Gigahertz-Optik

Präzise Vermessung und Bewertung von Sonnensimulatoren

Anton Gugg-Helminger, DAfP Freiburg, 18.05.2017

Inhalt

- Sonne
- Sonnensimulatoren
- Pflanzenwachstumsforschung
- Sonnenschutzfaktorenbestimmung
- Solarien
- Materialprüfung
- Extraterrestrischer Sonnensimulator
- Neue Geräte
- Zusammenfassung

Thema 1 - Sonne

Sonne

Bild privat: Anton Gugg-Helminger

Sonne

Bild privat: Anton Gugg-Helminger

Sonne

- Genau das ist

der Grund,
warum man
Sonnensimulatoren
baut.
Die Natur bietet
keine Konstanten
Bedingungen für
Versuche,
Therapien
und Wachstumsforschung

Bild privat: Anton Gugg-Helminger

Sonne

Die Sonne ist definiert in der

IEC 60904-3 Ed.2 (2008) z.B. für AM1.5

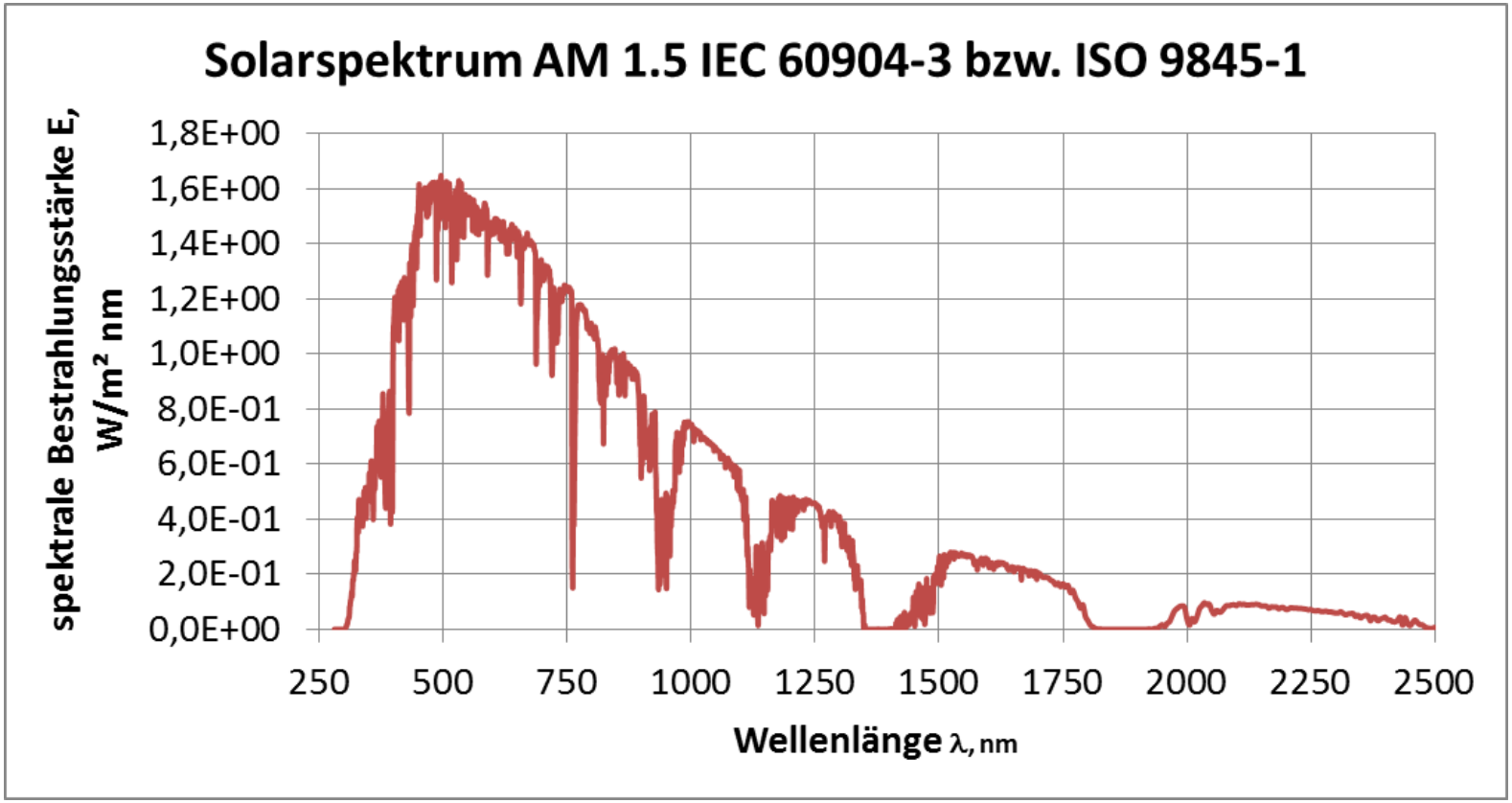
oder in der

ASTM G173 – 03 (2012)
American Society for Testing and Materials

oder in der
ISO 9845-1 (1992)

oder…

Sonne


Solarspektrum AM 1.5 IEC 60904-3 bzw. ISO 9845-1
spektrale Bestrahlungsstärke E, W/m² nm
1,8E+00
1,6E+00
1,4E+00
1,2E+00
1,0E+00
8,0E-01
6,0E-01
4,0E-01
2,0E-01
0,0E+00
250
500
750
1000
1250
1500
1750
2000
2250
2500
Wellenlänge λ, nm

Sonne

- Die Strahlung der Sonne ist z.B. in der IEC 60904-3 Ed.2 im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1100 nm definiert

Bereich IEC 60904-3	Gesamt-bestrahlungs-stärke %	Sonne gerechnet %
400 nm bis 500 nm	18,4	18,4
500 nm bis 600 nm	19,9	20,0
600 nm bis 700 nm	18,4	18,2
700 nm bis 800 nm	14,9	15,0
800 nm bis 900 nm	12,5	12,3
900 nm bis 1100 nm	15,9	16,3

Thema 2 - Sonnensimulatoren

Sonnensimulatoren

- Welche Geräte tragen die Bezeichnung Sonnensimulatoren?

Google Sonnensimulator Bilder

Sonnensimulatoren

Wo werden Sonnensimulatoren verwendet?

Pflanzenwachstum (Gewächshaus)

Cosmetics Europe – The Personal Care Association
Früher COLIPA - The European Cosmetic Toiletry and Perfumery Association

Solarien (Bräunung und dermatologische Effekte)

Fahrzeuge und Fahrzeugteile (Simulatoren für komplette LKW, PKW, Armaturen, Scheiben)

Extraterrestrischer Simulator (Satelliten)
uvm.

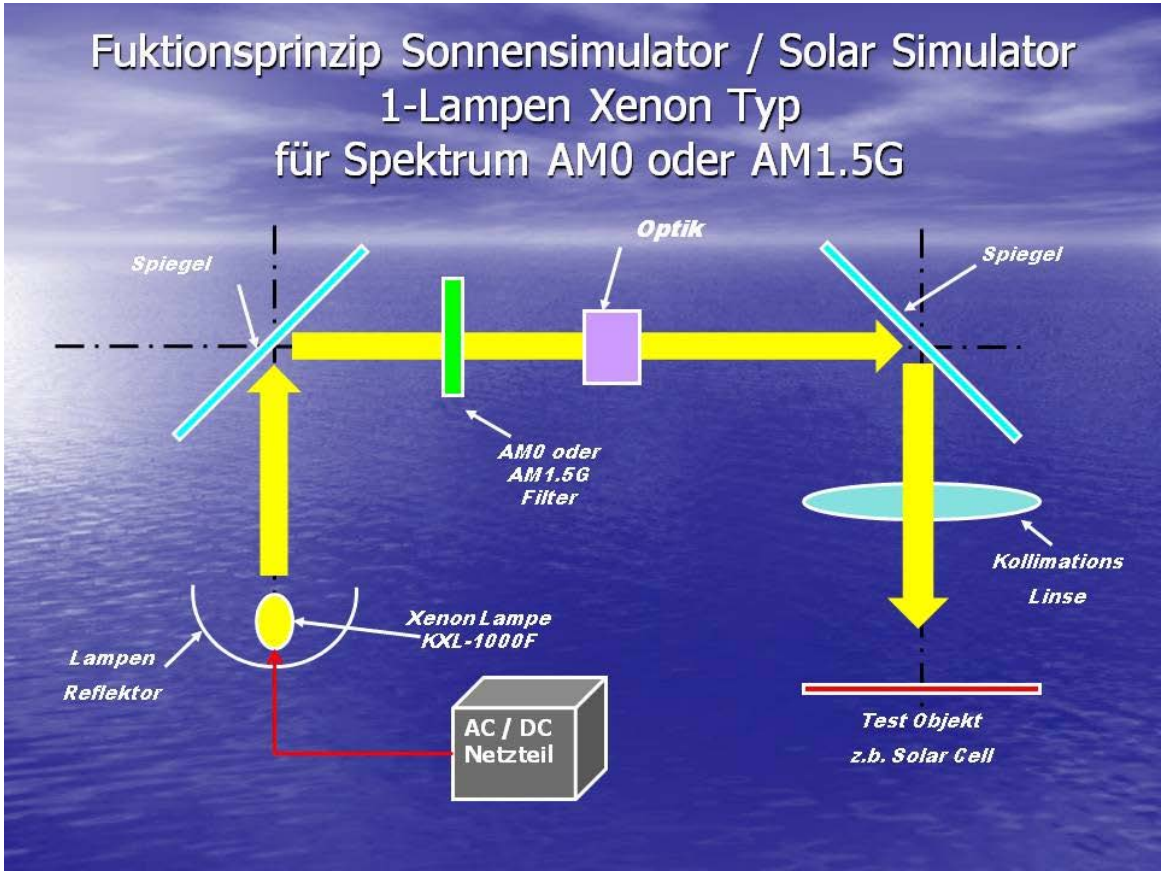
Sonnensimulatoren

- Warum benötigen wir Sonnensimulatoren?

- Wir wollen das ganze Jahr unabhängig von den Witterungsverhältnissen nachvollziehbare konstante Ergebnisse erzielen.

Sonnensimulatoren

- Prinzipaufbau



Schema: Sonnensimulator-Solar_Simulator-WACOM.jpg

Sonnensimulatoren

- Einsatzbereiche
- Da die Sonne uns immer begleitet und auf uns bzw. Tiere, Pflanzen und auch andere Materialien ständig einwirkt, sind die Einsatzbereiche sehr vielfältig.
- Hier ein paar Beispiele

Thema 3 - Pflanzenwachstumsforschung

Pflanzenwachstumsforschung

Die ersten Versuche, bei denen ich bezüglich der Messungen beteiligt war, waren in der GSF (Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung) 1986.

Jetzt „Helmholtz Zentrum münchen“ in Oberschleißheim.

Dort wurden die Sonnensimulatoren von

Herrn Prof. Dr. Gunther Seckmeyer

auf die spektrale Bestrahlungsstärke der Sonne optimiert.

