



*GEBRAUCHSANLEITUNG*

**CM**6B

**CM**7B

**PYRANOMETER / ALBEDOMETER**



0305 213



### WICHTIGE INFORMATION FÜR DEN ANWENDER

Um die Funktionsweise dieses Produktes zu verstehen und seine Möglichkeiten voll auszunutzen, empfiehlt es sich, die vorliegende Bedienungsanleitung sorgfältig durchzulesen.



An verschiedenen Stellen des Textes ist das obenstehende Zeichen eingefügt. Es soll jeweils auf einen wichtigen Sicherheitshinweis oder auf einen Hinweis bezüglich der Bedienung oder Wartung des Gerätes aufmerksam machen.

Fall Sie irgendwelche Anmerkungen zu dieser Bedienungsanleitung machen möchten, wären Kipp & Zonen für eine entsprechende Mitteilung dankbar.

Kipp & Zonen behält sich vor, Änderungen der Gerätespezifikationen ohne vorherige Mitteilung vorzunehmen.

### GARANTIE UND HAFTUNG

Kipp & Zonen garantiert, dass das gelieferte Gerät vollständig den angegebenen Spezifikationen entspricht. Die in den Lieferbedingungen aufgeführte Garantieleistung wird nur erbracht, wenn das Gerät gemäß den mitgelieferten Vorschriften installiert wurde und entsprechend der Bedienungsanleitung betrieben wird.

Kipp & Zonen haftet nicht für Schäden außerhalb des Gerätes, sowie für Folgeschäden, die durch fehlerhaften oder nicht bestimmungsgemäßen Gebrauch des Gerätes verursacht werden. Dazu gehören insbesondere: entgangener Gewinn, Einkommensverluste, entgangene Geschäftschancen, Nichtbenutzbarkeit des Gerätes und/oder ähnliche Ausfälle.

### COPYRIGHT® 2003 KIPP & ZONEN

Alle Rechte vorbehalten. Ohne schriftliche Genehmigung des Herstellers darf diese Bedienungsanleitung, auch nicht auszugsweise, kopiert, in ein System eingespeichert oder durch irgendwelche Verfahren in irgendeiner Form übertragen werden.

**Version: 0904**



## KONFORMITÄTSBESCHEINIGUNG

**Gemäß Richtlinie EC 89/336/EEC 73/23/EEC**

Wir, **Kipp & Zonen B.V.**  
**Röntgenweg 1**  
**2624 BD Delft**

erklären, dass das Produkt

Typ: **CM 6B / 7B**  
Name: **Pyranometer**

den Vorgaben folgender Vorschriften:

Immissions	EN 50082-1	Group standard
Emissions	EN 50081-1 EN 55022	Group standard
Safety standard	IEC 1010-1	

entspricht.



R.E. Ringoir  
Product management  
KIPP & ZONEN B.V.

## INHALTSANGABE

<b>WICHTIGE INFORMATION FÜR DEN ANWENDER .....</b>	<b>3</b>
<b>KONFORMITÄTSBESCHEINIGUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>INHALTSANGABE .....</b>	<b>5</b>
<b>1. ALLGEMEINE INFORMATION .....</b>	<b>7</b>
1.1 einföhrung .....	7
1.2 Physikalische Grundlagen .....	7
1.2.1 Nulloffset .....	8
1.2.2 Spektralbereich und spektrale Selektivität .....	11
1.2.3 Richtungsfehler .....	12
1.2.4 Temperaturabhängigkeit.....	13
<b>2. TECHNISCHE DATEN .....</b>	<b>15</b>
2.1 Spezifikationen.....	15
2.1.1 Technische Daten der Einzelversion CM 6B.....	15
2.1.2 Technische Daten der Albedo - Version CM 7B .....	17
2.2 Genauigkeit.....	20
<b>3. INSTALLATION .....</b>	<b>23</b>
3.1 Lieferung .....	23
3.2 Mechanische installation.....	23
3.2.1 Installation zur Messung der Globalstrahlung .....	24
3. Nivellierung .....	25
3.2.2 Installation zur Messung der Solarstrahlung auf geneigten Oberflächen .....	26
3.2.3 Installation zur Messung der reflektierten Globalstrahlung .....	26
3.2.4 Installation zur Messung der Diffusstrahlung .....	27
3.2.5 Installation zur Messung der reflektierten Strahlung (Albedo-Version) .....	28
3.2.6 Einsatz unter Wasser.....	29
3.3 Elektrischer anschluss .....	29
3.3.1 Elektrischer Anschluss des CM7B .....	32
<b>4 FUNKTIONSWEISE .....</b>	<b>35</b>
<b>5 WARTUNG .....</b>	<b>37</b>

<b>6 KALIBRIERUNG .....</b>	<b>39</b>
6.1 Erstkalibrierung .....	39
6.2 Rekalibrierung .....	39
6.3 Kalibrierung bei Kipp & Zonen .....	41
6.3.1 Die Kalibriereinrichtung .....	41
6.3.2 Die Methode .....	41
6.3.3 Kalkulation .....	42
6.3.4 Null-Offset .....	42
6.3.5 Rückführbarkeit auf die "World Radiometric Reference" .....	43
<b>7 HÄUFIG GESTELLTE FRAGEN (FAQ'S) .....</b>	<b>45</b>
<b>8 BESEITIGUNG VON STÖRUNGEN .....</b>	<b>47</b>
<b>9 ERSATZTEILENUMMERN / OPTIONEN .....</b>	<b>49</b>
<b>ANHANG I KLASSIFIZIERUNG NACH WMO HANDBUCH 1996 .....</b>	<b>51</b>
<b>ANHANG II RADIOMETRISCHE NIVELLIERUNG .....</b>	<b>53</b>
<b>ANHANG III LISTE DER WELT- UND REGIONALEN STRAHLUNGSZENTREN .....</b>	<b>55</b>
<b>ANHANG IV REKALIBRATIONS SERVICE .....</b>	<b>57</b>

## **1. ALLGEMEINE INFORMATION**

### **1.1 EINFÜHRUNG**

Das Pyranometer CM6B ist konzipiert zur Messung der Strahlungsstärke auf ebenen Flächen (Strahlungsfluss,  $\text{Watt/m}^2$ ), die sich aus der Direktstrahlung und der von der darüber liegenden Hemisphäre reflektierten Diffusstrahlung ergibt.

Da das CM6B kein Neigungsverhalten zeigt, kann es auch die Solarstrahlung auf geneigte Flächen messen.

In umgekehrter Stellung kann die reflektierte Solarstrahlung gemessen werden.

Das Albedometer CM7B basiert auf zwei CM6B Sensoren und eignet sich zur Messung der Netto-Globalstrahlung und/oder reflektierter Strahlung auf Oberflächen unterschiedlicher Beschaffenheit (s. a. Kapitel 3 - Installation).

Zur Messung der Diffusstrahlung kann die Direktstrahlung auf das Pyranometer entweder halbautomatisch durch einen Kipp & Zonen Schattenring CM121, oder vollautomatisch durch ein 2AP-Tracking- und Abschattungssystem blockiert werden.

Das CM6B Pyranometer entspricht den Spezifikationen des "First-Class" Standards, der zweiten von drei Klassen, gemäß der ISO 9060 der International Standard Organisation und der 1983 in Genf, Schweiz, veröffentlichten fünften Ausgabe der "Anleitung für meteorologische Instrumente und Überwachung" der WMO (World Meteorological Organization).

Die WMO-Klassifizierung wurde von der International Standard Organisation ISO übernommen, verbessert und erweitert und als ISO 9060 veröffentlicht.

Diese Maßgabe ist eine von mehreren Standards zur Spezifizierung von Methoden und Instrumenten zur Messung der Solarstrahlung.

In diesem Handbuch sind die Angaben zur Genauigkeit gemäß den Vorgaben der ISO 9060 aufgelistet.

### **1.2 PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN**

Das Pyranometer CM6B ist mit mehreren in Reihe geschalteten Thermoelementen ausgestattet.

Diese Thermoelemente sprechen auf die insgesamt aufgenommene Energie an und sind theoretisch nichtselektiv gegenüber der spektralen Verteilung der Strahlung. Dies hat zur Folge, dass der Sensor auch gegenüber langwelliger Infrarotstrahlung

(Wärmestrahlung  $\lambda > 3000\text{nm}$ ) aus der Umgebung (z. B. des inneren Glasdomes) empfindlich ist.

Die Strahlungsenergie wird durch eine schwarz beschichtete Scheibe absorbiert. Die hierbei entstehende Wärme wird durch einen Thermowiderstand an die Wärmesenke (den Pyranometerkörper) abgegeben. Die Temperaturdifferenz auf dem Thermowiderstand der Scheibe erzeugt eine Spannung.

Der Temperaturanstieg wird jedoch sehr leicht durch Wind, Regen und die Abgabe thermaler Strahlung an die Umgebung ("kalter Himmel") beeinflusst. Daher ist der Sensor durch zwei Glasdome abgeschirmt. Die Glasdome erlauben die gleichmäßige Transmission der direkten Solarstrahlung bei jedweden Sonnenstand. Der Spektralbereich des Pyranometers ist allerdings durch die Transmission des Glases beschränkt. (Siehe Abbildung 3). Ein Trocknungsmittel im Gerätekörper verhindert die Feuchtigkeitsbildung an der Innenseite der Glasdome, die sich in klaren, windstillen Nächten beträchtlich abkühlen können.

#### **Konstruktionsdetails** (Siehe Abbildung 1)

Das Sensorelement des CM6B ist eine schwarz beschichtete Keramikscheibe ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). 100 hierauf angebrachte Thermolemente formen in Dickfilmtechnik eine Thermosäule. Nur der Aussenrand der Scheibe steht in direkter thermaler Verbindung mit dem Pyranometerkörper (der Wärmesenke), und entlang dieses Randes befinden sich 100 Kaltstellen. Die 100 heißen Lötstellen sind nahe dem Zentrum rotationssymmetrisch angeordnet. Dies und die sorgfältige Ausrichtung des Sensors mittels der Libelle minimieren den Azimuthfehler. Wenn das Pyranometer Strahlung aufnimmt, ergibt sich ein strahlenförmiger Wärmeabfluss an den Rand der Scheibe. Die Temperatur im Zentrum der Scheibe steigt aufgrund des thermischen Widerstandes. Der thermische Widerstand von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Substrat ist relativ niedrig. Z. B. erzeugt eine Strahlung von  $1000\text{ W/m}^2$  einen Temperaturanstieg von lediglich  $3^\circ\text{C}$  und eine Spannung von 4-6 mV. Die durch diese Temperaturdifferenz bedingte natürliche Wärmekonvektion im inneren Dom ist gering und wenn man das Pyranometer neigt, zeigt es keinerlei Änderung im Empfindlichkeitsverhalten.

#### **1.2.1 Nulloffset**

Der Nulloffset wird wie folgt definiert:

Wenn der Sensor keine Strahlung mit Wellenlängen innerhalb des Spektralbereiches des Instrumentes aufnimmt, aber trotzdem ein Signal abgibt, nennt man dies Nulloffset. Man unterscheidet zwei Arten des Nulloffsets:

#### **Nulloffset Typ B**

Der Nulloffset entsteht, wenn die Geräteköpertemperatur (Wärmesenke) steigt oder fällt. Dies führt zu einer Temperaturdifferenz zwischen den an die Wärmesenke

angeschlossenen Kaltstellen und den heißen Lötstellen. Diese Differenz wird durch den Wärmefluss verursacht, der für die Ladung, bzw. Entladung der Wärmekapazität des Sensors notwendig ist. Beim CM6B gibt es praktisch keinen Nulloffset Typ B, da er über ein zweites unbestrahltes Kompensationselement verfügt. (Siehe Abbildung 1).

