

Die Grundlagen der Laborbewitterung

Dr. Andreas Giehl – European Technical and Standards Director

Joachim Neu – Senior Sales Manager

Christiaan Kors – Sales Manager

Q-Lab Corporation

[Aufnahme Abrufen](#)

Ein paar Anmerkungen vorweg ...

Sie erhalten in Kürze eine Email von

info@email.q-lab.com

mit den weiterführenden Links zu einer Umfrage, Anmeldung zu den weiteren Webinaren, und zum Download Bereich

- Diese Webinar Serie ist abrufbar unter:
q-lab.com/webinarseries
- Unsere archivierten Webinare finden Sie:
q-lab.com/webinars
- Bitte benutzen Sie die **F&A Funktion in Zoom** für Ihre heutigen Fragen!

Q-Lab Corporation

- Gegründet 1956
- Spezialisiert auf Geräte und Dienstleistungen für Gebrauchsdauerprüfungen



Westlake, Ohio
Firmensitz & Produktion



Bolton, England
Q-Lab Europe



Shanghai, China
Q-Lab China



Saarbrücken Germany,
Q-Lab Germany

Q-Lab Standorte für Freibewitterung



Worüber reden wir heute:

- Grundlagen der Bewitterung
- Wozu hilft die Laborbewitterung?
- Beschleunigte Labor Bewitterungsprüfungen
 - Xenon
 - UV-Röhren
- Elemente eines effizienten Test Programmes

Verwitterung:

Änderung von Materialeigenschaften durch Einwirkung der Strahlungsenergie des **Sonnenlichts** in Kombination mit **Wärme** (einschließlich Temperaturwechsel) und **Wasser** in verschiedenen Aggregatzuständen, insbesondere in Form von Feuchtigkeit, Tau und Niederschlag.

Kräfte bei der Bewitterung

Kenne deinen Feind!

- Sonnenlicht
- Wärme
- Wasser



**Verwitterung kann noch durch weitere Faktoren beeinflusst werden, in diesem Seminar werden jedoch nur die genannten behandelt*

Sonnenlicht

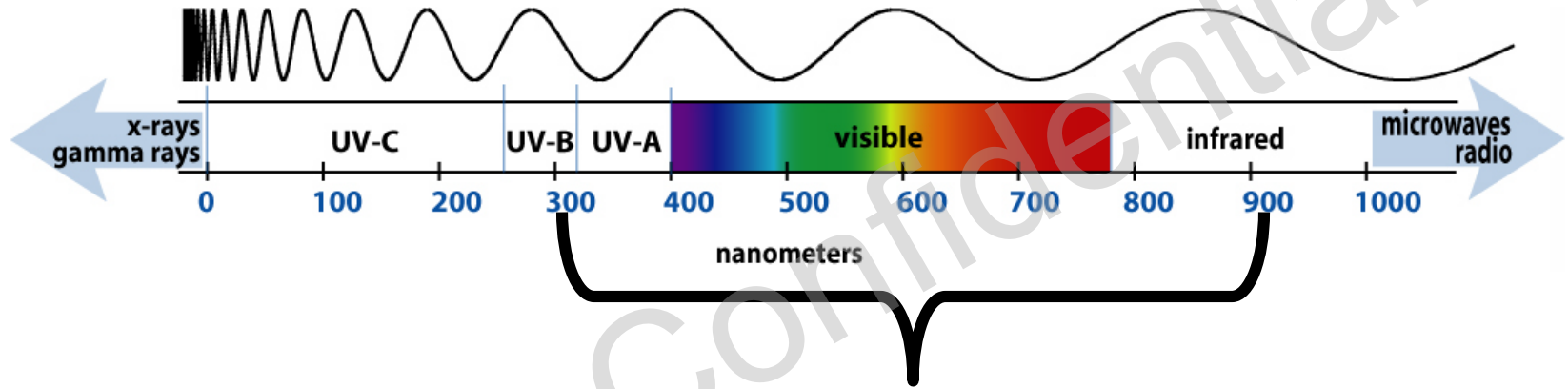


Q-Lab Confidential

Sonnenlicht

- Energieform
- Elektromagnetische Strahlung
- Wird in der Regel beschrieben durch **Bestrahlungsstärke** und **Wellenlänge (λ)**