Pflanzenwachstumsforschung

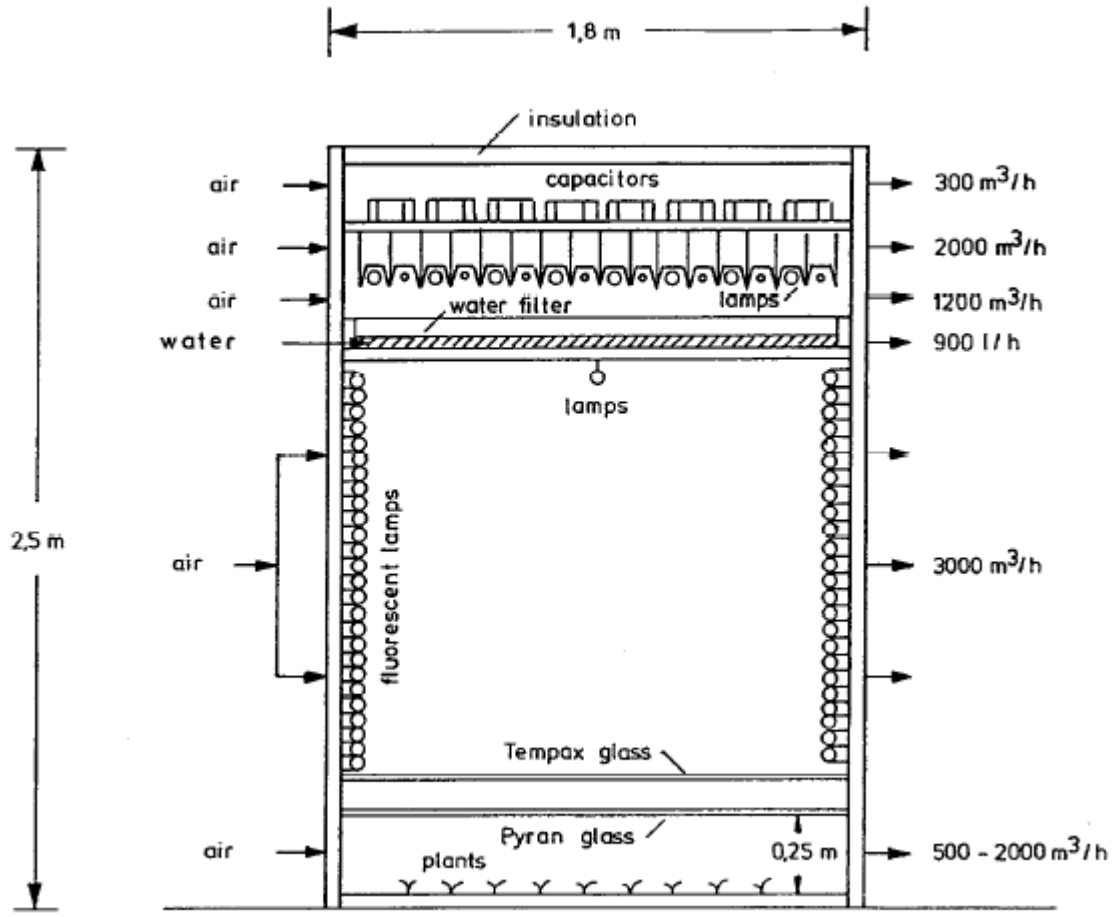


Fig. 1. Schematic diagram and operational data of the new sunlight simulator.

Bild: Prof. Dr. Gunther Seckmeyer, Arbeitsgruppe Strahlung und Fernerkundung

Pflanzenwachstumsforschung

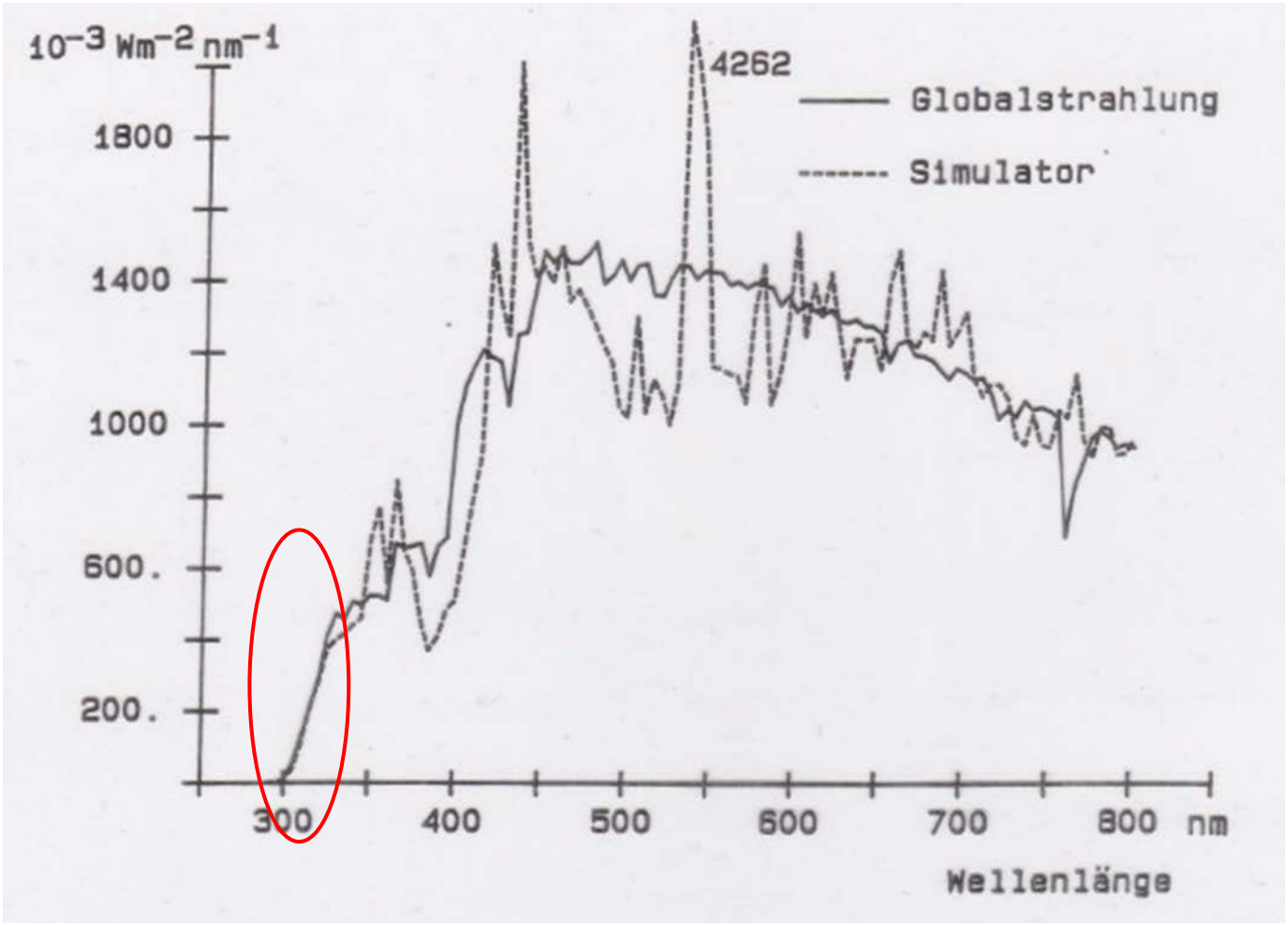
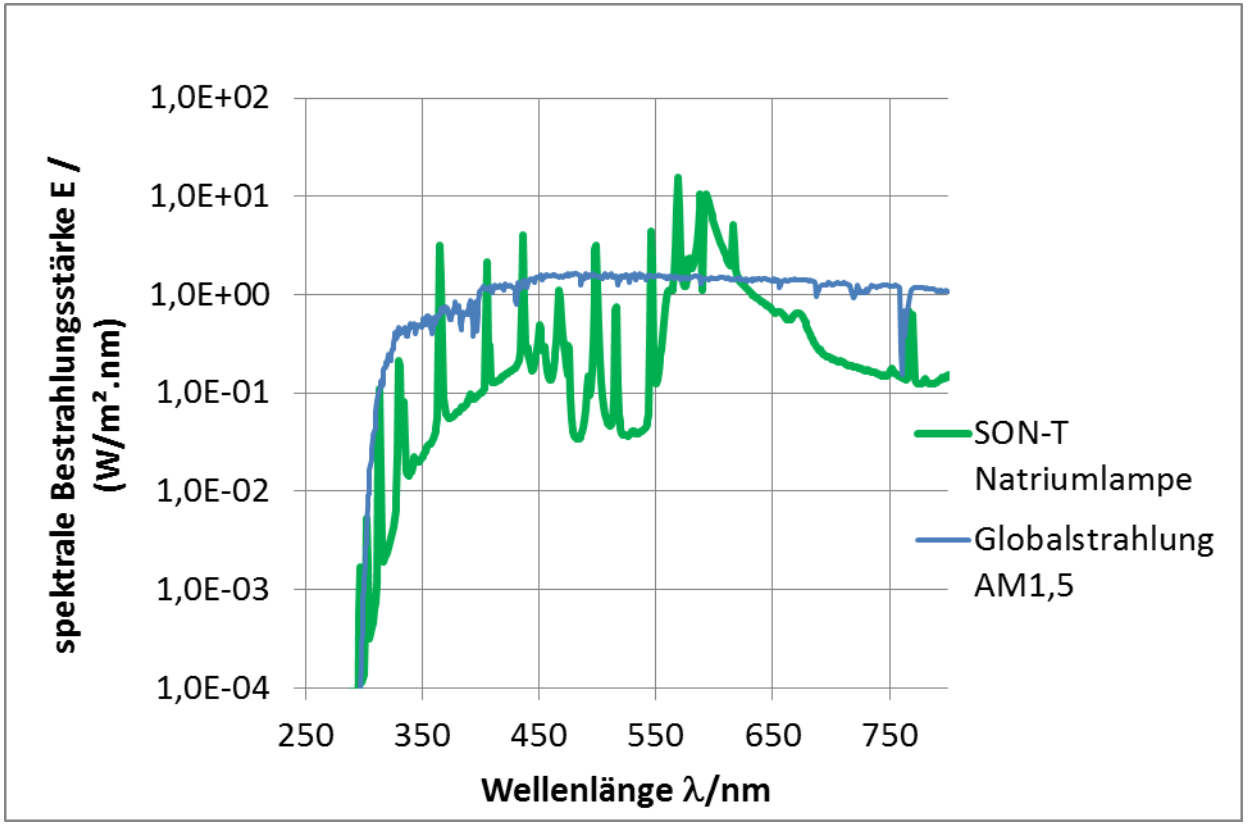


Bild: Prof. Dr. Gunther Seckmeyer, Arbeitsgruppe Strahlung und Fernerkundung

Pflanzenwachstumsforschung

- Am Beispiel einer Natriumdampflampe wird deutlich, dass bei gleicher integraler Intensität im sichtbaren Bereich im UV wesentlich weniger Strahlung als bei der Sonne vorhanden ist. Diese Strahler werden oft verwendet.



Thema 4 - Sonnenschutzfaktorenbestimmung

Sonnenschutzfaktorenbestimmung

- Cosmetics Europe – The Personal Care Association

  Früher COLIPA - The European Cosmetic Toiletry and Perfumery Association

  = Verband der europäischen Kosmetikhersteller, dem auch der IKW (Industrieverband Körperpflege und Waschmittel e.V.) angehört,

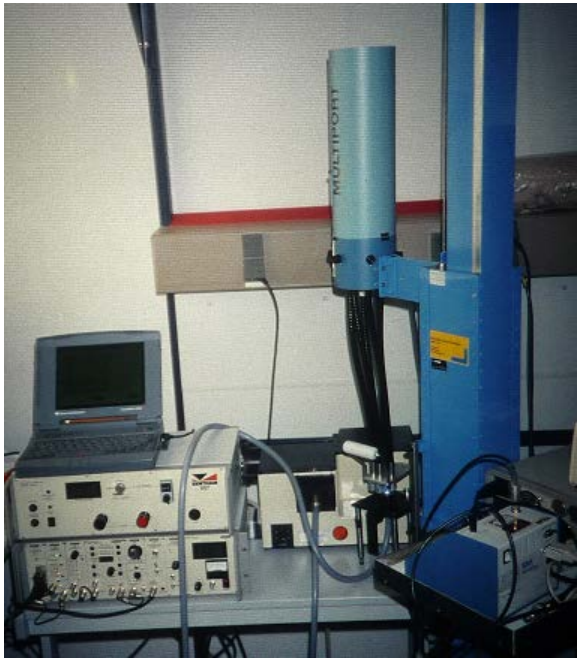
Sonnenschutzfaktorenbestimmung

Für die Bestimmung der Sonnenschutzfaktoren (SPF)
werden Geräte mit Strahlern eingesetzt, die z.B. eine Lichttreppe auf der ungebräunten Haut erzeugen.