Andere Wärmeströmungen im Sensorelement, z. B. durch steigende oder fallende Körpertemperatur, verursachen Störspannungen, die manchmal auch als Nulloffset bezeichnet werden. S. a. Anhang II. Um eine dieser Abweichungen zu kompensieren, wird ein zweites, unbestrahltes Sensorelement mit derselben Wärmeströmung eingebaut. Durch die antiserielle Anordnung beider Elemente können Störspannungen größtenteils aufgehoben werden. Der weiße Sonnenschirm reduziert durch Solarstrahlung oder (kalte) Regenschauer verursachte Schwankungen der Gerätekörpertemperatur.

#### **Nulloffset Typ A**

Dieser Nulloffset entsteht, wenn der innere Dom eine andere Temperatur hat als die Kaltstellen des Sensorelementes. Bei klarem Himmel ist dies praktisch immer der Fall. Aufgrund der geringen effektiven Himmelstemperatur ( $<0^{\circ}\text{C}$ ) gibt die Erdoberfläche nur etwa  $100 \text{ W/m}^2$  langwelliger, nach oben gerichteter Infrarotstrahlung ab. Der äußere Glasdom eines Pyranometers gibt dieselbe Strahlung ab und kühlt sich auf mehrere Grad unter Lufttemperatur ab (das Emissionsvermögen von Glas in diesem speziellen Wellenlängenbereich ist annähernd 1). Die abgestrahlte Wärme kommt vom Gerätekörper (durch Ableitung in den Dom), aus der Luft (entsteht hier durch den Wind) und vom inneren Dom (entsteht hier durch Infrarotstrahlung).

Der innere Dom kühlt sich auch ab und zieht Wärme vom Gerätekörper und vom Sensor durch Infrarotstrahlung ab. Der letztgenannte Wärmefluss ist dem durch absorbierte Solarstrahlung entstandenen Wärmefluss entgegengesetzt und verursacht bei Nacht den wohlbekannten Nulloffset von ca.  $-5 \text{ W/m}^2$ . Dieser negative Nulloffset entsteht auch an einem klaren Tag, wird jedoch vom Solarstrahlungssignal überdeckt.

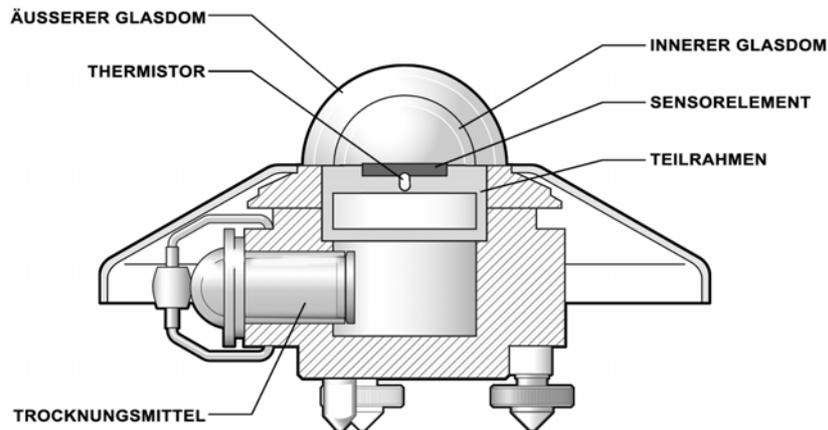


Abbildung 1 Aufbau des Kipp & Zonen Pyranometers CM6B.

Bei Messungen in geschlossenen Räumen mit einem Sonnensimulator kann der innere Dom durch die Nettowärmestrahlung des Lampengehäuses wärmer werden als der Pyranometerkörper. Hieraus resultiert ein positiver Nulloffset, Typ A.

Der Nulloffset Typ A kann mittels einer licht- und infrarotstrahlungsreflektierenden Abdeckung, die auf das Pyranometer aufgesetzt wird, überprüft werden. Ein Stück dünne Aluminiumfolie, die nur den Dom bedeckt, hat sich am besten bewährt. Das Ansprechvermögen auf Solarstrahlung wird mit einer Zeitkonstante  $1/e$  von 4 Sekunden abnehmen, während sich die Domtemperatur mit einer Zeitkonstante von einigen Minuten ausgleicht. Somit ist nach einer Minute das verbleibende Signal Hauptbestandteil des letztgenannten Nulloffsets Typ A.

Eine gute Belüftung der Dome und des Gerätekörpers vermindert den Nulloffset A. Kipp & Zonen empfiehlt hierzu die Ventilationseinheit CV2 zur optimalen Belüftung und Unterdrückung des Nulloffsets, der hierdurch auf weniger als  $3 \text{ W/m}^2$  verringert wird.

Zusammengefasst bedeutet dies: Der Nulloffset ist das Ergebnis eines thermischen Ungleichgewichtes im Sensor.

#### **Obere Werte des Nulloffsets im CM6B**

Typ A:  $15 \text{ W/m}^2$  als Reaktion auf  $200 \text{ W/m}^2$  Wärmestrahlung  
(belüftete Dome)

Typ B:  $< 4 \text{ W/m}^2$  als Reaktion auf Temperaturänderung des  
Gerätekörpers von  $5^\circ\text{C}$  pro Stunde

### 1.2.2 Spektralbereich und spektrale Selektivität

Die spektrale Selektivität basiert auf der spektralen Absorptionsfähigkeit der schwarzen Beschichtung (Siehe Abbildung 2) und der spektralen Transmission des Glasdomes (Siehe Abbildung 3).

Verschiebungen im solaren Spektrum, bedingt durch Änderungen der Wetterbedingungen von klarem zu bedecktem Himmel, befinden meist in der Mitte des Spektrums. Es sind keine spektralen Selektivitätsfehler zu erwarten. Z. B.: Bei einem Sonnenwinkel von  $30^\circ$  (Luftmasse 2) befinden sich jeweils nur 2% der Solarstrahlung im Wellenlängenbereich unter 335nm und über 2200nm.

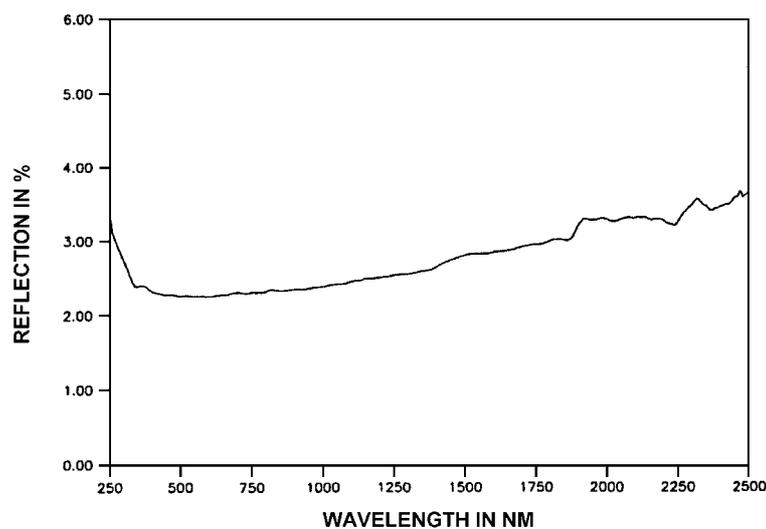


Abbildung 2 Spektrale Reflektion der schwarzen Beschichtung gemessen in einem UV/VIS/NIR Spektrophotometer mit Ulbrichtschem Dom.

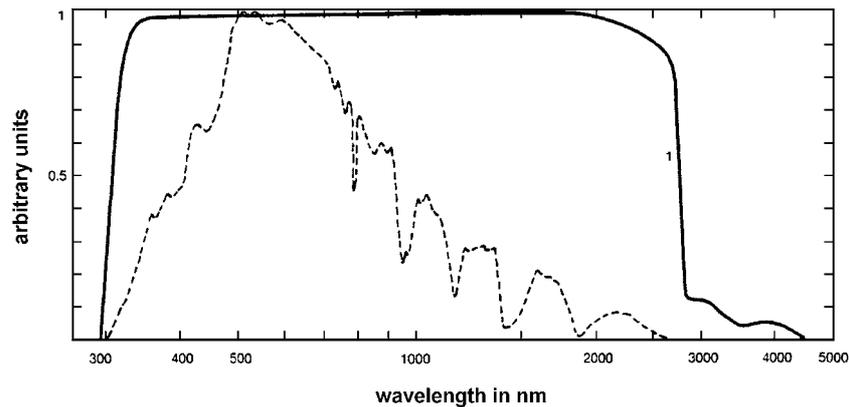


Abbildung 3 1. Relative spektrale Durchlässigkeit zweier Pyranometer Dome. (Vier Oberflächenreflektionen und ein Indexwechsel mit Wellenlänge sind berücksichtigt)  
2. Spektrale Verteilung der Solarstrahlung auf Meereshöhe, Sonne im Zenit (Luftmasse 1).

### 1.2.3 Richtungsfehler

Das Richtungsverhalten ist individuell und abhängig von der Reinheit des Materiales des Glasdomes und der Winkelcharakteristik des Schwarzkörpers. Abbildung 4 zeigt ein typisches Polardiagramm des kombinierten Kosinus- und Azimuth-Verhaltens (= Richtungsverhalten). Um mit Hilfe dieses Diagramms Korrekturen zur direkten Solarstrahlung vornehmen zu können, müssen der Sonnenstand und das Verhältnis der Direktstrahlung zur Globalstrahlung bekannt sein.

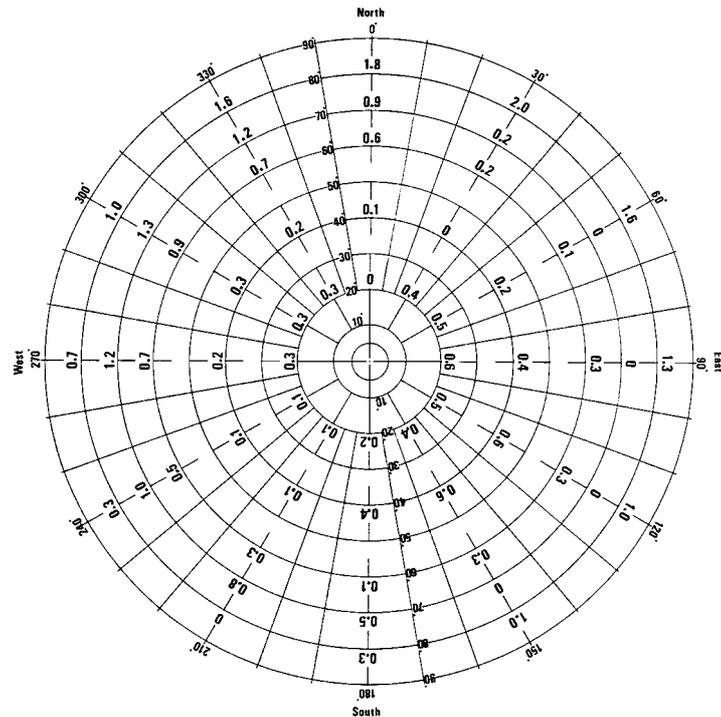


Abbildung 4 Polardiagramm des Richtungsverhaltens des Pyranometers, ausgedrückt als prozentuale Abweichung von der idealen Proportionalität zum Kosinus des Zenitwinkels. Die Zenitachse steht hierbei senkrecht zum Sensorsockel und das Kabel ist nach Norden ausgerichtet.

#### 1.2.4 Temperaturabhängigkeit

Bei einem angegebenen Wärmestrom ergibt sich die Empfindlichkeit des Pyranometers aus der Wärmeleitfähigkeit des  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Substrates und der thermoelektrischen Leistung des Thermoelementmaterials. Diese physikalischen Parameter zeigen eine Temperaturabhängigkeit und ein Thermistor im elektrischen Schaltkreis soll die Empfindlichkeit zumindest im Temperaturbereich von  $-10^\circ\text{C}$  bis  $+40^\circ\text{C}$  konstant halten. (S. a. Abbildung 9).