Elektromagnetisches Spektrum



Sonnenlicht

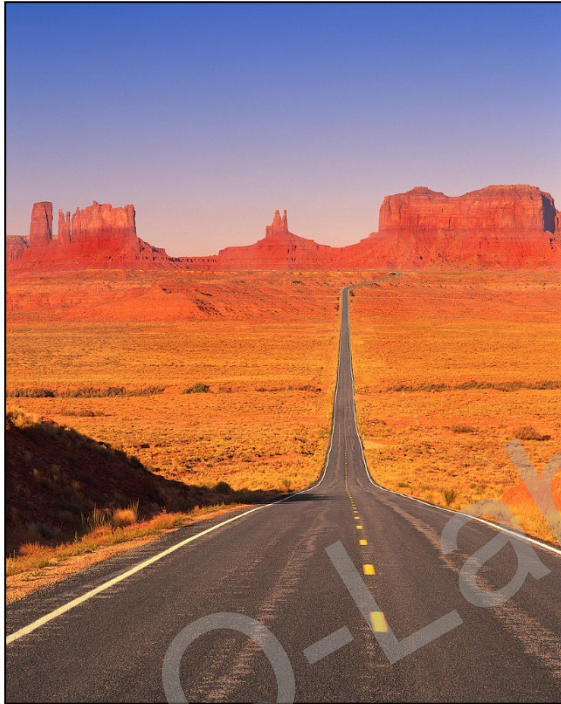
UV	295-400 nm	ca. 7 %
Sichtbar	400-800 nm	ca. 55 %
Infrarot	800-3.000 nm	ca. 38 %

Obwohl auf die UV-Strahlung nur 7 % der gesamten Strahlungsenergie des Sonnenlichts entfallen ...



... ist sie die Ursache für praktisch alle Polymerabbau-Reaktionen!