Bld: Lichturtikaria – P.Altmeyer – Enziklopädie

Sonnenschutzfaktorenbestimmung

Mögliche Strahler für die Lichttreppenerzeugung



Bilder privat: Anton Gugg-Helminger

Durchmesser der Bestrahlungsfläche je 10 mm

Sonnenschutzfaktorenbestimmung

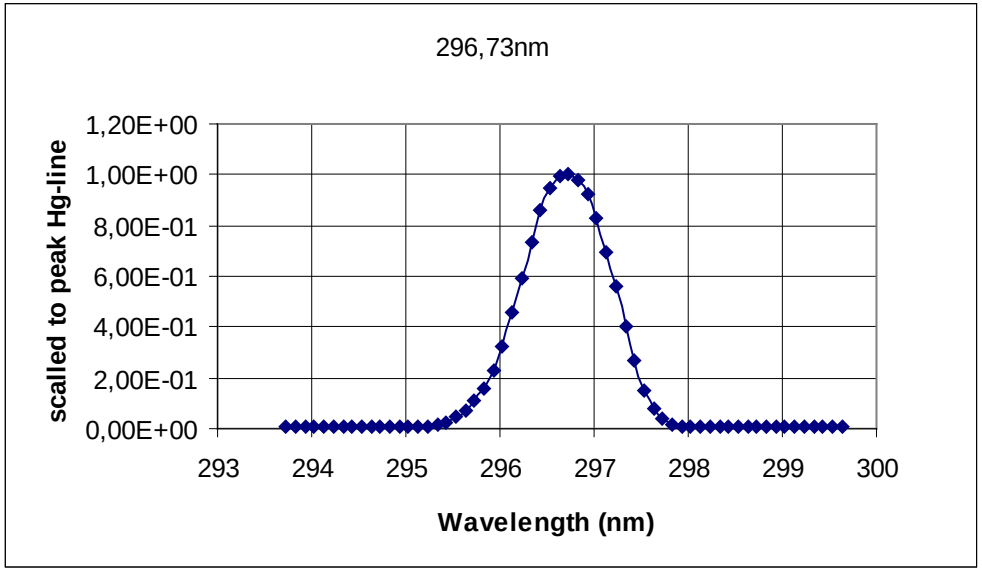
- Definierte Bereiche

WL range	Min	Max
250-290		0,1%
290-300	2,0%	8,0%
290-310	49,0%	65,0%
290-320	85,0%	90,0%
290-330	91,5%	95,5%
290-340	94,0%	97,0%
290-350	95,5%	98,5%
290-400	100,0%	100,0%

- Je nach Applikation sind die Bereiche unterschiedlich gewählt. Hier bereits mit Erythemwichtung

Sonnenschutzfaktorenbestimmung

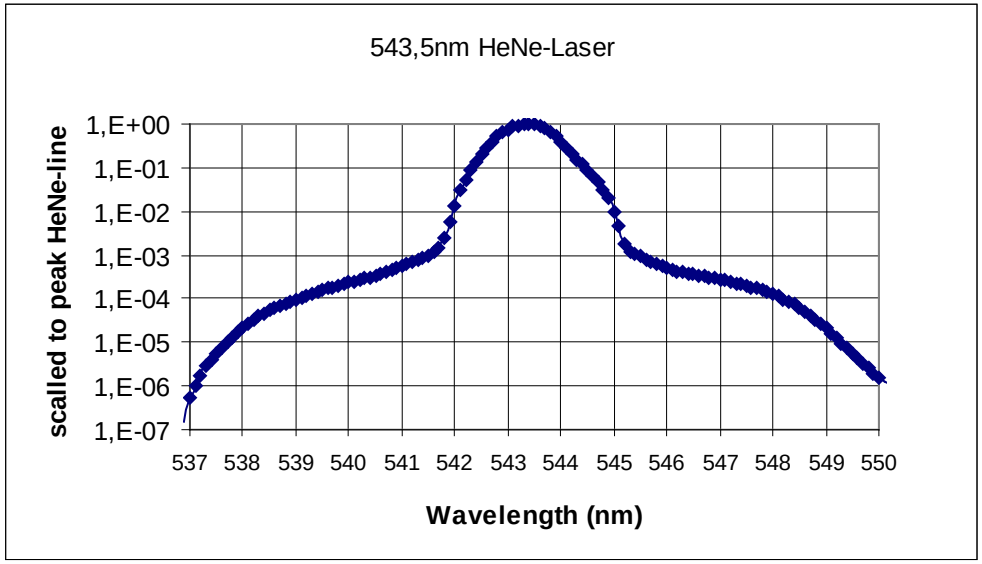
- Messgerätevoraussetzungen
- Wellenlängengenauigkeit und spektrale Bandbreite



Peakwavelength Hg-line	296,73	nm	OK/not OK	limits
Centre wavelength accuracy	296,73	nm	OK	296,63nm - 296,83nm
Bandwidth FWHM	1,0	nm	OK	1,0nm-1,2nm

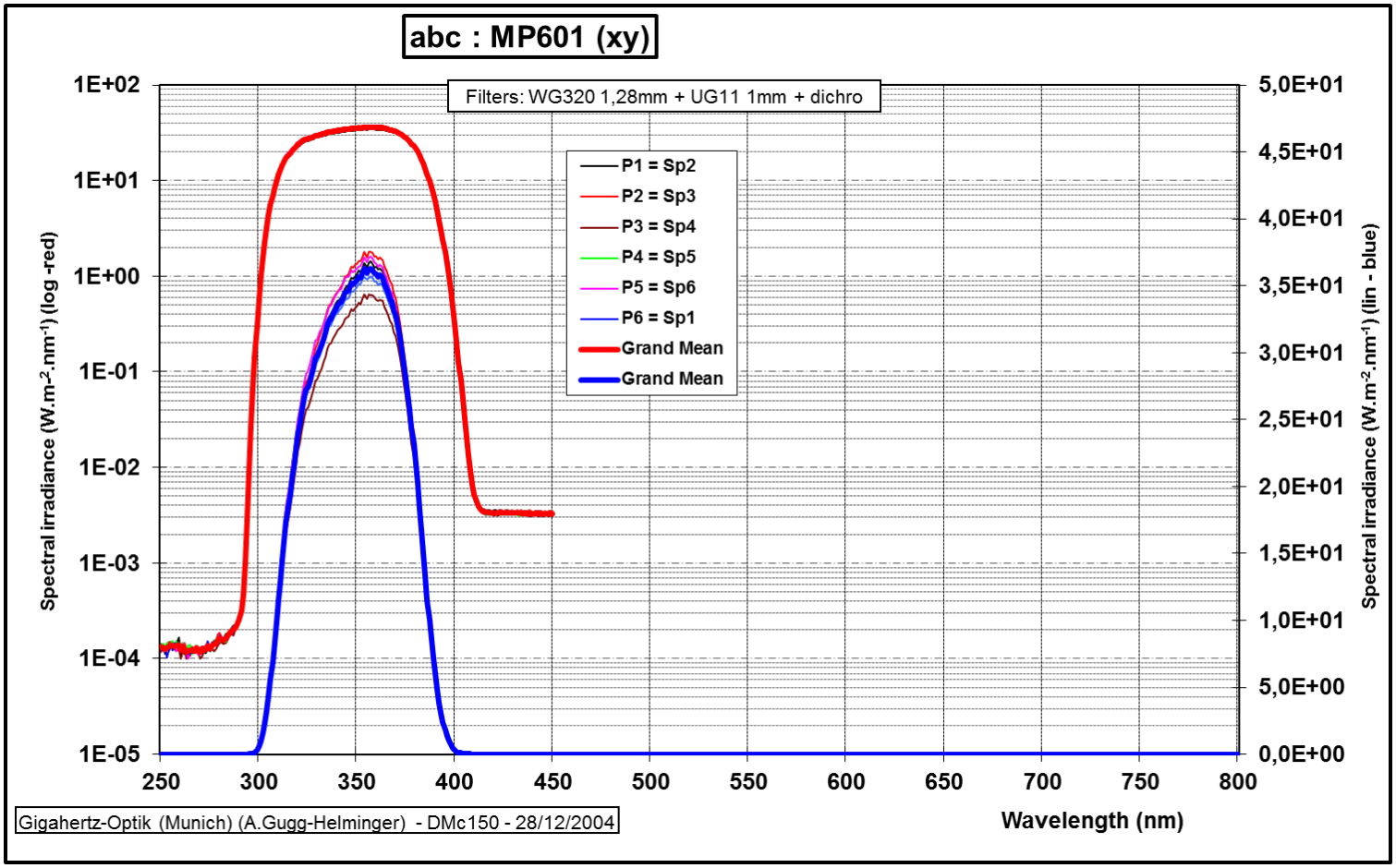
Sonnenschutzfaktorenbestimmung

- Messgerätevoraussetzungen
- Streulichtunterdrückung



Peakwavelength HeNe-Laser	543,5	nm	OK/not OK	limits
10^{-6} criteria short wavelength	537,1	nm	OK	533,5nm
10^{-6} criteria long wavelength	550,2	nm	OK	553,5nm

Sonnenschutzfaktorenbestimmung



Können wir am Spektrum erkennen, dass das ein Sonnensimulator ist?
Es wurde aufgrund von vorhandenen Filtern und Strahler so festgelegt.

Sonnenschutzfaktorenbestimmung

- Gemessene spektrale Bestrahlungsstärke mit Bewertung

WL range	Min	Max		%RCEE	%RCEE	%RCEE	%RCEE	%RCEE	%RCEE	%RCEE
250-290		0,1%		0,04%	0,04%	0,04%	0,04%	0,03%	0,04%	0,04%
290-300	2,0%	8,0%		4,0%	4,1%	4,6%	4,7%	4,4%	4,0%	4,3%
290-310	49,0%	65,0%		55,3%	55,5%	57,0%	57,4%	56,7%	55,3%	56,2%
290-320	**85,0%**	**90,0%**		**86,7%**	**86,7%**	**87,4%**	**87,6%**	**87,5%**	**86,7%**	**87,1%**
290-330	91,5%	95,5%		92,7%	92,7%	93,1%	93,3%	93,2%	92,8%	93,0%
290-340	94,0%	97,0%		95,1%	95,1%	95,4%	95,5%	95,5%	95,1%	95,3%
290-350	95,5%	98,5%		97,0%	97,0%	97,1%	97,2%	97,2%	97,0%	97,1%
290-360				98,3%	98,3%	98,4%	98,5%	98,5%	98,3%	98,4%
290-370				99,3%	99,3%	99,3%	99,3%	99,3%	99,3%	99,3%
290-380				99,8%	99,8%	99,8%	99,8%	99,8%	99,8%	99,8%
290-390				100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
290-400	100,0%	100,0%		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Tot. irrad. (UV+VIS)	400	400	$W.m^{-2}$							
Stray Light (spectroradiometer)		3,0E-06	Ratio	Lower	Lower	Lower	Lower	Lower	Lower	Lower
Sanctions vs Colipa SPF (1994)				**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**
Sanctions vs International SPF (2003)				**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**	**Passes**

- RCEE =Relative Cumulative Erythemal Effectiveness

Thema 5 - Solarien

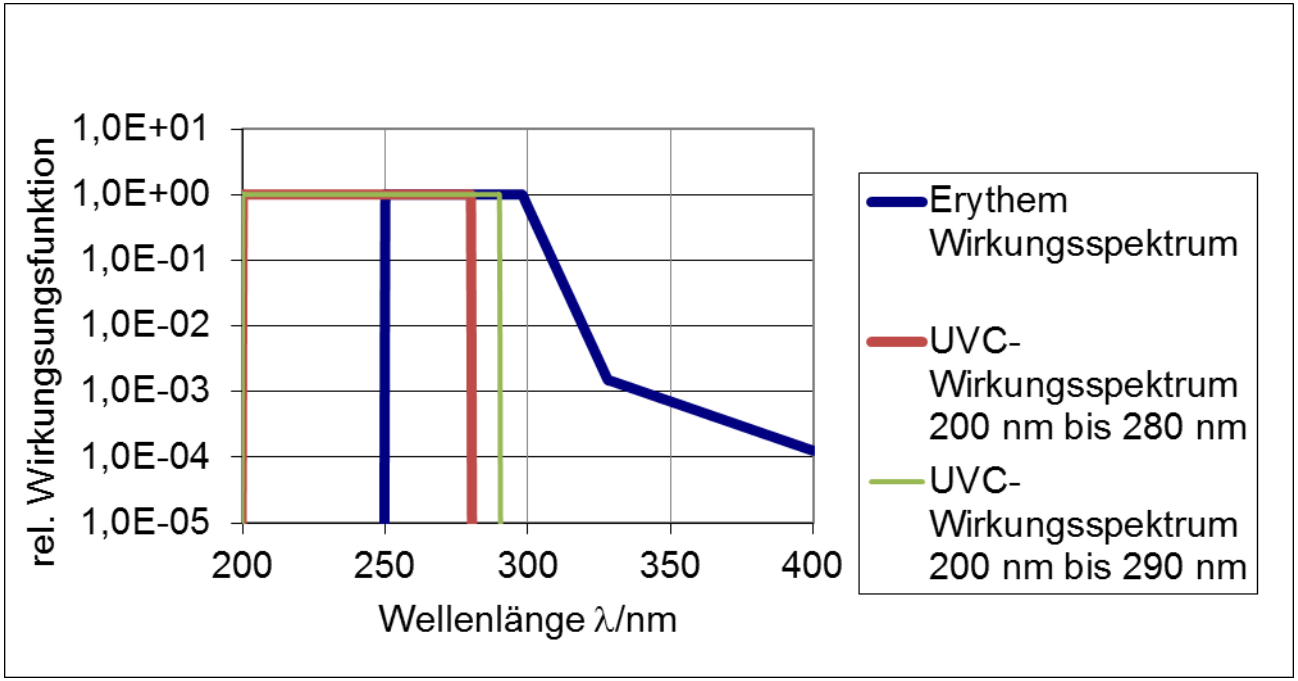
Solarien

- Solarien (Bräunung und dermatologische Effekte)

