



Umweltanalytische  
Produkte GmbH

**apogee**<sup>®</sup>  
INSTRUMENTS

BENUTZERHANDBUCH

# QUANTENSENSOR

Modell SQ-521

Stand: 30-Aug-2022



**APOGEE INSTRUMENTS, INC.** | 721 WEST 1800 NORTH, LOGAN, UTAH 84321, USA  
TEL: (435) 792-4700 | FAX: (435) 787-8268 | WEB: APOGEEINSTRUMENTS.COM  
Deutsche Version: UP Umweltanalytische Produkte GmbH \* [www.upgmbh.com](http://www.upgmbh.com) \* [vertrieb@upgmbh.com](mailto:vertrieb@upgmbh.com)

Copyright © Apogee Instruments, Inc.

# INHALTSÜBERSICHT

Benutzerhandbuch.....	1
Konformitätsbescheinigung.....	3
Konformitätsbescheinigung.....	4
Einführung.....	5
Sensor-Modelle.....	6
Spezifikationen.....	7
Einsatz und Installation.....	10
Kabelsteckverbinder.....	11
Betrieb und Messung.....	12
Wartung und Rekalibrierung.....	20
Fehlersuche und Kundenbetreuung.....	22
Rückgabe- und Gewährleistungsbestimmungen.....	23

# KONFORMITÄTSBESCHEINIGUNG

## EU-Konformitätserklärung

Diese Konformitätserklärung wird unter der alleinigen Verantwortung des Herstellers ausgestellt:

Apogee Instrumente, Inc.  
721 W 1800 N  
Logan, Utah 84321  
USA

für das/die folgende(n) Produkt(e):

Modelle: SQ-521  
Typ: Quantensensor

Der Gegenstand der oben beschriebenen Erklärung steht im Einklang mit den einschlägigen Harmonisierungsrechtsvorschriften der Union:

2014/30/EU	Richtlinie über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
2011/65/EU	Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe (RoHS 2)
2015/863/EU	zur Änderung von Anhang II der Richtlinie 2011/65/EU (RoHS 3)

Normen, auf die bei der Konformitätsbewertung Bezug genommen wurde:

EN 61326-1:2013	Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte - EMV-Anforderungen
EN 63000:2018	Technische Dokumentation für die Bewertung von elektrischen und elektronischen Produkten hinsichtlich der Beschränkung gefährlicher Stoffe

Wir weisen darauf hin, dass die von uns hergestellten Produkte nach den uns vorliegenden Informationen unserer Rohstofflieferanten keine der eingeschränkten Stoffe, einschließlich Blei (siehe Anmerkung unten), als absichtliche Zusatzstoffe enthalten, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, polybromierte Biphenyle (PBB), polybromierte Diphenyle (PBDE), Bis(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP), Butylbenzylphthalat (BBP), Dibutylphthalat (DBP) und Diisobutylphthalat (DIBP). Bitte beachten Sie jedoch, dass Artikel mit einer Bleikonzentration von mehr als 0,1 % unter Anwendung der Ausnahmeregelung 6c RoHS 3-konform sind.

Beachten Sie bitte auch, dass Apogee Instruments unsere Rohstoffe oder Endprodukte nicht speziell auf das Vorhandensein dieser Substanzen untersucht, sondern sich auf die Informationen verlässt, die uns von unseren Materiallieferanten zur Verfügung gestellt werden.

Unterzeichnet für und im Namen von:  
Apogee-Instrumente, August 2022

Bruce Bugbee  
Präsident  
Apogee Instruments, Inc.



# KONFORMITÄTSBESCHEINIGUNG

## UK-Konformitätserklärung

Diese Konformitätserklärung wird unter der alleinigen Verantwortung des Herstellers ausgestellt:

Apogee Instrumente, Inc.  
721 W 1800 N  
Logan, Utah 84321  
USA

für das/die folgende(n) Produkt(e):

Modelle: SQ-521  
Typ: Quantensensor

Der Gegenstand der oben beschriebenen Erklärung steht im Einklang mit den einschlägigen britischen Rechtsvorschriften und deren Änderungen:

2016 Nr. 1091	Die Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit 2016
2012 Nr. 3032	Die Verordnung zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten von 2012

Normen, auf die bei der Konformitätsbewertung Bezug genommen wurde:

BS EN 61326-1:2013	Elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte - EMV-Anforderungen
BS EN 63000:2018	Technische Dokumentation für die Bewertung von elektrischen und elektronischen Produkten hinsichtlich der Beschränkung gefährlicher Stoffe

Wir weisen darauf hin, dass die von uns hergestellten Produkte nach den uns vorliegenden Informationen unserer Rohstofflieferanten keine der eingeschränkten Stoffe, einschließlich Blei (siehe Anmerkung unten), als absichtliche Zusatzstoffe enthalten, Quecksilber, Cadmium, sechswertiges Chrom, polybromierte Biphenyle (PBB), polybromierte Diphenyle (PBDE), Bis(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP), Butylbenzylphthalat (BBP), Dibutylphthalat (DBP) und Diisobutylphthalat (DIBP). Bitte beachten Sie jedoch, dass Artikel mit einer Bleikonzentration von mehr als 0,1 % unter Anwendung der Ausnahmeregelung 6c RoHS 3-konform sind.

Beachten Sie bitte auch, dass Apogee Instruments unsere Rohstoffe oder Endprodukte nicht speziell auf das Vorhandensein dieser Substanzen untersucht, sondern sich auf die Informationen verlässt, die uns von unseren Materiallieferanten zur Verfügung gestellt werden.

Unterzeichnet für und im Namen von:  
Apogee-Instrumente, August 2022

Bruce Bugbee  
Präsident  
Apogee Instruments, Inc.

## EINFÜHRUNG

Die Strahlung, die die Photosynthese antreibt, wird als photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) bezeichnet und in der Regel als Gesamtstrahlung in einem Bereich von 400 bis 700 nm definiert. PAR wird fast durchgängig als photosynthetische Photonenflussdichte (PPFD) quantifiziert, die Summe der Photonen von 400 bis 700 nm in Einheiten von Mikromol pro Quadratmeter pro Sekunde ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , gleich mikroEinsteins  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Obwohl MikroEinsteins und Mikromole gleich sind (ein Einstein = ein Mol Photonen), ist der Einstein keine SI-Einheit, so dass die PPFD vorzugsweise in  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  angegeben wird. Die tägliche Gesamt-PPFD wird in der Regel in Einheiten von Mol Photonen pro Quadratmeter pro Tag ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) angegeben und wird oft als tägliches Lichtintegral (DLI) bezeichnet.

Das Akronym PPF wird ebenfalls verwendet und bezieht sich auf den photosynthetischen Photonenfluss. Die Akronyme PPF und PPFD beziehen sich auf die gleiche Variable. Beide Begriffe werden verwendet, weil es keine allgemeingültige Definition des Begriffs "Fluss" gibt. Der Fluss wird manchmal als pro Flächeneinheit pro Zeiteinheit und manchmal nur als pro Zeiteinheit definiert. In diesem Handbuch wird PPFD verwendet.

Sensoren, die die PPFD messen, werden häufig als Quantensensoren bezeichnet, da die Strahlung quantisiert ist. Ein Quantum bezieht sich auf die minimale Strahlungsmenge, ein Photon, die an physikalischen Wechselwirkungen beteiligt ist (z. B. Absorption durch photosynthetische Pigmente). Mit anderen Worten: Ein Photon ist ein einzelnes Strahlungsquant.

Typische Anwendungen von Quantensensoren sind die Messung der einfallenden PPFD auf Pflanzendächern im Freien oder in Gewächshäusern und Wachstumskammern sowie die Messung der reflektierten oder unter dem Dach (durchgelassenen) PPFD in denselben Umgebungen.

Die Quantensensoren der SQ-Serie von Apogee Instruments bestehen aus einem gegossenen Acryl-Diffusor (Filter), einer Fotodiode und einem Signalverarbeitungsschaltkreis, der in einem eloxierten Aluminiumgehäuse untergebracht ist, sowie einem Kabel zum Anschluss des Sensors an ein Messgerät. Die Quantensensoren der Serie SQ-500 sind für die kontinuierliche PPFD-Messung in Innen- und Außenbereichen konzipiert. Die SQ-521-Sensoren geben ein digitales Signal über das SDI-12-Kommunikationsprotokoll aus.

## SENSOR-MODELLE

Dieses Handbuch behandelt das SDI-12-Kommunikationsprotokoll des Quantensensormodells SQ-521 (unten in Fettdruck aufgeführt). Weitere Modelle werden in ihren jeweiligen Handbüchern behandelt.