Bestrahlungsstärke



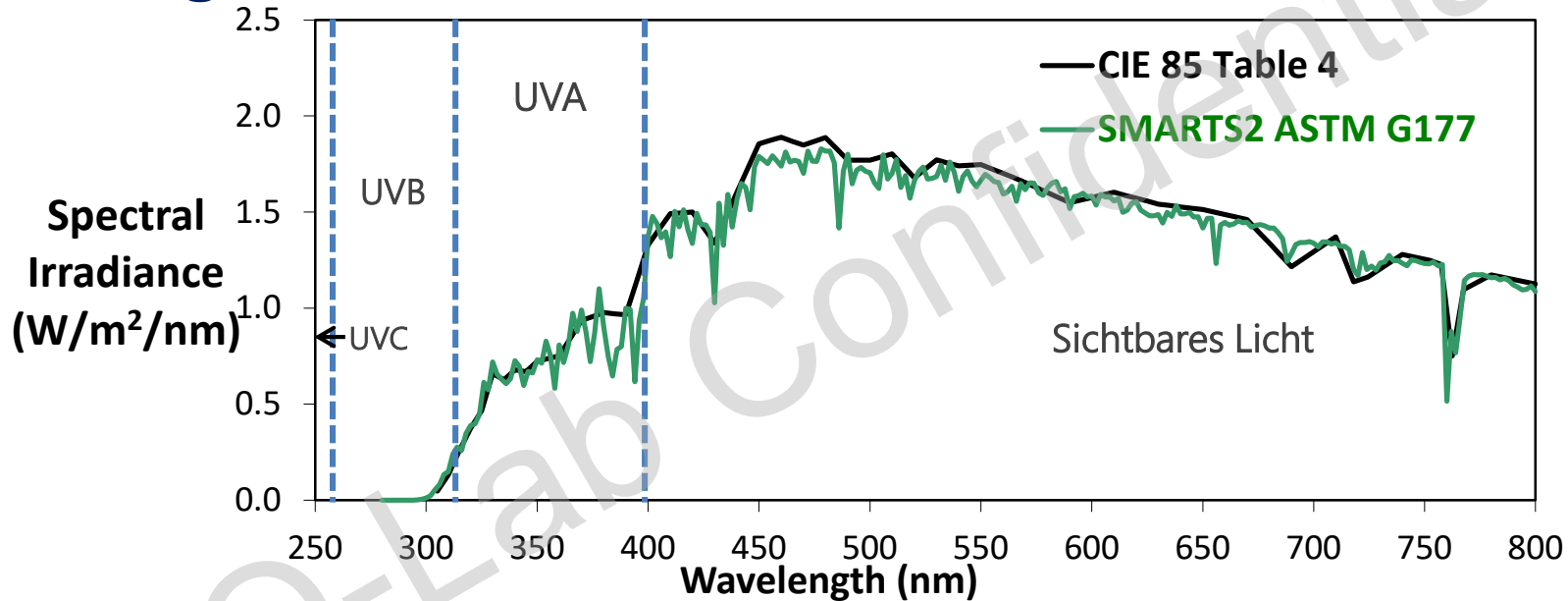
- **Bestrahlungsstärke¹** – Intensität, mit der Lichtenergie auf eine Oberfläche einwirkt, angegeben pro Flächeneinheit [W/m^2] oder [$\text{J}/\text{s}\cdot\text{m}^2$]
- **Fluenz¹** (oder Strahlungsdosis) – Bestrahlungsstärke pro Zeit [J/m^2] oder [$\text{W}\cdot\text{s}/\text{m}^2$]
- **Spektrale Bestrahlungsstärke²** – Bestrahlungsstärke einer Fläche pro Wellenlänge [$\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$]

¹ ASTM G113 – Terminologie

² ISO 9288 – Physikalische Größen und Definitionen

Spektrale Strahlungsverteilung (SSV)

Mittagssonnenlicht im Sommer



SSV: Die absolute oder relative von einer Quelle abgegebene oder auf einen Empfänger fallende Strahlungsleistung als Funktion der Wellenlänge. (ASTM G113)

