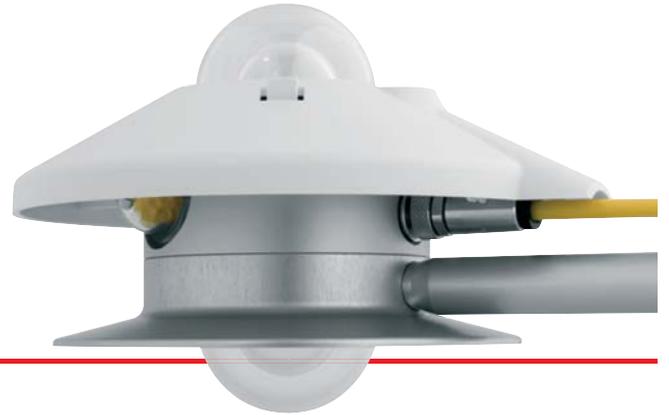


CMA Serie

Albedometer



CMP Serie

Pyranometer



Bedienungsanleitung

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.

Falls Sie irgendwelche Anmerkungen zu dieser Bedienungsanleitung machen möchten, wäre Kipp & Zonen Ihnen für eine entsprechende Mitteilung dankbar:

Kipp & Zonen B.V.	2628 XH Delft, Niederlande
Delftechpark 36	2600 AM Delft, Niederlande
P.O. Box 507,	
Telefon	+31 (0)15 2755-210
Fax	+31 (0)15 2620-351
Email	info@kippzonen.com
Internet	www.kippzonen.com

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® 2006 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.

Bedienungsanleitung Version 0806



KONFORMITÄTSBESCHEINIGUNG

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

Wir: **Kipp & Zonen B.V.**
Delftechpark 36
2628 XH Delft
Niederlande

erklären, dass die Produkte

Typ: **CMP3 / CMP6 / CMP11 / CMP21 / CMP22**

Name: **Pyranometer**

und

Typ: **CMA6 / CMA11**

Name: **Albedometer**

den Vorgaben folgender Vorschriften:

Immissions: EN 50082-1 Group Standard

Emissions: EN 50081-1 Group Standard
EN 55022

Sicherheitsstandard IEC 1010-1

entsprechen.



B.A.H. Dieterink
President
KIPP & ZONEN B.V.

INHALTSVERZEICHNIS

WICHTIGE INFORMATION FÜR DEN ANWENDER.....	1
KONFORMITÄTSBESCHEINIGUNG.....	3
INHALTSVERZEICHNIS.....	5
1. ALLGEMEINE INFORMATION.....	9
1.1 Einführung.....	9
2. INSTALLATION UND FUNKTIONSWEISE.....	11
2.1 Lieferung.....	11
2.2 Mechanische Installation.....	11
2.2.1 Installation zur Messung der Globalstrahlung.....	12
2.2.2 Installation zur Messung der Solarstrahlung auf geeigneten Oberflächen.....	14
2.2.3 Installation zur Messung der reflektierten Strahlung.....	14
2.2.4 Installation zur Messung der Diffusstrahlung.....	15
2.2.5 Installation zur Messung der Albedo.....	15
2.2.6 Einsatz unter Wasser.....	16
2.3 Elektrischer Anschluss.....	16
2.4 Funktionsweise.....	17
2.5 Messunsicherheit.....	17
2.6 Wartung.....	19
3. GRUNDKOMPONENTEN DER PYRANOMETER.....	21
3.1 Glasdom.....	22
3.2 Sensorelement.....	22
3.3 Gehäuse.....	22
3.4 Trocknungskassette.....	23
3.5 Kabel und Steckverbinder.....	23
4. PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER PYRANOMETER.....	25
4.1 Spektralbereich.....	25
4.2 Empfindlichkeit.....	25
4.3 Impedanz.....	25
4.4 Ansprechzeit.....	26
4.5 Nichtlinearität.....	26

4.6	Temperaturabhängigkeit.....	26
4.7	Neigungsfehler.....	26
4.8	Null-Offset A.....	27
4.9	Null-Offset B.....	27
4.10	Betriebstemperatur.....	27
4.11	Sichtfeld.....	28
4.12	Richtungsverhalten.....	28
4.13	Maximale Strahlungsaufnahme.....	28
4.14	Stabilitätsabweichung.....	28
4.15	Spektrale Selektivität.....	29
4.16	Umwelt.....	29
4.17	Messunsicherheit.....	29
5.	KALIBRIERUNG.....	31
5.1	Kalibrierprinzip.....	31
5.2	Kalibrierverfahren bei Kipp & Zonen.....	31
5.2.1	Kalibriereinrichtung.....	31
5.2.2	Kalibrierverfahren.....	32
5.2.3	Kalkulation.....	32
5.2.4	Null-Offset.....	32
5.3	Rückführbarkeit auf die "World Radiometric Reference".....	33
5.4	Rekalibrierung.....	33
6.	CMP / CMA MODELLE.....	35
6.1	CMP6 / CMA6.....	35
6.2	CMP11 / CMA11.....	35
6.3	CMP21.....	36
6.4	CMP22.....	36
6.5	Leistungsmerkmale der CMP / CMA Serie.....	37
6.6	Allgemeine Eigenschaften der CMP / CMA Serie.....	38
7.	HÄUFIG GESTELLTE FRAGEN (FAQ'S).....	39
8.	STÖRUNGSBESEITIGUNG.....	41
ANHANG I	RADIOMETRISCHE TERMINOLOGIE.....	43
ANHANG II	10K THERMISTOR SPEZIFIKATIONEN.....	45

ANHANG III	PT-100 SPEZIFIKATIONEN.....	47
ANHANG IV	KLASSIFIZIERUNG NACH WMO HANDBUCH 1996.....	49
ANHANG V	LISTE DER WELT- UND REGIONALEN STRAHLUNGSZENTREN.....	51
ANHANG VI	REKALIBRIERUNGSSERVICE.....	53

1. ALLGEMEINE INFORMATION

1.1 Einführung

Bitte lesen Sie diese Bedienungsanleitung und die separate Kurzanleitung sorgfältig durch.

Bei den Geräten der CMP und CMA Serie handelt es sich um hochwertige Radiometer zur Messung der kurzwelligeren Strahlung auf ebenen Oberflächen (Strahlungsfluß, W/m^2), die sich aus der Summe der Direktstrahlung und der Diffusstrahlung aus der Hemisphäre über dem Instrument ergibt.

Pyranometer sind die nach ISO 9060 und den Vorgaben der WMO (World Meteorological Organisation) designierten Instrumente zur Messung der globalen oder diffusen Solarstrahlung. Jedes Pyranometer der CMP- / CMA-Serie entspricht jeweils einer der Klassen, die durch internationale Standards vorgegeben sind.

Diese Bedienungsanleitung, in Verbindung mit der Kurzanleitung, informiert über die Installation, Wartung, Kalibrierung, Produkteigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der CMP- / CMA-Serie. Das kleinere Pyranometer CMP3 mit einfachem Glasdom wurde aufgrund seiner unterschiedlichen Konstruktionsweise nicht mit in diese Bedienungsanleitung aufgenommen. Dennoch treffen die allgemeinen Definitionen und Richtlinien auch für das CMP3 zu.

Für Fragen hierzu setzen Sie sich bitte mit Ihrem örtlichen Händler oder mit Kipp & Zonen unter

info@kippzonen.com

in Verbindung. Sollten Sie Informationen zu anderen Kipp & Zonen Produkten oder zu Updates dieser Bedienungsanleitung suchen, finden Sie diese unter:

www.kippzonen.com.

2. INSTALLATION UND FUNKTIONSWEISE

2.1 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 der Lieferung, die Reparatur oder den Ersatz der Geräte veranlassen zu können.

Lieferumfang:

1. Radiometer
2. weißer Sonnenschirm
3. Kabel mit Steckverbinder
4. Prüfprotokoll
5. Kurzanleitung
6. Befestigungsmaterial
7. 2 Päckchen Trocknungsmittel
8. CD mit Produktdokumentation

Obwohl alle CMP- / CMA-Radiometer wetterfest und für den Einsatz unter rauen Umgebungsbedingungen ausgelegt sind, haben sie dennoch einige empfindliche mechanische Teile. Verwahren Sie deshalb unbedingt die Originalverpackung, um das Radiometer sicher zum Einsatzort oder zur Rekalibrierung, etc., zu transportieren.

Das mit dem Instrument gelieferte Kalibrierzertifikat gilt jeweils für 1 Jahr ab Datum des ersten Einsatzes. Die Leistungsmerkmale der Geräte variieren je nach Umgebungsbedingung innerhalb gewisser Parameter, die in den Gerätespezifikationen jeweils angegeben sind. Das Kalibrierzertifikat datiert in Bezug zum Herstellungs- oder Rekalibrierdatum, und die Geräteempfindlichkeit ändert sich nicht, solange es sich in der verschlossenen Originalverpackung befindet und nicht dem Licht ausgesetzt wird. Von dem Moment an, in dem das Gerät einer Strahlung ausgesetzt wird, fängt die Empfindlichkeit an, sich im Laufe der Zeit allmählich zu verändern. Näheres hierzu in den Gerätespezifikationen unter „Stabilitätsabweichung“ – maximale Änderung der Empfindlichkeit pro Jahr.

2.2 Mechanische Installation

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

2.2.1 Installation zur Messung der Globalstrahlung

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

1. Trocknungsmittel

Überprüfen Sie das Trocknungsmittel und ersetzen Sie es bei Bedarf, z. B. nach einer langen Lagerungszeit.

2. Örtlichkeit

Idealerweise sollten sich am Einsatzort des Pyranometers über dem Sensorelement keine Sichthindernisse befinden. Wenn dies nicht möglich ist, sollte der Standort so gewählt werden, dass sich Sichthindernisse über dem Azimutbereich 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 Azimutbereich von 360° die nach unten gerichtete Diffusstrahlung lediglich um 0,8%.

Das Radiometer sollte aber auf jeden Fall zur Reinigung des äußeren Glasdomes und zur Überprüfung des Trocknungsmittels frei zugänglich sein.

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 produzieren, die im Spektralbereich des Radiometers liegt und somit Messabweichungen verursachen kann. Das Pyranometer sollte nicht vor hellen Wänden oder anderen, das Sonnenlicht reflektierenden Objekten aufgebaut werden.

3. Montage

Das CMP Pyranometer ist mit zwei Bohrungen für 5 mm Schrauben versehen. Zwei Schrauben aus rostfreiem Stahl, zwei Unterlegscheiben, zwei Muttern und zwei Isolierringe aus Nylon werden mitgeliefert. Das Pyranometer sollte zuerst lose auf die Montagevorrichtung geschraubt werden, siehe Abbildung 1.

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, indem man das Gerät auf die Nivellierschrauben stellt. Hierbei sollte jedoch eine Erdung bestehen bleiben, um durch Blitze verursachte Spannungen in der Kabelabschirmung abzuleiten.