Modell	Signal
<b>SQ-521</b>	<b>SDI-12</b>
SQ-500	Eigenstromversorgung
SQ-512	0-2.5 V
SQ-515	1-5 V
SQ-520	USB
SQ-522	Modbus



Die Modellnummer und die Seriennummer eines Sensors befinden sich auf der Unterseite des Sensors. Wenn Sie das Herstellungsdatum eines bestimmten Sensors benötigen, wenden Sie sich bitte an Apogee Instruments und geben Sie die Seriennummer des

# SPEZIFIKATIONEN

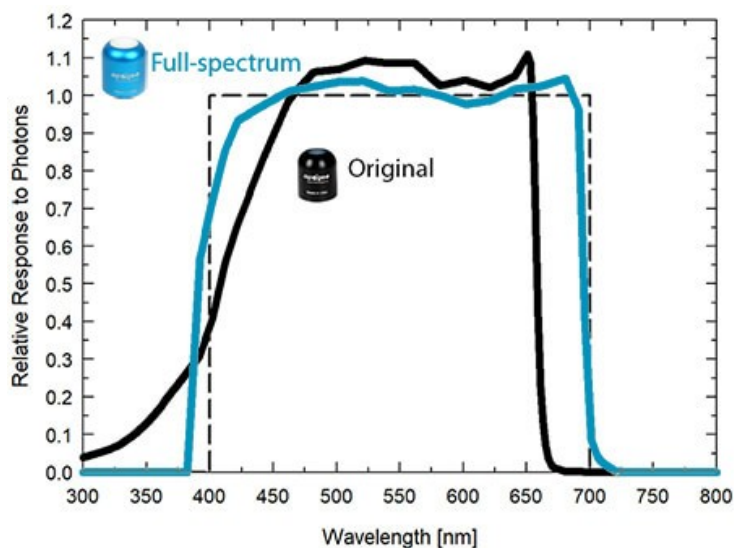
## SQ-521

Eingangsspannung	5,5 bis 24 V DC
Stromabnahme	1,4 mA (ruhend), 1,8 mA (aktiv)
Kalibrierungsunsicherheit	± 5 % (siehe Kalibrierung Rückverfolgbarkeit unten)
Messbereich	0 bis 4000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Wiederholbarkeit der Messung	Weniger als 1 % (bis zu 4000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) <sup>-1</sup>
Langfristige Drift (Nicht-Stabilität)	Weniger als 2 % pro Jahr
Nichtlinearität	Weniger als 1 % (bis zu 4000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) <sup>-1</sup>
Reaktionszeit	0,6 s, Zeit für das Erreichen von 95 % des Detektorsignals nach einer Schrittänderung; die schnellste Datenübertragungsrate für SDI-12-Schaltungen beträgt 1 s
Sichtfeld	180°
Spektralbereich	389 bis 692 nm ± 5 nm (Wellenlängen, bei denen die Reaktion mehr als 50 % beträgt)
Spektrale Selektivität	Weniger als 10 % von 412 bis 682 ± 5 nm (siehe Spektralempfindlichkeit unten)
Direktionale (Cosinus) Antwort	± 2 % bei 45° Zenitwinkel, ± 5 % bei 75° Zenitwinkel (siehe Richtungsabhängigkeit unten)
Azimutaler Fehler	Weniger als 0,5 %
Neigungsfehler	Weniger als 0,5 %
Reaktion auf die Temperatur	-0,11 ± 0,04 % pro C (siehe Temperaturgang unten)
Unsicherheit der täglichen Gesamtmenge	Weniger als 5 %
Detektor	Blau verstärkte Silizium-Photodiode
Gehäuse	Eloxiertes Aluminiumgehäuse mit Acryldiffusor
IP-Bewertung	IP68
Betriebsumgebung	-40 bis 70 C; 0 bis 100 % relative Luftfeuchtigkeit; kann bis zu einer Tiefe von 30 m in Wasser getaucht werden
Abmessungen Seriennummer 3033 und höher	30,5 mm Durchmesser, 37 mm Höhe
Abmessungen Seriennummer 0-3032	24 mm Durchmesser, 37 mm Höhe
Masse (5 m Kabel) Seriennummer 3033 und höher	140 g
Masse (5 m Kabel) Seriennummer 0-3032	100 g
Kabel	5 m abgeschirmtes, verdrilltes Kabel; TPR-Mantel (hohe Wasserbeständigkeit, hohe UV-Beständigkeit, Flexibilität bei Kälte); Pigtail-Zuleitungen; Edelstahl (316), M8-Stecker

## Rückführbarkeit der Kalibrierung

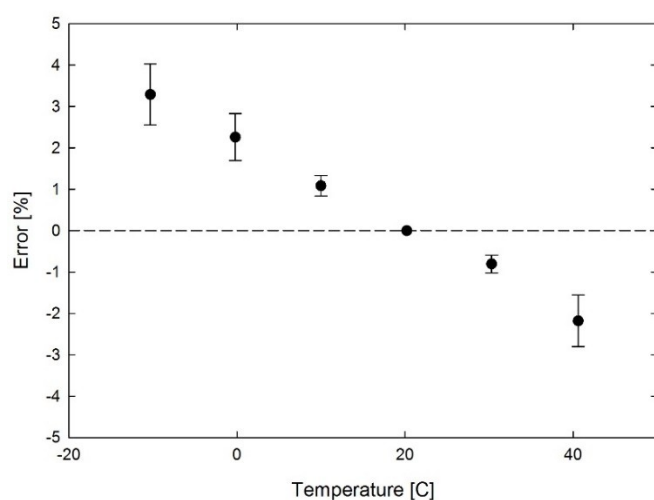
Die Quantensensoren der Serie SQ-500 von Apogee Instruments werden durch einen Seite-an-Seite-Vergleich mit dem Mittelwert von vier Transferstandard-Quantensensoren unter einer Referenzlampe kalibriert. Die Referenz-Quantensensoren werden mit einer Quarz-Halogenlampe, die auf das National Institute of Standards and Technology (NIST) rückführbar ist, rekaliert.

## Spektrale Antwort



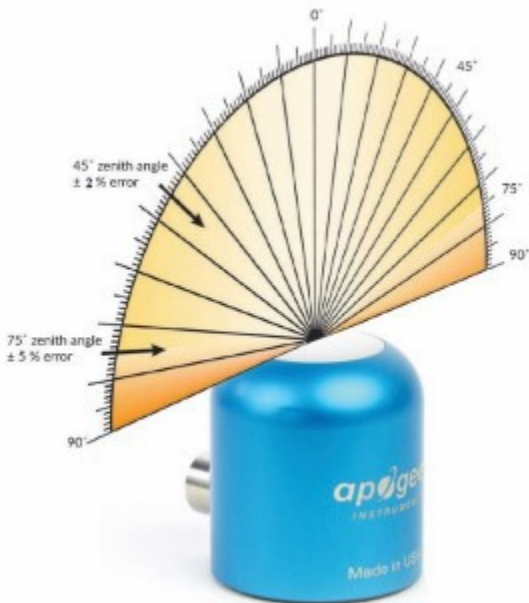
Mittlere Messungen der spektralen Empfindlichkeit von sechs wiederholten Quantensensoren der Serien Apogee SQ-100 (Original) und SQ-500 (Vollspektrumsensoren). Die Messungen der spektralen Empfindlichkeit erfolgten in 10 nm-Schritten über einen Wellenlängenbereich von 300 bis 800 nm mit einem Monochromator und einer angeschlossenen elektrischen Lichtquelle. Die gemessenen Spektraldaten jedes Quantensensors wurden durch die gemessene Spektralempfindlichkeit der Kombination aus Monochromator und

## Reaktion auf die Temperatur

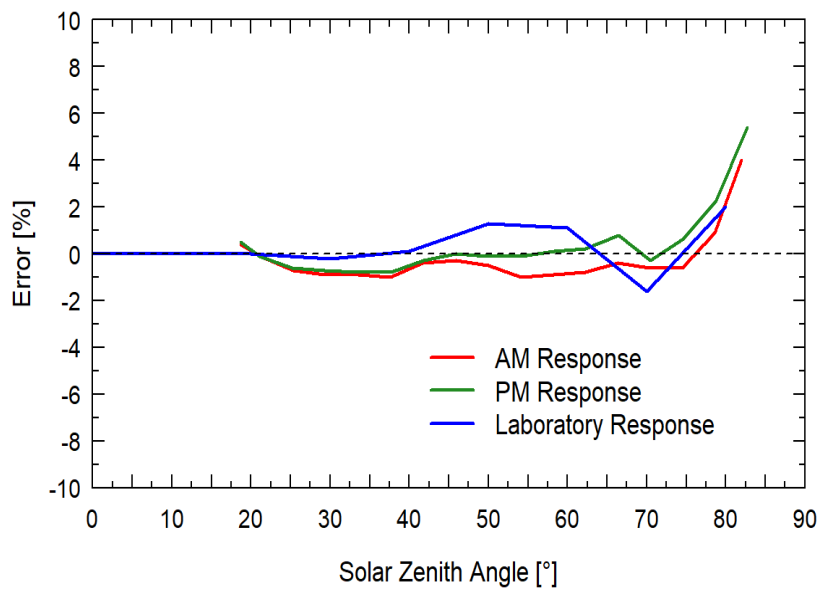


Mittleres Temperaturverhalten von zehn Quantensensoren der Serie SQ-500 (**Fehlerbalken stellen zwei Standardabweichungen über und unter dem Mittelwert dar**). Die Messungen der Temperaturreaktion erfolgten in Abständen von 10 C über einen Temperaturbereich von etwa -10 bis 40 C in einer temperaturgeregelten Kammer unter einer fest installierten elektrischen Breitstrahlampe. Bei jedem Temperatursollwert wurde ein Spektorradiometer zur Messung der Lichtintensität der Lampe verwendet, und alle Quantensensoren wurden mit dem Spektorradiometer verglichen. Das Spektorradiometer wurde außerhalb der Temperaturkontrollkammer angebracht und blieb während des Versuchs bei Raumtemperatur.