Einflussfaktoren auf das Spektrum

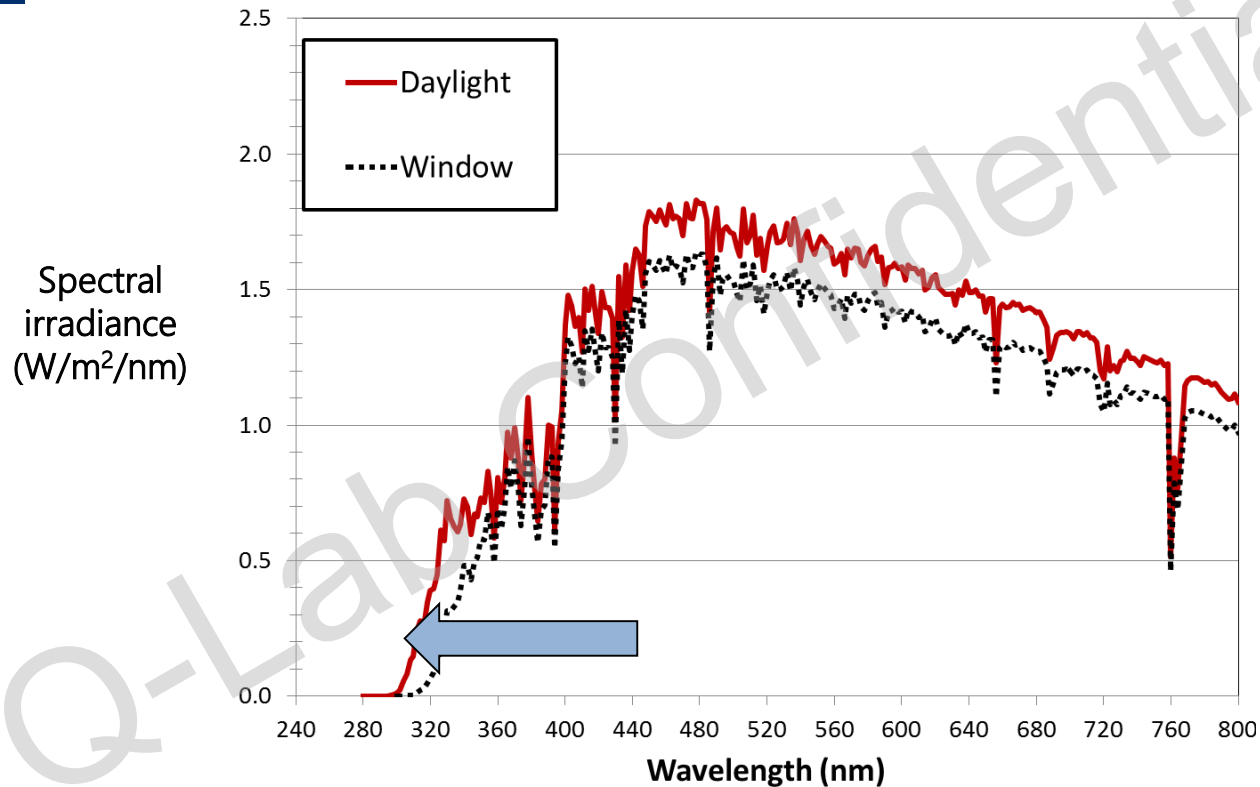
Sonnenwinkel

- Jahreszeit (z. B. Sommer)
- Tageszeit (z. B. Mittag)
- Breitengrad

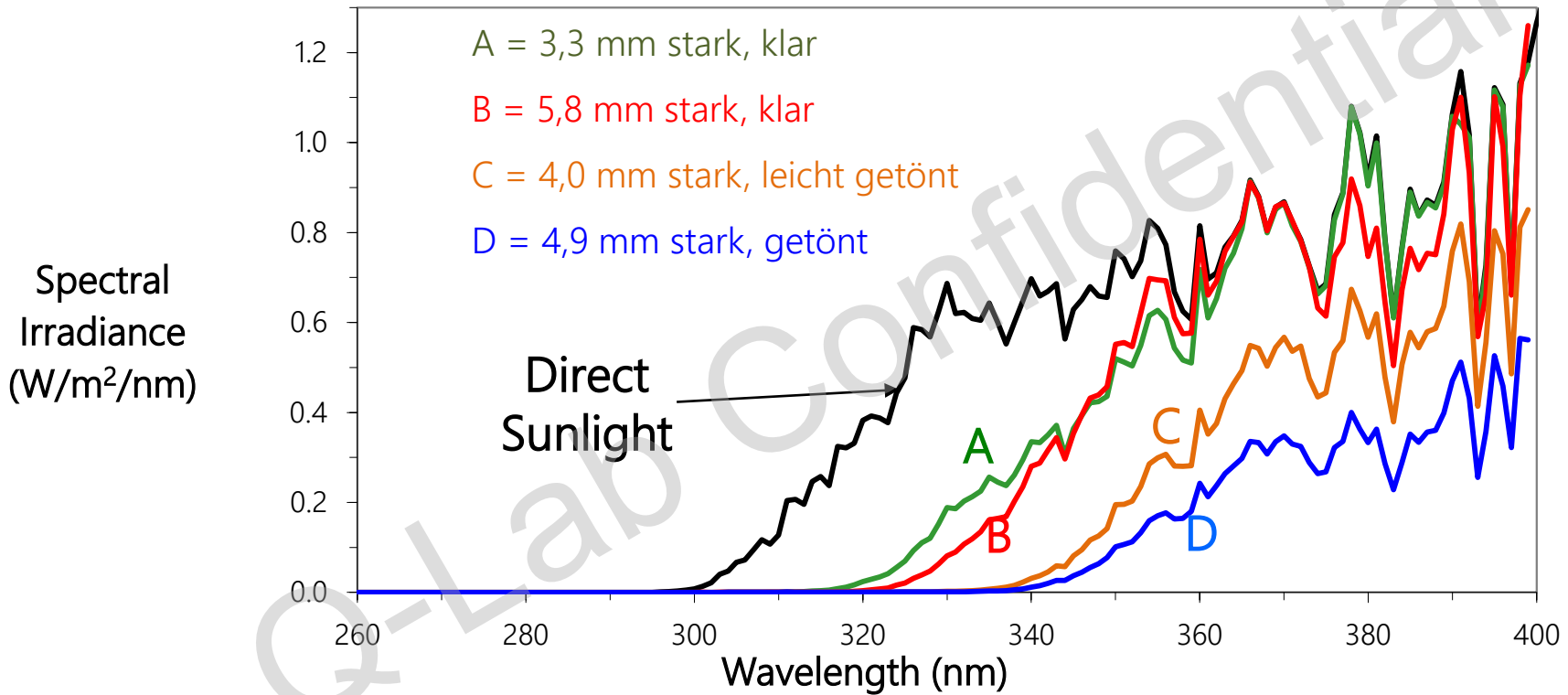


Höhe

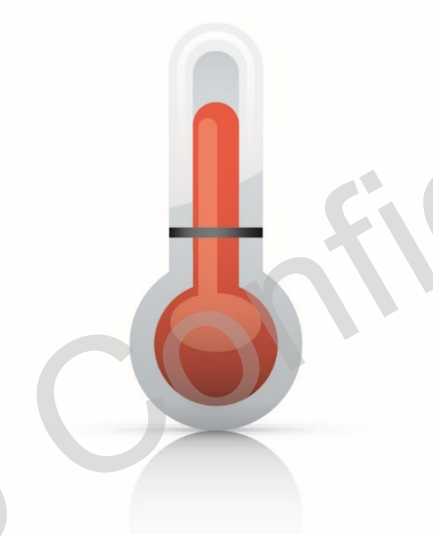
Sonnenlicht hinter Fensterglas