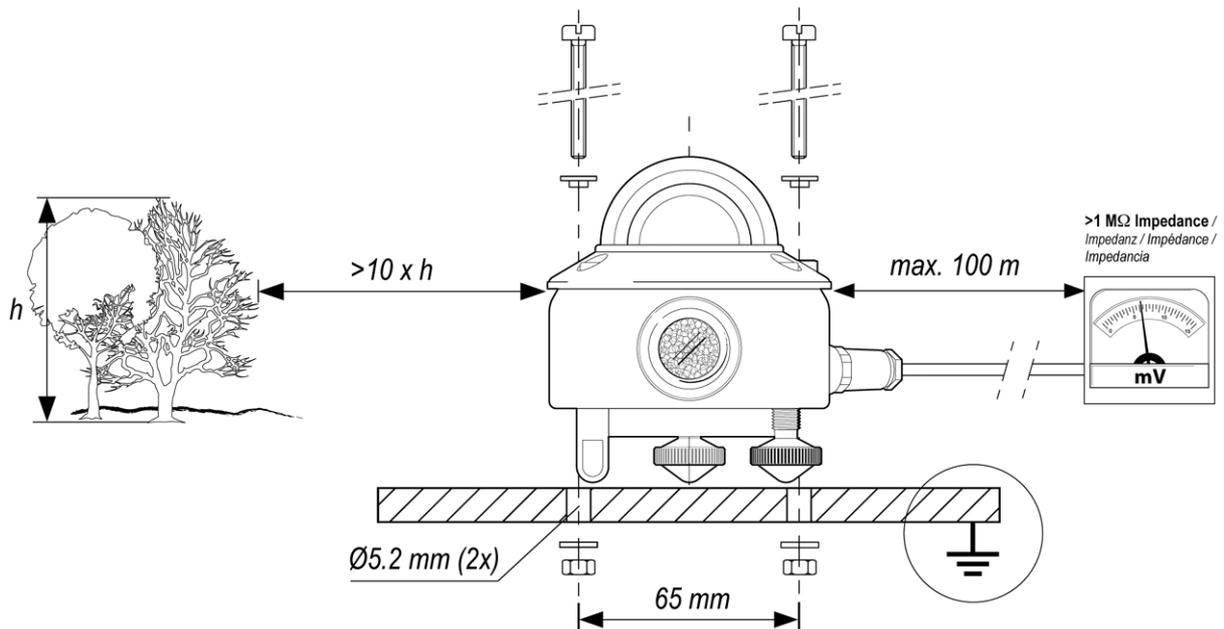


Abbildung 1 Montage des Pyranometers

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

4. Ausrichtung

Prinzipiell ist keine spezielle Ausrichtung des Gerätes notwendig. Die "World Meteorological Organization" empfiehlt jedoch, dass die Signalleitung zum nächstgelegenen Pol ausgerichtet wird, um eine eventuelle Erhitzung elektrischer Komponenten zu vermeiden.

5. 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 Pyranometer mit Hilfe der Libelle horizontal ausgerichtet oder mit dem Sockel auf einer horizontalen Oberfläche angebracht ist, ist auch die Thermosäule innerhalb eines Bereiches von $0,1^\circ$ horizontal.

6. Befestigung des Pyranometers

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

7. Anbringen des Kabels und des Sonnenschirms

Stecken Sie den Steckverbinder in die Buchse am Radiometer (Stecker ist verpolungssicher) und verschrauben Sie den Arretiering (nicht zu fest). Dann stecken Sie den Sonnenschirm auf, um eine Erhitzung des Radiometergehäuses zu vermeiden.

2.2.2 Installation zur Messung der Solarstrahlung auf geneigten Oberflächen

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°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.

2.2.3 Installation zur Messung der reflektierten Strahlung

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. 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. Es gibt ihn separat als Zubehör für die CMP-Serie.

Die Auswirkung der durch thermische Effekte im Pyranometer abweichenden Signale auf die Messung reflektierter Strahlung wird durch das niedrigere Strahlungsniveau verfünffacht.

Der Mast in Abbildung 2 fängt den Bruchteil $D/2 \pi \text{ sr}$ 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% und 99% des Signals kommen aus einem Umkreis von 10 H.

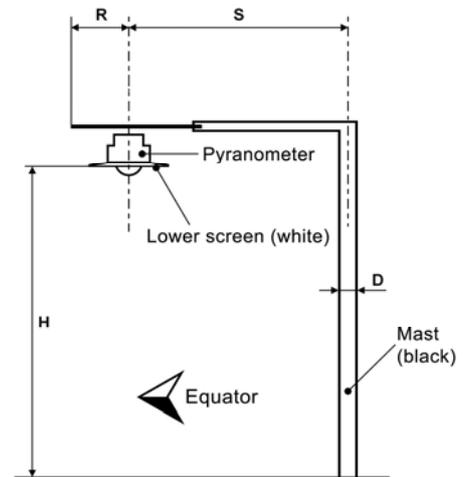


Abbildung 2 Mastkonstruktion

2.2.4 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, wie in Abbildung 3 beschrieben, notwendig. Hierfür gibt es z. B. den 2AP-Tracker von Kipp & Zonen, der die Abschattungsvorrichtung dem Verlauf der Sonne bei jedem Wetter nachführt. Mehr Information zur Kombination von Pyranometern und Tracker ansehen Sie im Handbuch für den 2AP Tracker.

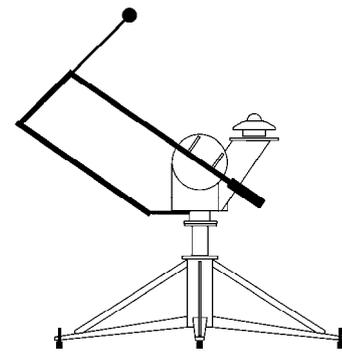


Abbildung 3 2AP Tracker mit abgeschattetem Pyranometer

Alternativ kann ein Schattenring eingesetzt werden, der aber nicht so genau ist und von Zeit zu Zeit manuell nachgestellt werden muss. 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 ist Hersteller eines universellen Schattenringes, des CM121, der für den Einsatz auf allen Breitengraden geeignet ist. Im Handbuch für den CM121 finden Sie Installationsanweisungen, sowie die Korrekturfaktoren.

2.2.5 Installation zur Messung der Albedo

Ein Albedometer misst beides, die Globalstrahlung und die von der Erdoberfläche reflektierte Solarstrahlung. Es kann entweder aus jeweils zwei Pyranometern der CMP-Serie und einer entsprechenden Montagevorrichtung zusammengebaut werden, oder aber man nimmt ein fertiges Albedometer der CMA-Serie.

Die Erfordernisse für die Installation der oberen und unteren Pyranometer sind dieselben wie in den Kapiteln 2.2.1 und 2.2.3 für die Global- und Reflektierte Strahlung beschrieben. Abbildung 4 zeigt den typischen Aufbau. Laut WMO sollte die Montagehöhe 1-2 m über einer mit kurzem Gras bedeckten Oberfläche liegen.

Die Installation der Albedometer der CMA-Serie ist ein bißchen anders, da diese Geräte keine Nivellierschrauben haben. Die eingebaute Montagestange wird am Mast befestigt. Das CMA hat einen integrierten unteren Schirm, der den direkten Einfall von Strahlung auf den Dom bei Sonnenauf- und untergang verhindert.

Der abgebildete Mast 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 .

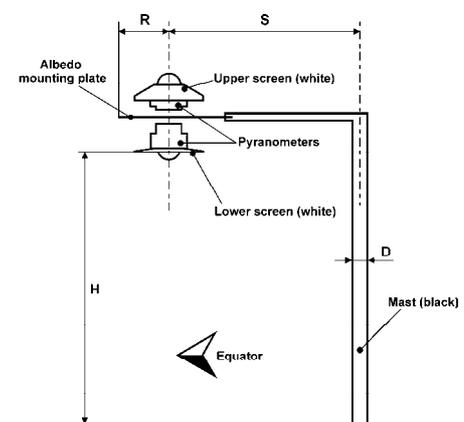


Abbildung 4 Konstruktion zur Messung der Albedo

2.2.6 Einsatz unter Wasser

Die CMP / CMA Radiometer sind prinzipiell wasserdicht nach IP 67. 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.

2.3 Elektrischer Anschluss

Die CMP / CMA Radiometer werden mit 10 m Kabel mit wasserfestem Steckverbinder und einer Abschirmung in schwarzer Hülse geliefert. Die Anzahl der Steckerpins und Leitungen im Kabel ist abhängig vom jeweiligen Pyranometermodell und ob ein Temperatursensor (und welcher) eingebaut ist. Die Farbgebung der Drähte und die Pin-Belegung sind für jedes Gerät in der entsprechenden Kurzanleitung angegeben. Optional gibt es auch längere Kabel.

Vorzugsweise ist das Radiometer mit den Nivellierschrauben oder der Montagestange auf einer metallenen Unterlage mit guter Erdung (z. B. durch einen Blitzableiter) zu befestigen.

Die Kabelabschirmung ist durch den Steckverbinder an das Aluminiumgehäuse des Radiometers angeschlossen. Die Abschirmung am Kabelende kann an die Erdung des Anzeigegerätes angeschlossen werden. Blitze können hohe Spannungen in der Abschirmung verursachen, diese werden aber über das Pyranometer und den Datenlogger abgeleitet.

Die Kipp & Zonen Pyranometerkabel sind rauscharm, aber, wird das Kabel gebogen, entstehen durch Reibungselektrizität und kapazitive Effekte kleine Spannungsspitzen. Deshalb sollte das Kabel fest angebracht sein, um störende Einflüsse zu vermeiden.

Die Impedanz des Anzeigegerätes lädt die Thermistorschaltung und die Thermosäule auf. Dies kann die Temperaturempfindlichkeit des Pyranometers erhöhen. Die Empfindlichkeit wird durch einen Lastwiderstand unter 100 k Ω um mehr als 0,1% verändert. Deshalb werden zur Auswertung Geräte mit einem Eingangswiderstand von 1 M Ω oder mehr empfohlen. 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. Es ist klar, dass die Anwendung von Abschwächerschaltungen zur Modifizierung des Kalibrierfaktors nicht zu empfehlen ist, da das Temperaturverhalten hierdurch ebenfalls wird.

Ein erheblicher Eingangsruhestrom des Auswertegerätes kann eine Spannung von mehreren Mikrovolt über der Impedanz des Pyranometers aufbauen. Die Korrektheit des gemessenen Nullsignals 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 Datenerfassungs-System angeschlossen werden. Allerdings muss ein Niederspannungs-Analogmodul mit A/D-Konverter vorhanden sein. Die Feldweite und die Auflösung des A/D-Konverters müssen eine Systemsensitivität von ca. 1 Bit pro W/m² zulassen. Eine höhere Auflösung ist während Strahlungsmessungen draußen nicht notwendig, da bei Pyranometern aufgrund des fehlenden thermalen Gleichgewichts Abweichungen von bis zu ± 2 W/m² eintreten können.

Zur Verstärkung des Pyranometersignals empfiehlt Kipp & Zonen den Messverstärker AMPBOX. Dieser Messverstärker wandelt das mV-Ausgangssignal des Pyranometers in einen Standardausgangsstrom von 4 - 20mA um. Die AMPBOX empfiehlt sich für den Einsatz mit langen Kabeln (> 100m), in Umgebungen mit starkem elektrischen Rauschen oder für Datenlogger mit Stromschleifeneingang. Sie kann herstellerseitig an die Empfindlichkeit eines bestimmten Radiometers angepasst werden und produziert dann ein Signal in einem festgelegten Bereich, normalerweise 4 bis 20 mA, das entspricht 0 bis 1600 W/m². Die Radiometer der CMA-Serie haben zwei voneinander unabhängige Signalausgänge, daher wird hier die AMPBOX zweimal benötigt.