Bilder privat: Anton Gugg-Helminger

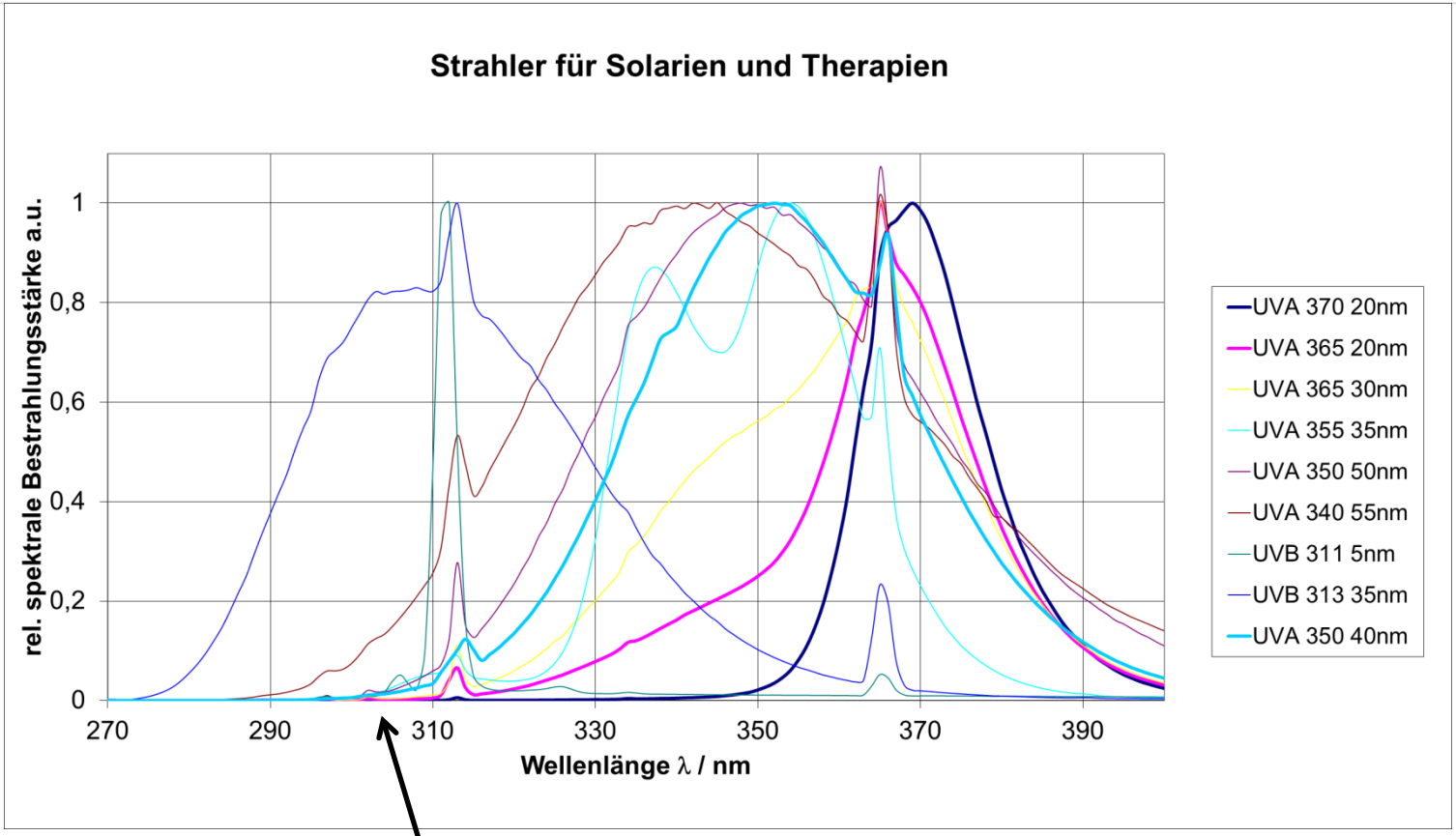
Solarien

- UV-Schutz-Verordnung – UVSV
  DIN EN 60335-2-27 (VDE 0700-27):2009-04
  DIN 5050-1:2010-01



Die kleinste nachweisbare (rauschäquivalente) spektrale Bestrahlungsstärke sollte im gesamten Messbereich nicht größer als 10^{-5} Wm^{-2} und die Dynamik mindestens 10^{5} sein. Die Kalibrierung der spektralen

Solarien

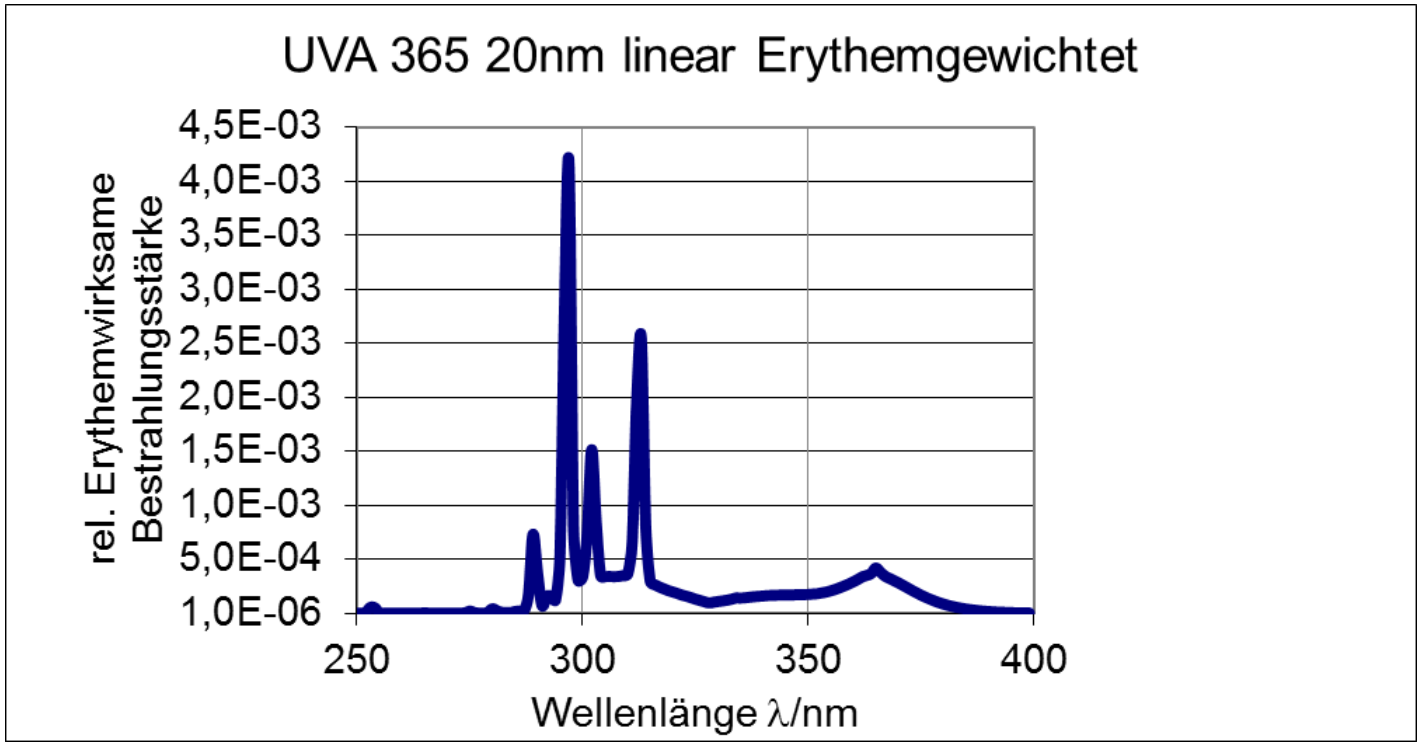


- Pinke Kurve
  UVA-Strahler bei 365 nm mit 20 nm Halbwertsbreite

Spektren: Strahlerkatalog AUVA

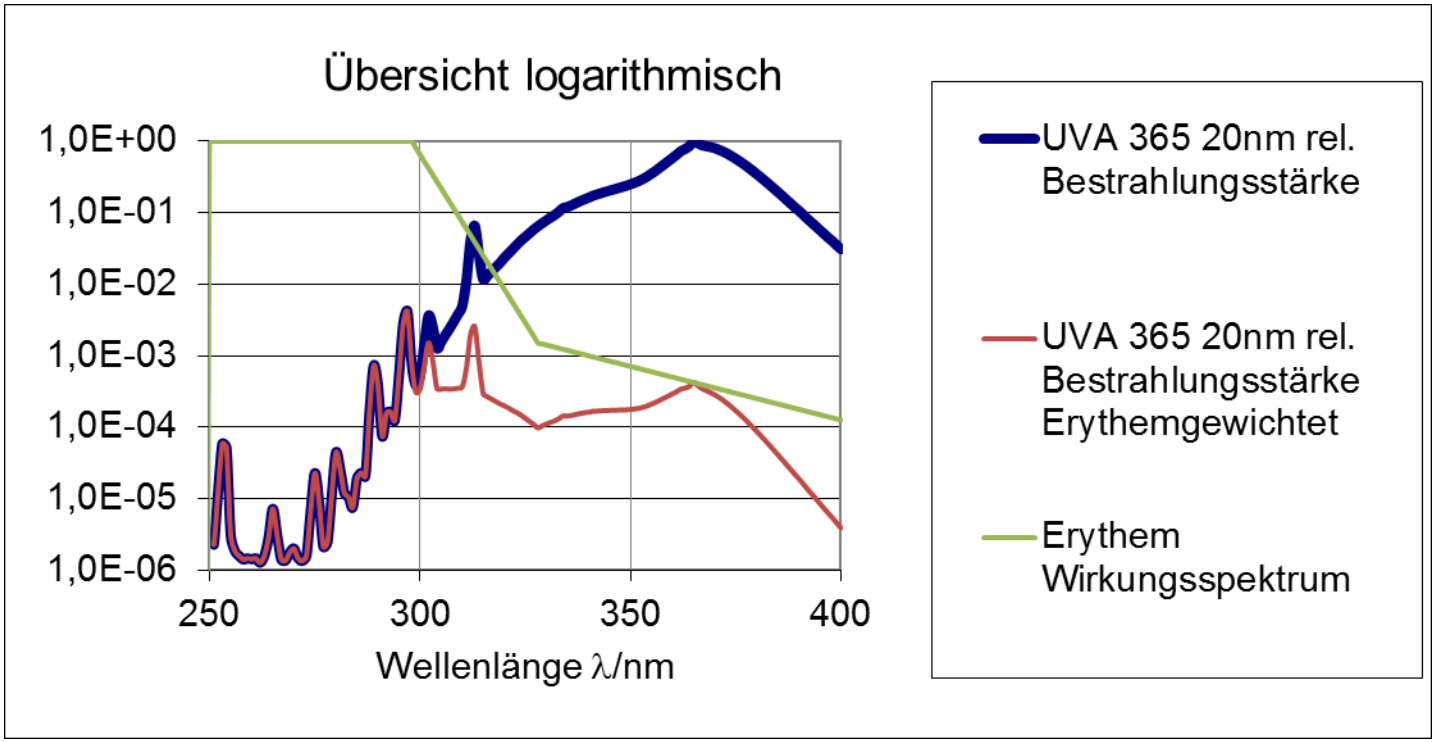
Bitte beachten sie diesen „Hügel“ bei 297 nm der pinken Kurve

Solarien



- Maximale Erythemwirkung bei 297 nm

Solarien



In DIN 5050-1:2010-01 steht z.B. folgendes:

Beim Spektralverfahren wird die spektrale Bestrahlungsstärke $E_\lambda(\lambda)$ als Funktion der Wellenlänge im Bereich von 200 nm bis 400 nm bestimmt. Sofern die Bestrahlungsstärke im Bereich von 200 nm bis 250 nm 0,005 Wm^{-2} nicht übersteigt, ist es ausreichend, die spektrale Messung erst bei 250 nm zu beginnen.