Sonneneinstrahlung durch Autoglas



Wärme

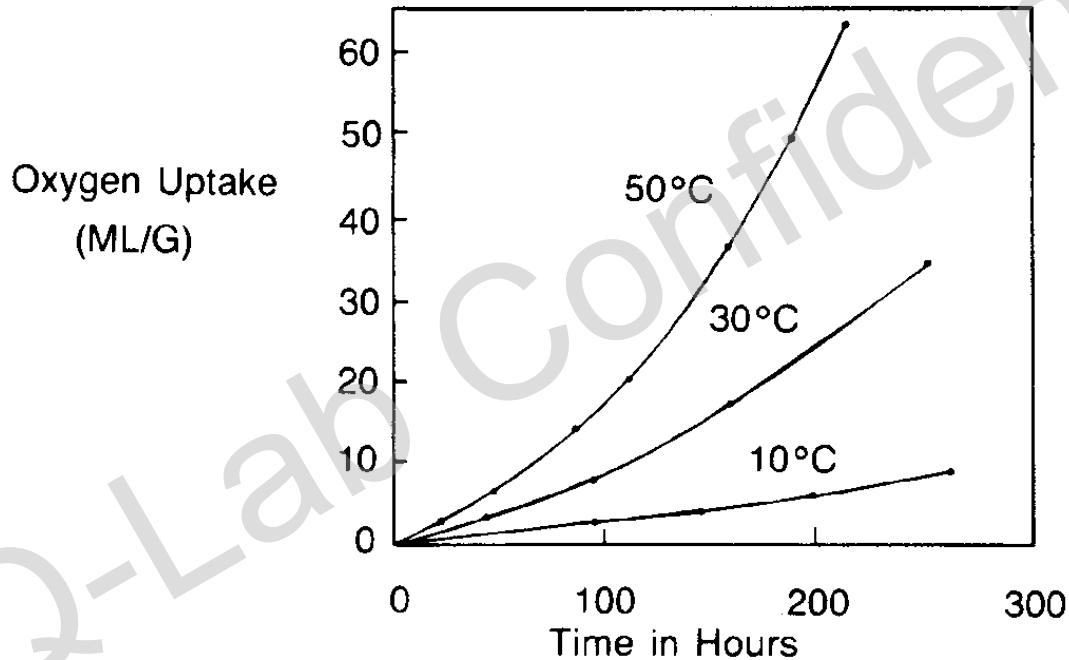


Auswirkungen von Wärme

- Erhöhung der Prüflingstemperatur
- Änderung der Größe, Ausdehnung
- Verdampfung
- Wärmealterung
- Temperaturwechsel

Auswirkungen der Temperatur:

Oxidationsgeschwindigkeit von Polyethylen



*Zeit in Stunden bei Bestrahlung mit UV-Lampen

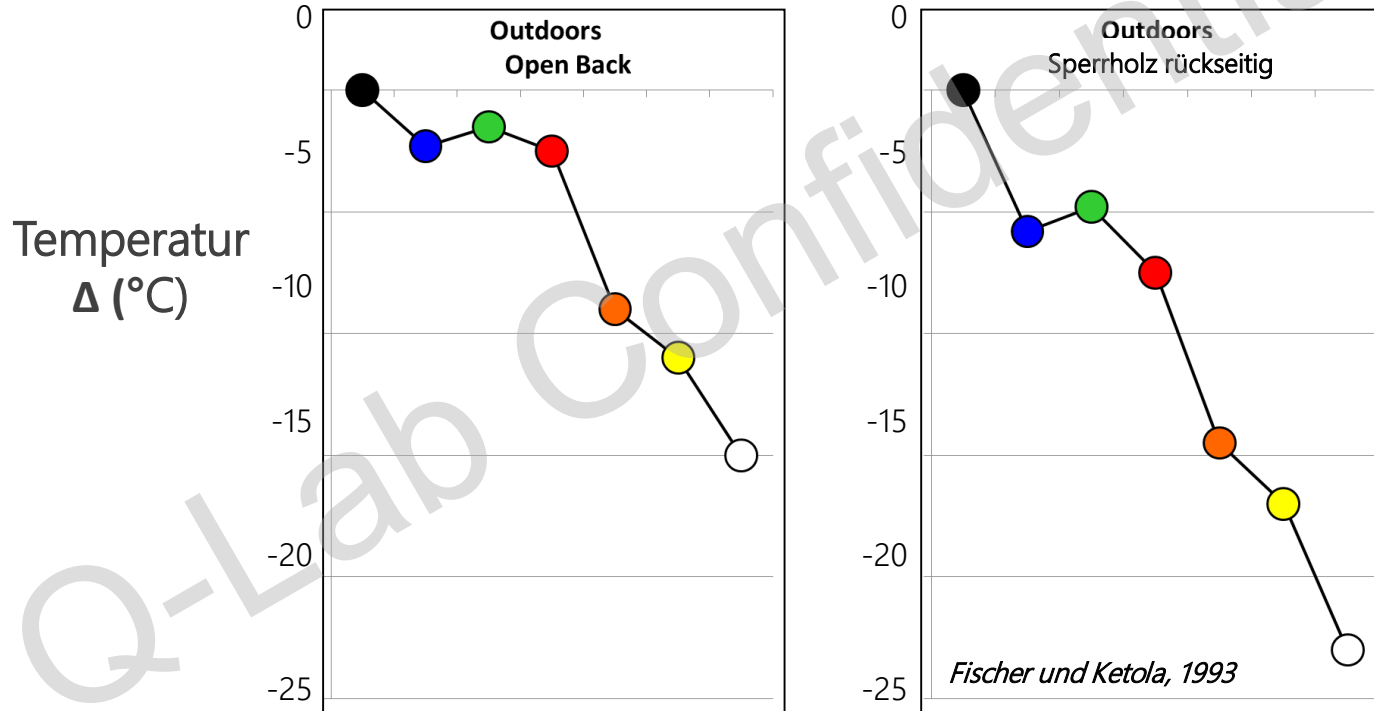
Temperaturwechsel in Florida

- Von 75 °C auf 25 °C in 2 Minuten
- Führt zu physischer Beanspruchung
- Wirkt sich auf Beschichtungen auf Kunststoffen und Baugruppen aus



Temperatur und Farbe

Dunklere Farben führen zu stärkerer Erwärmung!



Wärme hinter Fensterglas



Die Temperatur von hinter Fensterglas befindlichen Teilen im Inneren eines Fahrzeugs kann 100 °C übersteigen

Wasser



Q-Lab Confidential

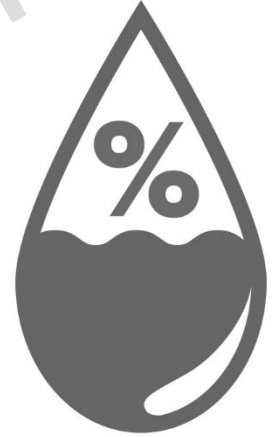
Wesentliche Auswirkungen von Wasser

- Chemische Reaktionen
 - Reaktionen in Lösungen
 - Vereinfachung der Reaktion aufgrund eines besseren Sauerstofftransports
- Physikalische Effekte
 - Erosion
 - Absorption / Gefrieren und Tauen
 - Temperaturschock
 - Stoß (Materialverlust)



Luftfeuchte

- Maß für die Menge an Wasser in der Luft
- Kann zu physischer Beanspruchung führen
- Luftfeuchte hat Auswirkungen sowohl auf Produkte in Innenräumen als auch im Freien
- Wird häufig als relative Luftfeuchte (RH) ausgedrückt, wobei 100 % für die Höchstmenge an Wasser stehen, die bei einer bestimmten Temperatur von der Luft aufgenommen werden kann



Regen

- Oberflächeneffekte
 - Oberflächliche Schichten werden abgewaschen