2.4 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 ($S_{sensitivity}$) dividiert.

Für eine Berechnung der Solarstrahlung (global oder reflektiert) sollte folgende Formel herangezogen werden:

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

$E_{\downarrow Solar}$	= Solarstrahlung	[W/m ²]
U_{emf}	= Pyranometerausgang	[μ V]
$S_{sensitivity}$	= Empfindlichkeitswert	[μ V/W/m ²]

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

2.5 Messunsicherheit

Wenn ein Pyranometer in Betrieb ist, steht seine Effizienz in Beziehung zu gewissen Parametern, wie z. B. Temperatur, Strahlungsaufnahme, Einfallswinkel, etc. Normalerweise wird der angegebene Empfindlichkeitswert zur Kalkulation der Strahlung herangezogen. Unterscheiden sich jedoch die Parameter erheblich von den ursprünglichen Kalibrierbedingungen, muss bei den kalkulierten Strahlungswerten mit einer Messunsicherheit gerechnet werden.

Die WMO rechnet bei einem Secondary-Standard Instrument (höchstwertigstes Gerät) mit einer maximalen Fehlerquote von 3% bei den stündlichen Strahlungsgesamtwerten und von 2% beim Tagesgesamtwert, da sich einige der Abweichungen im Ansprechverhalten über einen längeren Integrationszeitraum gegenseitig aufheben. Beim CMP22 rechnet Kipp & Zonen mit Maximalunsicherheiten von 2% bei den stündlichen und 1% bei den täglichen Gesamtwerten. Viele Jahre der Erfahrung haben gezeigt, dass die Effizienz von Pyranometern bezüglich des Null-Offsets Typ A

mittels einer ausgeklügelten Ventilationseinheit verbessert werden kann. Daher empfiehlt Kipp & Zonen die CV2 Ventilationseinheit zur Minimierung dieses verbliebenen kleinen Fehlers.

Beim CMP22 kann die Auswirkung jedes der verschiedenen Parameter auf die Empfindlichkeit einzeln dargestellt werden.

Die Linearitätsabweichung, die Varianz der Empfindlichkeit zur Strahlung, sind bei jedem x-beliebigen CMP22 die selben und werden in Abbildung 5 für eine Strahlung von 0 bis 1000 W/m² und im Bezug zur Kalibrierung bei 500 W/m² dargestellt.

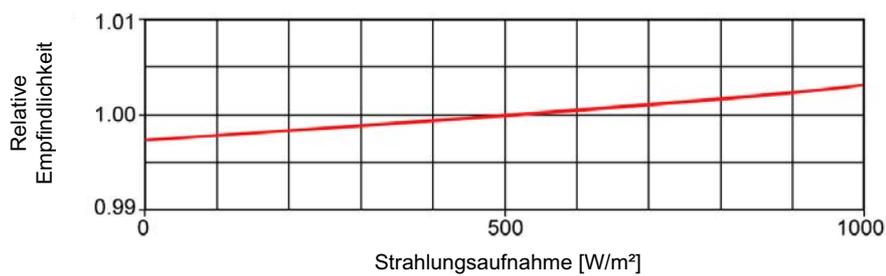


Abbildung 5 Linearitätsabweichung (Sensitivitätsvarianz) eines CMP22

Die Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit ist bei jedem CMP22 ein eigener Faktor. Bei jedem beliebigen CMP22 liegt die Kurve irgendwo zwischen den beiden Kurvenlinien in Abbildung 6. Die Temperaturabhängigkeit jedes CMP21 und CMP22 ist in der mitgelieferten Dokumentation angegeben. Jedes CMP21 und CMP22 hat einen integrierten Temperatursensor, um eventuell notwendige Korrekturen vorzunehmen.

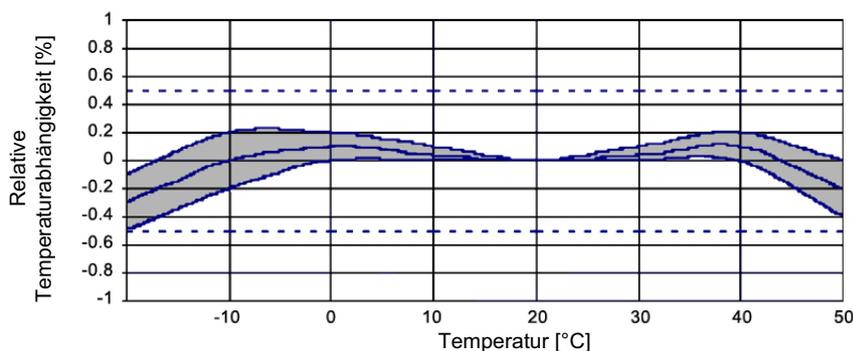


Abbildung 6 Typische Temperaturabhängigkeit eines CMP22

Der Richtungsfehler summiert sich aus Azimut- und Zenitabweichung und wird üblicherweise in % angegeben. Abbildung 7 zeigt die maximale relative Zenitabweichung des CMP22 in jeglicher Azimutrichtung. Der Richtungsfehler jedes CMP21 und CMP22 ist in der mitgelieferten Dokumentation angegeben.

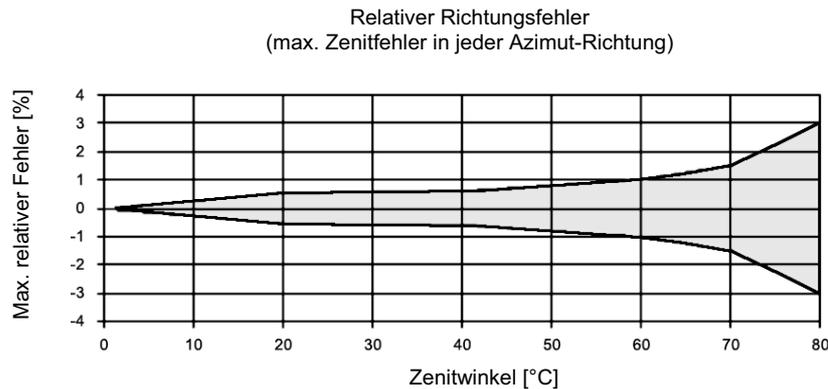


Abbildung 7

Relativer Richtungsfehler eines CMP22

2.6 Wartung

Einmal installiert, benötigt das Pyranometer nunmehr geringe Wartung. Der äußere Dom muss regelmäßig kontrolliert und gesäubert werden, idealerweise jeden Morgen. In klaren, windlosen Nächten senkt sich, aufgrund des Austausches infraroter Strahlung mit dem kalten Himmel, die Temperatur des äußeren Doms 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.

Ein Pyranometerdom kann aber kontinuierlich mittels eines warmen Luftstromes belüftet werden, um seine Temperatur über dem Taupunkt zu halten. Die Notwendigkeit einer höheren Heizleistung hängt von den äußeren klimatologischen Bedingungen ab. Generell ist eine Beheizung in der kalten Jahreszeit, in der mit Frost und Tau zu rechnen ist, empfehlenswert. Die CV2 Ventilationseinheit von Kipp & Zonen ist speziell für den unbeaufsichtigten Betrieb unter allen Wetterbedingungen geeignet und verfügt über verschiedene Heizstufen.

Beachten Sie, dass die CV2 Ventilationseinheit jedoch nicht für die CMA-Albedometer und das CMP3 Pyranometer geeignet ist.

Auf jeden Fall sollte regelmäßig die Nivellierung des Radiometers und der Zustand des Trocknungsmittels überprüft werden. Wenn das orangefarbige Trocknungsmittel in der Trocknungspatrone komplett durchsichtig geworden ist (normalerweise nach mehreren Monaten), muss es durch frisches Trocknungsmittel, das es in Nachfüllpäckchen gibt, ersetzt werden. Ein

Nachfüllpäckchen reicht für eine Neubefüllung. Des Weiteren ist darauf zu achten, dass das Radiometer noch sicher montiert und das Kabel in gutem Zustand ist.

Einige Hinweise zum Austausch des Trocknungsmittels:

- Achten Sie darauf, dass die Oberflächen des Radiometers 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 Trocknungspatrone richtig in das Radiometergehäuse eingeschraubt ist.

Es ist sehr schwierig, das Radiometergehäuse hermetisch abzudichten. Bedingt durch Druckunterschiede zwischen innen und außen kommt es zwangsläufig zum Austausch von (feuchter) Luft.

Die Empfindlichkeit des Radiometers ändert sich im Laufe der Zeit und durch die Strahlungsaufnahme. Daher empfiehlt sich alle zwei Jahre eine Rekalibrierung. Mehr Information zum Rekalibrierungsservice von Kipp & Zonen in Anhang VI.

3. GRUNDKOMPONENTEN DER PYRANOMETER

Das Sensorelement der Kipp & Zonen CMP / CMA Serie basiert auf einem passiven Wärmefühler und wird Thermosäule genannt. Obwohl sich die Sensorelemente je nach Modell unterscheiden, funktionieren alle Radiometer der CMP / CMA Serie nach demselben Prinzip.

Die Thermosäule reagiert auf die Gesamtenergie, die von der schwarzen (spektral nicht-selektiven) Oberflächenbeschichtung absorbiert wird und erwärmt sich. Die so entstehende Wärme wird durch einen Thermowiderstand an die Wärmesenke (den Pyranometerkörper) abgegeben. Die Temperaturdifferenz auf dem Thermowiderstand des Sensorelementes wird in eine zur absorbierten Solarstrahlung lineare Ausgangsspannung gewandelt.

Der Temperaturanstieg wird jedoch sehr leicht durch Wind, Regen oder die Abgabe thermaler Strahlung an die Umgebung ("kalter Himmel") . Deshalb wird das Sensorelement durch zwei Dome abgeschirmt (das Einstiegsmodell CMP 3 hat aus Größen- und Kostengründen nur einen Dom). Diese Dome erlauben eine gleichmäßige Transmittanz der Direktstrahlung bei jeder beliebigen Position der Sonne auf ihrer Bahn. Eine Trocknungspatrone im Radiometergehäuse ist mit Silika-Gel gefüllt und verhindert ein Beschlagen im Inneren der Dome, die in klaren, windlosen Nächten erheblich abkühlen können.