Solarien

DIN EN 60335-2-27 (VDE 0700-27):2009-04

Erythemwirksame Bestrahlungsstärke Eery
von 250nm bis 400nm

Gesamte Bestrahlungsstärke Eges
von 200nm bis 280nm

$$E_{ery} = \sum_{250\,nm}^{400\,nm} S\lambda * E\lambda * \Delta\lambda \qquad E_{ges} = \sum_{200\,nm}^{280\,nm} E\lambda * \Delta\lambda$$

Solarien

DIN 5050-1: 2010-01 Gesamte Bestrahlungsstärke

Eges von 200nm bis 290nm

$$E_{ges} = \sum_{200\,nm}^{290\,nm} * E\lambda * \Delta\lambda$$

	UVA 365 20nm
DIN 5050-1 ohne Grenzwert für W/m² 200 nm bis 290 nm	0,010
DIN 60335-2-27 <0,003 W/m² UVC 200 nm bis 280 nm	0,002
DIN 60335-2-27 <0,15 W/m² Ery 250 nm bis 320 nm	0,150
DIN 60335-2-27 <0,15 W/m² Ery 320 nm bis 400 nm	0,078
DIN 60335-2-27 <0,3 W/m² Ery 250 nm bis 400 nm	0,226

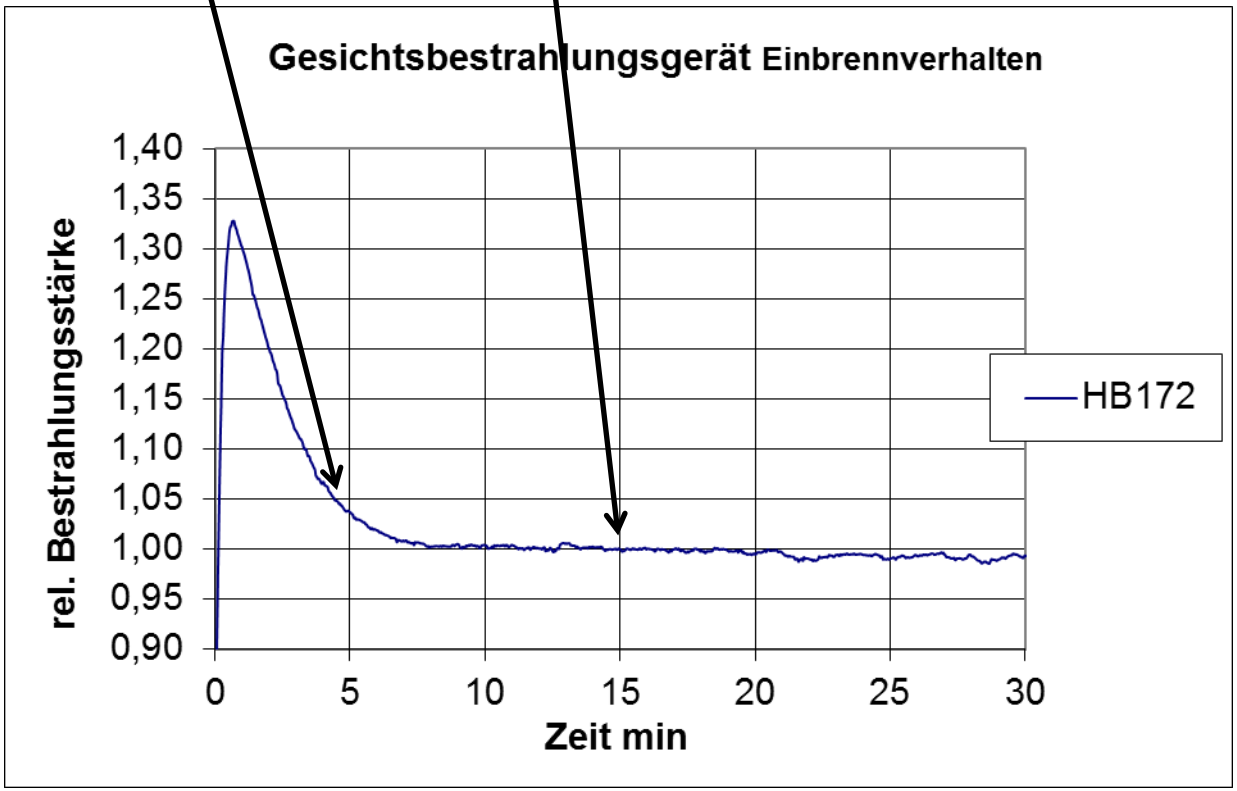
In DIN EN 60335-2-27 steht z.B. folgendes:

Für Wellenlängen zwischen 200 nm und 280 nm müssen die Geräte eine Gesamtbestrahlungsstärke unter 0,003 W/m² aufweisen, gemessen mit einem Spektralradiometer zwischen 250 nm und 280 nm.

Solarien

Die Messdaten sind erst nach wenigstens 15 min
und Schwankungen unter +/- 5% zum Mittelwert zu ermitteln.

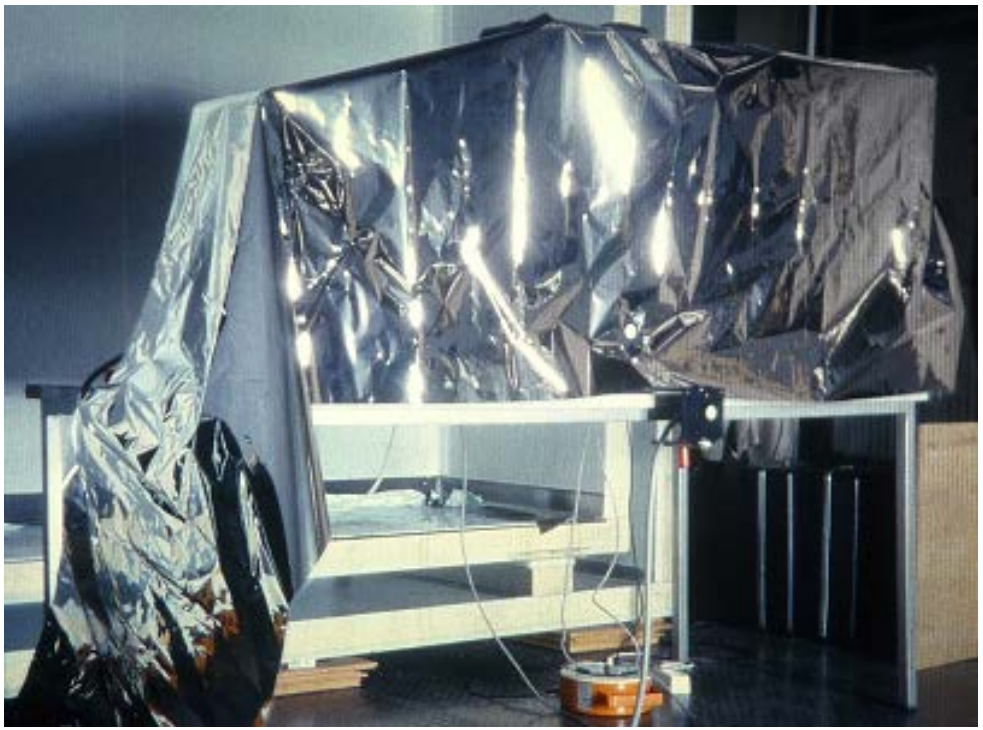
Bei 5 min+15 %
Bei 10 min+8 %
Bei 15 min+5 %



Thema 6 - Materialprüfung

Materialprüfung

- Materialprüfung Fensterrahmen



Bilder privat: Anton Gugg-Helminger

Materialprüfung

- Fahrzeuge und Fahrzeugteile (Simulatoren für komplette LKW, PKW, Armaturen, Scheiben)

  hier z.B. LKW Halle mit mindesten 3 m x 8 m Grundfläche

Bilder privat: Anton Gugg-Helminger

Materialprüfung

Fahrzeugteile Probenraum z.B. für die Leder Farbveränderung durch die UV-Strahlung der Sonne

Kammer gut Reflektierend

Bestrahlung von oben

Filterscheibeneinsatz

Lüftung für die Kühlung

Luftfeuchtigkeitsregelung

Integraler Sensor für die Intensitätsregelung

Bild privat: Anton Gugg-Helminger

Materialprüfung

- Spektraler Eingangsdiffuser mit Lichtleiter zum Doppelmonochromator = Referenzmessgerät

Array Sensor UV

- Array Sensor VIS
- UVA-Sensor

- Integrale Sensoren für die Intensitätsregelung

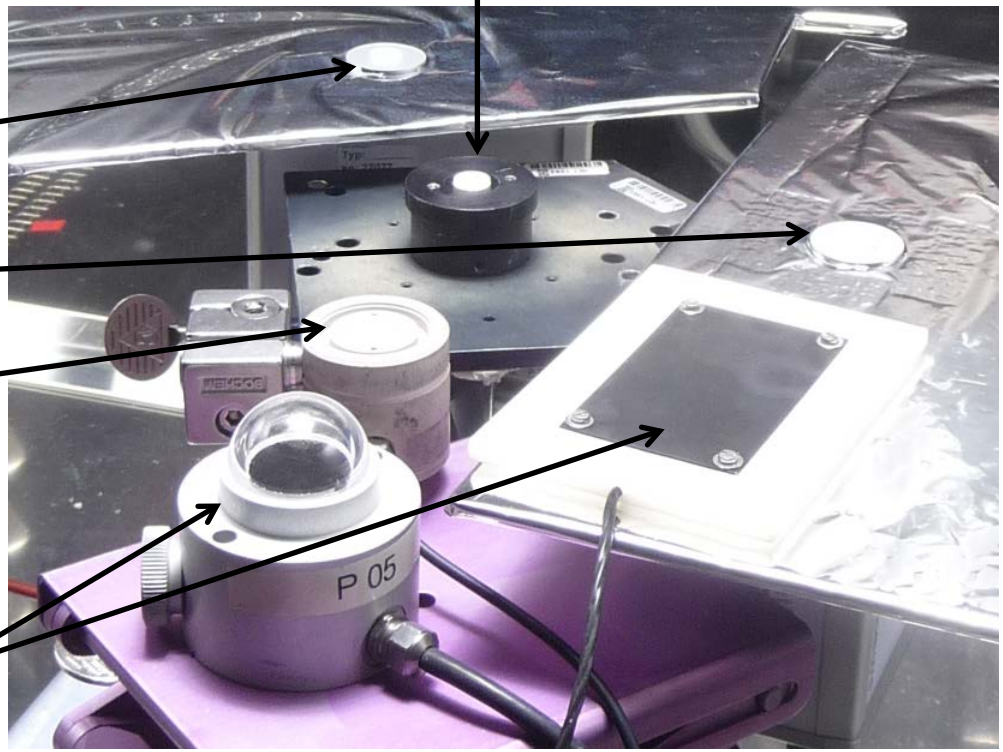


Bild privat: Anton Gugg-Helminger

- Vor Ort ist eine sofortige Plausibilitätsprüfung notwendig!