## Cosinus-Antwort



Die Richtungsabhängigkeit (Cosinus) ist definiert als der Messfehler bei einem bestimmten Einfallswinkel der Strahlung. Der Fehler der Quantensensoren der Serie SQ-500 von Apogee beträgt etwa  $\pm 2\%$  bzw.  $\pm 5\%$  bei Zenitwinkeln von  $45^\circ$  bzw.  $75^\circ$ .



Mittlere Richtcharakteristik (Cosinus) von sieben Quantensensoren der Serie SQ-500 von Apogee. Die Messungen der Richtungsempfindlichkeit wurden auf dem Dach des Apogee-Gebäudes in Logan, Utah, durchgeführt. Die Richtungsempfindlichkeit wurde als relative Differenz zwischen den SQ-500-Quantensensoren und dem Mittelwert von Referenz-Quantensensoren (LI-COR Modelle LI-190 und LI-190R, Kipp & Zonen Modell PQS 1) berechnet. Die Daten wurden auch im Labor unter

## EINSATZ UND INSTALLATION

Befestigen Sie den Sensor mit der mitgelieferten Nylonschraube an einer festen Oberfläche. Um die auf eine horizontale Fläche auftreffende PPFd genau zu messen, muss der Sensor eben sein. Zu diesem Zweck wird eine Nivellierplatte von Apogee Instruments, Modell AL-100, empfohlen. Um die Montage an einem Querarm zu erleichtern, wird eine Montagehalterung von Apogee Instruments, Modell AL-120, empfohlen.



Nylonschraube: 10-32 x 3/8

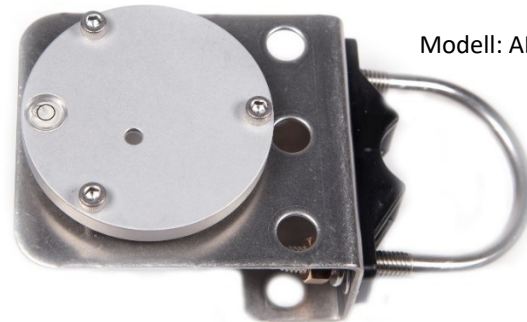


Nylonschraube: 10-32 x 3/8

**Wichtig!** Verwenden Sie bei der Montage nur die mitgelieferte Nylonschraube, um die nicht eloxierten Gewinde des Aluminiumsensorkopfs von der Basis zu isolieren und so galvanische Korrosion zu verhindern. Bei längerem Eintauchen in Wasser kann eine stärkere Isolierung erforderlich sein. Wenden Sie sich für weitere Informationen an den technischen Support von Apogee.

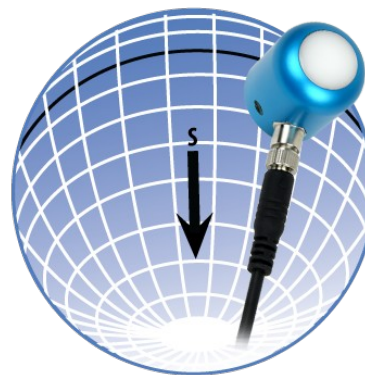
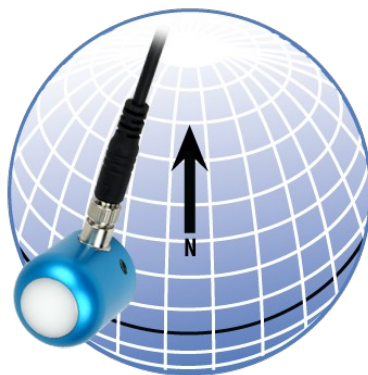


Modell: AL-100



Modell: AL-120

Um den Azimutfehler zu minimieren, sollte der Sensor so montiert werden, dass das Kabel auf der Nordhalbkugel nach Norden und auf der Südhalbkugel nach Süden ausgerichtet ist. Der Azimutfehler beträgt in der Regel weniger als 0,5 %, kann aber durch die richtige Kabelausrichtung leicht minimiert werden.



Neben der Ausrichtung des Kabels auf den nächstgelegenen Mast sollte der Sensor auch so montiert werden, dass keine Hindernisse (z. B. Stativ/Turm der Wetterstation oder andere Instrumente) den Sensor verdecken. **Nach der Montage sollte die blaue Kappe vom Sensor entfernt werden.** Die blaue Kappe kann als Schutzabdeckung für den Sensor verwendet werden, wenn er nicht in Gebrauch ist.

## KABELSTECKVERBINDER

Apogee bietet Kabelanschlüsse an, die den Ausbau von Sensoren aus Wetterstationen zur Kalibrierung vereinfachen (das gesamte Kabel muss **nicht** von der Station entfernt und mit dem Sensor versandt werden).

Die robusten M8-Steckverbinder haben die Schutzart IP68, bestehen aus korrosionsbeständigem Edelstahl und sind für den dauerhaften Einsatz unter rauen Umgebungsbedingungen konzipiert.

### Anweisungen

**Stifte und Verdrahtungsfarben:** Alle Apogee-Stecker haben sechs Stifte, aber nicht alle Stifte werden für jeden Sensor verwendet. Es kann auch unbenutzte Kabelfarben innerhalb des Kabels geben. Um den Anschluss des Datenloggers zu vereinfachen, entfernen wir die unbenutzten Pigtail-Leitungsfarben am Datenlogger-Ende des Kabels.

Wenn Sie ein Ersatzkabel benötigen, wenden Sie sich bitte direkt an Apogee, um die richtige Pigtail-Konfiguration zu bestellen.

**Ausrichten:** Beim Wiederanschießen eines Sensors sorgen Pfeile auf dem Steckergehäuse und eine Ausrichtungskerbe für die richtige Ausrichtung.

**Trennen der Verbindung über einen längeren Zeitraum:** Wenn Sie den Sensor für längere Zeit von einer Station trennen, schützen Sie die verbleibende Hälfte des Steckers, die sich noch auf der Station befindet, mit Isolierband oder einer anderen Methode vor Wasser und Schmutz.

**Festziehen:** Die Steckverbinder dürfen nur mit den Fingern fest angezogen werden. Im Inneren des Steckers befindet sich ein O-Ring, der bei Verwendung eines Schraubenschlüssels übermäßig zusammengedrückt werden kann. Achten Sie auf die Ausrichtung der Gewinde, um ein Überdrehen zu vermeiden. Nach dem vollständigen Festziehen können noch 1-2 Gewinde sichtbar sein.



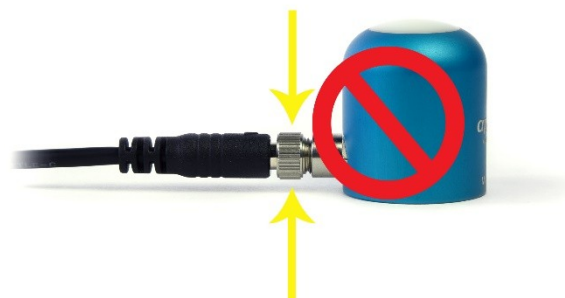
Die Kabelanschlüsse sind direkt am Kopf angebracht.



Eine Referenzkerbe im Inneren des Steckers gewährleistet die korrekte Ausrichtung vor dem Festziehen.



Wenn Sie Sensoren zur Kalibrierung einschicken, senden Sie nur den Sensorkopf ein.



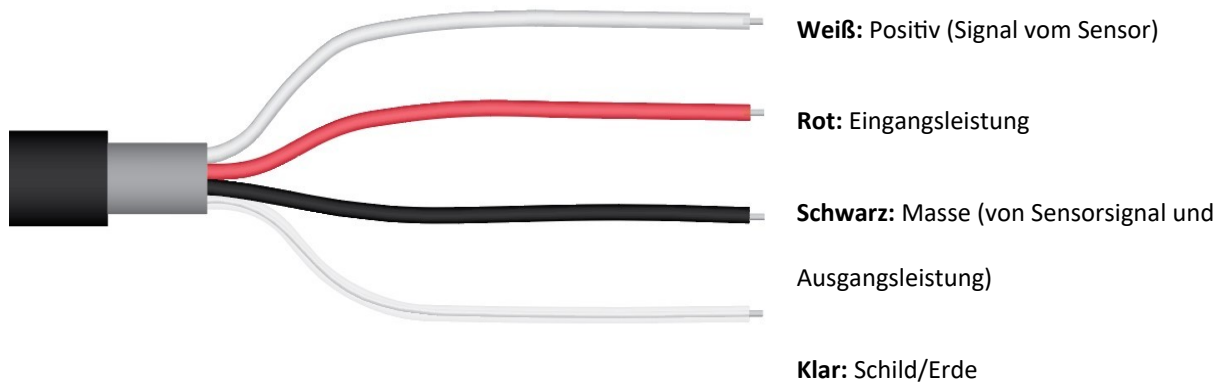
**WARNUNG:** Ziehen Sie den Stecker **nicht** durch Verdrehen des schwarzen Kabels oder des Sensorkopfes fest, sondern nur durch Verdrehen des Metallsteckers (gelbe Pfeile).