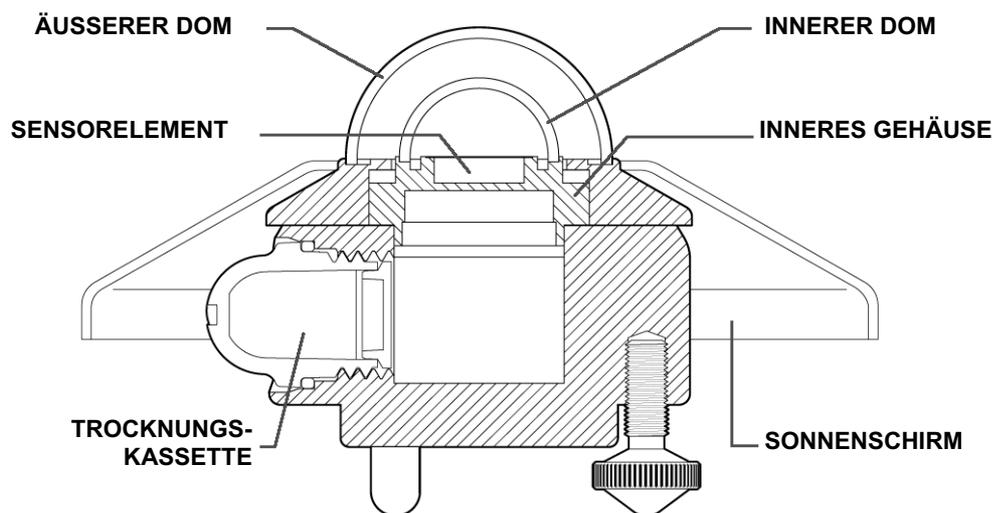


Abbildung 8

Konstruktion eines Pyranometers

3.1 Glasdom

Das Material des Domes eines Pyranometers bestimmt dessen Spektralbereich. Im Allgemeinen sind die Dome durchlässig für 97% bis 98% der Solarstrahlung, die dann vom Sensorelement absorbiert wird. Diese Solarstrahlung kann aus jeglicher Richtung am Firmament über dem Radiometer kommen, daher sind die Dome so beschaffen, dass Messfehler unabhängig vom jeweiligen Einfallswinkel auf ein Minimum reduziert sind.

Die CMP / CMA Serie, außer des CMP3 / CM3, verfügen über zwei optisch hochwertige halbkugelförmige Dome, einen inneren und einen äußeren Dom. Im Kapitel „Physikalische Eigenschaften der Pyranometer“ wird die physikalische Beziehung zwischen Dom und Pyranometereigenschaften erklärt.

Das spezielle Material des Domes und der Spektralbereich für jedes Pyranometermodell werden in dem Kapitel mit den Instrumenteneigenschaften aufgelistet.

3.2 Sensorelement

Die Thermosäule besteht aus einer großen Anzahl an Doppelthermoelementen, die elektrisch seriell angeschlossen sind. Die Absorption der Thermalstrahlung durch ein Thermoelement, auch aktive oder „heiße“ Lötstelle genannt, erhöht dessen Temperatur. Die Temperaturdifferenz zwischen diesem aktiven Element, der „heißen“ Lötstelle und einem Referenzelement, einer Kaltstelle auf einem bestimmten konstanten Temperaturniveau, erzeugt eine elektromotorische Kraft, die zu der genannten Temperaturdifferenz direkt proportional ist. Dies ist ein thermoelektrischer Effekt. Die Empfindlichkeit eines Pyranometers basiert auf den jeweiligen physikalischen Eigenschaften seiner Thermosäule und seiner Bauweise. Die Empfindlichkeit jeder Thermosäule ist einzigartig, daher hat jedes Radiometer seinen eigenen individuellen Kalibrierfaktor.

Auf der Sensoroberfläche befindet sich eine schwarze Beschichtung mit sehr rauer Oberflächenstruktur mit Mikro-Kavitäten, die mehr als 97% der einfallenden Strahlung in einem breiten Spektrum „abfangen“. Darüber hinaus beträgt die spektrale Selektivität weniger als 2%. Dies bedeutet, daß innerhalb des Spektralbereiches des Pyranometers die Absorption für jede Wellenlänge innerhalb der 2% liegt. Das schwarz beschichtete Sensorelement bildet die Thermosäule. Im Hinblick auf die langfristige Stabilität des Instrumentes ist die schwarze Beschichtung eines der wichtigsten und auch empfindlichsten Teile eines Pyranometers. Sie gewährleistet die beste Stabilität über einen langen Zeitraum und unter allen meteorologischen Bedingungen.

3.3 Gehäuse

Das Radiometergehäuse beherbergt alle wesentlichen Pyranometerteile. Die Komponenten aus eloxiertem Aluminium haben ein geringes Gewicht und sorgen für eine hohe mechanische und thermale Stabilität des Instrumentes. Durch die ausgeklügelte mechanische Konstruktion sind alle Pyranometer praktisch versiegelt und entsprechen der internationalen Schutzart IP 67. Jedes der verschiedenen Pyranometermodelle kann mittels der Nivellierlibelle und der zwei Nivellierfüßchen ausgerichtet werden. Um die Wartung des Gerätes zu erleichtern, ist die Nivellierlibelle neben dem Dom angebracht und die spezielle Aussparung am Sonnenschirm ermöglicht die freie Einsicht auf die Libelle. Der Sonnenschirm

dient dazu, alle externen Teile von Strahlung abzuschirmen und die Erwärmung des Gehäuses zu vermindern.

3.4 Trocknungskassette

Wenn Feuchtigkeit in das Gehäuse des Radiometers eindringt, reguliert das Trocknungsmittel, das Silika-Gel, den Feuchtigkeitsgrad im Pyranometer. Zunächst ist dieses Silika-Gel orangefarben. Wenn es gesättigt ist, wird es durchsichtig. Dann sollte das Trocknungsmittel unverzüglich gegen frisches, orangefarbenes Material ausgetauscht werden. Nachfüllpäckchen sind über die Kipp & Zonen Vertretungen erhältlich.

3.5 Kabel und Steckverbinder

Um die Installation oder Abnahme der Geräte, z. B. zur Rekalibrierung, zu erleichtern, sind die Radiometer der CMP / CMA Serie mit einem wetterfesten Steckverbinder ausgestattet.

Das speziell für die Kipp & Zonen Radiometer angefertigte Signalkabel ist rauscharm und für den kleinen Spannungsausgang der Thermosäule oder eines Temperatursensors konzipiert.

Die Abschirmung des Kabels ist an das Metallgehäuse des Steckverbinders gekoppelt und sollte vorzugsweise an die Erdung des Auswertegerätes angeschlossen werden. Die Kabel sind vorkonfektioniert und in verschiedenen Längen erhältlich.

4. PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DER PYRANOMETER

4.1 Spektralbereich

Das Spektrum der Solarstrahlung, die auf der Erdoberfläche ankommt bewegt sich im Wellenlängenbereich zwischen 280 nm und 4000 nm, und erstreckt sich vom ultravioletten (UV) bis in den Fern-Infrarot (FIR) Bereich, wie in Abbildung 9 aufgezeigt. Durch die hervorragenden Eigenschaften der Glasdome und der schwarzen Beschichtung des Sensorelementes sind die Kipp & Zonen Radiometer der CMP / CMA Serie über einen weiten Spektralbereich gleichmäßig empfindlich. 97-98% der Totalstrahlung werden vom Thermoelement absorbiert. Das Pyranometer CMP22 verfügt aufgrund seiner Quarzdome über einen noch größeren Spektralbereich.

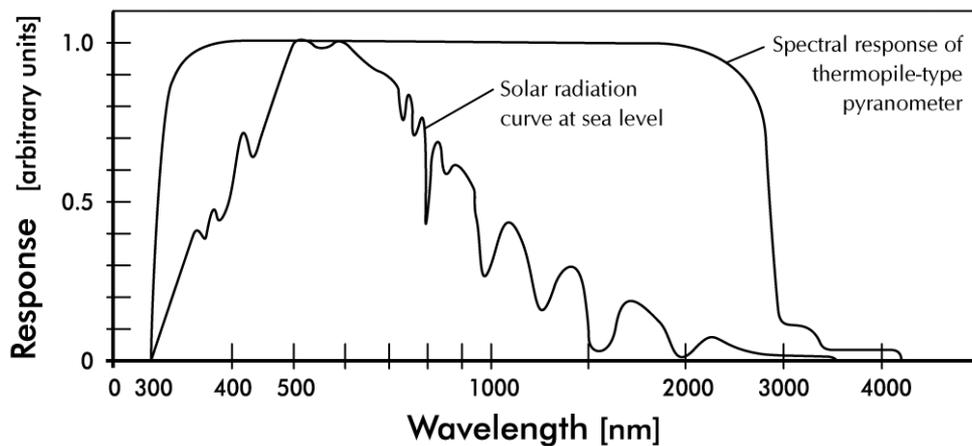


Abbildung 9

Spektrum der Solarstrahlung auf der Erdoberfläche und Ansprechverhalten des Pyranometers

4.2 Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit der Thermosäule des Radiometers wird hauptsächlich durch die physikalischen Eigenschaften des Sensorelementes bestimmt. Dessen thermoelektrische Kraft, die thermale Leitfähigkeit seiner Kontaktstellen und seine Abmessungen bestimmen auch seine Empfindlichkeit.

4.3 Impedanz

Unter der Radiometerimpedanz versteht man die elektrische Gesamtimpedanz an der Gehäusebuchse des Radiometerausgangs. Sie entsteht aus dem elektrischen Widerstand der Thermoelemente, der Verdrahtung und der passiven Elektronik im Radiometer.

4.4 Ansprechzeit

Jedes Messgerät benötigt einige Zeit, bis es auf eine Änderung der gemessenen Parameter reagiert. So benötigt auch das Radiometer etwas Zeit, um auf Änderungen der eingehenden Strahlung zu reagieren. Diese sog. Ansprechzeit ist normalerweise die Zeit bis das Ausgangssignal nach einer sprunghaften Änderung der Einstrahlung wieder 95% (manchmal 63%) des Endwertes erreicht hat. Die Ansprechzeit wird durch die physikalischen Eigenschaften der Thermosäule und die Gerätekonstruktion bestimmt. Die Radiometer der CMP / CMA-Serie sprechen sehr schnell an und eignen sich daher für den Einsatz unter wechselnden Wetterbedingungen.

4.5 Nichtlinearität

Die Nichtlinearität eines Radiometers ist die prozentuale Abweichung der Empfindlichkeit innerhalb eines Strahlungsbereiches von 0 bis 1000 W/m² im Vergleich zum Einstrahlungsniveau 500 W/m² bei der Empfindlichkeitskalibrierung. Eine Wärmekonvektion und der Verlust von Strahlungswärme auf dem schwarzen Sensorelement rufen diesen Nichtlinearitätseffekt im thermalen Gleichgewicht des Radiometers hervor.

4.6 Temperaturabhängigkeit

Die Änderung der Empfindlichkeit eines Radiometers im Verhältnis zur Umgebungstemperatur ergibt sich durch die thermodynamischen Eigenschaften der Gerätekonstruktion. Die Temperaturabhängigkeit wird als prozentuale Abweichung im Vergleich zur kalibrierten Empfindlichkeit bei +20°C angegeben. Einige Radiometer der CMP / CMA Serie sind mit passiven elektrischen Kompensationsschaltungen ausgestattet, um diesen Effekt zu minimieren. Jedes der CMP21 und CMP22 Pyranometer wird mit einem individuellen Kalibrierzertifikat ausgeliefert, das die Temperaturabhängigkeit im Bereich von -20°C bis +50°C in Intervallen von jeweils 10°C ausweist. Diese Geräte sind standardmäßig mit internen Temperatursensoren ausgerüstet, um Empfindlichkeitskorrekturen zu erlauben.