Materialprüfung

- Übersicht Ansteuerung Arraysysteme (Laptop)
  und Doppelmonochromator mit Elektronik

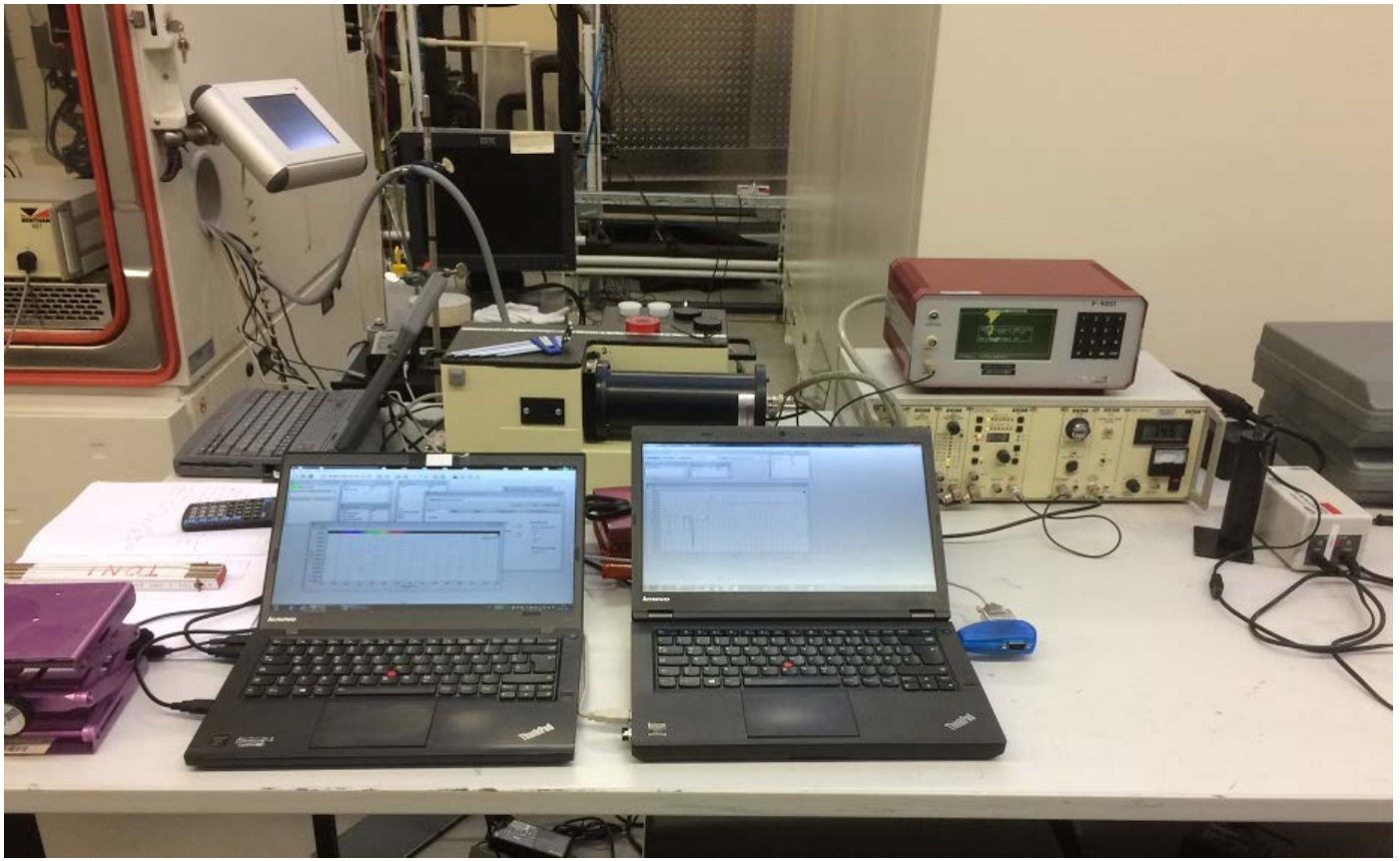


Bild privat: Anton Gugg-Helminger

Materialprüfung

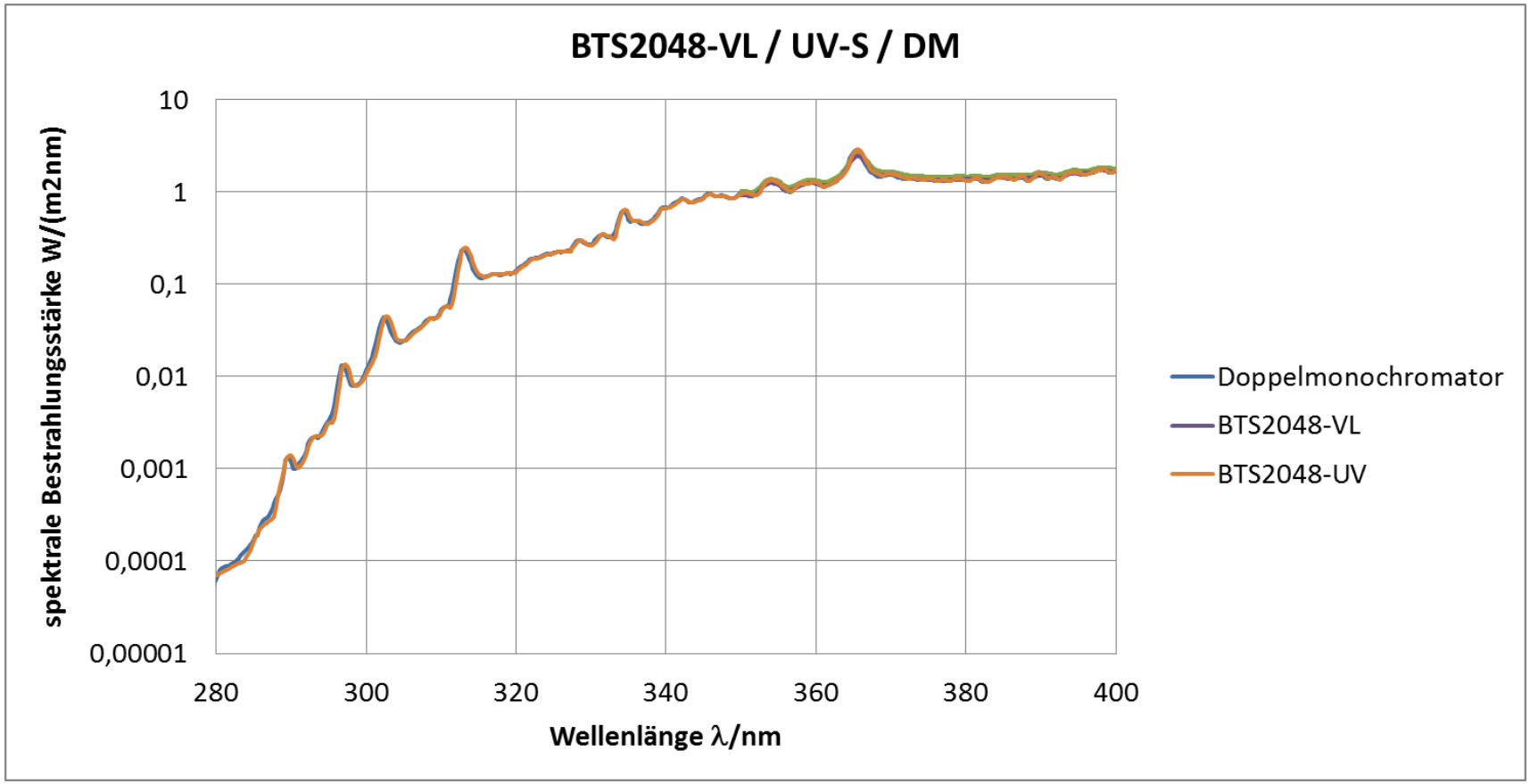
In der DIN 75220:1992 Alterung von KFZ Bauteilen in Sonnensimulationsanlagen sind zusätzlich Bereiche für die UV-Strahlung definiert.
Die Gesamtstrahlung soll 1050 W/m² betragen.

Spektrale Strahlungsverteilung der künstlichen Solarstrahlung nach DIN 75220

Bereich DIN 75220	Gesamt-bestrahlungs-stärke %	Toleranz-bereich %	Sonne gerechnet %
280 nm bis 320 nm	0,5	0,3 - 0,7	0,1
320 nm bis 360 nm	2,4	1,8 - 3,0	1,7
360 nm bis 400 nm	3,2	2,4 - 4,4	2,9
400 nm bis 520 nm	17,9	16,1 - 19,7	17,6
520 nm bis 640 nm	18,6	16,9 - 20,3	18,4
640 nm bis 800 nm	17,3	13,8 - 19,0	19,9
800 nm bis 3000 nm	42,1	33,7 - 50,5	39,3

Materialprüfung

- Fahrzeuge und Fahrzeugteile (Simulatoren für komplette LKW, PKW, Armaturen, Scheiben)



- Die Messungen mit Array-Systemen und Doppelmonochromator sind gleich.

Materialprüfung

Die Auswertung ergab für die spektrale Strahlungsverteilung nach DIN 75220

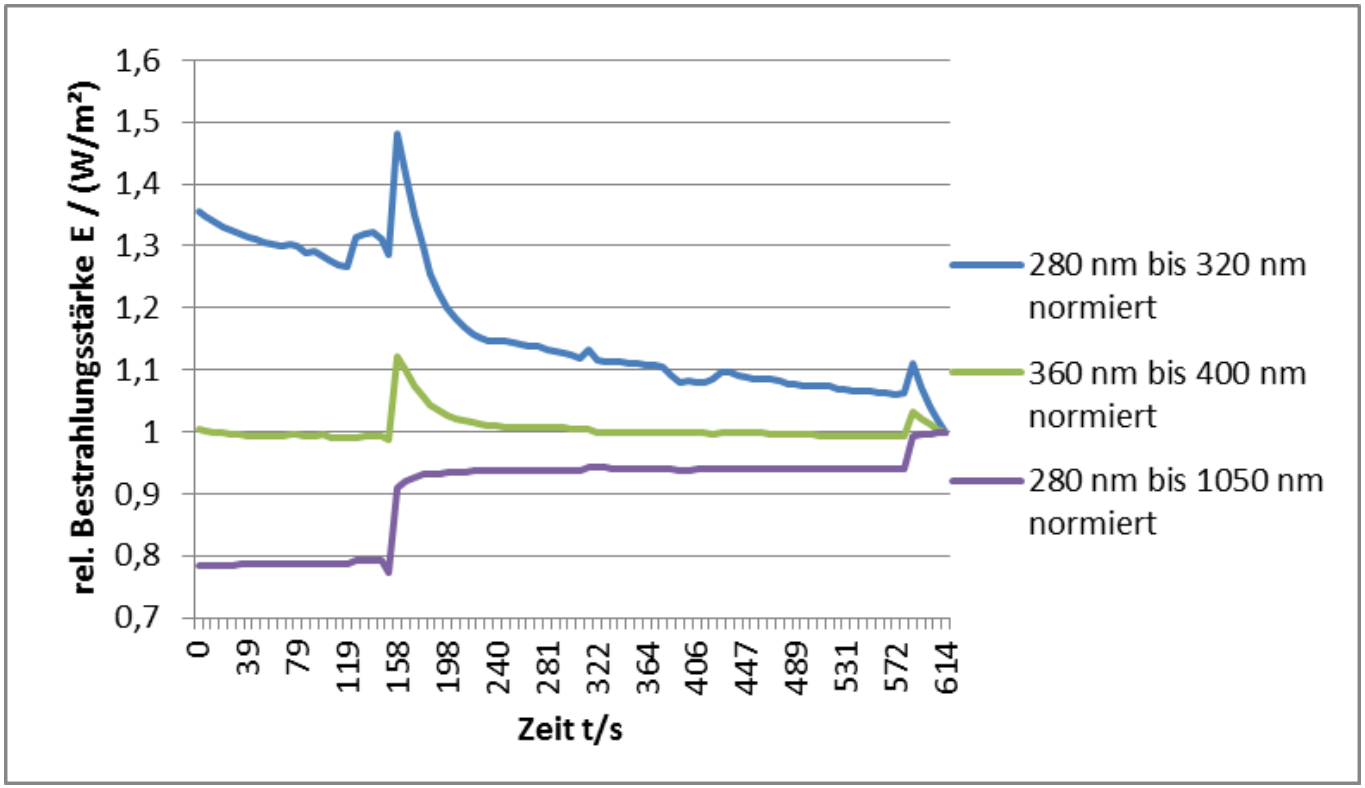
Wellenlängenbereich	Bestrahlungs-stärke Soll W/m²	Bestrahlungs-stärke min W/m²	Bestrahlungs-stärke max W/m²	Bestrahlungs-stärke W/m² gemessen	Prüfung
280nm bis 320nm	5,3	3,2	7,4	1,7	nicht O.K.
320nm bis 360nm	25,5	19,1	31,8	26,7	O.K.
360nm bis 400nm	34,0	21,2	42,4	60,7	nicht O.K.