**2. TECHNISCHE DATEN****2.1 SPEZIFIKATIONEN****2.1.1 Technische Daten der Einzelversion CM 6B****Leistung**

Spektralbereich:	305-2800 nm (50% Punkte) 335-2200 nm (95% Punkte)
Sensitivität:	zwischen 9 und 15 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$
Impedanz:	70 -100 Ohm
Ansprechzeit:	< 18s (95%) < 24s (99%)
Nichtlinearität:	< $\pm 1.2\%$ (< 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )
Temperaturabhängigkeit der Sensitivität:	< $\pm 2\%$ (-10 $^{\circ}\text{C}$ to +40 $^{\circ}\text{C}$ )
Richtungsfehler:	< $\pm 20 \text{ W}/\text{m}^2$ (Strahl 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )
Neigungsfehler:	< $\pm 1\%$ (Strahl 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ )
Nulloffset durch Far Infrared (ventiliert mit CV2)	< 15 $\text{W}/\text{m}^2$ at 200 $\text{W}/\text{m}^2$ Netto- Thermalstrahlung
Nulloffset durch Temperaturschwankungen	< 4 $\text{W}/\text{m}^2$ bei 5 K/h Schwankung
Betriebstemperatur	-40 $^{\circ}\text{C}$ to +80 $^{\circ}\text{C}$
Sichtfeld:	180° 2 $\pi$ sr
Strahlungsaufnahme:	0 - 1400 $\text{W}/\text{m}^2$ (max. 2000 $\text{W}/\text{m}^2$ )

Sensitivitätsabweichung: <  $\pm 1\%$  pro Jahr

Spektrale Trennschärfe  $\pm 2\%$  (0,35  $\mu\text{m}$  bis 1,5  $\mu\text{m}$ )

Das genannte Richtungsverhalten enthält folgende relative Fehler:

Kosinusverhalten: max.  $\pm 1\%$  Abweichung vom Ideal bei  $60^\circ$  Sonnenzenitwinkel  
in jeglicher Azimuthrichtung  
max.  $\pm 3\%$  Abweichung vom Ideal bei  $80^\circ$  Sonnenzenitwinkel  
in jeglicher Azimuthrichtung

### **Konstruktion**

Farbe Sensorelement: Kohlschwarz

Glasdom: Schott K5 optisches Glas, 2mm dick,  
30mm und 50mm äußerer Durchmesser

Trocknungsmittel: Silika-Gel

Libelle: Sensitivität  $0.5^\circ$  (Luftblase zur Hälfte  
außerhalb des Ringes, Deckung mit  
Sensorsockel)  
Oberfläche des Sensorelementes und  
Sensorsockel sind deckungsgleich  
innerhalb  $0,1^\circ$

Materialien: seewasserfestes Aluminiumgehäuse  
und Nivellierschrauben, eloxiert. Rost-  
freie Schrauben, korrosionsfrei  
montiert  
Weißer Plastiksonnenschirm ASA/PC,  
Trocknungspatrone PMMA

Gewicht: 850 g

Kabellänge: 10 m

Abmessungen: B x H 150 x 95 mm. (S. a. Abbildung 5)

### 2.1.2 Technische Daten der Albedo - Version CM 7B

- Die allgemeinen technischen Daten des CM6B Pyranometers gelten auch für das Albedometer CM7B
- Die Sensoren verfügen über die selbe Empfindlichkeit
- Konischer unterer Abdeckschirm, der den Einfall von Strahlung auf den unteren Glasdom bei Sonnenauf- oder Untergang verhindert

Impedanz	abhängig vom Anschluss
Gewicht, mit Montagestab	1,9 kg
Kabellänge	10 m
Abmessungen	Siehe Abbildung 6

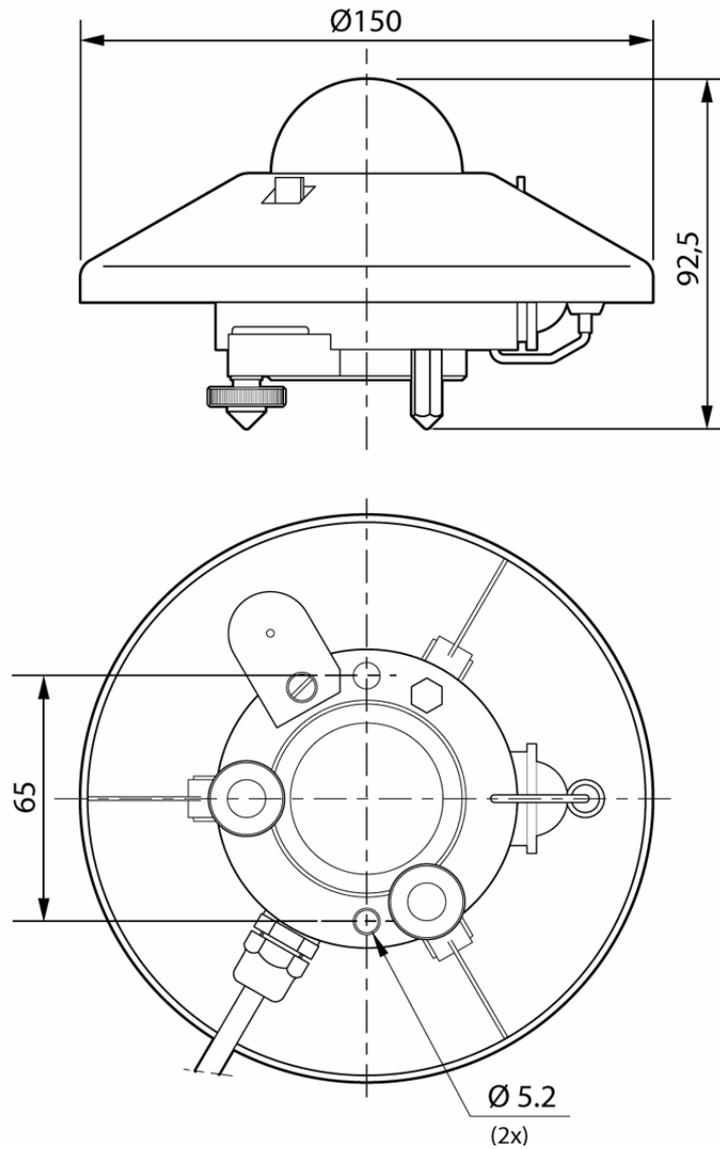


Abbildung 5 Kipp & Zonen Pyranometer CM6B – Außenmasse in mm.

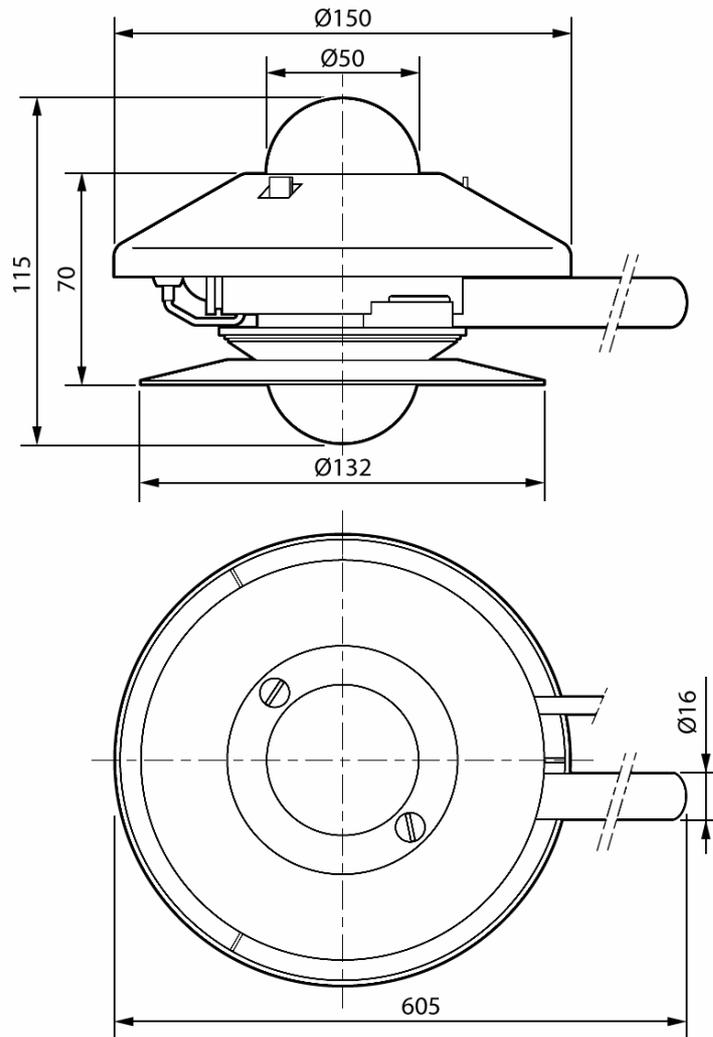


Abbildung 6 Kipp & Zonen Albedometer CM7B – Außenmasse in mm.

## 2.2 GENAUIGKEIT

Unglücklicherweise besteht zwischen der Empfindlichkeit und einigen anderen Parametern, wie Temperatur, Strahlungsniveau, Einfallswinkel, etc. eine Kreuzkorrelation. Die oberen Grenzwerte der hieraus resultierenden Empfindlichkeitsschwankungen sind in den Spezifikationen aufgeführt. Hierdurch ist das CM6B nach den Vorgaben der World Meteorological Organization als 'first class' –Standard einzustufen.

Normalerweise wird der angegebene Empfindlichkeitswert zur Berechnung der Strahlungswerte herangezogen. Wenn jedoch die Messbedingungen von denen der Kalibrierung abweichen, muss bei der Bestimmung der Strahlungswerte mit Abweichungen gerechnet werden.

Für ein solches "first class" Instrument rechnet die WMO mit einer Fehlerquote von 3% in den stündlichen Strahlungsgesamtwerten, und von 2% beim Tagesgesamtwert, da sich einige der Abweichungen im Ansprechverhalten über einen längeren Integrationszeitraum gegenseitig aufheben.

Diese Abweichungen können reduziert werden, indem man bei der Umsetzung von Spannung zur Strahlung die tatsächliche Empfindlichkeit des Sensors einsetzt. Dies geht besonders bequem in Verbindung mit einem programmierbaren Datenerfassungssystem.

Beim CM6B kann der Effekt einzelner Parameter auf die Empfindlichkeit gesondert aufgezeigt werden, da diese Parameter weniger Interaktion an den Tag legen.

**Die Nichtlinearität**, die Empfindlichkeitsschwankungen in Relation zur Solarstrahlung, sind bei jedem CM6B ähnlich. (S. a. Abbildung 7).

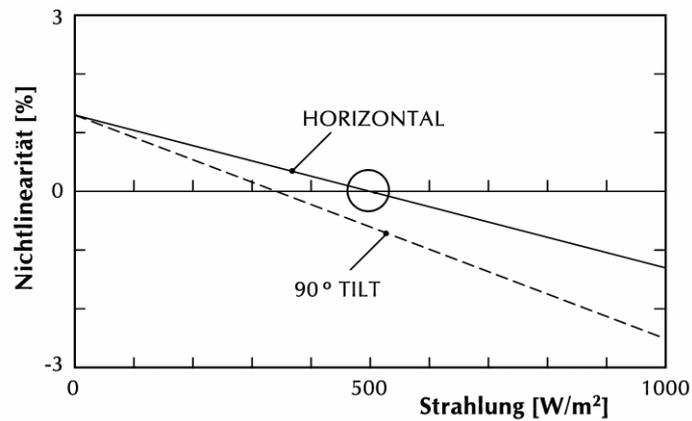


Abbildung 7 Nichtlineare Empfindlichkeitsabweichung relativ zur Solarstrahlung beim Pyranometer CM6B.

Die Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit ist ein eigener Faktor. Bei jedem beliebigen CM6B liegt die Kurve irgendwo im gerasterten Bereich der Abbildung 8.