Fest mit den Fingern anziehen

## BETRIEB UND MESSUNG

Der Quantensensor SQ-521 verfügt über einen SDI-12-Ausgang, an dem die photosynthetisch aktive Strahlung in digitalem Format ausgegeben wird. Für die Messung von SQ-521-Quantensensoren ist ein Messgerät mit SDI-12-Funktionalität erforderlich, das den Befehl M oder C enthält.

### Verkabelung



### Sensor-Kalibrierung

Alle Apogee SDI-12 Quantensensormodelle (SQ-500 Serie) haben sensorspezifische Kalibrierungskoeffizienten, die während des kundenspezifischen Kalibrierungsprozesses bestimmt werden. Die Koeffizienten werden werksseitig in die Mikrocontroller programmiert.

### SDI-12-Schnittstelle

Im Folgenden finden Sie eine kurze Erläuterung der Anweisungen für das serielle digitale Schnittstellenprotokoll SDI-12, das in den Apogee SQ-521-Quantensensoren verwendet wird. Bei Fragen zur Implementierung dieses Protokolls lesen Sie bitte die offizielle Version des SDI-12-Protokolls: <http://www.sdi-12.org/specification.php> (Version 1.4, 10. August 2016).

### Übersicht

Bei der normalen Kommunikation sendet der Datenschreiber ein Datenpaket an den Sensor, das aus einer Adresse und einem Befehl besteht. Anschließend sendet der Sensor eine Antwort. In den folgenden Beschreibungen sind die SDI-12-Befehle und -Antworten in Anführungszeichen gesetzt. Die SDI-12-Adresse und die Befehls/Antwort-Terminatoren sind wie folgt definiert:

Die Sensoren werden ab Werk mit der Adresse "0" für den Einsatz in Einzelsensorsystemen ausgeliefert. Die Adressen "1 bis 9" und "A bis Z" oder "a bis z" können für zusätzliche Sensoren verwendet werden, die an denselben SDI-12-Bus angeschlossen sind.

"!" ist das letzte Zeichen einer Befehlsanweisung. Um mit dem SDI-12-Protokoll konform zu sein, müssen alle Befehle mit einem "!" abgeschlossen werden. Die SDI-12-Sprache unterstützt eine Vielzahl von Befehlen. Unterstützte Befehle für die Apogee Instruments SP-521 Quantensensoren sind in der folgenden Tabelle aufgeführt ("a" ist die Sensoradresse. Die folgenden ASCII-Zeichen sind gültige Adressen: "0-9" oder "A-Z").

#### Unterstützte Befehle für Apogee Instruments SQ-521 Quantensensoren

Anweisung Name	Befehlssyntax	Beschreibung
Aktiven Befehl quittieren	a!	Antwortet, wenn der Sensor mit der Adresse a in der Leitung ist
Identifikationsbefehl senden	a!	Reagiert mit Sensorinformationen
Befehl Messung	aM!	Weist den Sensor an, eine Messung vorzunehmen
Messbefehl mit Prüfzeichen	aMC!	Weist den Sensor an, eine Messung vorzunehmen und diese mit einem Prüfzeichen zurückzugeben
Befehl Adresse ändern	aAb!	Ändert die Sensoradresse von a nach b
Befehl "Gleichzeitige Messung"	aC!	Wird verwendet, um eine Messung durchzuführen, wenn mehr als ein Sensor auf derselben Datenleitung verwendet wird.
Gleichzeitiger Messbefehl mit Prüfzeichen	aCC!	Wird verwendet, um eine Messung durchzuführen, wenn mehr als ein Sensor auf derselben Datenleitung verwendet wird. Die Daten werden mit einem Prüfzeichen zurückgegeben.
Befehl zur Adressabfrage	?!	Wird verwendet, wenn die Adresse unbekannt ist, damit der Sensor seine Adresse identifiziert; alle Sensoren auf der Datenleitung antworten
Befehl "Daten abrufen"	aD0!	Ruft die Daten von einem Sensor ab
Befehl zur Verifizierung	aV!	Gibt Sensorkoeffizienten als Multiplikator, Offset, Sonnenmultiplikator und Korrekturfaktor für den Immersionseffekt zurück
Befehl "Laufender Durchschnitt"	aXAVG!	Gibt den laufenden Durchschnitt für Sensormessungen zurück oder stellt ihn ein.

#### Messbefehl ausführen: M!

Der Befehl make measurement signalisiert eine auszuführende Messsequenz. Die als Reaktion auf diesen Befehl erzeugten Datenwerte werden im Puffer des Sensors gespeichert und können anschließend mit "D"-Befehlen abgerufen werden. Die Daten bleiben im Sensorspeicher erhalten, bis ein weiterer "M"-, "C"- oder "V"-Befehl erteilt wird.

ausgeführt. M-Befehle werden in den folgenden Beispielen gezeigt:

Befehl	Antwort	Antwort auf 0D0!
aM! oder aM0!	a0011<cr><lf>	Gibt $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
aM1!	a0011<cr><lf>	Liefert Millivolt-Ausgang
aM2!	a0011<cr><lf>	Liefert $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
aM3!	a0011<cr><lf>	Liefert eingetauchte $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ für Unterwassermessungen
aM4!	a0011<cr><lf>	Gibt den Winkelversatz von der Senkrechten in Grad zurück (0 Grad, wenn nach oben gerichtet, 180 Grad, wenn nach unten gerichtet). Verfügbar bei Sensoren mit der Seriennummer 3033 oder höher.
aMC! oder aMCO!	a0011<cr><lf>	Rücklauf $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ w/CRC
aMC1!	a0011<cr><lf>	Gibt Millivolt-Ausgang mit CRC zurück

aMC2!	a0011<cr><lf>	Rückgabe $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ w/ CRC}$
aMC3!	a0011<cr><lf>	Liefert eingetauchte $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ für Unterwassermessungen mit CRC
aMC4!	a0011<cr><lf>	Gibt die Winkelabweichung von der Vertikalen in Grad mit/CRC zurück. (0 Grad, wenn nach oben gerichtet, 180 Grad, wenn nach unten gerichtet.) Verfügbar in Sensoren mit Seriennummern 3033 oder höher.

wobei a für die Sensoradresse ("0-9", "A-Z", "a-z") und M für einen Großbuchstaben im ASCII-Format steht.

Die Datenwerte werden durch das Zeichen "+" getrennt, wie im folgenden Beispiel (0 ist die Adresse):

Befehl	Reaktion des Sensors	Sensor Antwort, wenn Daten bereit sind
0M0!	00011<cr><lf>	0<cr><lf>
0D0!	0+2000.0<cr><lf>	
0M1!	00011<cr><lf>	0<cr><lf>
0D0!	0+400.0<cr><lf>	
0M2!	00011<cr><lf>	0<cr><lf>
0D0!	0+2000.0<cr><lf>	
0M3!	00011<cr><lf>	0<cr><lf>
0D0!	0+2000.0<cr><lf>	
0M4!	a0011<cr><lf>	0<cr><lf>
0D0!	0+90.2<cr><lf>	

wobei 2000,0  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ist.

#### Gleichzeitige Messung Befehl: aC!

Eine gleichzeitige Messung ist eine Messung, die stattfindet, während andere SDI-12-Sensoren auf dem Bus ebenfalls Messungen durchführen. Dieser Befehl ähnelt dem "aM!"-Befehl, jedoch hat das nn-Feld eine zusätzliche Ziffer und der Sensor gibt keine Serviceanforderung aus, wenn er die Messung abgeschlossen hat. Die Kommunikation mit anderen Sensoren führt NICHT zum Abbruch einer gleichzeitigen Messung. Die als Antwort auf diesen Befehl erzeugten Datenwerte werden im Puffer des Sensors gespeichert und können später mit "D"-Befehlen abgerufen werden. Die Daten bleiben im Sensor gespeichert, bis ein weiterer "M"-, "C"- oder "V"-Befehl ausgeführt wird:

Befehl	Antwort	Antwort auf 0D0!
aC! oder aC0!	a00101<cr><lf>	Liefert $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
aC1!	a00101<cr><lf>	Liefert Millivolt-Ausgang
aC2!	a00101<cr><lf>	Liefert $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
aC3!	a00101<cr><lf>	Liefert eingetauchte $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ für Unterwassermessungen
aC4!	a00101<cr><lf>	Gibt den Winkelversatz von der Senkrechten in Grad zurück (0 Grad, wenn nach oben gerichtet, 180 Grad, wenn nach unten gerichtet). Verfügbar bei Sensoren mit der Seriennummer 3033 oder höher.
aCC! oder aCC0!	a00101<cr><lf>	Rücklauf $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ w/CRC}$
aCC1!	a00101<cr><lf>	Gibt Millivolt-Ausgang mit CRC zurück
aCC2!	a00101<cr><lf>	Rückgabe $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{ w/ CRC}$
aCC3!	a00101<cr><lf>	Liefert eingetauchte $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ für Unterwassermessungen mit CRC
aCC4!	a00101<cr><lf>	Gibt die Winkelabweichung von der Vertikalen in Grad mit/CRC zurück. (0 Grad, wenn nach oben gerichtet, 180 Grad, wenn nach unten gerichtet.) Verfügbar in Sensoren mit Seriennummern 3033 oder höher.

wobei a die Sensoradresse ist ("0-9", "A-Z", "a-z", "\*", "?") und C ein Großbuchstabe des ASCII-Zeichens ist.