4.7 Neigungsfehler

Hierunter versteht man die Abweichung von der Empfindlichkeit bei 0° Neigung (exakt horizontal) innerhalb eines Neigungsbereiches von 0° bis 90° bei 1000 W/m² normaler Strahlung. Das Neigungsverhalten ist proportional zur einfallenden Strahlung. Bei der Anwendung auf geneigten Oberflächen könnte dieser Fehler korrigiert werden, dieser ist aber an sich unerheblich.

4.8 Null-Offset A

Es ist naturgegeben, dass zwischen jedem Objekt mit einer bestimmten Temperatur und seiner Umgebung ein Strahlungsaustausch stattfindet. Die Dome der nach oben gerichteten Radiometer tauschen Strahlung hauptsächlich mit der relativ kalten Atmosphäre aus. Im Allgemeinen ist die Atmosphäre kälter als die Umgebungstemperatur in Erdnähe. Zum Beispiel kann ein klarer Himmel bis zu 50°C kälter sein als ein bedeckter Himmel, der wiederum in etwa dieselbe Temperatur wie die Erdoberfläche hat. Hier verliert der Pyranometerdom Energie an die kältere Atmosphäre durch den Strahlungstransport und er kühlt auf ein Temperaturniveau aus, das unter dem des restlichen Gehäuses liegt. Dieser Temperaturunterschied zwischen Sensorelement und Gehäuse erzeugt ein kleines negatives Ausgangssignal, das im Allgemeinen als Null-Offset A bezeichnet wird. Dieser Effekt wird jedoch durch die Ausstattung des Gerätes mit einem inneren Dom auf ein Minimum reduziert. Dieser innere Dom fungiert als Strahlungspuffer. Näheres hierzu in Abbildung 10.

Dieser Offset-Effekt kann zusätzlich noch durch eine geeignete Ventilation des Gerätes verringert werden. Die CV2 Ventilationseinheit ist speziell für die Pyranometer der CMP Serie, außer dem CMP3, konzipiert.

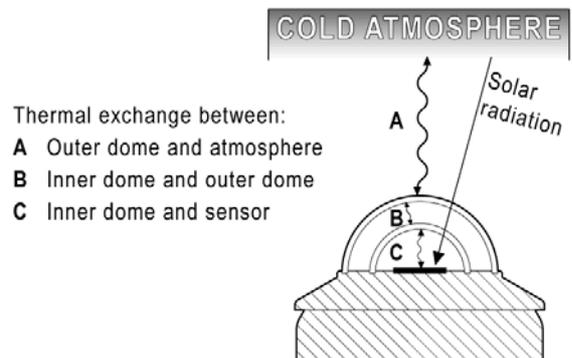


Abbildung 10 Null-Offset A

4.9 Null-Offset B

Die Gerätetemperatur variiert proportional zur Umgebungstemperatur und verursacht dadurch Wärmeströmungen im Instrument. Hierdurch entsteht der sogenannte Null-Offset B. Dieser wird als W/m^2 -Reaktion auf Änderungen der Umgebungstemperatur um 5 K/Stunde quantifiziert.

4.10 Betriebstemperatur

Der Betriebstemperaturbereich eines Radiometers wird durch die physikalischen Eigenschaften seiner Bestandteile bestimmt. Innerhalb des festgelegten Betriebstemperaturbereiches können die Kipp & Zonen Radiometer problemlos eingesetzt werden. Außerhalb dieses Temperaturbereiches sollten spezielle Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, um Beschädigungen der Instrumente oder gar den Leistungsausfall der Radiometer zu vermeiden. Für nähere Informationen zum Einsatz der Geräte in außergewöhnlichen Temperaturbereichen kontaktieren Sie bitte die für Sie zuständige Kipp & Zonen Vertretung.

4.11 Sichtfeld

Als Sichtfeld eines Radiometers definiert man den gesamten Winkel, über den die Strahlung ungehindert auf das Sensorelement einfällt. Die Vorgaben nach ISO und WMO fordern, dass ein Pyranometer zur Messung der Globalstrahlung über ein Sichtfeld von 180° in alle Richtungen verfügt (eine Hemisphäre). Dies bezieht sich aber auf die Eigenschaft des Gerätes selber, nicht auf die Tatsache, dass das Sichtfeld des Gerätes am Montageort nicht durch Sichthindernisse verbaut sein sollte.

4.12 Richtungsverhalten

Die Intensität einer Strahlung, die von einem bestimmten Zenitpunkt auf eine ebene, horizontale Fläche fällt, verhält sich proportional zum Kosinus des Zeniteinfallswinkels. Dies wird manchmal auch Kosinusgesetz oder Kosinusverhalten genannt und ist in Abbildung 11 veranschaulicht.

Idealerweise verfügt ein Pyranometer über ein Richtungsverhalten, das exakt dem Kosinusgesetz entspricht. Jedoch wird das Richtungsverhalten eines Pyranometers durch die Qualität, die Abmessungen und die Bauart seines Domes. Die maximale Abweichung vom idealen Kosinusverhalten eines Pyranometers erstreckt sich bis zu einem Einfallswinkel von 80° in Beziehung zu 1000 W/m^2 Einstrahlung bei normalem Einfallswinkel.

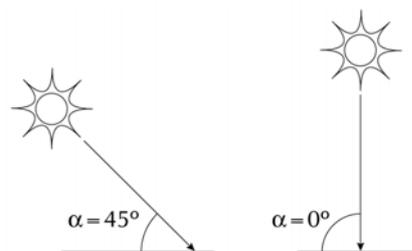


Abbildung 11 Solarer Zenitwinkel

4.13 Maximale Strahlungsaufnahme

Die maximale Strahlungsaufnahme ist das äußerste Strahlungsniveau, oberhalb dessen das Gerät Schaden nehmen kann.

4.14 Stabilitätsabweichung

Dies ist die prozentuale Abweichung der Empfindlichkeit über den Zeitraum eines Jahres. Dieser Effekt wird hauptsächlich durch die Einwirkung der UV-Strahlung auf die schwarze Beschichtung der Sensorelementoberfläche hervorgerufen. Daher empfiehlt Kipp & Zonen, die Instrumente alle zwei Jahre rekali­brieren zu lassen. Es gibt allerdings Anwender (einige Institute, Industrieunternehmen oder Netzwerke) für die im Rahmen der Qualitätssicherung häufigere Rekalibrierungen notwendig sind. Nähere Informationen zur Kalibrierung im Kapitel 5 - Kalibrierung.

4.15 Spektrale Selektivität

Die spektrale Selektivität ist die Veränderung der Domtransmittanz und des Absorptionsfaktors der Sensorelementoberfläche mit der Wellenlänge und wird allgemein als %-Anteil vom Mittelwert angegeben.

4.16 Umwelt

Die Radiometer der CMP / CMA Serie sind für den Außeneinsatz unter jeglicher Wetterbedingung konzipiert. Sie entsprechen der Schutzklasse IP 67 und ihre solide mechanische Konstruktion ist innerhalb der für die Geräte zulässigen Parameter für alle Wetterbedingungen geeignet.

4.17 Messunsicherheit

Die Messunsicherheit kann als maximale stündliche oder tägliche Abweichung von der „absoluten Genauigkeit“ bezeichnet werden. Die Zuverlässigkeit liegt bei 95%, was bedeutet, dass 95% der Datenpunkte innerhalb eines vorgegebenen Unsicherheitsstoleranzrahmens um den Absolutwert liegen. Die Messunsicherheitswerte werden von Kipp & Zonen empirisch anhand jahrelanger Feldmessungen ermittelt.

5. KALIBRIERUNG

5.1 Kalibrierprinzip

Idealerweise sollte ein Radiometer immer ein konstantes Verhältnis vom Spannungsausgang zum Strahlungsniveau aufweisen. Dieses Verhältnis wird als die Empfindlichkeit ($S_{\text{sensitivity}}$) oder das Ansprechvermögen bezeichnet.

Der Empfindlichkeitsfaktor eines jeden Radiometers ist individuell. Er wird beim Hersteller im Labor durch den Vergleich mit einem Referenz-Radiometer bestimmt. Dieses Referenzgerät wird regelmäßig im Freien beim Weltstrahlungszentrum (*World Radiation Centre – WRC*) in Davos, Schweiz, kalibriert. Natürlich unterscheidet sich der Spektralbereich der Kalibrierlampe im Labor vom Sonnenspektrum, dies hat jedoch keine Auswirkung auf die Gültigkeit der Kalibrierung, da die zu kalibrierenden Radiometer und die Referenzgeräte dieselbe Sensoroberfläche und denselben Dom haben.

Der angegebene Empfindlichkeitsfaktor gilt für folgende Gegebenheiten:

- Eine Umgebungstemperatur von +20°C.
- Für eine horizontale als auch schräge Montage der Radiometer.
- Normal einfallende Strahlung von 500 W/m².

Unter anderen Konditionen kann der Empfindlichkeitsfaktor unter Einbeziehung der Unsicherheitstoleranzen, die in den Spezifikationen des jeweiligen Gerätes angegeben sind, angewendet werden.

Eine Zusammenfassung der Kalibriermethoden findet sich auch im WMO (*World Meteorological Organisation*) Handbuch von 1996.

5.2 Kalibrierverfahren bei Kipp & Zonen

5.2.1 Kalibriereinrichtung

Die Laborkalibrierung nach ISO 9847 Anhang III basiert auf dem Vergleich mit einem Referenz-Radiometer unter einer künstlicher Sonne mit konstanter Leistung. Kipp & Zonen verwendet eine 150 W Metallhalogenid-Dampflampe mit Spannungsstabilisation. Hinter der Lampe befindet sich ein Reflektor mit einem Durchmesser von 16,2 cm. Dieser ist 110 cm über den Radiometern angebracht und erzeugt einen vertikalen Lichtstrahl. Somit beträgt die Einstrahlung auf die Radiometer ca. 500 W/m².

Um die Lichtstreuung durch Wände und Personen möglichst gering zu halten, werden die Radiometer von einem begrenzten, konischen Lichtstrahl angestrahlt. Das zu kalibrierende Radiometer A und das Referenz-Radiometer B sind Seite an Seite auf einem kleinen Tisch angebracht. Dieser Tisch kann rotieren, um die Position (1 und 2) der beiden Radiometer 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 Radiometer derselbe (3°), so daß hier keine Fehler entstehen können. Die beiden Radiometer werden auch nicht mittels der Nivellierschrauben ausgerichtet, sondern sind mit dem Sockel direkt angebracht. Die Auswirkung einer geringfügigen Neigung des Lichtstrahles ist fast Null. (Vergl. $\cos. 3^\circ = 0.9986$ and $\cos. 4^\circ = 0.9976$).

5.2.2 Kalibrierverfahren

Nachdem die Geräte 30 Sekunden lang beleuchtet wurden, werden die Ausgangsspannungen beider Radiometer 30 Sekunden lang mittels eines Datenloggers integriert. Als nächstes werden beide Radiometer abgedeckt. Nach weiteren 30 Sekunden wird das Null-Offset-Signal beider Radiometer wiederum für 30 Sekunden integriert. Die Einstrahlung auf Position 1 (Radiometer A) kann aufgrund einer Asymmetrie in der Lampenoptik geringfügig von der Einstrahlung auf Position 2 (Radiometer B) abweichen. Deshalb wird die Position der Radiometer auch durch die Drehung des Tisches getauscht und der Vorgang wiederholt.