 - Auskreiden
 - Reinigung
- Temperaturschock



Tau

- Feuchtigkeit aus der Atmosphäre, die sich in Form von kleinen Tropfen auf jeder kühlen Oberfläche niederschlägt
- Hoher O₂-Anteil
- Lange Verweildauer



Nicht Regen, sondern Tau ist für den Großteil der Benetzung im Freien verantwortlich!



In vielen Laborprüfungen zur Schnellbewitterung wird kein Tau simuliert!



Die Auswirkungen von Feuchtigkeit sind nicht zu unterschätzen!

- Änderung der Abbau-Geschwindigkeit
- Änderung der **Art** des Abbaus
- Schwer zu **beschleunigen**

Zusammenfassung: Kräfte bei der Bewitterung

- **Sonnenlicht**
 - UV-Licht ist die Ursache für praktisch alle Polymerabbau-Reaktionen
 - Kleine Änderungen in der Zusammensetzung und/oder im Spektrum können große Auswirkungen auf den Abbau von Stoffen haben
- **Wärme (Temperatur)**
 - Sonnenlicht + Wärme = höhere Abbaugeschwindigkeit
 - Die Temperaturzunahme eines Stoffes unter Sonneneinstrahlung hängt stark von seiner Farbe ab
- **Wasser (Feuchtigkeit)**
 - Sonnenlicht + Wärme + Wasser = Verwitterung
 - Nicht Regen, sondern Tau ist für den Großteil der Benetzung im Freien verantwortlich
 - Im Außenbereich befindliche Produkte sind viel länger Feuchtigkeit ausgesetzt als Sie denken

Synergetische Effekte zwischen diesen Faktoren tragen zur Verwitterung bei!