Zum Beispiel (0 ist die Adresse):

Befehl	Reaktion des Sensors
0C0!	000101<cr><lf>
0D0!	0+2000.0<cr><lf>
0C1!	000101<cr><lf>
0D0!	0+400.0<cr><lf>
0C2!	000101<cr><lf>
0D0!	0+2000.0<cr><lf>
0C3!	000101<cr><lf>
0D0!	0+2000.0<cr><lf>
0C4!	000101<cr><lf>
0D0!	0+90.2<cr><lf>

wobei 2000,0 für  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  und 400,0 für mV steht.

### Sensoradresse ändern: aAb!

Mit dem Befehl Sensoradresse ändern kann die Sensoradresse geändert werden. Wenn sich mehrere SDI-12-Geräte am selben Bus befinden, benötigt jedes Gerät eine eindeutige SDI-12-Adresse. Bei zwei SDI-12-Sensoren mit der Werksadresse 0 muss beispielsweise die Adresse eines der Sensoren auf einen Wert ungleich Null geändert werden, damit beide Sensoren ordnungsgemäß über denselben Kanal kommunizieren können:

Befehl	Antwort	Beschreibung
aAb!	b<cr><lf>	Ändern Sie die Adresse des Sensors

wobei a die aktuelle (alte) Sensoradresse ist ("0-9", "A-Z"), A ein großgeschriebenes ASCII-Zeichen ist, das die Anweisung zum Ändern der Adresse bezeichnet, b die neu zu programmierende Sensoradresse ist ("0-9", "A-Z") und ! das Standardzeichen zur Ausführung des Befehls ist. Wenn die Adressänderung erfolgreich ist, antwortet der Datenlogger mit der neuen Adresse und einem <cr><lf>.

### Identifizierungsbefehl senden: a!

Der Befehl "Identifikation senden" antwortet mit den Daten zu Hersteller, Modell und Version des Sensors. Alle Messdaten im Sensorpuffer werden nicht gestört:

Befehl	Antwort	Beschreibung
"a!"	a13Apogee SP-521vvvxx...xx<cr><lf>	Die Seriennummer des Sensors und andere identifizierende Werte werden zurückgegeben

wobei a die Sensoradresse ("0-9", "A-Z", "a-z", "\*", "?"), 521 die Sensormodellnummer, vvv ein dreistelliges Feld zur Angabe der Sensorversionsnummer und xx...xx die Seriennummer ist.

### Befehl "Laufender Durchschnitt"

Der Befehl "Laufender Durchschnitt" kann verwendet werden, um die Anzahl der Messungen festzulegen oder abzufragen, die zusammen gemittelt werden, bevor ein Wert von einem M!- oder MC!-Befehl zurückgegeben wird. Wenn ein Benutzer beispielsweise den Befehl "0XAVG10!" an den Sensor mit der Adresse 0 sendet, wird dieser Sensor 10 Messungen mitteln, bevor der gemittelte Wert an den Logger gesendet wird. Um die Mittelwertbildung zu deaktivieren, sollte der Benutzer den Befehl "aXAVG1" an den Sensor senden. Um den Sensor abzufragen, um zu sehen, wie viele Messungen gemittelt werden, senden Sie den Befehl "aXAVG!" und der Sensor wird die Anzahl

der gemittelten Messungen zurückgeben (siehe Tabelle unten). Standardmäßig ist die Mittelwertbildung bei den Sensoren ausgeschaltet.

Befehl Name	Gesendete Zeichen	Antwort	Beschreibung
Abfrage läuft Durchschnitt	<i>aXAVG!</i>	<i>eine</i>	a = Sensoradresse, n = Anzahl der Messungen für die Durchschnittsberechnung. Hinweis: n kann aus mehreren Ziffern bestehen.
Laufende Durchschnittswerte festlegen	<i>aXAVGn!</i>	<i>a</i>	a = Sensoradresse, n = Anzahl der Messungen, die für die Durchschnittsberechnung verwendet werden sollen. Hinweis: n kann ein beliebiger Wert zwischen 1 und 100 sein.

### Spektraler Fehler

Die Kombination aus der Durchlässigkeit des Diffusors, der Durchlässigkeit des Interferenzfilters und der Empfindlichkeit des Photodetektors ergibt die spektrale Reaktion eines Quantensensors. Eine perfekte Photodetektor/Filter/Diffusor-Kombination würde genau der definierten photosynthetischen Reaktion der Pflanze auf Photonen entsprechen (gleiche Gewichtung aller Photonen zwischen 400 und 700 nm, keine Gewichtung von Photonen außerhalb dieses Bereichs), doch ist dies in der Praxis eine Herausforderung. Eine Nichtübereinstimmung zwischen der definierten photosynthetischen Reaktion der Pflanze und der spektralen Reaktion des Sensors führt zu einem spektralen Fehler, wenn der Sensor zur Messung von Strahlung aus Quellen mit einem anderen Spektrum als der zur Kalibrierung des Sensors verwendeten Strahlungsquelle verwendet wird (Federer und Tanner, 1966; Ross und Sulev, 2000).

Spektrale Fehler für PPFD-Messungen unter üblichen Strahlungsquellen für wachsende Pflanzen wurden für die Quantensensoren der Serien SQ-100 und SQ-500 von Apogee nach der Methode von Federer und Tanner (1966) berechnet. Diese Methode erfordert PPFD-Wichtungsfaktoren (definierte photosynthetische Reaktion der Pflanzen), die gemessene spektrale Reaktion des Sensors (siehe Abschnitt Spektrale Reaktion auf Seite 7) und die spektrale Leistung der Strahlungsquelle (gemessen mit einem Spektroradiometer). Beachten Sie, dass diese Methode nur den Spektralfehler berechnet und Kalibrierungs-, Richtungs- (Kosinus-), Temperatur- und Stabilitäts-/Driftfehler nicht berücksichtigt. Die Spektralfehlerdaten (in der nachstehenden Tabelle aufgeführt) zeigen Fehler von weniger als 5 % für Sonnenlicht unter verschiedenen Bedingungen (klar, bewölkt, von Pflanzendächern reflektiert, unter Pflanzendächern durchgelassen) und gängige elektrische Breitbandspektrallampen (kaltweiße Leuchtstofflampen, Halogen-Metaldampflampen, Natriumdampf-Hochdrucklampen), aber größere Fehler für verschiedene Mischungen von Leuchtdioden (LEDs) für die Sensoren der Serie SQ-100. Die spektralen Fehler der Sensoren der Serie SQ-500 sind kleiner als die der Sensoren der Serie SQ-100, da die spektrale Reaktion der Sensoren der Serie SQ-500 besser auf die definierte photosynthetische Reaktion der Pflanzen abgestimmt ist.

Quantensensoren sind das gebräuchlichste Instrument zur Messung der PPFD, da sie etwa eine Größenordnung billiger sind als Spektoralradiometer, doch müssen spektrale Fehler berücksichtigt werden. Die spektralen Fehler in der nachstehenden Tabelle können als Korrekturfaktoren für einzelne Strahlungsquellen verwendet werden.

### Spektrale Fehler bei PFD-Messungen mit Quantensensoren der Serien SQ-100 und SQ-500 von Apogee

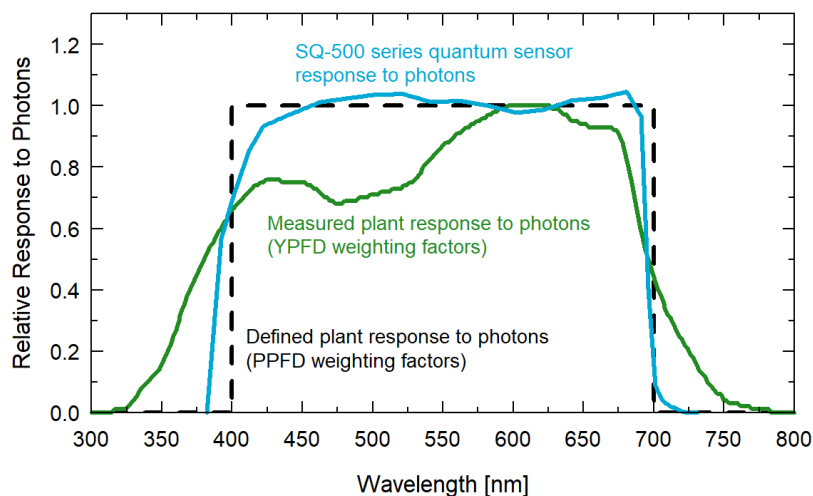
Strahlungsquelle (Fehler berechnet in Bezug auf die Sonne, klarer Himmel)	Baureihe SQ-100 PFD Fehler [%]	Baureihe SQ-500 PFD Fehler [%]
Sonne (klarer Himmel)	0.0	0.0
Sonne (bewölkter Himmel)	0.2	0.1
Reflektiert vom Grasdach	3.8	-0.3
Übertragen unter dem Weizendach	4.5	0.1
Kaltweiße Leuchtstoffröhren (T5)	0.0	0.1
Metallhalogenid	-2.8	0.9
Keramische Halogen-Metaldampflampen	-16.1	0.3
Natrium-Hochdruck	0.2	0.1
Blaue LED (448 nm Spitze, 20 nm Halbwertsbreite)	-10.5	-0.7
Grüne LED (524 nm Spitze, 30 nm Halbwertsbreite)	8.8	3.2
Rote LED (635 nm Spitze, 20 nm Halbwertsbreite)	2.6	0.8
Rote LED (667 nm Spitze, 20 nm Halbwertsbreite)	-62.1	2.8
Rote, blaue LED-Mischung (80 % Rot, 20 % Blau)	-72.8	-3.9
Rote, blaue, weiße LED-Mischung (60 % Rot, 25 % Weiß, 15 % Blau)	-35.5	-2.0
Kühle weiße LED	-3.3	0.5
Warmweiße LED	-8.9	0.2

Federer, C.A., und C.B. Tanner, 1966. Sensoren zur Messung des für die Photosynthese verfügbaren Lichts. Ökologie 47:654-657.