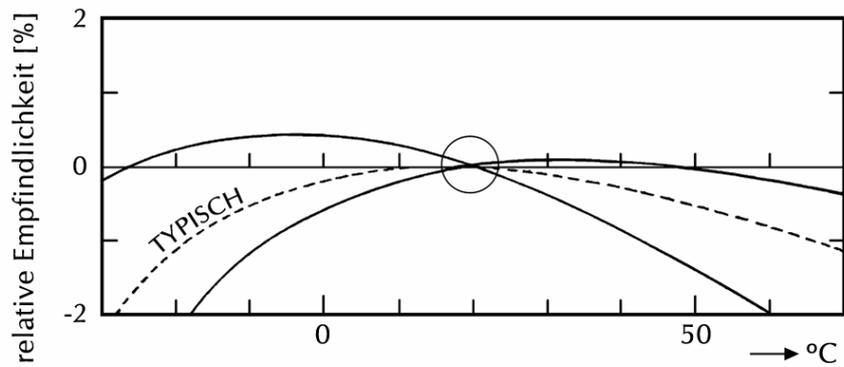


Abbildung 8 Die Kurve der relativen Empfindlichkeitsabweichung durch die Gerätetemperatur eines Pyranometers CM6B im gerasterten Bereich. Die Grafik zeigt eine typische Kurve.

Der Richtungsfehler ist die Summierung des Azimuth- und Zenit-Fehlers und wird allgemein in  $W/m^2$  ausgedrückt. Abbildung 9 zeigt den maximalen relativen Zenitfehler beim CM6B in jeglicher Azimuth-Richtung.

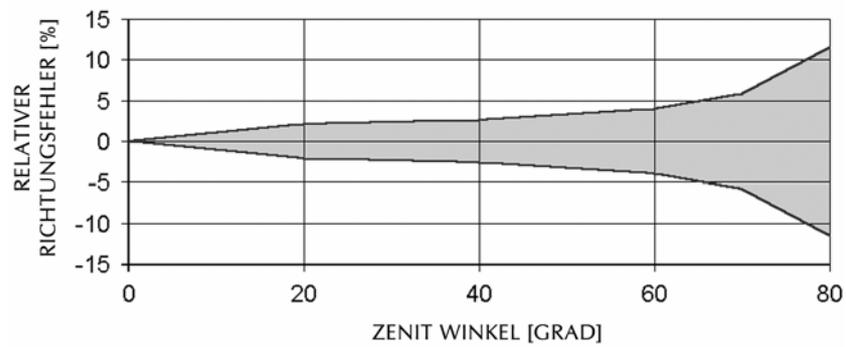


Abbildung 9 Relativer Richtungsfehler

### **3. INSTALLATION**

Es wird empfohlen, diese Anweisungen vor der Installation genauestens durchzulesen.

#### **3.1 LIEFERUNG**

Überprüfen Sie, ob die Lieferung komplett ist (siehe unten) und dokumentieren Sie eventuelle Transportschäden. Sollte ein Transportschaden vorliegen, muss dieser unverzüglich dem Transporteur gemeldet werden. Sollte die Lieferung nicht komplett sein, muss Ihr Lieferant informiert werden, um die Vervollständigung, die Reparatur oder den Ersatz der Geräte veranlassen zu können.

Der Lieferumfang des CM6B Pyranometers muss folgendes enthalten:

1. CM6B Pyranometer
2. weißer Sonnenschirm
3. 2 x Montageschrauben mit Muttern und Unterlegscheiben (M5x80)
4. 2 x Unterlegscheiben aus Nylon
5. Kalibrierzertifikat
6. Daten zur Temperaturabhängigkeit
7. dieses Handbuch

#### **Auspacken**

Bewahren Sie bitte die Originalverpackung für spätere Transporte (z. B. zur Rekalibrierung) sorgfältig auf.

Obwohl sämtliche Sensoren wetterfest und durchaus für rauhe Umweltbedingungen ausgelegt sind, enthalten Sie dennoch empfindliche mechanische Teile. Daher empfiehlt sich der sichere Transport zum Bestimmungsort in der Originalverpackung.

#### **3.2 MECHANISCHE INSTALLATION**

Die mechanische Installation von Pyranometern erfolgt in Abhängigkeit von der Anwendung. Die verschiedenen Messmethoden werden in den nachfolgenden Kapiteln erklärt.

### 3.2.1 Installation zur Messung der Globalstrahlung

Folgende Schritte müssen beachtet werden, um einen optimalen Einsatz des Sensors zu gewährleisten:

#### 1. Örtlichkeit

Idealerweise sollten sich am Einsatzort des Pyranometers über dem Sensorelement keine Sichthindernisse befinden, und Pyranometer sollte frei zugänglich sein, um jederzeit ungehindert den äußeren Dom reinigen und die Trocknungskassette überprüfen zu können. Wenn dies nicht möglich ist, sollte der Standort so gewählt werden, dass sich Sichthindernisse über dem Azimuthbereich zwischen Sonnenaufgang nach der kürzesten Nacht und dem Sonnenuntergang am längsten Tag nicht mehr als 5° erheben (der sich abzeichnende Sonnendurchmesser ist 0,5°). Dies ist für die genaue Messung der Direktstrahlung äußerst wichtig. Die diffuse (Solar-) Strahlung ist durch Sichthindernisse in Horizontnähe weniger betroffen. Zum Beispiel mindert ein Sichthindernis mit einer Erhebung von 5° über den gesamten Azimuthbereich von 360° die nach unten gerichtete Diffusstrahlung lediglich um 0,8%.

Es ist offensichtlich, dass ein Pyranometer so installiert werden sollte, dass zu keiner Zeit ein Schatten darauf fällt (z. B. durch Masten, Abluftrohre, etc.) Es ist zu beachten, dass heiße Abgase (über 100°C) Strahlung produziert, die im Spektralbereich des Pyranometers CM6B liegt.

Das Pyranometer sollte nicht vor hellen Wänden oder anderen, das Sonnenlicht reflektierenden Objekten aufgebaut werden.

Prinzipiell ist keine spezielle Ausrichtung des Gerätes notwendig. Die "World Meteorological Organization" empfiehlt jedoch, dass hervorstehende Anschlusssteile nach Norden ausgerichtet werden, um eine eventuelle Erhitzung elektrischer Komponenten zu vermeiden.

Sollte jedoch ein Polardiagramm des kombinierten Azimuth- und Kosinusverhaltens vorliegen, kann das Pyranometer so ausgerichtet werden, dass der Sonnenpfad im niedrigen Fehlerbereich liegt.

#### 2. Montage

Das CM6B Pyranometer ist mit zwei Bohrungen für 5mm Schrauben versehen. Zwei Schrauben aus rostfreiem Stahl und zwei Unterlegscheiben aus Nylon werden mitgeliefert. Das Pyranometer sollte zuerst lose auf die Montagevorrichtung

geschraubt werden (S. a. Abbildung 10). Die Nygonscheiben müssen unter dem Schraubenkopf angebracht werden, um elektrolytische Korrosion zwischen Gerätekörper und Schrauben zu vermeiden.

*Zu beachten: Nach einer Rekalibrierung oder bei neuerlicher Montage des Gerätes müssen die Nygonscheiben erneuert werden.*

Die Temperatur der Montagevorrichtung kann über einen weiteren Bereich variieren, als die umgebende Lufttemperatur. Temperaturschwankungen des Pyranometerkörpers können Signalabweichungen verursachen. Es empfiehlt sich daher, das Pyranometer thermal von der Montagevorrichtung zu isolieren, z. B. dadurch, dass man das Gerät auf die Nivellierschrauben stellt. Hierbei sollte jedoch eine Erdung bestehen bleiben, um durch Blitze verursachte Spannungen in der Kabelabschirmung abzuleiten.

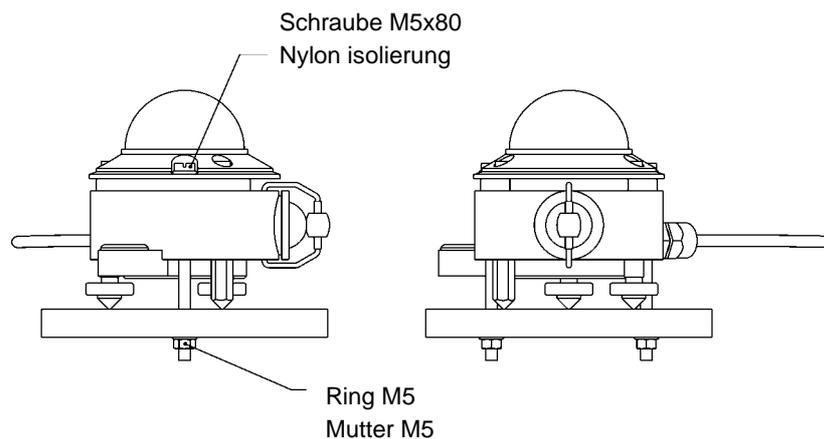


Abbildung 10 Montage des Pyranometers

### 3. NIVELLIERUNG

Für eine genaue Messung der Globalstrahlung ist die exakte Ausrichtung der Thermosäulenoberfläche notwendig. Die Nivellierschrauben müssen so lange gedreht werden, bis sich die Luftblase in der Libelle genau in der Markierung (dem Ring) befindet. Am besten beginnt man mit der der Libelle am nächsten befindlichen Schraube.

Wenn das CM6B mit Hilfe der Libelle horizontal ausgerichtet oder mit dem Sockel auf einer horizontalen Oberfläche angebracht ist, ist auch die Thermosäule innerhalb eines Bereiches von  $0.05^\circ$  horizontal. Dies bedeutet bei einem Sonnenwinkel von  $10^\circ$  eine Azimutabweichung von maximal  $\pm 0,5\%$ . Das Pyranometer kann durch eine radiometrische Nivellierung (siehe Anhang II) noch genauer horizontal ausgerichtet werden.

Letztlich sollte dann das Pyranometer mittels der zwei rostfreien Schrauben fixiert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass das Gerät seine korrekte Ausrichtung beibehält!

### **3.2.2 Installation zur Messung der Solarstrahlung auf geneigten Oberflächen**

S. a. 'Installation zur Messung der Globalstrahlung'.

Es empfiehlt sich, die Nivellierschrauben vorab auf einer horizontalen Fläche einzustellen, um die spätere Ausrichtung des Gerätes parallel zur schrägen Oberfläche zu erleichtern. Da zu erwarten ist, dass die Temperatur der Montagevorrichtung erheblich steigen könnte (mehr als  $10^\circ\text{C}$  über Umgebungstemperatur), muss der Gerätekörper von dieser durch die Nivellierschrauben thermal isoliert werden. Dies ermöglicht ein thermales Gleichgewicht zwischen Dom und Gerätekörper und verringert somit die Nullabweichung der Signale.

Das CM6B Pyranometer zeigt bis zu einem Strahlungsniveau von  $1000 \text{ W/m}^2$  keine erheblichen Neigungsfehler.

### **3.2.3 Installation zur Messung der reflektierten Globalstrahlung**

In der umgekehrten Position misst das Pyranometer die reflektierte Globalstrahlung. Laut WMO sollte die Montagehöhe 1-2 m über einer mit kurzem Gras bedeckten Oberfläche liegen.

Die Montagevorrichtung sollte das Sichtfeld des Pyranometers allerdings nicht zu sehr stören. (Geeignet wäre eine Konstruktion wie in Abbildung 11 gezeigt).

Der obere Schirm verhindert die übermäßige Erwärmung des Pyranometerkörpers durch Solarstrahlung und, wenn er gross genug ist, auch Niederschläge auf den unteren Schirm. Der untere Schirm verhindert den direkten Einfall von Strahlung auf den Dom bei Sonnenauf- und untergang.

Die Auswirkung der durch thermische Effekte im Pyranometer abweichenden Signale auf die Messung reflektierter Strahlung (S. a. Kapitel 1.2.1) wird durch das niedrigere Strahlungsniveau verüffacht.

Der Mast in der Konstruktion in Abbildung 11 fängt den Bruchteil  $D/2 \pi$  sr. der von der Erdoberfläche reflektierten Strahlung ab.

Im ungünstigsten Fall (Sonne im Zenit) vermindert der Pyranometerschatten das Signal um den Faktor  $R^2/H^2$ .