Da davon auszugehen ist, dass das System bei Lieferung
z.B. im Bereich von 280 nm bis 320 nm OK war,
sieht man hier einen Effekt.
Die tiefe UV Strahlung nimmt stärker ab.

Der Effekt wurde mittels Arrayspektrometer analysiert

Materialprüfung

- Integraler Sensor spiegelt nicht das spektrale Verhalten der Einheit wieder.



- Solche Effekte können nur mit schneller Messtechnik erfasst werden

Thema 7 - Satellitentest

Extraterrestrischer Sonnensimulator

- Extraterrestrischer Sonnensimulator für Satellitentests mit 6 m Durchmesser
- 7 Xenonstrahler mit jeweils 25 kW

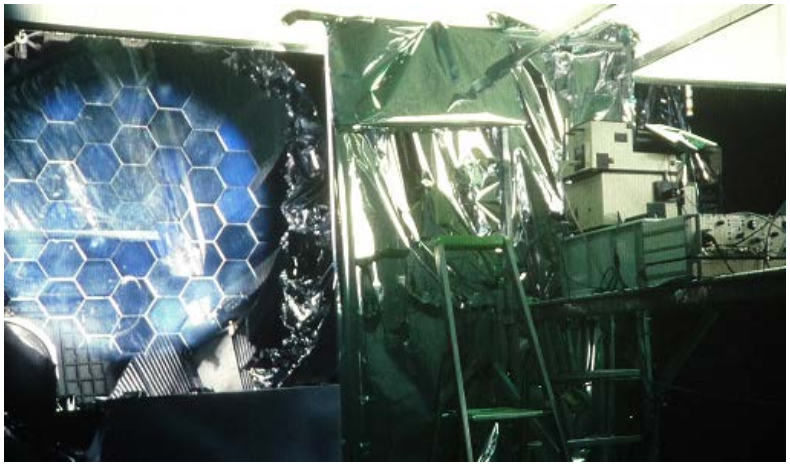
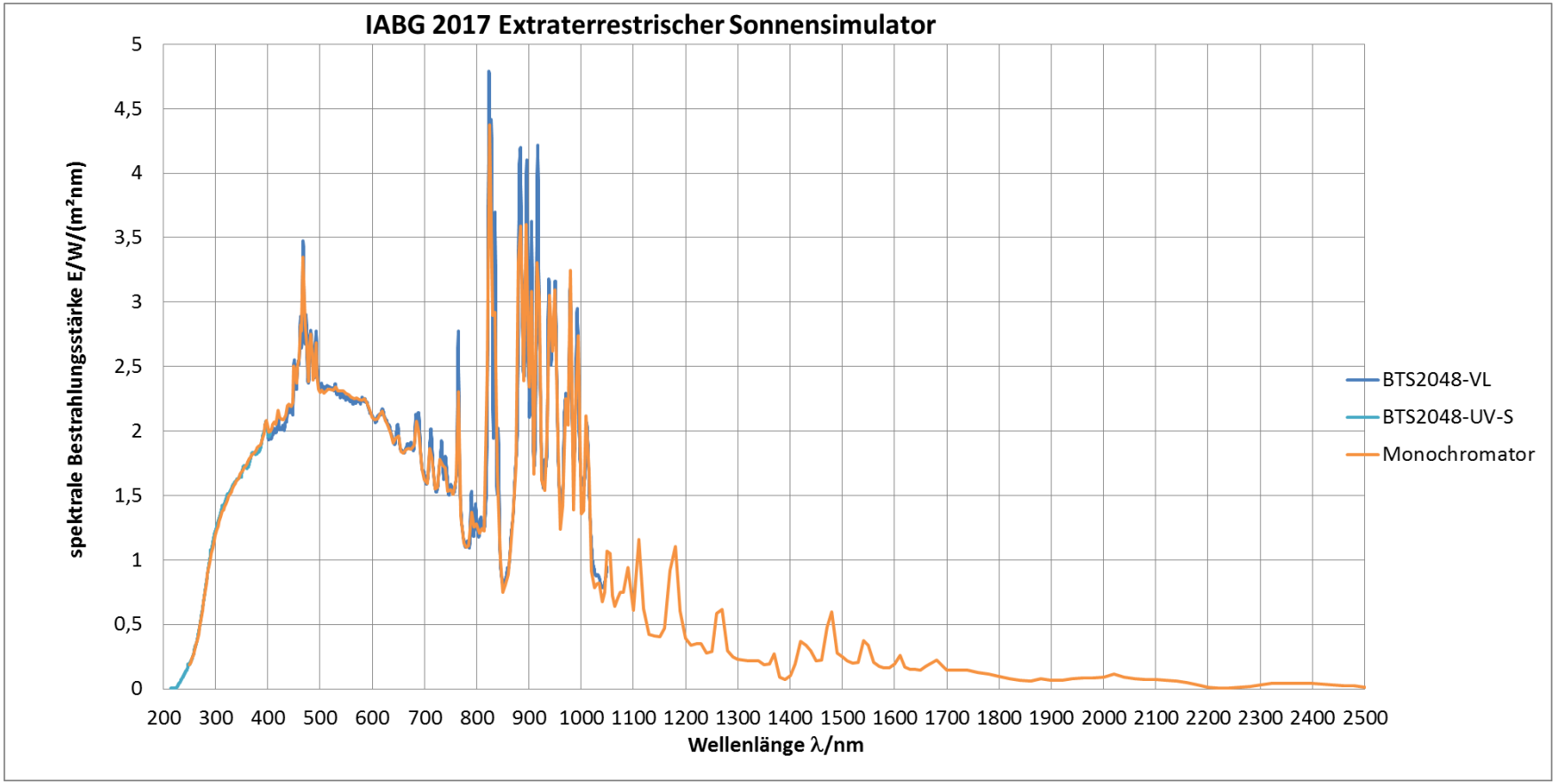


Bild: IABG, Ottobrumm

Bilder privat: Anton Gugg-Helminger

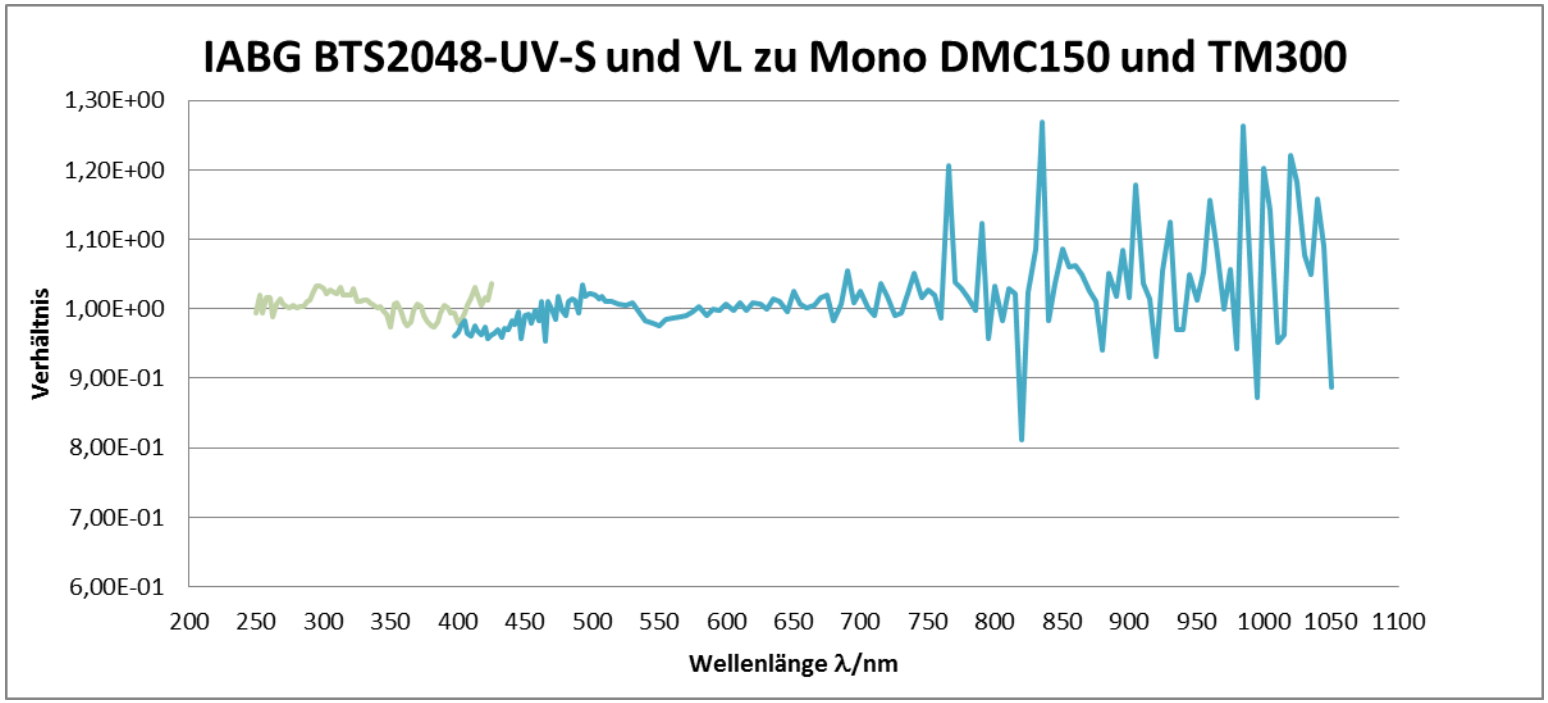
Extraterrestrischer Sonnensimulator

- Die Messaufgabe besteht im Nachweis der Einhaltung der Solarkonstante mit 1378 W/m², um den internen Sensor rückführbar zu rekalibrieren.



Extraterrestrischer Sonnensimulator

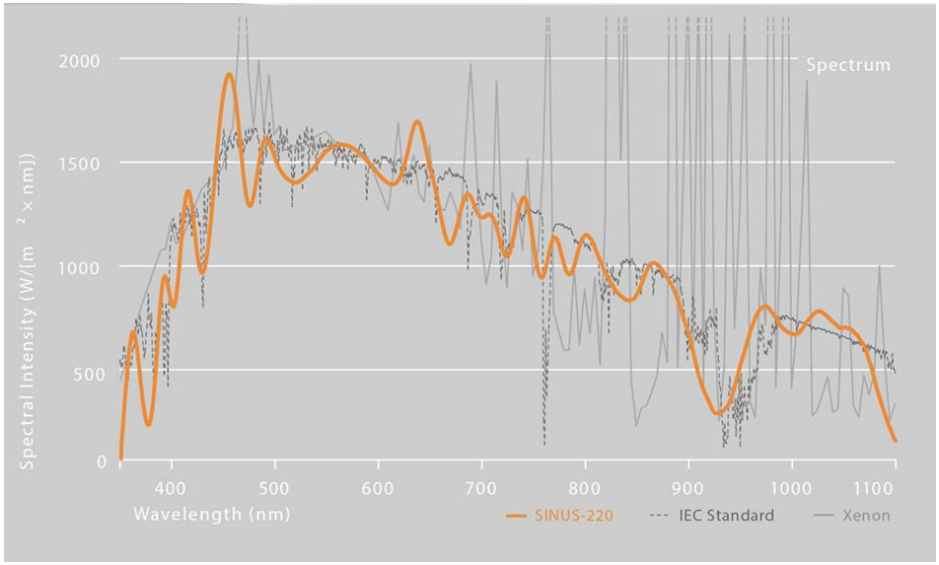
- Im Verhältnis der Spektren zueinander erkennt man, dass die Messungen sehr gut zusammen passen, jedoch zusätzliche Information durch die kleinere Bandbreite bei den Linien erreicht wird.