Ross, J., und M. Sulev, 2000. Fehlerquellen bei der Messung von PAR. Land- und Forstmeteorologie 100:103-125.

### Messungen der Yield-Photonen-Flussdichte (YFPD)

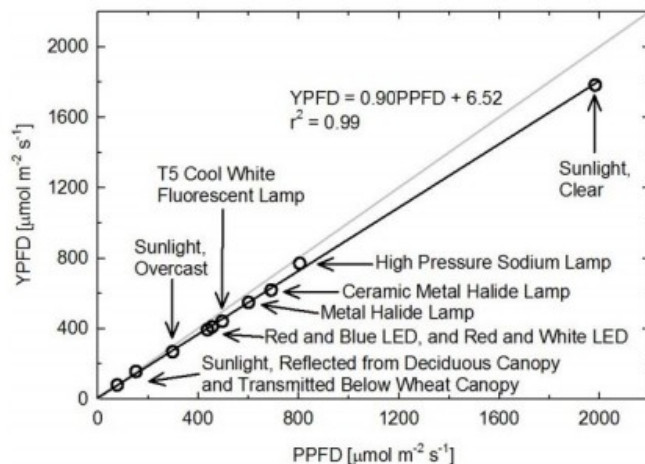
Die Photosynthese in Pflanzen reagiert nicht auf alle Photonen gleichermaßen. Der relative Quantenertrag (die photosynthetische Effizienz der Pflanzen) hängt von der Wellenlänge ab (grüne Linie in der Abbildung unten) (McCree, 1972a; Inada, 1976). Dies ist auf eine Kombination aus der spektralen Absorptionsfähigkeit der Pflanzenblätter (die Absorptionsfähigkeit ist für blaue und rote Photonen höher als für grüne Photonen) und der Absorption durch nichtphotosynthetische Pigmente zurückzuführen. Infolgedessen sind Photonen im Wellenlängenbereich von etwa 600-630 nm am effizientesten.



Definierte Reaktion der Pflanze auf Photonen (schwarze Linie, Gewichtungsfaktoren für die Berechnung der PFD), gemessene Reaktion der Pflanze auf Photonen (grüne Linie, Gewichtungsfaktoren für die Berechnung der YFPD) und Reaktion des Quantensensors der Serie SQ-500 auf Photonen

Eine mögliche Definition von PAR ist die Gewichtung der Photonenflussdichte in Einheiten von  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  bei jeder Wellenlänge zwischen 300 und 800 nm mit der gemessenen relativen Quantenausbeute und die Summierung des Ergebnisses. Dies wird als Yield Photon Flux Density (YFPD, Einheiten von  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) definiert (Sager et al., 1988). Mit dieser Definition von PAR sind Unsicherheiten und Herausforderungen verbunden. Die Messungen, die zur Ermittlung der relativen Quantenausbeute herangezogen wurden, erfolgten an einzelnen Blättern bei niedrigen Strahlungswerten und in kurzen Zeiträumen (McCree, 1972a; Inada, 1976). Ganze Pflanzen und Pflanzendecken haben in der Regel mehrere Blattschichten und werden im Allgemeinen im Feld oder im Gewächshaus über eine ganze Vegetationsperiode hinweg angebaut. Daher sind die tatsächlichen Bedingungen, denen die Pflanzen ausgesetzt sind, wahrscheinlich anders als die Bedingungen, denen die einzelnen Blätter bei den Messungen von McCree (1972a) und Inada (1976) ausgesetzt waren. Darüber hinaus ist der in der obigen Abbildung angegebene relative Quantenertrag der Mittelwert von zweiundzwanzig im Feld angebauten Arten (McCree, 1972a). Der mittlere relative Quantenertrag für dieselben Arten, die in Wachstumskammern gezüchtet wurden, war ähnlich, aber es gab Unterschiede, insbesondere bei kürzeren Wellenlängen (weniger als 450 nm). Es gab auch eine gewisse Variabilität zwischen den Arten (McCree, 1972a; Inada, 1976).

McCree (1972b) fand heraus, dass die Gleichgewichtung aller Photonen zwischen 400 und 700 nm und die Summierung des Ergebnisses, definiert als photosynthetische Photonenflussdichte (PPFD, in Einheiten von  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), gut mit der Photosynthese korreliert und der Korrelation zwischen YFPD und Photosynthese sehr ähnlich ist. Aus praktischen Gründen ist die PPFD eine einfachere Definition von PAR. Zur gleichen Zeit wie McCree hatten andere die PPFD als genaues Maß für PAR vorgeschlagen und Sensoren gebaut, die den PPFD-Gewichtungsfaktoren nahe kamen (Biggs et al., 1971; Federer und Tanner, 1966). Die Korrelation zwischen PPFD- und YFPD-Messungen für verschiedene Strahlungsquellen ist sehr hoch (siehe Abbildung unten), als Näherung gilt  $\text{YFPD} = 0,9\text{PPFD}$ . Infolgedessen wird PAR fast durchgängig als PPFD und nicht als YFPD definiert, obwohl in einigen Studien YFPD verwendet wurde. Die einzigen Strahlungsquellen (siehe Abbildung unten), die nicht auf die Regressionslinie fallen, sind die Natriumdampf-Hochdrucklampe (HPS), die Reflexion von einem Pflanzendach und die Transmission unter einem Pflanzendach. Ein großer Teil der Strahlung von HPS-Lampen liegt im roten Wellenlängenbereich, wo die YFPD-Gewichtungsfaktoren (gemessene relative Quantenausbeute) bei oder nahe eins liegen. Der Faktor für die Umrechnung von PPFD in YFPD für HPS-Lampen ist 0,95 und nicht 0,90. Der Faktor für die Umrechnung von PPFD in YFPD für reflektierte und transmittierte Photonen ist 1,00.



Korrelation zwischen photosynthetischer Photonenflussdichte (PPFD) und Ertragsphotonenflussdichte (YFPD) für mehrere verschiedene Strahlungsquellen. Die YFPD beträgt etwa 90 % der PPFD. Die Messungen wurden mit einem Spektralradiometer (Apogee Instruments, Modell PS-200) durchgeführt, und die in der vorherigen Abbildung

Biggs, W., A.R. Edison, J.D. Eastin, K.W. Brown, J.W. Maranville, und M.D. Clegg, 1971. Photosynthese-Lichtsensor und -messgerät. *Ökologie* 52:125-131.

Federer, C.A., und C.B. Tanner, 1966. Sensoren zur Messung des für die Photosynthese verfügbaren Lichts. *Ökologie* 47:654-657.

Inada, K., 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Pflanzen- und Zellphysiologie* 17:355-365.

McCree, K.J., 1972a. Das Wirkungsspektrum, die Absorption und die Quantenausbeute der Photosynthese bei Nutzpflanzen. *Landwirtschaftliche Meteorologie* 9:191-216.

McCree, K.J., 1972b. Test der aktuellen Definitionen der photosynthetisch aktiven Strahlung anhand von Blattphotosynthesedaten. *Landwirtschaftliche Meteorologie* 10:443-453.

Sager, J.C., W.O. Smith, J.L. Edwards, und K.L. Cyr, 1988. Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *Transaktionen der ASAE* 31:1882-1889.

Wenn ein Strahlungssensor in Wasser eingetaucht ist, wird ein größerer Teil der einfallenden Strahlung aus dem Diffusor zurückgestreut als wenn sich der Sensor in Luft befindet (Smith, 1969; Tyler und Smith, 1970). Dieses Phänomen wird durch den Unterschied im Brechungsindex von Luft (1,00) und Wasser (1,33) verursacht und wird als Immersionseffekt bezeichnet. Ohne Korrektur für den Immersionseffekt können in Luft kalibrierte Strahlungssensoren nur relative Werte unter Wasser liefern (Smith, 1969; Tyler und Smith, 1970). Korrekturfaktoren für den Immersionseffekt können durch Messungen in Luft und in verschiedenen Wassertiefen in konstantem Abstand von einer Lampe in einer kontrollierten Laborumgebung ermittelt werden.