Hier eine Daumenregel:

Ein Schatten mit einem Radius =  $0.1 H$  auf der Oberfläche unter dem Gerät mindert das Signal um 1%.

Zweitens kommen 99% des Signales aus einem Umkreis von  $10 H$ .

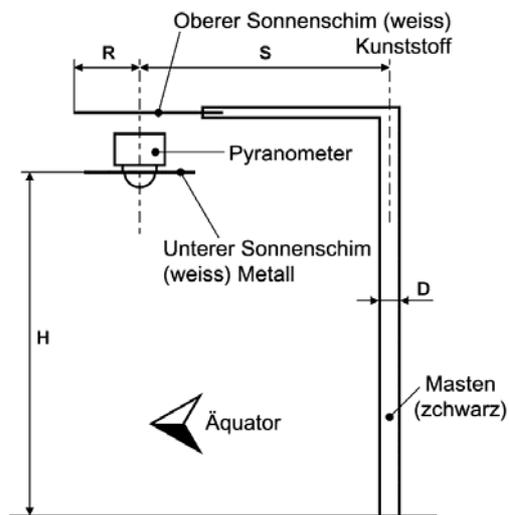


Abbildung 11 Konstruktion zur Messung der reflektierten Globalstrahlung

### 3.2.4 Installation zur Messung der Diffusstrahlung

Zur Messung der vom Himmel reflektierten Strahlung wird die Direktstrahlung am besten durch eine kleine Scheibe oder Kugel abgeschirmt. Der Schatten der Scheibe oder Kugel muss den Pyranometerdom komplett bedecken. Um jedoch dem Verlauf der Sonne folgen zu können, ist ein elektrisch betriebenes Nachführsystem notwendig. Hierfür gibt es den 2AP-Tracker, der die Abschattungsvorrichtung dem Verlauf der Sonne bei jedem Wetter nachführt. Mehr Information zur Kombination von CM6B und Tracker ersehen Sie im Handbuch für den 2AP Tracker.

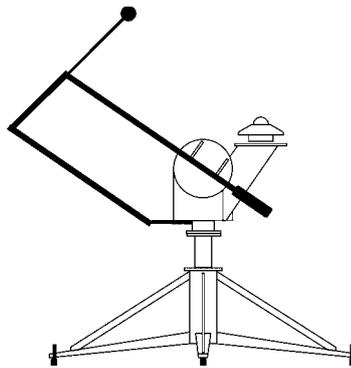


Abbildung 12: 2AP Tracker mit Pyranometer

Alternativ kann ein Schattenring eingesetzt werden, der aber nicht so genau ist. Der Schattenring verhindert zwar an manchen Tagen den Einfall der Direktstrahlung, ohne dass seine Position korrigiert werden muss, aber andererseits auch den Einfall eines Teiles der Diffusstrahlung. Deshalb müssen die erfassten Messdaten auch korrigiert werden.

Kipp & Zonen liefert einen universellen Schattenring CM121 für alle Breitengrade. Im Handbuch für den CM121 finden Sie Installationsanweisungen, sowie die Korrekturfaktoren.

### **3.2.5 Installation zur Messung der reflektierten Strahlung (Albedo-Version)**

Der untere Sensor des Albedometers, das Pyranometer in umgekehrter Stellung, misst die reflektierte Solarstrahlung. Laut WMO sollte die Montagehöhe 1-2 m über einer mit kurzem Gras bedeckten Oberfläche liegen.

Die Montagevorrichtung sollte das Sichtfeld des Pyranometers allerdings nicht zu sehr stören. (Geeignet wäre eine Konstruktion wie in Abbildung 13 gezeigt).

Der obere Schirm verhindert die übermäßige Erwärmung des Pyranometerkörpers durch Solarstrahlung. Der spezielle untere Schirm verhindert den direkten Einfall von Strahlung auf den Dom bei Sonnenauf- und untergang.

Kipp & Zonen liefert diese Schirme für die CM6B auch separat (Kapitel 9 - Ersatzteile).

Die Auswirkung der durch thermische Effekte im Pyranometer abweichenden Signale auf die Messung reflektierter Strahlung (S. a. Kapitel 1.2.1) wird durch das niedrigere Strahlungsniveau verüffacht.

Der Mast in der Konstruktion in Abbildung 12 fängt den Bruchteil  $D/2 \pi$  sr. der von der Erdoberfläche reflektierten Strahlung ab.

Im ungünstigsten Fall (Sonne im Zenit) vermindert der Pyranometerschatten das Signal um den Faktor  $R^2/H^2$ .

### 3.2.6 Einsatz unter Wasser

Das CM6B Pyranometer ist prinzipiell wasserdicht. Jedoch funktioniert der halbkreisförmige Luftraum zwischen den Glasdomen wie eine negative Linse. Die parallel einfallende direkte Solarstrahlung wird nach Passieren des äußeren Glasdomes gestreut.

Hieraus ergibt sich im Sensor eine geringere Strahlung als außerhalb des Pyranometers. Daher gilt hier auch der Empfindlichkeitswert nicht, sondern muss, basierend auf Erfahrungswerten, abgeleitet werden.

## 3.3 ELEKTRISCHER ANSCHLUSS

Das CM6B wird mit 10m 3-adrigem Kabel und einer Abschirmung in schwarzer Hülse geliefert.

Die Belegung ist wie folgt:	Rot	=	Plus
	Blau	=	Minus
	Weiß	=	Gehäuse

Die Abschirmung ist vom Gehäuse isoliert, es gibt daher keine Schildspannung. Die Abschirmung und die weiße Ader können an dieselbe Erdung des Anzeigegegerätes angeschlossen werden. Das Kabel muss allerdings sicher befestigt sein, um Restströme bei stürmischem Wetter zu vermeiden (ungenügend befestigtes Standardkabel erzeugt u. U. Spannungsspitzen, einen elektrischen Reibungs- und Überlastungseffekt).

Die Kipp & Zonen Pyranometerkabel sind rauscharm, man sollte jedoch unbedingt darauf achten, dass die Plus- und Minusklemmen der Anschlussbox dieselbe Temperatur haben, um die Entstehung thermaler EMF zu verhindern. Das Gehäuse der Anschlussbox oder des Anschlusses sollte daher aus Metall sein.

Betrachtet man den Schaltplan aus Abbildung 14, wird deutlich, dass die Impedanz des Anzeigerätes die Thermistorschaltung und die Thermosäule auflädt. Dies kann die Temperaturempfindlichkeit des Pyranometers erhöhen. Die Empfindlichkeit wird durch einen Lastwiderstand unter  $150\text{ k}\Omega$  um mehr als 1% verändert. Deshalb werden zur Auswertung Geräte mit einem Eingangswiderstand von  $1\text{ M}\Omega$  oder mehr empfohlen, wie z. B. Potentiometerschreiber, digitale Spannungsmesser, etc. Die Datenlogger und Schreiber von Kipp & Zonen erfüllen diese Anforderungen. Lange Kabel müssen verwendet werden, jedoch muss der Kabelwiderstand unter 0.1% der Impedanz des Auswertegerätes sein.

Kipp & Zonen liefert geräuscharme Kabelverlängerungen mit Längen von bis zu 200m. Diese Verlängerungen können herstellerseitig bei Bestellung des Pyranometers montiert oder aber durch wasserdichte Stecker mit dem ursprünglichen Pyranometerkabel verbunden werden. Der Zuleitungswiderstand beträgt  $\text{Ohm}/100\text{ m}$ . Offensichtlich ist die Anwendung von Abschwächerschaltungen zur Modifizierung des Kalibrierfaktors nicht zu empfehlen, da das Temperaturverhalten hierdurch ebenfalls beeinflusst wird. Dennoch können Schreiber mit variablem Spannungsbereich so eingestellt werden, dass das Ergebnis direkt in  $\text{W}/\text{m}^2$  gelesen werden kann.

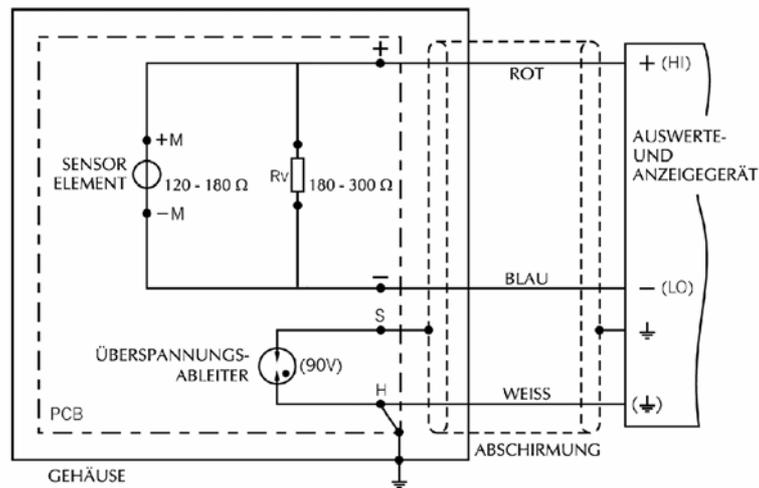


Abbildung 14 Schaltplan des CM6B Pyranometers und Anschluss an Anzeigerät

Ist ein optionaler Temperatursensor (PT100 oder Thermistor) eingebaut, ist die Belegung wie folgt:

**PT100 (optional)**

Gelb:	PT100	(verbunden mit braun)
Braun:	PT100	(verbunden mit gelb)
Grün:	PT100	(verbunden mit grau)
Grau:	PT100	(verbunden mit grün)

**Thermistor**

Gelb  
Grün

Ein erheblicher Eingangsruhestrom des Auswertegerätes kann eine Spannung von mehreren Mikrovolt über der Impedanz des Pyranometers aufbauen. Die Korrektheit des gemessenen Null-Signales kann am besten verifiziert werden, indem man die Pyranometerimpedanz an den Eingangsklemmen durch einen entsprechenden Widerstand ersetzt.

Das Pyranometer kann aber auch an einen Computer oder ein Datenerfassungssystem angeschlossen werden. Allerdings muss für die Thermosäulenanzeige ein Niederspannungs-Analogmodul mit A/D-Konverter vorhanden sein. Die Feldweite und Auflösung des A/D-Konverters müssen eine Systemsensitivität von ca. 1 bit pro  $W/m^2$  zulassen. Eine höhere Auflösung ist während Strahlungsmessungen draußen nicht notwendig, da bei Pyranometern aufgrund des fehlenden thermalen Gleichgewichts Abweichungen von bis zu  $\pm 2 W/m^2$  eintreten können.

Ein Überspannungsableiter ist installiert, um durch Blitze herbeigeführte Ströme abzuleiten. Es wird daher empfohlen, das Gehäuse zu erden. Dieser Überspannungsableiter ist mit Edelgas gefüllt, hat eine unbeschränkte Impedanz und erholt sich selbständig nach einem Durchschlag. Die Durchschlagsspannung beträgt 90V. Die maximale Entladungsspannung ist 10 kA.

Zur Verstärkung des Pyranometersignales empfiehlt Kipp & Zonen den Messverstärker CT24. Dieser Messverstärker wandelt das mV-Ausgangssignal des Pyranometers in einen Standardausgangsstrom von 4-20mA um. Die Anpassung des Spannungsausgangssignals und/oder der Verstärkung an den Kalibrierwert des Pyranometers sind ebenfalls möglich.

### 3.3.1 Elektrischer Anschluss des CM7B

Das CM7B wird mit 10m 5-adrigem Kabel und Abschirmung geliefert.

Die Belegung ist wie folgt:

Rot	:	Plus	oberer Sensor
Blau	:	Minus	oberer Sensor
Grün	:	Plus	unterer Sensor
Gelb	:	Minus	unterer Sensor
Weiß	:		Gehäuse

Es gibt zwei Arten, ein Albedometer einzusetzen:

- Die Sensoren können zur Messung der Globalstrahlung antiseriell geschaltet werden.
- Wenn die Ausgänge separat gemessen werden, ermittelt man die Albedo, indem man die reflektierte Strahlung durch die Globalstrahlung dividiert.