5.2.3 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-Radiometers bei +20 °C
- A = Ausgangssignal des Radiometers auf Position 1
- A' = Ausgangssignal des Radiometers auf Position 2
- B = Ausgangssignal des Referenz-Radiometers auf Position 2
- B' = Ausgangssignal des Referenz-Radiometers auf Position 1
- S_a = Empfindlichkeit des zu kalibrierenden Radiometers bei +20 °C

Ausgangssignal bedeutet = Mittelwert bei 100% Strahlungsaufnahme minus Null-Offset-Signal

5.2.4 Null-Offset

Das Lampengehäuse und der Lampenschirm 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 subtrahiert werden.

5.3 Rückführbarkeit auf die “World Radiometric Reference“

Kipp & Zonen kalibriert mit Referenz-Radiometern, die jährlich beim Weltstrahlungszentrum in Davos kalibriert werden. Jedes dieser Referenzgeräte ist charakterisiert, d. h., deren Linearität, das Temperaturabhängigkeitsverhalten und das Richtungsverhalten sind genauestens verzeichnet.

Kipp & Zonen hat für jeden Radiometertyp zwei Referenzgeräte. Diese Referenzgeräte werden abwechselnd im Jahresturnus zum Weltstrahlungszentrum zur Kalibrierung geschickt, so dass es bei der Fertigung und Kalibrierung in Delft keine Unterbrechungen gibt.

5.4 Rekalibrierung

Die Empfindlichkeit der Radiometer ändert sich im Laufe der Zeit. Daher empfiehlt sich die regelmäßige Rekalibrierung der Sensoren alle zwei Jahre. Die genaue Kalibrierung findet draußen unter klarem Himmel durch den Vergleich mit einem Referenz-Pyrheliometer statt. Viele nationale oder regionale meteorologische Einrichtungen verfügen über die Möglichkeit zu kalibrieren. Deren Referenz-Pyrheliometer sind rückführbar auf die “World Radiometric Reference“, die in Davos, Schweiz mit Hilfe der Absolut-Schwarzkörper-Kavität mehrerer Pyrhemometer bestimmt wird. In Anhang V befindet sich eine Auflistung der regionalen Kalibrierzentren.

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 die 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 Pyrhemometer 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 in 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 nach dieser Methode kalibrieren.

6. CMP / CMA MODELLE

Die CMP Serie besteht aus 5 verschiedenen Modellen, angefangen beim CMP3 bis hin zum CMP22. Die mechanische Konstruktion des CMP3 unterscheidet sich von den anderen Modellen dadurch, dass es nur einen Dom hat, das Gehäuse kleiner ist, und es über keine Trocknungspatrone verfügt (das Gehäuse ist komplett versiegelt). Die Eigenschaften der Pyranometer CMP6 bis CMP22 sind in diesem Kapitel aufgeführt. Die CMP / CMA Serie ist für die Messung der Strahlung (Strahlungsfluss, W/m²), die auf eine ebene Fläche trifft, konzipiert. Diese Strahlung ergibt sich aus der direkten Solarstrahlung und der Diffusstrahlung von der Hemisphäre über dem Instrument.

Die CMP / CMA Radiometer sind mit einer integrierten Nivellier Vorrichtung (der Libelle), einer nachfüllbaren Trocknungspatrone, einem weißen Sonnenschirm mit Schnappbefestigung und einem abgeschirmten Signalkabel mit Steckverbinder versehen. Die Albedometer der CMA Serie verfügen darüber hinaus über einen integrierten konischen unteren Schirm, der die Beleuchtung des unteren Glasdomes bei Sonnenauf- und untergang verhindert. Diese Albedometer sind außerdem mit einem Montagestab zur Montage an einen Mast ausgestattet. Sämtliche Albedometer werden mit entsprechenden Kalibrierzertifikaten ausgeliefert, die die Empfindlichkeit jeweils der oberen und unteren Sensoren angeben.

Alle Radiometer der CMP Serie, mit Ausnahme des CMP3, können in Verbindung mit der CV2 Ventilationseinheit von Kipp & Zonen eingesetzt werden. Diese verbessert die Messleistung und reduziert den Wartungsbedarf.

Soll nur die Diffusstrahlung gemessen werden, können die CMP Pyranometer mittels des Kipp & Zonen Schattenringes CM121 manuell, und mittels des 2AP Tracking Systems automatisch von der Direktstrahlung abgeschattet werden.

6.1 CMP6 / CMA6

Das CMP6 / CMA6 erfüllt alle Kriterien der ISO-9060 Richtlinie für ISO First Class Pyranometer und ist mit einem aus 64 seriell geschalteten Einzelementen bestehenden Thermo-Sensorelement ausgestattet. Dieses Sensorelement ist mit einer Hartkarbonbeschichtung versehen, die eine ausgezeichnete spektrale Absorption und langfristige Stabilität der Charakteristika gewährleistet. Das Sensorelement befindet sich unter zwei konzentrischen Glasdomen von jeweils 2 mm Dicke.

Die Albedo-Version besteht aus zwei CMP6 Pyranometern und entspricht ebenfalls der ISO Klassifizierung. Jeder der beiden Sensoren befindet sich in einem eigenen Gehäuse und hat eine individuelle Empfindlichkeit.

6.2 CMP11 / CMA11

Das CMP11 / CMA11 erfüllt alle Kriterien der ISO-9060 Richtlinie für ISO Secondary Standard Pyranometer und ist mit einem aus 32 seriell geschalteten Einzelementen bestehenden Thermo-Sensorelement ausgestattet. Es hat eine kürzere Ansprechzeit im Vergleich zum CMP6 / CMA6 und ist mit einer passiven Temperaturkompensation ausgestattet, die die Temperaturabhängigkeit und die Nichtlinearität vermindert. Das Sensorelement befindet sich unter zwei hochwertigen, konzentrischen

Glasdomen von jeweils 2 mm Dicke und hat auch einen kleineren Richtungsfehler. Die radiometrische Nivellierung ist genauer als beim CMP6 / CMA6.

Die Albedo-Version besteht aus zwei CMP11 Pyranometern und entspricht ebenfalls der ISO Klassifizierung. Jeder der beiden Sensoren befindet sich in einem eigenen Gehäuse und hat eine individuelle Empfindlichkeit.

6.3 CMP21

Beim CMP21 handelt es sich um ein hochgenaues, wissenschaftliches Pyranometer basierend auf dem CMP11 aber mit individuell optimierten Charakteristika und integriertem Gehäusetemperatursensor. Das CMP21 übertrifft die Anforderungen der ISO 9060 für ISO Secondary Standard Pyranometer.

Die speziellen Leistungsmerkmale des CMP21 sind:

- Individuell optimierte und charakterisierte Temperaturabhängigkeit.
- Individuell charakterisiertes Richtungsverhalten.
- Integrierter Gehäusetemperatursensor.

6.4 CMP22

Das CMP22 ist ein hochgenaues, wissenschaftliches Pyranometer basierend auf dem CMP21, aber mit streng ausgesuchten, 4 mm dicken Quarzdomen. Das CMP22 hat einen erweiterten Spektralbereich in Entsprechung zu den Pyrheliometern mit Quarzfenstern. Aufgrund der hohen optischen Qualität und des höheren Brechungsindex der Quarzdome reduziert sich der Richtungsfehler auf weniger als 5 W/m².

Das Null-Offset Verhalten ist grundlegend auf zweierlei Weisen besser:

Der Null-Offset durch wechselnde Gehäusetemperaturen ist nichtig aufgrund der ausgewogenen Konstruktion der Thermosäule.

Der Null-Offset, der durch die Temperaturdifferenz zwischen Sensorelement und Dom entsteht (z. B. durch Absorption oder Emission von langwelliger Infrarotstrahlung am Dom) wird durch eine verbesserte thermische Verbindung des Sensorelementes und des äußeren Doms minimiert. Die verbesserte thermische Verbindung wird bewirkt durch die dickeren Dome, beide 4 mm dick, und die gegenüber der von Glas um 50% höhere Wärmeleitfähigkeit von Quarz.

Die speziellen Leistungsmerkmale des CMP22 sind:

- Kleinster thermalgradienter Null-Offset.
- Kleinster durch FIR verursachter Null-Offset.
- Erweiterter Spektralbereich 200 – 3600 nm.
- Richtungsfehler < 5 W/m².
- Geringste Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit.

Wie die Pyranometer CMP11 und CMP21, entspricht das CM22 den Spezifikationen der besten von drei Klassen, der "High-Quality Class", wie in der 'Anleitung für meteorologische Instrumente und Überwachung', Sechste Ausgabe, 1996, der World Meteorological Organisation (WMO*) – Genf – Schweiz vorgegeben. Die meisten Eigenschaften des CM22 übertreffen die Anforderungen gemäß dieser Spezifikationen um ein zweifaches.

* Die WMO Klassifizierung basiert auf den Vorgaben der ISO 9060 (1990). Hierin ist die „High-Quality Class“ als "Secondary Standard" benannt.

6.5 Leistungsmerkmale der CMP / CMA Serie

Spezifikation	Maßeinheit	CMP6/CMA6	CMP11/CMA11	CMP21	CMP22	Definition
Spektralbereich	µm	310 - 2800	310 – 2800	310 – 2800	200 – 3600	50% Ansprechpunkt
Empfindlichkeit	µV/W/m ²	5 bis 20	7 bis 14	7 bis 14	7 bis 14	Signalausgang bei 1 W/m ² Strahlung
Impedanz	Ω	20 bis 200	10 bis 100	10 bis 100	10 bis 100	Am Gehäusestecker
Ansprechzeit	Sek	18	5	5	5	95% des Endwertes
		< 6	< 1,7	< 1,7	< 1,7	63% des Endwertes
Nichtlinearität	%	+/- 1	+/- 0,2	+/- 0,2	+/- 0,2	Von 0 bis 1000 W/m ² Strahlungsaufnahme
Temperaturabhängigkeit der Empfindlichkeit	%	+/- 4	+/- 1	+/- 0,5*	+/- 0,5*	Abweichung vom Wert bei +20°C innerhalb des Bereiches -10°C bis +40°C / *(-20°C bis +50°C)
Neigungsfehler	%	+/- 1	+/- 0,2	+/- 0,2	+/- 0,2	Abweichung bei Ausrichtung nach unten
Null-Offset A	W/m ²	< 15	< 7	< 7	< 3	Bei 0 bis -200 W/m ² IR Nettostrahlung
Null-Offset B	W/m ²	< 4	< 2	< 2	< 3	Bei 5K/Stunde Temperaturänderung
Betriebstemperaturbereich	°C	- 40 bis + 80	Lagertemperatur ist dieselbe			
Sichtfeld		180°	180°	180°	180°	Hemisphärisch
Richtungsfehler	W/m ²	+/- 20	+/- 10	+/- 10	+/- 5	Bei 80° mit 1000 W/m ² Strahlung
Maximale Strahlungsaufnahme	W/m ²	2000	4000	4000	4000	Äußerstes Strahlungsniveau ohne daß der Sensor beschädigt wird
Stabilitätsabweichung	%	+/- 1	+/- 0,5	+/- 0,5	+/- 0,5	Jährl. Abweichung der Empfindlichkeit
Luftfeuchtigkeit	% RH	0 – 100	0 – 100	0 – 100	0 – 100	Relative Luftfeuchtigkeit
Tägliche Gesamtabweichung	%	+/- 5	+/- 2	+/- 2	+/- 1	95% Zuverlässigkeit