Die Quantensensoren der Serie SQ-500 von Apogee haben einen Korrekturfaktor für den Immersionseffekt von 1,25. Dieser Korrekturfaktor sollte mit unter Wasser durchgeführten PPF-D-Messungen multipliziert werden, um eine genaue PPF-D zu erhalten.

Weitere Informationen über Unterwassermessungen und den Immersionseffekt finden Sie auf der Apogee-Webseite (<http://www.apogeeinstruments.com/underwater-par-measurements/>).

Smith, R.C., 1969. Ein Unterwasser-Spektralbestrahlungsstärke-Kollektor. *Journal of Marine Research* 27:341-351.

Tyler, J.E., und R.C. Smith, 1970. Messungen der spektralen Bestrahlungsstärke unter Wasser. Gordon and Breach, New York, New York. 103 Seiten.

---

## WARTUNG UND REKALIBRIERUNG

Die Blockierung des optischen Weges zwischen Ziel und Detektor kann zu niedrigen Messwerten führen. Gelegentlich können angesammelte Materialien auf dem Diffusor des aufwärtsgerichteten Sensors den optischen Pfad auf drei übliche Arten blockieren:

1. Feuchtigkeit oder Ablagerungen auf dem Auslass.
2. Staub in niederschlagsarmen Zeiten.
3. Ansammlung von Salzablagerungen durch Verdunstung von Gischt oder Sprinklerbewässerung.

Die nach oben gerichteten Sensoren von Apogee Instruments verfügen über einen gewölbten Diffusor und ein gewölbtes Gehäuse für eine bessere Selbstreinigung bei Regen, doch kann eine aktive Reinigung erforderlich sein. Staub oder organische Ablagerungen lassen sich am besten mit Wasser oder Fensterreiniger und einem weichen Tuch oder Wattestäbchen entfernen. Salzablagerungen sollten mit Essig aufgelöst und mit einem Tuch oder Wattestäbchen entfernt werden. **Salzablagerungen lassen sich nicht mit Lösungsmitteln wie Alkohol oder Aceton entfernen.** Reinigen Sie den Diffusor mit einem Wattestäbchen oder einem weichen Tuch nur mit leichtem Druck, um Kratzer auf der Außenfläche zu vermeiden. Die Reinigung sollte mit dem Lösungsmittel erfolgen, nicht mit mechanischer Gewalt. **Verwenden Sie niemals Scheuermittel oder Reinigungsmittel für den Diffusor.**

Obwohl Apogee-Sensoren sehr stabil sind, ist eine nominelle Genauigkeitsdrift für alle Sensoren in Forschungsqualität normal. Um maximale Genauigkeit zu gewährleisten, empfehlen wir im Allgemeinen, die Sensoren alle zwei Jahre zur Neukalibrierung einzusenden, obwohl Sie je nach Ihren speziellen Toleranzen auch länger warten können.

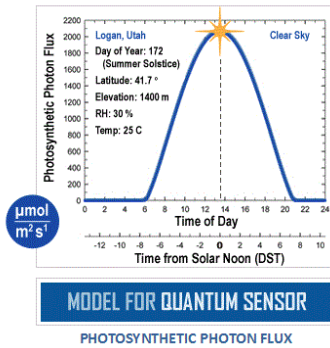
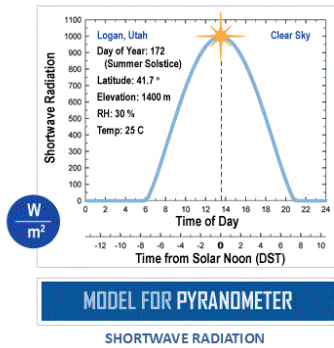
Um festzustellen, ob Ihr Sensor neu kalibriert werden muss, kann die Website und/oder Smartphone-App Clear Sky Calculator ([www.clearskycalculator.com](http://www.clearskycalculator.com)) verwendet werden, um die gesamte kurzweilige Strahlung anzuzeigen, die zu jeder Tageszeit und an jedem Ort der Welt auf eine horizontale Fläche trifft. Er ist am genauesten, wenn er in den Frühlings- und Sommermonaten in der Nähe der Mittagszeit verwendet wird, wobei die Genauigkeit über mehrere klare und unverschmutzte Tage hinweg in allen Klimazonen und an allen Orten der Welt auf  $\pm 4\%$  geschätzt wird. Die beste Genauigkeit wird erreicht, wenn der Himmel völlig klar ist, da die von Wolken reflektierte Strahlung die einfallende Strahlung über den vom Rechner für klaren Himmel vorhergesagten Wert hinaus erhöht. Gemessene Werte der gesamten kurzweiligen Strahlung können aufgrund der Reflexion von dünnen, hohen Wolken und Wolkenrändern, die die eintreffende kurzweilige Strahlung verstärken, die vom Clear Sky Calculator vorhergesagten Werte übersteigen. Der Einfluss hoher Wolken zeigt sich in der Regel als Spitzen über den Werten für den klaren Himmel und nicht als konstanter Offset über den Werten für den klaren Himmel.

Um festzustellen, ob eine Neukalibrierung erforderlich ist, geben Sie die Standortbedingungen in den Rechner ein und vergleichen Sie die Messungen der gesamten kurzweiligen Strahlung mit den berechneten Werten für einen klaren Himmel. Wenn die Messungen der kurzweiligen Strahlung des Sensors an mehreren Tagen in der Nähe der Mittagszeit konstant von den berechneten Werten abweichen (um mehr als 6%), sollte der Sensor gereinigt und neu nivelliert werden. Wenn die Messungen nach einem zweiten Test immer noch unterschiedlich sind, senden Sie eine E-Mail an [calibration@apogeeinstruments.com](mailto:calibration@apogeeinstruments.com), um die Testergebnisse und eine mögliche Rücksendung des Sensors/der Sensoren zu besprechen.



This calculator determines the intensity of radiation falling on a horizontal surface at any time of the day in any location in the world. The primary use of this calculator is to determine the need for recalibration of radiation sensors. It is most accurate when used near solar noon in the summer months.

This site developed and maintained by: **apogee** INSTRUMENTS



Homepage des Clear Sky Calculator. Es sind zwei Rechner verfügbar: einer für Quantensensoren (PPFD) und einer für Pyranometer (kurzwellige Gesamtstrahlung).



FOR QUANTUM SENSORS

[HOME](#)

Input Parameters for Estimating Photosynthetic Photon Flux (PPF):

Output from Model:

- For best accuracy, comparison should be made on clear, non-polluted, summer days within one hour of solar noon.
- Enter input parameters in the blue cells at right. Definitions are shown below.
- Sensor must be level and perfectly clean. Enter your measured solar radiation in the blue "Measured PPF" cell at far right.
- Difference between the model and your sensor is shown in the yellow "DIFFERENCE FROM MODEL" cell at right.
- Run the model on replicate days. Contact Apogee for recalibration if the measured value is more than 5 % different than the estimated value. You will be contacted within two business days.

For a discussion on model accuracy and sensitivity of input parameters, [CLICK HERE](#).

Latitude =

Longitude =

Longitude<sub>tz</sub> =

Elevation =  m

Day of Year =

Time of Day =  (6 min - 0.1 hr)

Daylight Savings = +  hr

Air Temperature =  C

Relative Humidity =  %

Model Estimated PPF = **1994**  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Measured PPF =   $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

DIFFERENCE FROM MODEL = **-0.2 %**

[CONTACT APOGEE FOR RECALIBRATION](#)

Name:

E-mail:

Phone:

Serial #:

Comments:

Please include all requested information.

This site is developed and maintained by: **apogee** INSTRUMENTS

[calibration@apogee-inst.com](mailto:calibration@apogee-inst.com)

INPUT AND OUTPUT DEFINITIONS

- Latitude** = latitude of the measurement site [degrees]; for southern hemisphere, insert as a negative number; info may be obtained from <http://touchmap.com/latlong.html>
- Longitude** = longitude of the measurement site [degrees]; expressed as positive degrees west of the standard meridian in Greenwich, England (e.g. 74° for New York, 260° for Bangkok, Thailand, and 358° for Paris, France).
- Longitude<sub>tz</sub>** = longitude of the center of your local time zone [degrees]; expressed as positive degrees

Clear Sky Calculator für Quantensensoren. Die Standortdaten werden in die blauen Zellen in der Mitte der Seite eingegeben und eine Schätzung der PPF wird auf der rechten Seite zurückgegeben

---

## FEHLERSUCHE UND KUNDENBETREUUNG

### Unabhängige Überprüfung der Funktionsfähigkeit

Wenn der Sensor nicht mit dem Datenlogger kommuniziert, verwenden Sie ein Amperemeter, um die Stromaufnahme zu überprüfen. Er sollte bei etwa 0,6 mA liegen, wenn der Sensor nicht kommuniziert, und auf etwa 1,3 mA ansteigen, wenn der Sensor kommuniziert. Eine Stromaufnahme von mehr als ca. 6 mA deutet auf ein Problem mit der Stromversorgung der Sensoren, der Verkabelung des Sensors oder der Sensorelektronik hin.