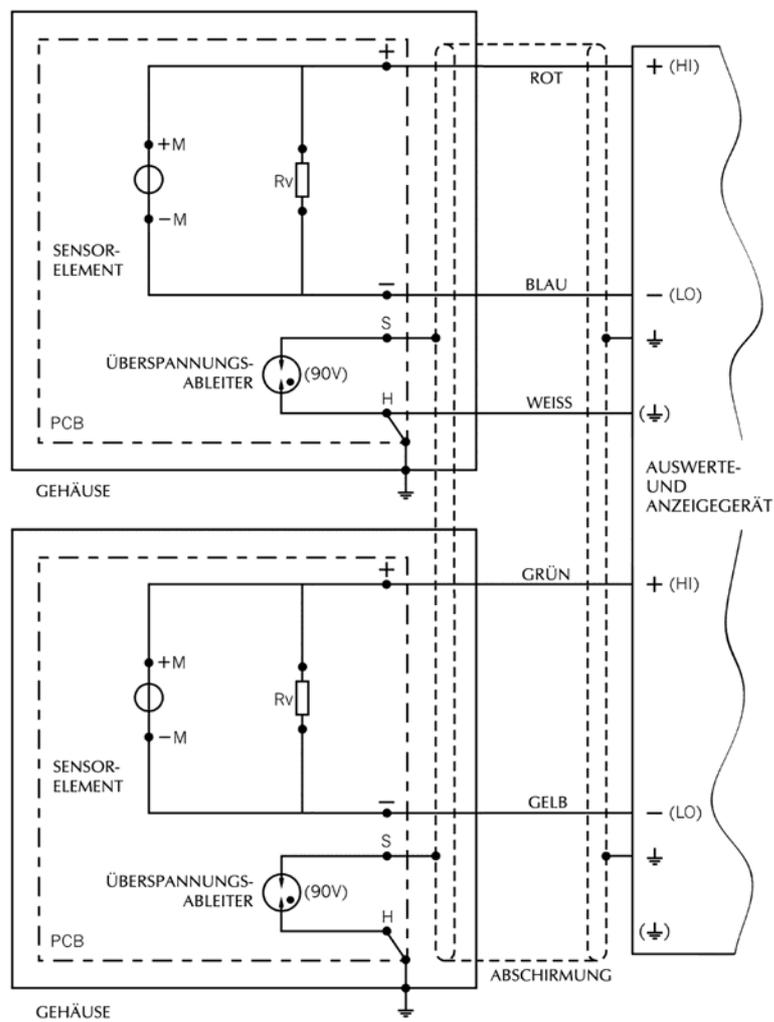


Abbildung 15 Schaltplan des Kipp & Zonen Albedometers CM7B und Anschluss an Anzeigegerät



## 4 FUNKTIONSWEISE

Nach der Installation ist das Pyranometer betriebsbereit.

Der Strahlungswert ( $E_{\downarrow Solar}$ ) kann einfach bestimmt werden, indem man nach Formel 1 das Ausgangssignal ( $U_{emf}$ ) des Pyranometers durch dessen Empfindlichkeitswert ( $S_{ensitivity}$ ) dividiert, oder indem man den Spannungswert mit dem Empfindlichkeitskehrwert (auch Kalibrierfaktor genannt) multipliziert.

Für eine Berechnung der Solarstrahlung sollte folgende Formel herangezogen werden.

$$E_{\downarrow Solar} = \frac{U_{emf}}{S_{ensitivity}} \quad (\text{Formel 1})$$

$E_{\downarrow Solar}$	= Globalstrahlung	[W/m <sup>2</sup> ]
$U_{emf}$	= Pyranometerausgang	[ $\mu$ V]
$S_{ensitivity}$	= Empfindlichkeitswert	[ $\mu$ V/W/m <sup>2</sup> ]

Um sicherzugehen, dass die Qualität der Daten gegeben ist, muss auf die tägliche Wartung/Überprüfung der Geräte mit größter Sorgfalt ausgeführt werden. Ist ein Spannungsausgangssignal erst einmal verzeichnet, gibt es keinerlei Maßnahme, die rückwirkend die Qualität der Messung verbessern kann.

Viele Jahre Erfahrung haben gezeigt, dass die Leistung von Pyranometern in Bezug auf den Null-Offset Typ A durch den Einsatz eines geeigneten Ventilationssystems verbessert werden kann.

Die Kipp & Zonen CV2 Ventilationseinheit wird daher als optimales Hilfsmittel zur Minderung, bzw. Vermeidung dieses Fehlers empfohlen.



## **5 WARTUNG**

Einmal installiert, benötigt das Pyranometer nurmehr geringe Wartung. Der äußere Dom muss regelmässig kontrolliert und gesäubert werden, d. h. jeden Morgen. In klaren, windlosen Nächten senkt sich, aufgrund des Austausches infraroter Strahlung, die Fenstertemperatur horizontal montierter Pyranometer bis hin zu dem Lufttemperaturpunkt, an dem Tau entsteht (die tatsächliche Himmelstemperatur kann bis 30°C unter derjenigen der Erde liegen). In diesem Fall können sich Tau, Eisregen oder auch Raureif am äußeren Dom niederschlagen und dort in den Morgenstunden auch längere Zeit verbleiben. Eine Eisschicht auf dem Dom verursacht eine enorme Streuung der Strahlung und erhöht das Pyranometersignal drastisch bis zu 50% in den ersten Stunden nach Sonnenaufgang. Raureif verschwindet durch Sonneneinstrahlung von selbst während der Morgenstunden, sollte aber dennoch so früh wie möglich abgewischt werden.

Desweiteren sollte der Sensor täglich auf die korrekte Nivellierung und etwaige Feuchtigkeitsansammlungen im Dom überprüft werden. Sollte sich Feuchtigkeit angesammelt haben, muss das Silika-Gel ersetzt werden, auch wenn es noch blau ist. Offensichtlich erfordert dann der Standort des Gerätes stets frisches Silika-Gel und innen einen niedrigen Taupunkt.

In Gegenden mit hoher Luftfeuchtigkeit sollte das Trocknungsmittel zweimal jährlich gewechselt werden. Dieser Intervall ist bedingt durch Luftfeuchtigkeit, Luftdruckschwankungen und die Häufigkeit von Temperaturschwankungen. Wenn das blaue Silika-Gel in der Trocknungskassette rosa geworden ist, (normalerweise nach mehreren Monaten) sollte es durch "aktives" Material ersetzt werden. Rosafarbenes Silika-Gel kann durch mehrstündiges Ausbacken bei 130°C im Backofen reaktiviert werden.

Auf jeden Fall sollte das Pyranometer (oder jeder andere Sensor) regelmässig auf seinen Zustand überprüft werden (Trocknungsmittel, Verschmutzung des Domes, Nivellierung des Sensors und der Zustand der Kabel).

Einige Tips zum Austausch des Trocknungsmittels:

- Achten Sie darauf, dass die Oberflächen des Pyranometers und der Trocknungskassette, die mit deren Gummidichtung Kontakt haben, absolut sauber sind (hier herrscht erhöhte Korrosionsgefahr durch Schmutz in Verbindung mit Feuchtigkeit)

- Die Gummidichtung ist normalerweise mit Silikonfett eingeschmiert (Vaseline ist auch möglich), um die Abdichtung zu verbessern. Wenn diese Gummidichtung trocken erscheint, sollte sie unbedingt eingefettet werden.
- Überprüfen Sie, ob die Metallsperre, mit der die Trocknungskassette festgehalten wird, noch genügend Spannkraft hat. Normalerweise braucht man aufgrund dieser Spannkraft für das Öffnen und Schließen der Sperre beide Hände.

Es ist sehr schwierig, Pyranometer hermetisch abzudichten. Die einzige Möglichkeit, dies zu erreichen, ist, das Innere des Instrumentes unter Druck zu setzen (>1.0 Bar), aber dies muss jährlich einmal überprüft werden. Bedingt durch die Druckunterschiede zwischen innen und außen kommt es zwangsläufig zum Austausch von (feuchter) Luft.

In einigen Netzwerken werden die Pyranometerdome ständig durch Gebläse ventiliert, um die Temperatur über dem Punkt der Taubildung zu halten. Die Luft vorzuheizen ist aber stark abhängig von den klimatischen Umgebungsbedingungen. Im Allgemeinen empfiehlt sich eine Heizung während der kalten Jahreszeiten, in denen mit Frost und Taubildung zu rechnen ist. Zudem mindert die Ventilierung die Empfindlichkeit auf thermische Strahlung (Null-Offset Typ A) um den Faktor 2 oder mehr.

Die CV 2 Ventilationseinheit ist speziell für den unbeaufsichtigten Betrieb in den unterschiedlichsten Umgebungsbedingungen konzipiert.

## **6 KALIBRIERUNG**

### **6.1 ERSTKALIBRIERUNG**

Idealerweise sollte ein Pyranometer immer ein konstantes Verhältnis von Spannungsausgang zum Strahlungsniveau aufweisen (außerhalb des Instrumentes im Sensoraufnahmebereich). Dieses Verhältnis wird als die Empfindlichkeit ( $S_{\text{sensitivity}}$ ) oder das Ansprechvermögen bezeichnet.

Der Empfindlichkeitsfaktor eines jeden Pyranometers ist individuell. Er wird beim Hersteller im Labor durch den Vergleich mit einem Standardpyranometer bestimmt. Das Standardpyranometer wird regelmässig im Freien beim World Radiation Centre (Davos, Schweiz) kalibriert. Natürlich unterscheidet sich der Spektralbereich der Laborlampe vom Sonnenspektrum. Dennoch ergibt sich hieraus kein Unterschied für die Gültigkeit der Kalibrierung, da das Standard- und das zu kalibrierende Pyranometer mit jeweils demselben Schwarzkörper und Quarzdom ausgestattet sind.

Der genannte Empfindlichkeitswert gilt für folgende Voraussetzungen:

- Umgebungstemperatur von 20°C
- sowohl für horizontal, als auch für auf einer schrägen Oberfläche montierte Pyranometer
- Normal einfallende Strahlung von 500 W/m<sup>2</sup>
- Spektrale Parameter der Solarstrahlung bei klarem Himmel

### **6.2 REKALIBRIERUNG**

Die Empfindlichkeit der Pyranometer ändert sich im Laufe der Zeit. Daher empfiehlt sich die regelmässige Rekalibrierung des Sensors (mindestens alle zwei Jahre). Die genaue Kalibrierung findet draussen unter klarem Himmel durch den zuvor beschriebenen Vergleich mit dem Referenzgerät statt. Viele nationale meteorologische Einrichtungen verfügen über die Möglichkeit zu kalibrieren. Deren Referenz-Pyranometer sind rückführbar auf die "World Radiometric Reference", die in Davos, Schweiz mit Hilfe der Absolut-Schwarzkörper-Kavität mehrerer Pyrheliometer bestimmt wird.

Diese Vergleiche werden entweder im Labor oder einem der regionalen Strahlungszentren durchgeführt, s. a. Anhang III. Diese Institute bieten manchmal die Kalibrierung an.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Kalibrierung von Instrumenten mit schmalen Sichtfeld (Pyrheliometer) auf Instrumente mit breitem Sichtfeld (Pyranometer) zu übertragen. Z. B. wird der Anteil an Direktstrahlung auf ein Pyranometer vorübergehend durch Beschattung des äußeren Domes mit einer Scheibe abgehalten. Es besteht bei dieser Methode jedoch kein thermales Gleichgewicht und manche Pyranometer zeigen hierbei eine Verschiebung des Null-Offset.

Dann gibt es die andere Methode, während derer das Pyranometer in seiner bisherigen Betriebsstellung verbleibt. Diese "Komponenten"-Methode beinhaltet die Messung der Direktstrahlung mit einem Pyrheliometer und der Diffusstrahlung mit einem abgeschatteten Pyranometer. Da an einem klaren Tag die Diffusstrahlung nur ungefähr 10% der Globalstrahlung ausmacht, muss die Empfindlichkeit des zweiten Pyranometers nicht unbedingt auf die Kommastelle genau bekannt sein. Beide Methoden eignen sich aber, um ein betriebsfähiges Standardpyranometer zu erhalten. Die letztere wird der internationalen Vorschrift ISO 9846 genauestens beschrieben.