6.6 Allgemeine Eigenschaften der CMP / CMA Serie

Konstruktion	Einheit	CMP6 / CMA6	CMP11 / CMA11	CMP21	CMP22
Temperatursensor		. / .	. / .	Thermistor (standard): YSI 44031. 10k@25°C Thermistor +/-0,2°C	Thermistor (standard): YSI 44031. 10k@25°C Thermistor +/-0,2°C
Trocknungsmittel		Silika-Gel (auswechselbar)	Silika-Gel (auswechselbar)	Silika-Gel (auswechselbar)	Silika-Gel (auswechselbar)
Gehäuse		Aluminium, eloxiert	Aluminium, eloxiert	Aluminium, eloxiert	Aluminium, eloxiert
Kabelstecker		Mantel: CuZn (Messing, vernickelt)	Mantel: CuZn (Messing, vernickelt)	Mantel: CuZn (Messing, vernickelt)	Mantel: CuZn (Messing, vernickelt)
Gehäusebuchse		Mantel: CuZn (Messing, vergoldet)	Mantel: CuZn (Messing, vergoldet)	Mantel: CuZn (Messing, vergoldet)	Mantel: CuZn (Messing, vergoldet)
		Kontakte: CuZn (Messing, vergoldet)	Kontakte: CuZn (Messing, vergoldet)	Kontakte: CuZn (Messing, vergoldet)	Kontakte: CuZn (Messing, vergoldet)
Kabel		Gelb (RAL1021), PU, Halogenfrei, UV-beständig	Gelb (RAL1021), PU, Halogenfrei, UV-beständig	Gelb (RAL1021), PU, Halogenfrei, UV-beständig	Gelb (RAL1021), PU, Halogenfrei, UV-beständig
Kabellänge	m	10 (standard), 25, 50 (optional)	10 (standard), 25, 50 (optional)	10 (standard), 25, 50 (optional)	10 (standard), 25, 50 (optional)
Kabeldrähte	Pin 1	Rot (+)	Rot (+)	Rot (+)	Rot (+)
	Pin 2	Blau (-)	Blau (-)	Blau (-)	Blau (-)
	Pin 3	Grün (+) Albedo-Sensor nach unten gerichtet	Grün (+) Albedo-Sensor nach unten gerichtet	Grün (+) (10K Thermistor) (Pt100 mit Grau)	Grün (+) (10K Thermistor) (Pt100 mit Grau)
	Pin 4	Gelb (-) Albedo-Sensor nach unten gerichtet	Gelb (-) Albedo-Sensor nach unten gerichtet	Gelb (10K Thermistor) (Pt100 mit Braun)	Gelb (10K Thermistor) (Pt100 mit Braun)
	Pin 5			Grau (Pt100)	Grau (Pt100)
	Pin 6			Braun (Pt100)	Braun (Pt100)
Genauigkeit der Nivellierlibelle	°	0,1 (Luftblase im Ring)	0,1 (Luftblase im Ring)	0,1 (Luftblase im Ring)	0,1 (Luftblase im Ring)
Gesamtgewicht	kg	0,6 (ohne Kabel)	0,6 (ohne Kabel)	0,6 (ohne Kabel)	0,6 (ohne Kabel)
		0,9 (mit 10m Kabel)	0,9 (mit 10m Kabel)	0,9 (mit 10m Kabel)	0,9 (mit 10m Kabel)
		0,9 (ohne Kabel) (Albedometer)	0,9 (ohne Kabel) (Albedometer)		
		1,2 (mit 10m Kabel) (Albedometer)	1,2 (mit 10m Kabel) (Albedometer)		
Abmessungen	mm	79 x 92,5 (BxH), Ø Sonnenschirm 150	79 x 92,5 (BxH), Ø Sonnenschirm 150	79 x 92,5 (BxH), Ø Sonnenschirm 150	79 x 92,5 (BxH), Ø Sonnenschirm 150
		128 x 114 (BxH), Ø Sonnenschirm 150 (Albedometer)	128 x 114 (BxH), Ø Sonnenschirm 150 (Albedometer)		
Montage		2 Schrauben M5. Integrierter Aluminium-Montagestab (eloxiert) Ø 16 mm x 350 mm Länge (Albedometer)	2 Schrauben M5. Integrierter Aluminium-Montagestab (eloxiert) Ø 16 mm x 350 mm Länge (Albedometer)	2 Schrauben M5	2 Schrauben M5
Sensorhöhe	mm	68	68	68	68
Internationale Standards	WMO	Gute Qualität	Hohe Qualität	Hohe Qualität	Hohe Qualität
	ISO	First Class	Secondary Standard	Secondary Standard	Secondary Standard
	Stoß- und Vibrationsfestigkeit	IEC 721-3-2-2m2	IEC 721-3-2-2m2	IEC 721-3-2-2m2	IEC 721-3-2-2m2
	CE	Nach EC Richtlinie 89/336/EEC 73/23/EEC	Nach EC Richtlinie 89/336/EEC 73/23/EEC	Nach EC Richtlinie 89/336/EEC 73/23/EEC	Nach EC Richtlinie 89/336/EEC 73/23/EEC
Schutzart	IP 67	IP 67	IP 67	IP 67	
Kalibrierung		Im Labor im Vergleich mit einem Referenz CM(P)6 Pyranometer, nach ISO 9847:1992 Anh. A3.1	Im Labor im Vergleich mit einem Referenz CM(P)11 Pyranometer, nach ISO 9847:1992 Anh. A3.1	Im Labor im Vergleich mit einem Referenz CM(P)21 Pyranometer, nach ISO 9847:1992 Anh. A3.1	Im Labor im Vergleich mit einem Referenz CM(P)22 Pyranometer, nach ISO 9847:1992 Anh. A3.1
Mess-Zertifikate		Zertifikat Empfindlichkeitskalibrierung	Zertifikat Empfindlichkeitskalibrierung	Zertifikat Empfindlichkeits-Kalibrierung, Temperatur-abhängigkeitsreport, Richtungsabhängigkeitsreport	Zertifikat Empfindlichkeits-Kalibrierung, Temperatur-abhängigkeitsreport, Richtungsabhängigkeitsreport

7. HÄUFIG GESTELLTE FRAGEN (FAQ'S)

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

<http://www.kippzonen.com>

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 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. 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.

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 um ca. 50% reduziert wird

2. Maximale und minimale Strahlungsmengen?

Durch die mögliche Reflexion durch Wolken kann die Globalstrahlung auf Höhe des Meeresspiegels über den extraterrestrischen Strahlungswert von 1367 W/m^2 an der oberen Grenze der Atmosphäre steigen. Es wurden Werte bis zu 1500 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?

Der Dichtungsring der Trocknungskassette und die Silikonnaht der Dome sind nicht hundertprozentig luftdicht.

4. Wird die Empfindlichkeit des Pyranometers durch die Länge des Signalkabels beeinflusst?

Je länger das Kabel, desto höher die Impedanz. Dies hat jedoch aus folgenden Gründen keinen Einfluss auf die Pyranometerempfindlichkeit: Die Impedanz der Spannungsmessungskomponente ist mindestens 1000-mal höher als die Impedanz des Pyranometers plus Kabel. Daher ist der Strom, der durch das Signalkabel geht, nur geringfügig und erzeugt keinen Offset. Dennoch kann die Aufladung die Temperaturkompensationsschaltung in gewissem Maße beeinflussen.

8. STÖRUNGSBESEITIGUNG

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

Störungsbeseitigung:

Kein oder ein gestörtes Ausgangssignal:

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

Wenn sich am Dom Wasser angesammelt oder Eis abgelagert hat, muss er davon befreit werden. Wassertröpfchen verflüchtigen sich im Sonnenschein in wahrscheinlich weniger als einer Stunde.

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

ANHANG I RADIOMETRISCHE TERMINOLOGIE

Begriff	Erklärung
<i>Albedo</i>	Anteil an eingehender Strahlung, der von einer Oberfläche reflektiert wird
<i>Azimutwinkel</i>	Horizontaler Winkel (0-360°)
<i>Einfallswinkel</i>	Winkel der aus dem Zenit einfallenden Strahlung (Vertikal)
<i>Kosinusverhalten</i>	Sensorverhalten nach dem Kosinusetz
<i>Diffuse Solarstrahlung</i>	Solarstrahlung, die beim Durchqueren der Atmosphäre durch Wasserdunst, Staub- oder andere Partikel gestreut wird.
<i>Direkte Solarstrahlung</i>	Strahlung, direkt von der Sonne kommend
<i>Globale Solarstrahlung</i>	Gesamteinstrahlung auf eine horizontale Fläche (Diffus + Direkt · cos α)
<i>Strahlungsstärke</i>	Strahlungsflussdichte (W/m ²)
<i>Langwellige Strahlung</i>	Strahlung mit Wellenlängen > 4 μ m und < 100 μ m
<i>Pyranometer</i>	Radiometer zur Messung der kurzwelligen Globalstrahlung
<i>Pyrgeometer</i>	Radiometer zur Messung der nach unten gerichteten langwelligen Strahlung
<i>Pyrheliometer</i>	Radiometer zur Messung der Direktstrahlung
<i>Kurzwellige Strahlung</i>	Strahlung mit Wellenlängen > 280 nm und < 4 μ m
<i>Thermosäule</i>	Thermosensor bestehend aus vielen miteinander verbundenen Thermoelementen
<i>WMO</i>	Welt Meteorologische Organisation
<i>WRC</i>	Weltstrahlungszentrum (in Davos, Schweiz)
<i>WRR</i>	Weltstrahlungsreferenz (Standard-Strahlungsmaß)
<i>WSG</i>	Welt-Standardgruppe (Referenz-Radiometer, stationiert in s)
<i>Zenitwinkel</i>	Winkel vom Zenit (0°, vertikal)

ANHANG II 10K THERMISTOR SPEZIFIKATIONEN

YSI Thermistor 44031 - Widerstand im Verhältnis zur Temperatur in °C und °F

Thermistor (10 kΩ @ 25°C)

$$T = (\alpha + [\beta \cdot (\ln(R)) + \gamma \cdot (\ln(R))^3])^{-1} - 273.15$$

$\alpha : 1.03 \cdot 10^{-3}$
 $\beta : 2.38 \cdot 10^{-4}$
 $\gamma : 1.59 \cdot 10^{-7}$