### Kompatible Messgeräte (Datenlogger/Controller/Messgeräte)

Alle Datenlogger oder Messgeräte mit SDI-12-Funktionalität, die den Befehl M oder C enthalten.

Ein Beispiel für ein Datenlogger-Programm für Campbell Scientific-Datenlogger finden Sie auf der Apogee-Webseite unter <https://www.apogeeinstruments.com/content/Quantum-Digital.CR1>.

### Ändern der Kabellänge

Das SDI-12-Protokoll begrenzt die Kabellänge auf 60 Meter. Bei mehreren Sensoren, die an dieselbe Datenleitung angeschlossen sind, beträgt die maximale Gesamtkabellänge 600 Meter (z. B. zehn Sensoren mit 60 Metern Kabel pro Sensor). Auf der Apogee-Webseite finden Sie Einzelheiten zur Verlängerung der Sensorkabel (<http://www.apogeeinstruments.com/how-to-make-a-weatherproof-cable-splice/>).

### Umrechnungstabellen für Einheiten

Die Quantensensoren der Serie SQ von Apogee sind für die Messung der PPF<sub>D</sub> in Einheiten von  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  kalibriert. Für bestimmte Anwendungen können andere Einheiten als die Photonenflussdichte (z. B. Energiestromdichte, Beleuchtungsstärke) erforderlich sein. Es ist möglich, den PPF<sub>D</sub>-Wert eines Quantensensors in andere Einheiten umzurechnen, aber dazu ist die Spektralleistung der betreffenden Strahlungsquelle erforderlich. Umrechnungsfaktoren für gängige Strahlungsquellen finden Sie auf der Seite Unit Conversions im Support Center auf der Apogee-Website (<http://www.apogeeinstruments.com/unit-conversions/>; scrollen Sie nach unten zum Abschnitt Quantensensoren). Eine Tabellenkalkulation zur Umrechnung von PPF<sub>D</sub> in Energiestromdichte oder Beleuchtungsstärke ist ebenfalls auf der Seite Einheitenumrechnung im Support Center auf der Apogee-Website (<http://www.apogeeinstruments.com/content/PPFD-to-Illuminance-Calculator.xls>) zu finden.

---

# RÜCKGABE- UND GEWÄHRLEISTUNGSBESTIMMUNGEN

## RÜCKGABE-POLITIK

Apogee Instruments akzeptiert Rücksendungen innerhalb von 30 Tagen nach dem Kauf, sofern sich das Produkt im Neuzustand befindet (wird von Apogee festgelegt). Für Rücksendungen wird eine Wiedereinlagerungsgebühr von 10 % erhoben.

## GARANTIEBESTIMMUNGEN

### **Was ist abgedeckt?**

Für alle von Apogee Instruments hergestellten Produkte gilt eine Garantie von vier (4) Jahren ab dem Datum der Auslieferung aus unserem Werk, dass sie frei von Material- und Verarbeitungsfehlern sind. Um die Garantie in Anspruch nehmen zu können, muss ein Artikel von Apogee bewertet werden.

Für Produkte, die nicht von Apogee hergestellt werden (Spektralradiometer, Chlorophyllgehalt-Messgeräte, EE08-SS-Sonden), gilt eine Garantie von einem (1) Jahr.

### **Was nicht abgedeckt ist**

Der Kunde ist für alle Kosten verantwortlich, die im Zusammenhang mit dem Ausbau, dem Wiedereinbau und dem Versand von Artikeln mit Garantieverdacht an unser Werk entstehen.

Die Garantie gilt nicht für Geräte, die aufgrund der folgenden Bedingungen beschädigt wurden:

1. Unsachgemäße Installation, Verwendung oder Missbrauch.
2. Betrieb des Geräts außerhalb des spezifizierten Betriebsbereichs.
3. Naturereignisse wie Blitzschlag, Feuer usw.
4. Unbefugte Änderung.
5. Unsachgemäße oder nicht autorisierte Reparatur.

Bitte beachten Sie, dass eine Abweichung der Nenngenaugkeit im Laufe der Zeit normal ist. Die routinemäßige Neukalibrierung von Sensoren/Messgeräten wird als Teil der ordnungsgemäßen Wartung betrachtet und ist nicht von der Garantie abgedeckt.

### **Wer ist abgedeckt?**

Diese Garantie gilt für den Erstkäufer des Produkts oder eine andere Partei, die das Produkt während der Garantiezeit besitzt.

### **Was Apogee tun wird**

Apogee wird kostenlos sein:

1. Wir reparieren oder ersetzen (nach unserem Ermessen) den Artikel im Rahmen der Garantie.
2. Rücksendung des Artikels an den Kunden durch einen Spediteur unserer Wahl.

Andere oder schnellere Versandmethoden gehen zu Lasten des Kunden.

**Wie man einen Artikel zurückgibt - Um Reparaturen/Garantie kümmert sich im Raum D, A, CH die UP GmbH. Füllen Sie dazu bitte das Rücksendeformular**

**[https://www.upgmbh.com/fileadmin/user\\_upload/up\\_products/pdf/Ruecksendeformular.pdf](https://www.upgmbh.com/fileadmin/user_upload/up_products/pdf/Ruecksendeformular.pdf) aus und senden Sie es zusammen mit Gerät an unser Büro in Cottbus!**

1. Bitte senden Sie keine Produkte an Apogee Instruments zurück!
2. Senden Sie alle Sensoren und Messgeräte in folgendem Zustand zurück, um die Garantie zu prüfen: Reinigen Sie das Äußere des Sensors und das Kabel. Nehmen Sie keine Änderungen an den Sensoren oder Kabeln vor, wie z. B. Spleißen, Abschneiden von Kabeln usw. Wenn ein Stecker am Kabelende angebracht wurde, legen Sie bitte den Gegenstecker bei - andernfalls wird der Sensorstecker entfernt, um die Reparatur/Neukalibrierung abzuschließen. **Hinweis:** *Wenn Sie Sensoren mit Apogees Standard-Edelstahlsteckern zur Routinekalibrierung zurücksenden, brauchen Sie den Sensor nur mit dem 30 cm langen Kabelstück und der Hälfte des Steckers einzusenden. Wir haben in unserem Werk Gegenstecker, die für die Kalibrierung des Sensors verwendet werden können.*
3. Senden Sie den Artikel frachtfrei und vollständig versichert an unsere Werksadresse. Wir sind nicht verantwortlich für Kosten, die mit dem Transport von Produkten über internationale Grenzen hinweg verbunden sind.
- 4. Nach Erhalt wird Apogee Instruments die Ursache des Fehlers feststellen. Wenn sich herausstellt, dass das Produkt aufgrund von Material- oder Verarbeitungsfehlern nicht gemäß den veröffentlichten Spezifikationen funktioniert, wird Apogee Instruments die Teile kostenlos reparieren oder ersetzen. Wenn festgestellt wird, dass Ihr Produkt nicht unter die Garantie fällt, werden Sie informiert und erhalten einen Kostenvoranschlag für die Reparatur bzw. den Ersatz.**

## PRODUKTE NACH ABLAUF DER GEWÄHRLEISTUNGSFRIST

Bei Problemen mit Sensoren, die über die Garantiezeit hinausgehen, wenden Sie sich bitte an Apogee unter [techsupport@apogeeinstruments.com](mailto:techsupport@apogeeinstruments.com), um Reparatur- oder Austauschoptionen zu besprechen.

## ANDERE BEGRIFFE

Apogee Instruments ist nicht verantwortlich für direkte, indirekte, zufällige oder Folgeschäden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Einkommensverluste, Einnahmeverluste, Gewinnverluste, Datenverluste, Lohnverluste, Zeitverluste, Umsatzverluste, das Entstehen von Schulden oder Ausgaben, die Verletzung von persönlichem Eigentum oder die Verletzung von Personen oder andere Arten von Schäden oder Verlusten.

Diese eingeschränkte Garantie und alle Streitigkeiten, die sich aus oder in Verbindung mit dieser eingeschränkten Garantie ergeben ("Streitigkeiten"), unterliegen den Gesetzen des Staates Utah, USA, unter Ausschluss der Grundsätze des Kollisionsrechts und unter Ausschluss des Übereinkommens über den internationalen Warenkauf. Die Gerichte im Bundesstaat Utah, USA, haben die ausschließliche Zuständigkeit für alle Streitigkeiten.

Diese eingeschränkte Garantie gibt Ihnen bestimmte gesetzliche Rechte, und Sie können auch andere Rechte haben, die von Staat zu Staat und von Gerichtsbarkeit zu Gerichtsbarkeit variieren und die von dieser eingeschränkten Garantie nicht betroffen sind. Diese Garantie gilt nur für Sie und kann nicht übertragen oder abgetreten werden. Sollte eine Bestimmung dieser eingeschränkten Garantie ungesetzlich, ungültig oder nicht durchsetzbar sein, so gilt diese Bestimmung als abtrennbar und berührt die übrigen Bestimmungen nicht. Im Falle von Unstimmigkeiten zwischen der englischen und der anderen Version dieser eingeschränkten Garantie ist die englische Version maßgebend.

Diese Garantie kann nicht durch andere Personen oder Vereinbarungen geändert, übernommen oder ergänzt werden.