Die Übertragung von diesem Standardpyranometer auf andere Pyranometer kann im Sonnenlicht vorgenommen werden. Die Pyranometer müssen Seite an Seite installiert werden, so dass jedes dasselbe Sichtfeld hat. Die Ausgangs- oder Durchschnittswerte sollten über einen längeren Zeitraum integriert werden, um dann, mit diesen Durchschnittswerten als Ausgangsbasis, die konstanten Kalibrierwerte zu erhalten. Dies reduziert etwaige Fehler, die sich durch wechselnde Bedingungen während des Tages ergeben könnten.

Die Übertragung von einem anderen Pyranometer im Labor ist nur dann möglich, wenn beide Pyranometer desselben Typs sind, denselben Glasdom und dieselbe optische Beschichtung haben. Kipp & Zonen kann Pyranometer gegen eine Gebühr nach dieser Methode kalibrieren.

Eine Zusammenfassung der Kalibriermethoden findet sich auch im WMO Handbuch von 1996.

Um ein Pyranometer zur Rekalibrierung einzusenden, sollten Sie die Formulare in Anhang V verwenden.

### **6.3 KALIBRIERUNG BEI KIPP & ZONEN**

#### **6.3.1 Die Kalibriereinrichtung**

Die künstliche Sonne ist eine hochwertige Filmsonne (OSRAM), die durch einen AC Spannungsstabilisator versorgt wird. Sie enthält eine 1000 W Tungsten Halogenlampe mit gebündeltem Glühfaden. Der eingebaute Ventilator erlaubt deren Dauerbetrieb. Hinter der Lampe ist ein Diffusreflektor mit einem Durchmesser von 7,5cm. Der Reflektor ist 120cm über den Pyranometern angebracht, dies entspricht einem Sonnendurchmesser von 3,5°.

Um die Lichtstreuung durch Wände und Personen möglichst gering zu halten, werden die beiden Pyranometer von einem begrenzten konischen Lichtstrahl angestrahlt. Das zu kalibrierende Pyranometer 'a' und das Referenz-Pyranometer 'b' sind Seite an Seite auf einem kleinen Tisch angebracht. Dieser Tisch kann rotieren, um die Positionen (1 und 2) der beiden Pyranometer zu tauschen. Die Lampe ist genau auf die Rotationsachse des Tisches ausgerichtet. Eigentlich gibt es hier keinen normalen Strahlungseinfall. Aber der Einfallswinkel ist für beide Pyranometer gleich (3°), so dass hier keine Fehler entstehen können. Die Pyranometer werden auch nicht mittels der Nivellierschrauben ausgerichtet, sondern sind mit dem Sockel direkt angebracht. Die Auswirkung einer geringfügigen Neigung ist fast Null (vergl.  $\cos. 3^\circ = 0.9986$  and  $\cos. 4^\circ = 0.9976$ ). Die Strahlungsaufnahme der Pyranometer liegt bei ca.  $500 \text{ W/m}^2$ . Die Farbtemperatur des Lichtes ist 3300 K.

#### **6.3.2 Die Methode**

Nachdem die Geräte 60 Sekunden lang beleuchtet wurden, werden ihre Ausgangsspannungen 30 Sekunden lang mittels eines Datenloggers integriert. Als nächstes werden beide Pyranometer mit einer schwarzen Haube versehen. Nach weiteren 60 Sekunden wird das Nulloffset-Signal beider Pyranometer wiederum integriert.

Das Problem mit dem Null-Offset wird unten beschrieben. Der Null-Offset muss subtrahiert werden, um die entsprechenden Ansprechwerte A und B zu erhalten.

Die Strahlung bei Position 1 (Pyranometer 'a') kann durch die Asymmetrien in der Lampenoptik, etc., geringfügig von der Strahlung bei Position 2 (Pyranometer 'b') abweichen. Aus diesem Grunde wird die Position der Pyranometer getauscht, und die ganze Prozedur wiederholt. Hieraus ergeben sich wiederum zwei Werte: A' und B'.

### 6.3.3 Kalkulation

Die Empfindlichkeit des zu kalibrierenden Pyranometers ergibt sich nach Formel 2:

$$S_a = \frac{A + A'}{B + B'} \cdot S_b \quad (\text{Formel 2})$$

$S_b$  = Empfindlichkeitswert des Referenz-Pyranometers bei 20°C

A = Ausgangssignal des Pyranometers auf Position 1

A' = Ausgangssignal des Pyranometers auf Position 2

B = Ausgangssignal des Referenz-Pyranometers auf Position 2

B' = Ausgangssignal des Referenz-Pyranometers auf Position 1

$S_a$  = Empfindlichkeitswert des zu kalibrierenden Pyranometers bei 20°C

Ausgangssignal bedeutet = (Mittelwert bei 100% Strahlungsaufnahme minus Nulloffset-Signal)

### 6.3.4 Null-Offset

Das Lampengehäuse und -schirm geben langwellige Infrarotstrahlung ab, die den äußeren und indirekt auch den inneren Glasdom aufheizen. Wenn die Pyranometer beschattet werden, verbleibt dennoch ein kleines Signal von bis zu 20 µV, bedingt durch die Infrarotstrahlung vom inneren Dom zum Sensorelement. Dieser Null-Offset verschwindet mit einer Zeitkonstante (1/e) von mehreren Minuten.

Nach der direkten Beleuchtung der Sensoren kann ebenfalls ein Null-Offset festgestellt werden. Um dies zu korrigieren, muss der nach 60 Sekunden Beschattung gemessene Null-Offset von diesem Wert subtrahiert werden.

### **6.3.5 Rückführbarkeit auf die “World Radiometric Reference”**

Kipp & Zonen verfügen über Referenz-Pyranometer. Jedes der Referenzgeräte ist charakterisiert. Deren Linearität, das Temperaturabhängigkeitsverhalten und das Richtungsverhalten sind genauestens verzeichnet.

Diese Referenzgeräte werden jährlich am World Radiation Centre in Davos, Schweiz, nach der “Komponenten”-Methode kalibriert.  
Erweiterte Kalibrierzertifikate mit Nennung dieser Methode sind erhältlich.



## **7 HÄUFIG GESTELLTE FRAGEN (FAQ's)**

Die am häufigsten gestellten Fragen sind hierunter aufgelistet. Für einen Update können Sie auch die Kipp & Zonen Webseite:

<http://www.kippzonen.com> – besuchen.

### **1. Negatives Ausgangssignal während nächtlicher Messungen?**

Dieser Fehler steht in Verbindung mit dem Null-Offset Typ A. Normalerweise tritt dieser Null-Offset auf, wenn der innere Dom eine andere Temperatur hat als die Kaltstellen auf dem Sensorelement. Dies ist bei klarem Himmel praktisch immer der Fall. Aufgrund der geringen effektiven Himmelstemperatur ( $<0\text{ °C}$ ) gibt die Erdoberfläche annähernd  $100\text{ W/m}^2$  langwelliger, nach oben gerichteter Infrarotstrahlung ab. Der äußere Glasdom eines Pyranometers gibt dieselbe Strahlung ab und kühlt sich daher auf einige Grad unter Lufttemperatur ab. (das Emissionsvermögen von Glas in diesem speziellen Wellenlängenbereich ist annähernd 1). Die abgestrahlte Wärme kommt vom Gerätekörper (durch Ableitung in den Dom), aus der Luft (entsteht hier durch den Wind) und vom inneren Dom (entsteht hier durch Infrarotstrahlung). Der innere Dom kühlt sich auch ab und zieht Wärme vom Gerätekörper und vom Sensor durch Infrarotstrahlung ab. Der letztgenannte Wärmefluss ist dem durch absorbierte Solarstrahlung entstandenen Wärmefluss entgegengesetzt und verursacht bei Nacht den wohlbekannten Null-Offset von ca.  $-5\text{ W/m}^2$ . Dieser negative Null-Offset entsteht auch an einem klaren Tag, wird jedoch vom Solarstrahlungssignal überdeckt.

Der Null-Offset Typ A kann mittels einer licht- und infrarotstrahlungsreflektierenden Abdeckung, die auf das Pyranometer aufgesetzt wird, überprüft werden. Ein Stück dünne Aluminiumfolie, die nur den äußeren Dom bedeckt, hat sich am besten bewährt. Mit dieser Konfiguration werden nur Strahlenflüsse (kurz- und langwellig) an den äußeren Dom blockiert. Andere Wärmeströme, z. B. vom Wind, etc. bleiben hiervon unberührt.

Das Ansprechvermögen auf Solarstrahlung wird mit einer Zeitkonstante  $1/e$  von 4 Sekunden abnehmen, während sich die Domtemperatur mit einer Zeitkonstante von einigen Minuten ausgleicht. Somit ist nach einer Minute das verbleibende Signal Hauptbestandteil des Null-Offsets Typ A.

Eine gute Belüftung der Dome und des Gerätekörpers vermindert den Null-Offset A. Kipp & Zonen empfiehlt hierzu die Ventilationseinheit CV2 zur optimalen Belüftung und Unterdrückung des Null-Offsets, der hierdurch auf weniger als  $3 \text{ W/m}^2$  verringert wird.

## **2. Maximale und minimale Strahlungsmengen?**

Durch die mögliche Reflektion durch Wolken kann die Globalstrahlung auf Höhe des Meeresspiegels über den extraterrestrischen Strahlungswert von  $1367 \text{ W/m}^2$  an der oberen Grenze der Atmosphäre steigen. Es wurden Werte bis zu  $1500 \text{ W/m}^2$  verzeichnet.

Da Wolken wandern, entstehen solche Werte meist nur für die Dauer von wenigen Minuten.

## **3. Was ist die primäre Eintrittsstelle für Luftfeuchtigkeit?**

Die Trocknungskassette und Kabelverschraubungen sind gleichermaßen anfällig für das Eindringen von Luftfeuchtigkeit, aber auch die Silikonnaht der Dome ist nicht hundertprozentig wasserdicht. Jedoch werden die Kabelverschraubungen, im Gegensatz zur Trocknungskassette, die regelmässig ausgewechselt wird, nach der Installation nicht mehr angerührt.

Wenn man also keine Vorsicht walten lässt, (siehe oben) wird die Trocknungskassette zum hauptsächlichen Schwachpunkt für eindringende Feuchtigkeit.

Achtung ein Wassereintritt kann auch am Kabel erfolgen, wenn sich dessen offenes Ende und das hieran angeschlossene Gerät in einer Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit befinden

## **8 BESEITIGUNG VON STÖRUNGEN**

Nachfolgend eine Anleitung zur Überprüfung des Sensors, wenn dieser nicht korrekt funktioniert.

Störungsbeseitigung:

Kein oder ein gestörtes Ausgangssignal:

- Kabel überprüfen, ob diese richtig an das Auswertegerät angeschlossen sind
- Sensorstandort überprüfen. Gibt es irgendwelche Hindernisse, die irgendwann während des Tages Schatten auf den Sensor werfen oder die direkte Strahlung auf den Sensor blockieren
- Dom überprüfen, ob sich im Inneren Feuchtigkeit angesammelt hat. Gegebenenfalls das Trocknungsmittel erneuern. Bei zu viel Feuchtigkeit muss der Sensor innen getrocknet werden.
- Sensorimpedanz prüfen (0 – 100 Ohm)
- Datenlogger- oder Integrator-Offset durch den Anschluss eines Abschlusswiderstandes (10 – 100 Ohm Widerstand) überprüfen. Hier sollte sich ein Nullsignal ergeben.

Wenn sich außen Wasser angesammelt oder Eis abgelagert hat, muss der Sensor davon befreit werden. Wassertröpfchen verflüchtigen sich wahrscheinlich in weniger als einer Stunde.

