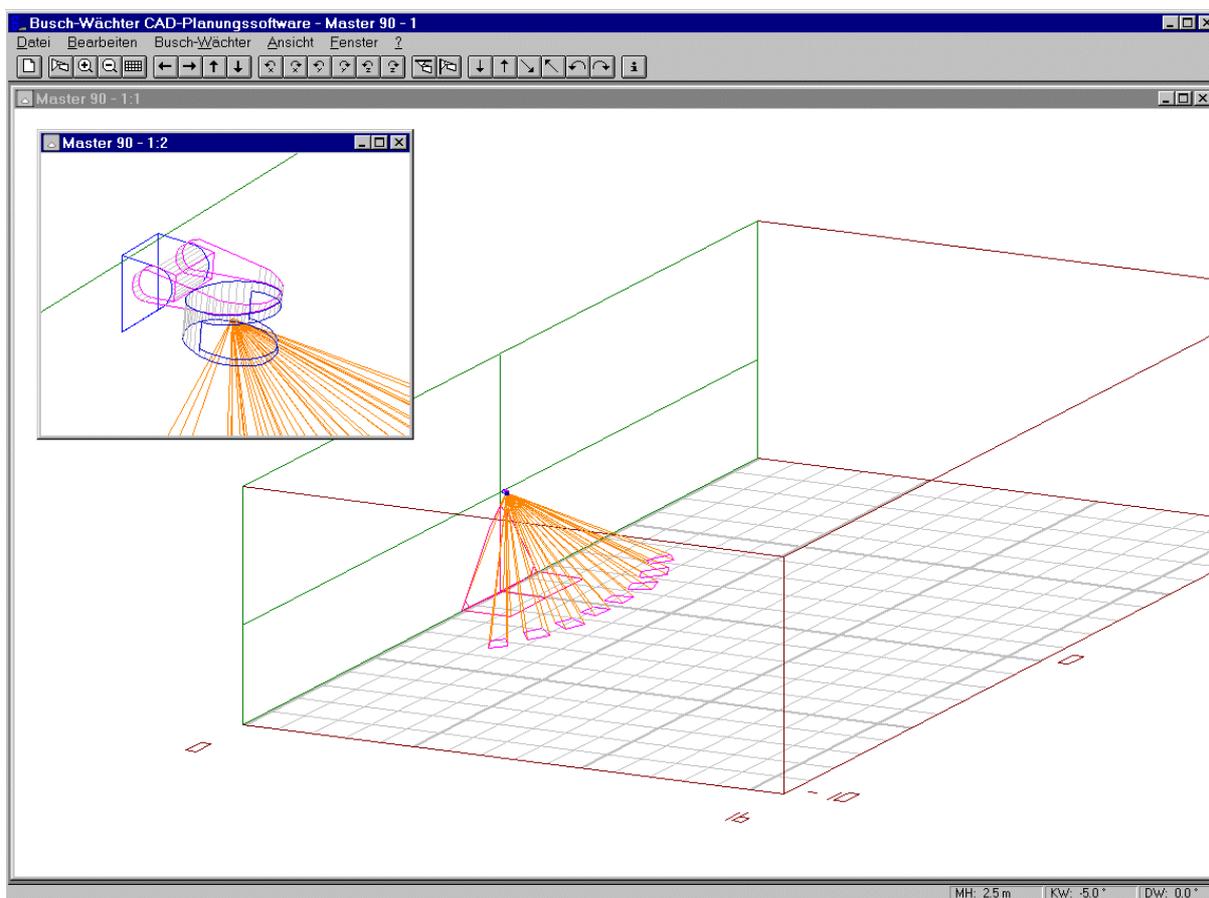


Abbildung 7: Busch-Wächter CAD-Planungssoftware – Dreidimensionale Darstellung von PIR-Bewegungsmelder und Erfassungscharakteristik

5 Zusammenfassung

Der Beitrag stellt ein Messverfahren zur reproduzierbaren Bestimmung der Erfassungscharakteristik von PIR-Bewegungsmeldern vor, das in der Hand des Entwicklers ein leistungsfähiges Werkzeug zur Optimierung darstellt. Gleichzeitig liefert dieses die Daten für ein interaktives Simulationsprogramm zur dreidimensionalen Darstellung der Erfassungscharakteristik. Wesentliche Eigenschaften des PIR-Bewegungsmelders lassen sich dadurch schon im Vorfeld der Geräteentwicklung bewerten. Zusätzlich bietet es auch dem Anwender die Möglichkeit, den Erfassungsbereich des PIR-Bewegungsmelders optimal an die Bedingungen des Einsatzortes anzupassen.

6 Literatur

- [1] Rosch, R., Zapp, R. und Hofmann, G.: *Passiv-Infrarotbewegungsmelder – Automatisches Schalten und Überwachen*. Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1996.