Thema 8 - neue Geräte

neue Geräte

- Mittels LED realisierte Sonnensimulatoren jedoch erst ab ca. 350 nm



Quelle: www.Wavelabs.de

- Wenn diese Technik in Zukunft verwendet wird, ist ein hochwertiges Spektralradiometer mit sehr guter Streulichtreduzierung nötig um UV LEDs zu vermessen wenn derart viel Signal im VIS und NIR vorhanden ist.
- Diese Messdaten können für die schnelle präzise Regelung genutzt werden.
- Ebenfalls ist damit eine absolute Rückführbarkeit gewährleistet.

Neue Geräte

- Sonnenmessung zur Validierung der Messdaten

Bild privat: Sebastian Lorenz

- BTS2048-UV-S als Laborgerät und 3 x BTS2048-UV-S-WP Wetterfest

Neue Geräte

Messdatenvergleich

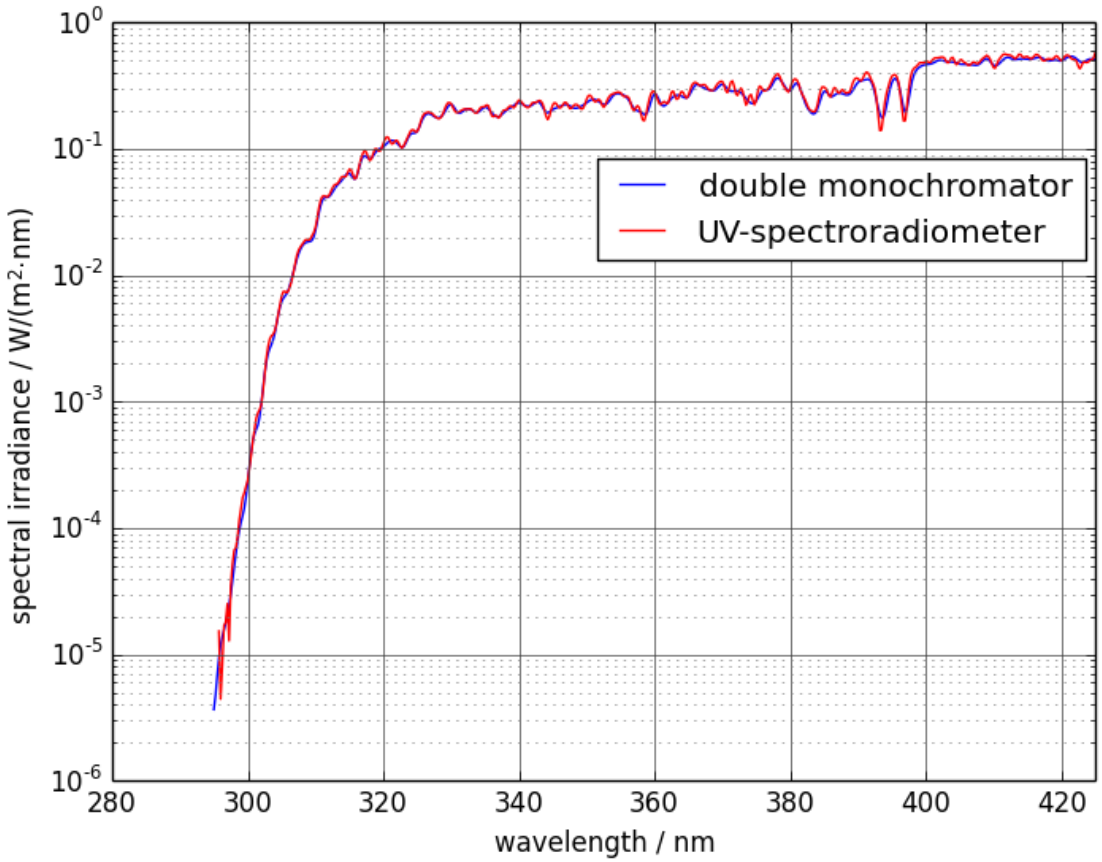
BTS2048-UV-S im Vergleich zum Doppelmonochromator mit Photomultiplier

Messzeit

DM: 3min

BTS2048-UV-S: 4sec

Über Faktor 10 schneller



Neue Geräte

- BTS2048-Seire

- Kompaktes UV Spektralradiometer mit BTS Technologie
- mit Eigenschaften fast wie ein Doppelmonochromator

- Klein
- Leicht
- Schnell
- Genau

- Rückführbar kalibriert

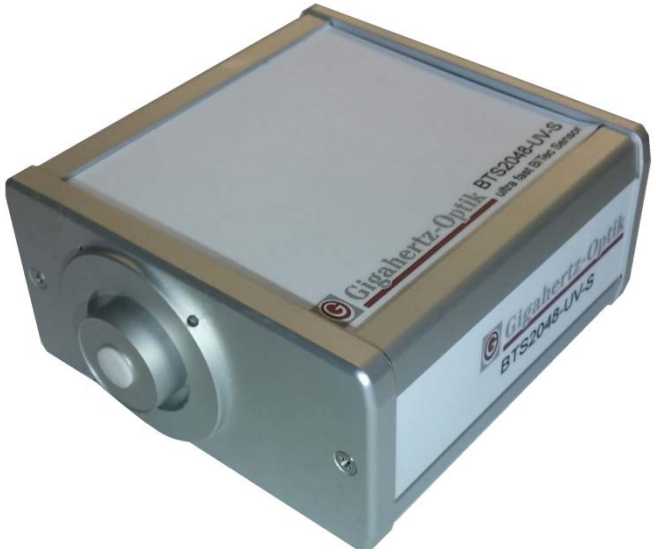


Bild: Gigahertz-Optik GmbH

Thema 9 - Zusammenfassung

Zusammenfassung

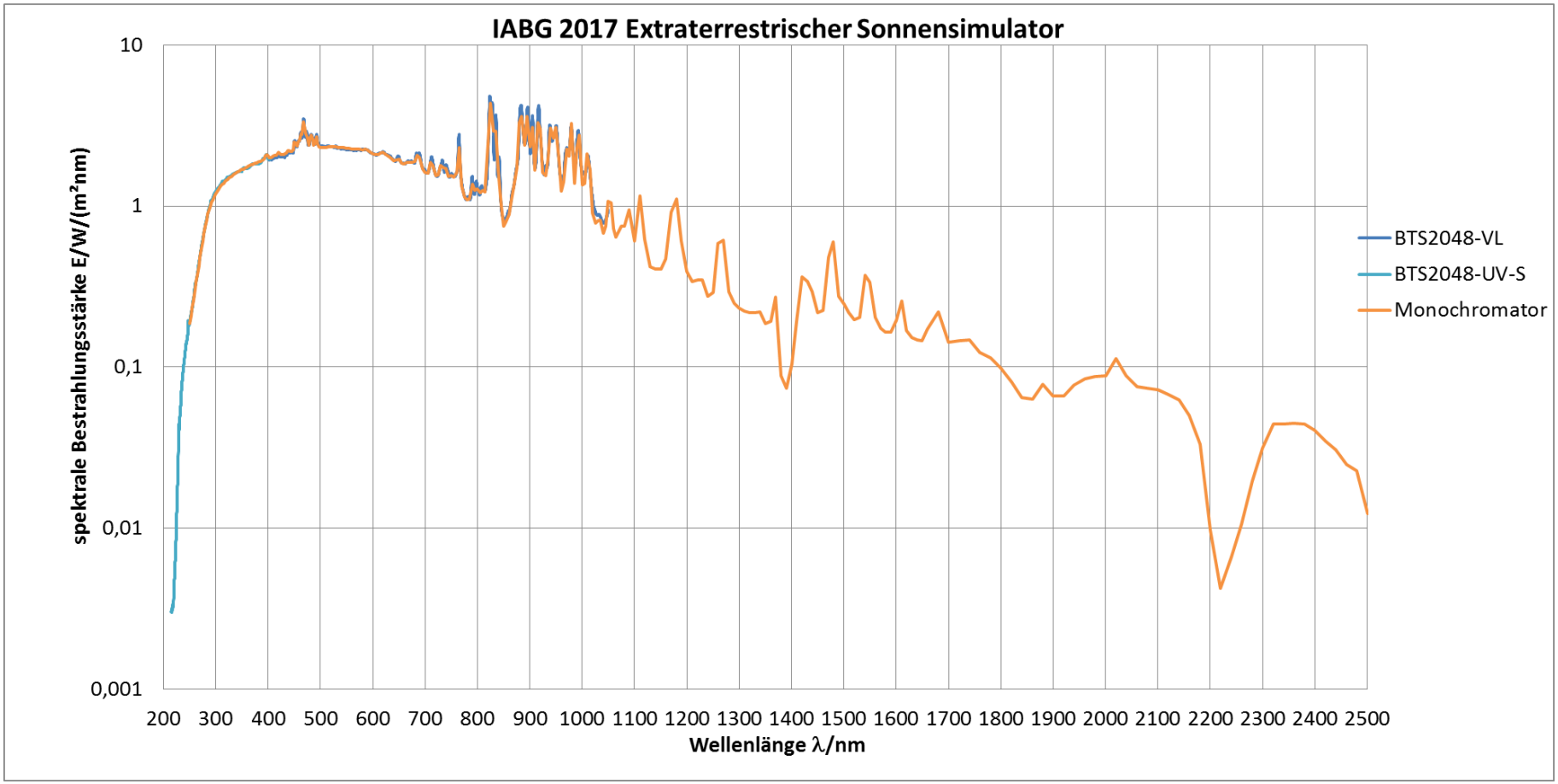
- Es wurden einige Aspekte zur genauen Messung von den unterschiedlichsten Sonnensimulatoren aufgezeigt. Ebenfalls deren Bewertung nach den Normen.
- Eine Vorort Kalibrierung ist die Voraussetzung für die genaue Messung nach dem Transport des Doppelmonochromatorsystems mit Gitter und PMT.
- Ebenfalls ist die sofortige Validierung der spektralen Daten unter Zuhilfenahme von zusätzlich gemessen Daten mittels Integral gewichteten Detektoren und z.B. auch spektral messenden Arraysystemen zwingend erforderlich.
- Viele Jahre war die genaue Messung im UV-Bereich aufgrund der Streulichtproblematik den spektral messenden Systemen mit Doppelmonochromator vorbehalten.
- Durch die Validierung der Daten, die mittels den Array basierenden Systemen der BTS2048-Seire gemessen wurden, konnte nachgewiesen werden, dass eine Streulichtunterdrückung von 5 Größenordnungen und eine Nachweisgrenze von 10µW/m^{2}nm nun mit den neu entwickelten Geräten möglich ist.
- Dieses konnte anschaulich mit der Vergleichsmessung der Sonne aufgezeigt werden.

Bild privat: Anton Gugg-Helminger

Vielen Dank

Satellitentest

- Extraterrestrischer Sonnensimulator in logarithmische Darstellung mit Werten unter 250 nm, gemessen mit dem BTS2048-UV-S.



Neue Geräte

- BTS2048-UV-S
- Kompaktes UV Spektralradiometer mit BTS Technologie
- 8 Positionen Filterrad (offen, zu, Streulichtfilter 1-6)
- (190-430) nm Empfindlichkeit
- (200-430) nm Kalibrierung der spektralen Bestrahlungsstärke
- 0,8 nm optische Bandbreite
- Gekühltes Backthinned CCD-Array
- Integrationszeiten 2 µs bis 60 s
- typ. Streulicht < $1 \cdot 10^{-5*1}$ < $5 \cdot 10^{-5*2}$
- typ. Nachweisgrenze ≈ 10^{-5} W/m² nm *3
- Radiometrische Diode
- Versorgung über Netzteil 5 W
- Kommunikation mit USB oder LAN
- Gewicht 500 g
- Abmessungen (Länge x Breite x Höhe): 103 mm x 107 mm x 52 mm

Bild: Gigahertz-Optik GmbH

[1] typ. Wert bei hochaufgelöster Messung eines Bühnenstrahlers
[2] typ. Wert bei gut ausgesteuerter Sonnenmessung im „Solar Bandpass Correction" Messmodus
[3] Abhängig vom Messmodus und der Strahlungsquelle