$T [^{\circ}\text{C}] = \text{Temperature}$ $R [\Omega] = \text{Resistance}$

YSI 44031 Temperatur vs. Widerstand								
Temperatur		Widerstand	Temperatur		Widerstand	Temperatur		Widerstand
[°C]	[°F]	[Ohm]	[°C]	[°F]	[Ohm]	[°C]	[°F]	[Ohm]
-30	-22.0	135,200	0	32.0	29,490	30	86.0	8,194
-29	-20.2	127,900	1	33.8	28,150	31	87.8	7,880
-28	-18.4	121,100	2	35.6	26,890	32	89.6	7,579
-27	-16.6	114,600	3	37.4	25,690	33	91.4	7,291
-26	-14.8	108,600	4	39.2	24,550	34	93.2	7,016
-25	-13.0	102,900	5	41.0	23,460	35	95.0	6,752
-24	-11.2	97,490	6	42.8	22,430	36	96.8	6,500
-23	-9.4	92,430	7	44.6	21,450	37	98.6	6,258
-22	-7.6	87,660	8	46.4	20,520	38	100.4	6,026
-21	-5.8	83,160	9	48.2	19,630	39	102.2	5,805
-20	-4.0	78,910	10	50.0	18,790	40	104.0	5,592
-19	-2.2	74,910	11	51.8	17,980	41	105.8	5,389
-18	-0.4	71,130	12	53.6	17,220	42	107.6	5,193
-17	1.4	67,570	13	55.4	16,490	43	109.4	5,006
-16	3.2	64,200	14	57.2	15,790	44	111.2	4,827
-15	5.0	61,020	15	59.0	15,130	45	113.0	4,655
-14	6.8	58,010	16	60.8	14,500	46	114.8	4,489
-13	8.6	55,170	17	62.6	13,900	47	116.6	4,331
-12	10.4	52,480	18	64.4	13,330	48	118.4	4,179
-11	12.2	49,940	19	66.2	12,790	49	120.2	4,033
-10	14.0	47,540	20	68.0	12,260	50	122.0	3,893
-9	15.8	45,270	21	69.8	11,770	51	123.8	3,758
-8	17.6	43,110	22	71.6	11,290	52	125.6	3,629
-7	19.4	41,070	23	73.4	10,840	53	127.4	3,504
-6	21.2	39,140	24	75.2	10,410	54	129.2	3,385
-5	23.0	37,310	25	77.0	10,000	55	131.0	3,270
-4	24.8	35,570	26	78.8	9,605	56	132.8	3,160
-3	26.6	33,930	27	80.6	9,227	57	134.6	3,054
-2	28.4	32,370	28	82.4	8,867	58	136.4	2,952
-1	30.2	30,890	29	84.2	8,523	59	138.2	2,854

ANHANG III PT-100 SPEZIFIKATIONEN

Pt-100 – Widerstand im Verhältnis zur Temperatur in °C und °F

Pt-100 (100 Ω @ 0°C)

$$T = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 - 4 \cdot \beta \cdot \left(\frac{-R}{100} + 1\right)}}{2 \cdot \beta}$$

$\alpha : 3.9083 \cdot 10^{-3}$
 $\beta : -5.8019 \cdot 10^{-7}$

T [°C] = Temperature

R [Ω] = Resistance

Pt-100 Temperatur vs. Widerstand								
Temperatur		Widerstand	Temperatur		Widerstand	Temperatur		Widerstand
[°C]	[°F]	[Ohm]	[°C]	[°F]	[Ohm]	[°C]	[°F]	[Ohm]
-30	-22.0	88.2	0	32.0	100.0	30	86.0	111.7
-29	-20.2	88.6	1	33.8	100.4	31	87.8	112.1
-28	-18.4	89.0	2	35.6	100.8	32	89.6	112.5
-27	-16.6	89.4	3	37.4	101.2	33	91.4	112.8
-26	-14.8	89.8	4	39.2	101.6	34	93.2	113.2
-25	-13.0	90.2	5	41.0	102.0	35	95.0	113.6
-24	-11.2	90.6	6	42.8	102.3	36	96.8	114.0
-23	-9.4	91.0	7	44.6	102.7	37	98.6	114.4
-22	-7.6	91.4	8	46.4	103.1	38	100.4	114.8
-21	-5.8	91.8	9	48.2	103.5	39	102.2	115.2
-20	-4.0	92.2	10	50.0	103.9	40	104.0	115.5
-19	-2.2	92.6	11	51.8	104.3	41	105.8	115.9
-18	-0.4	93.0	12	53.6	104.7	42	107.6	116.3
-17	1.4	93.3	13	55.4	105.1	43	109.4	116.7
-16	3.2	93.7	14	57.2	105.5	44	111.2	117.1
-15	5.0	94.1	15	59.0	105.9	45	113.0	117.5
-14	6.8	94.5	16	60.8	106.2	46	114.8	117.9
-13	8.6	94.9	17	62.6	106.6	47	116.6	118.2
-12	10.4	95.3	18	64.4	107.0	48	118.4	118.6
-11	12.2	95.7	19	66.2	107.4	49	120.2	119.0
-10	14.0	96.1	20	68.0	107.8	50	122.0	119.4
-9	15.8	96.5	21	69.8	108.2	51	123.8	119.8
-8	17.6	96.9	22	71.6	108.6	52	125.6	120.2
-7	19.4	97.3	23	73.4	109.0	53	127.4	120.6
-6	21.2	97.7	24	75.2	109.4	54	129.2	120.9
-5	23.0	98.0	25	77.0	109.7	55	131.0	121.3
-4	24.8	98.4	26	78.8	110.1	56	132.8	121.7
-3	26.6	98.8	27	80.6	110.5	57	134.6	122.1
-2	28.4	99.2	28	82.4	110.9	58	136.4	122.5
-1	30.2	99.6	29	84.2	110.3	59	138.2	122.9

ANHANG IV KLASSIFIZIERUNG NACH WMO HANDBUCH 1996

Charakteristika	CMP22	CMP21	CMP11 CMA11	CMP6 CMA6	Höchste Qualität	Hohe Qualität	Gute Qualität
ISO 9060 Klassifizierung	Secondary Standard	Secondary Standard	Secondary Standard	First Class	Secondary Standard	First Class	Second Class
Ansprechzeit (95%)	5 Sek	5 Sek	5 Sek	18 Sek	< 15 Sek	< 30 Sek	< 60 Sek
Null-Offset:							
(a) bei 200 W/m ² Netto-Wärmestrahlung (ventiliert)	± 3 W/m ²	± 7 W/m ²	± 7 W/m ²	± 15 W/m ²	± 7 W/m ²	± 15 W/m ²	± 30 W/m ²
(b) bei Änderung der Umgebungs- temperatur um 5 K/Stunde	± 1 W/m ²	± 2 W/m ²	± 2 W/m ²	± 4 W/m ²	± 2 W/m ²	± 4 W/m ²	± 8 W/m ²
Auflösung (kleinste wahrnehmbare Veränderung)	± 1 W/m ²	± 1 W/m ²	± 1 W/m ²	± 1 W/m ²	± 1 W/m ²	± 5 W/m ²	± 10 W/m ²
Stabilitätsabweichung (pro Jahr, Prozent des Vollbereiches)	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 1	± 0.8	± 1.5	± 3.0
Richtungsverhalten (Fehlerbereich, bedingt durch die Annahme, daß das Ansprechverhalten bei der Messung einer normal einfallenden Strahlung von 1000 W/m ² für alle Richtungen dasselbe ist)	± 5 W/m ²	± 10 W/m ²	± 10 W/m ²	± 20 W/m ²	± 10 W/m ²	± 20 W/m ²	± 30 W/m ²
Temperaturverhalten (maximale prozentuale Abweichung aufgrund der Veränderung der Umgebungstemperatur innerhalb eines spezifischen Bereiches von 50 K)	± 0.5 -20°C- +50°C	± 1 -20°C- +50°C	± 1 -10°C- +40°C	± 4 -10°C- +40°C	± 2	± 4	± 8
Nichtlinearität (Abweichungs-verhalten bei 500 W/m ² bedingt durch Strahlungsschwankungen im Bereich von 100 W/m ² bis 1000 W/m ²)	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 1	± 0.5	± 1	± 3
Spektrale Selektivität (prozentuale Abweichung des Produktes der spektralen Absorption und spektralen Transmission vom entsprechenden Mittelwert im Bereich von 0.3 to 3 µm)					± 2	± 5	± 10
Neigungsverhalten (prozentuale Abweichung bei 0° Neigung, horizontal, durch Neigungsänderung von 0° bis 90° bei 1000 W/m ² Strahlung)	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 1	± 0.5	± 2	± 5
Erzielbare Unsicherheit bei 95% Verlässlichkeit							
Gesamtstundenwert					3%	8%	20%
Gesamttagewert	1 %	2 %	2 %	5 %	2%	5%	10%

ANHANG V LISTE DER WELT- UND REGIONALEN STRAHLUNGSZENTRENWeltstrahlungszentren

Davos (Schweiz)
St. Petersburg (Russland) (nur Datenzentrum)

Regionale Strahlungszentren

Region I	Afrika:	Kairo (Ägypten) Khartoum (Sudan) Kinshasa (Dem. Rep. Kongo) Lagos (Nigeria) Tamanrasset (Algerien) Tunis (Tunesien)
Region II	Asien:	Pune (Indien) Tokyo (Japan)
Region III	Südamerika:	Buenos Aires (Argentinien) Lima (Peru) Santiago (Chile)
Region IV	Nord- und Zentralamerika:	Toronto (Kanada) Boulder (Vereinigte Staaten) Mexico City (Mexico)
Region V	Südwest-Pazifik:	Melbourne (Australien)
Region VI	Europa:	Budapest (Ungarn) Davos (Schweiz) St. Petersburg (Russland) Norrköping (Schweden) Trappes/Carpentras (Frankreich) Uccle (Belgien) Lindenberg (Deutschland)

ANHANG VI REKALIBRIERUNGSSERVICE

Pyranometer, Albedometer, Pyrgeometer, UV-Radiometer & 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.



**KIPP &
ZONEN**
SINCE 1830

Our customer support remains at your disposal for any maintenance or repair, calibration, supplies and spares.

Für Servicearbeiten und Kalibrierung, Verbrauchsmaterial und Ersatzteile steht Ihnen unsere Customer Support Abteilung 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.

Nuestro apoyo del cliente se queda a su disposición para cualquier mantenimiento o la reparación, la calibración, los suministros y reserva.

HEAD OFFICE

Kipp & Zonen B.V.

Delftechpark 36, 2628 XH Delft
P.O. Box 507, 2600 AM Delft
The Netherlands

T: +31 (0) 15 2755 210
F: +31 (0) 15 2620 351
info@kippzonen.com

SALES OFFICES

Kipp & Zonen France S.A.R.L.

7 Avenue Clément Ader
ZA Ponroy - Bâtiment M
94420 Le Plessis Tréville
France

T: +33 (0) 1 49 62 41 04
F: +33 (0) 1 49 62 41 02
kipp.france@kippzonen.com

Kipp & Zonen Asia Pacific Pte. Ltd.

81 Clemenceau Avenue
#04-15/16 UE Square
Singapore 239917

T: +65 (0) 6735 5033
F: +65 (0) 6735 8019
kipp.singapore@kippzonen.com

Kipp & Zonen USA Inc.

125 Wilbur Place
Bohemia
NY 11716
United States of America

T: +1 (0) 631 589 2065
F: +1 (0) 631 589 2068
kipp.usa@kippzonen.com

Passion for Precision