Jede sichtbare Beschädigung oder offensichtliche Störung sollte Ihrem Händler mitgeteilt werden, der dann entsprechende Maßnahmen vorschlägt.



**9 ERSATZTEILENUMMERN / OPTIONEN**

<b>Beschreibung</b>	<b>Teile-Nr.</b>
Äußerer Glasdom Ø 50mm mit Metallring	0305-162
Sonnenschirm weiß, Kunststoff, Schnappbefestigung	9012-192
Nivellierschrauben (2 pro Pyranometer)	0012-117
fester Standfuss	0012-116
Komplette Trocknungskassette	0305-720
bestehend aus:	
Metallklammer	
Trockenpatrone (ohne Deckel)	
Deckel für Trockenpatrone	
Gummidichtring	
Silika Gel (Dose 1kg)	2643-943
Montageplatte für 4 Sensoren ohne Ventilation (2 oben, 2 unten)	0012 092



## ANHANG I    KLASSIFIZIERUNG NACH WMO HANDBUCH 1996

Charakteristika	CM6B	Hohe Qualität	Gute Qualität	Mittlere Qualität
ISO 9060 Klassifizierung		Secondary standard	First class	Second class
Ansprechzeit (95%)	5 s	< 15 s	< 30 s	< 60 s
Nulloffset:				
(a) Ansprechverhalten zu 200 W/m <sup>2</sup> Netto-Wärmestrahlung (ventiliert)	<± 3 W/m <sup>2</sup> (with CV 2)	<± 7 W/m <sup>2</sup>	<± 15 W/m <sup>2</sup>	<± 30 W/m <sup>2</sup>
(b) Ansprechverhalten auf Änderung d. Umgebungstemperatur um 5 K/h	<± 1 W/m <sup>2</sup>	<± 2 W/m <sup>2</sup>	<± 4 W/m <sup>2</sup>	<± 8 W/m <sup>2</sup>
Auflösung (kleinste verzeichnete Veränderung)	<± 1 W/m <sup>2</sup>	± 1 W/m <sup>2</sup>	± 5 W/m <sup>2</sup>	± 10 W/m <sup>2</sup>
Stabilität (Veränderung pro Jahr/prozentual)	< 0.5	± 0.8	± 1.5	± 3.0
Richtungsverhalten (Fehler aufgrund der Annahme, dass normale Strahlungsaufnahme für Messungen in alle Richtungen, für Strahlung mit 1000 W/m <sup>2</sup> aus allen Richtungen, gilt)	<± 5 W/m <sup>2</sup>	<± 10 W/m <sup>2</sup>	<± 20 W/m <sup>2</sup>	<± 30 W/m <sup>2</sup>
Temperaturverhalten (Max. Prozentwert durch Änderung der Umgebungstemperatur in Intervallen von 50 K	<± 0.5 -20°C→+50°C	<± 2	<± 4	<± 8
Nichtlinearität (prozentuale Abweichung bei 500 W/m <sup>2</sup> bedingt durch Veränderung der Strahlung im Bereich 100 to 1000 W/m <sup>2</sup> )	<± 0.2	<± 0.5	<± 1	<± 3
Spektrale Sensitivität (prozentuale Abweichung des Produktes der spektralen Absorption und spektralen Übertragung vom entsprechenden Mittelwert im Bereich von 0.3 to 3 µm	<± 2	<± 2	<± 5	<± 10
Neigungsverhalten (prozentuale Abweichung bei 0° Neigung, horizontal, durch Neigungsänderung von 0° bis 90° bei 1000 W/m <sup>2</sup> Strahlung	<± 0.25	<± 0.5	<± 2	<± 5
Erzielbare Unsicherheit bei 95% Verlässlichkeit				
Gesamtstundenwert	2 %	3%	8%	20%
Gesamttageswert	1 %	2%	5%	10%



## **ANHANG II    RADIOMETRISCHE NIVELLIERUNG**

Diese Nivellierung muss in einem Labor durchgeführt werden. Hierbei wird das Gerät auf eine Vorrichtung montiert, die sich um die eigene Längsachse dreht und die genau an der Mitte des Sensorelementes ausgerichtet ist. Der Sensor wird dann mit einer Lampe angeleuchtet, so dass die Strahlung mit einer maximalen Elevation von  $15^\circ$  zur Horizontalen auf den Sensor auftrifft. Die Lampe sollte mit einer konstanten Spannung versorgt werden.

Das Ausgangssignal des Strahlungssensors wird dann in verschiedenen Azimutwinkeln gemessen und seine Nivellierung unabhängig von der Ausrichtung der rotierenden Montagevorrichtung angepasst, und zwar so lange, bis die kleinstmögliche Rotationsdrift erreicht ist. Danach wird die Libelle entsprechend markiert, so dass die korrekte Nivellierung jederzeit im Freien wiedergefunden werden kann.



---

### **ANHANG III LISTE DER WELT- UND REGIONALEN STRAHLUNGSZENTREN**

Welt-Strahlungszentren		Davos (Schweiz) St. Petersburg (Russland)
Regionale Strahlungszentren		
Region I	Afrika:	Kairo (Ägypten) Khartoum (Sudan) Kinshasa (Zaire) Lagos (Nigeria) Tamanrasset (Algerien) Tunis (Tunisien)
Region II	Asien:	Poona (Indien) Tokyo (Japan)
Region III	Südamerika:	Buenos Aires (Argentinien)
Region IV	Nord- und Zentralamerika:	Toronto (Kanada) Washington (U.S.A.)
Region V	Südwest-Pazifik:	Aspendale (Australien)
Region VI	Europa:	Bracknell (Grossbritannien) Budapest (Ungarn) Davos (Schweiz) St. Petersburg (Russland) Norrköping (Schweden) Trappes/Carpentras (Frankreich) Uccle (Belgien) Potsdam (Deutschland)



## **ANHANG IV REKALIBRATIONS SERVICE**

### **Pyranometer, UV-Sensoren, Pyrgeometer & Sonnenscheindauersensoren**

Die Kipp & Zonen Strahlungsmessgeräte entsprechen den meisten internationalen Standards und Anforderungen. Um die einwandfreie Funktion der Geräte zu gewährleisten, wird die regelmäßige Rekalibrierung, mindestens einmal alle 2 Jahre, empfohlen.

Diese den höchsten Standards entsprechenden Kalibrierungen können kostengünstig direkt bei Kipp & Zonen erfolgen. Die Rekalibrierung nimmt etwa 4 Wochen in Anspruch. Für dringend benötigte Geräte kann dieser Zeitraum noch auf 3 Wochen oder sogar weniger verkürzt werden (abhängig von der Auftragsterminierung bei Kipp & Zonen). Kipp & Zonen bestätigt jederzeit die Kalibrierdauer.

Untenstehend 3 Anforderungsformulare, die Sie faxen können.





**NAME:**  
**FIRMA/INSTITUT:**  
**ADRESSE:**  
**PLZ / ORT:**  
**LAND:**  
**TELEFON:**  
**FAX:**

**Bitte senden Sie mir die Preise für Rekalibrierungen  
 Ich möchte folgendes Gerät kalibrieren lassen**

Type/Modell:	Menge	Gewünschte Lieferzeit
		Ich beabsichtige, die Instrumente zu folgendem Zeitpunkt einzusenden: ...../. ...../. .....
		Ich möchte die Instrumente zu folgendem Zeitpunkt zurückhaben: ...../. ...../. .....

Bestätigung durch Kipp & Zonen
<input type="checkbox"/> Ja, diesen Zeitpunkt können wir einhalten  <input type="checkbox"/> Nein, bedauerlicherweise können wir die gewünschten Termine bei unserer Planung nicht berücksichtigen. Wir schlagen daher alternativ vor: ...../. ...../. ..... ...../. ...../. .....

**Fax +31-15-2620351**

oder mailen an:

**Kipp & Zonen P.O. Box 507 2600AM  
 Delft The Netherlands**





NAME:  
FIRMA/INSTITUT:  
ADRESSE:  
PLZ / ORT:  
LAND:  
TELEFON:  
FAX:

Bitte senden Sie mir die Preise für Rekalibrierungen  
Ich möchte folgendes Gerät kalibrieren lassen

Type/Modell:	Menge	Gewünschte Lieferzeit
		Ich beabsichtige, die Instrumente zu folgendem Zeitpunkt einzusenden: ...../...../.....
		Ich möchte die Instrumente zu folgendem Zeitpunkt zurückhaben: ...../...../.....

**Bestätigung durch Kipp & Zonen**

Ja, diesen Zeitpunkt können wir einhalten

Nein, bedauerlicherweise können wir die gewünschten Termine bei unserer Planung nicht berücksichtigen. Wir schlagen daher alternativ vor:

...../...../.....  
...../...../.....

**Fax +31-15-2620351**

oder mailen an:

**Kipp & Zonen P.O. Box 507 2600AM  
Delft The Netherlands**





**NAME:**  
**FIRMA/INSTITUT:**  
**ADRESSE:**  
**PLZ / ORT:**  
**LAND:**  
**TELEFON:**  
**FAX:**

**Bitte senden Sie mir die Preise für Rekalibrierungen  
Ich möchte folgendes Gerät kalibrieren lassen**

Type/Modell:	Menge	Gewünschte Lieferzeit
		Ich beabsichtige, die Instrumente zu folgendem Zeitpunkt einzusenden: ...../...../.....
		Ich möchte die Instrumente zu folgendem Zeitpunkt zurückhaben: ...../...../.....

Bestätigung durch Kipp & Zonen
<input type="checkbox"/> Ja, diesen Zeitpunkt können wir einhalten
<input type="checkbox"/> Nein, bedauerlicherweise können wir die gewünschten Termine bei unserer Planung nicht berücksichtigen. Wir schlagen daher alternativ vor: ...../...../..... ...../...../.....

**Fax +31-15-2620351**

**oder mailen an:**

**Kipp & Zonen P.O. Box 507 2600AM  
Delft The Netherlands**



## CUSTOMER SUPPORT

Our customer support remains at your disposal for any maintenance or repair, calibration, supplies and spares. The address is as follows:

Für Servicearbeiten und Kalibrierung, Verbrauchsmaterial und Ersatzteile steht Ihnen unsere Customer Support Abteilung unter folgender Adresse zur Verfügung:

Notre service 'Support Clientèle' reste à votre entière disposition pour tout problème de maintenance, réparation ou d'étalonnage ainsi que pour les accessoires et pièces de rechange. Leur adresse est la suivante :

*Holland* **Kipp & Zonen B.V.**  
Röntgenweg 1  
2624 BD DELFT  
**T** +31 15 269 8000  
**F** +31 15 262 0351  
**E** [kipp.holland@kippzonen.com](mailto:kipp.holland@kippzonen.com)

*USA* **Kipp & Zonen USA Inc.**  
125, Wilbur Place  
BOHEMIA/NY 11716  
**T** +1 631 589 2065  
**F** +1 631 589 2068  
**E** [kipp.usa@kippzonen.com](mailto:kipp.usa@kippzonen.com)

*UK* **Kipp & Zonen Ltd.**  
P.O. Box 819,  
LINCOLN, Lincolnshire LN6 0WY  
**T** +44 1522 695 403  
**F** +44 1522 696 598  
**E** [kipp.uk@kippzonen.com](mailto:kipp.uk@kippzonen.com)

*France* **Kipp & Zonen S.A.R.L.**  
7, avenue Clément Ader  
ZA Ponroy - Bât. M  
F-94420 LE PLESSIS TREVISE  
**T** +33 1 49 62 4104  
**F** +33 1 49 62 4102  
**E** [kipp.france@kippzonen.com](mailto:kipp.france@kippzonen.com)

*Germany* **Gengenbach Messtechnik**  
Heinrich-Otto-Strasse 3  
D-73262 REICHENBACH/FILS  
**T** +49 7153 9258 0  
**F** +49 7153 9258 160  
**E** [info@rg-messtechnik.de](mailto:info@rg-messtechnik.de)



[WWW.KIPPZONEN.COM](http://WWW.KIPPZONEN.COM)