Worüber reden wir heute:

- Grundlagen der Bewitterung
- **Wozu hilft die Laborbewitterung?**
- Beschleunigte Labor Bewitterungsprüfungen
 - Xenon
 - UV-Röhren
- Elemente eines effizienten Test Programmes

Warum prüfen?

- Einhalten von Spezifikationen
- Vermeiden von Unfällen
- Stärken des Markenansehens
- Überprüfen der Produktversprechen von Lieferanten
- Verbessern der Produkthaltbarkeit
- Sparen von Materialkosten
- Erweitern bestehender Produktlinien
- Erschließen neuer Märkte
- Übertreffen der Wettbewerber
- Einhalten von Vorschriften

(Labor-) Schnellbewitterung als Werkzeug zur Entscheidungsfindung

Schnellbewitterungsprüfungen können dazu beitragen...

- schnellere und/oder bessere Entscheidungen zu treffen.
- die Gefahr von Fehlentscheidungen zu verringern.
- die Gefahr zu langsamer Entscheidungen verringern.
- zielgerichtete Entscheidungen für Forschung und Entwicklung zu treffen.

Welche Prüfungen soll ich durchführen?

Schnellbewitterungsp rührung	Ergebnis	Dauer der Prüfung	Ergebnisabgleich mit
Qualitätskontrolle	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• kurz	Materialspezifikationen

Welche Prüfungen soll ich durchführen?

Schnellbewitterungsp rührung	Ergebnis	Dauer der Prüfung	Ergebnisabgleich mit
Qualitätskontrolle	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• kurz	Materialspezifikationen
Qualifikation / Validierung	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• mittel bis lang	Referenzmaterial oder Spezifikation

Welche Prüfungen soll ich durchführen?

Schnellbewitterungsprüfung	Ergebnis	Dauer der Prüfung	Ergebnisabgleich mit
Qualitätskontrolle	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• kurz	Materialspezifikationen
Qualifikation / Validierung	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• mittel bis lang	Referenzmaterial oder Spezifikation
Korrelationsprüfung	nach Rang gewichtete Daten	<ul style="list-style-type: none">• unbegrenzt• mittel	natürliche Freibewitterung (Referenzstandort)

Welche Prüfungen soll ich durchführen?

Schnellbewitterungsprüfung	Ergebnis	Dauer der Prüfung	Ergebnisabgleich mit
Qualitätskontrolle	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• kurz	Materialspezifikationen
Qualifikation / Validierung	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• mittel bis lang	Referenzmaterial oder Spezifikation
Korrelationsprüfung	nach Rang gewichtete Daten	<ul style="list-style-type: none">• unbegrenzt• mittel	natürliche Freibewitterung (Referenzstandort)
Prognose	Lebensdauer Beschleunigungsfaktor	<ul style="list-style-type: none">• unbegrenzt• lang	natürliche Freibewitterung (Einsatzumgebung)

Was ist Natürliche Bewitterung?

- Exposition von Materialien im Freien gegen unkonzentriertes Sonnenlicht, mit dem Ziel, den Einfluss von Umweltfaktoren auf bestimmte funktionale oder dekorative Eigenschaften zu bestimmen.
- Anerkannte (Benchmark) Bewitterungsstandorte:
 - Süd Florida (Subtropisch)
 - Arizona (Trocken/heiß, Wüste)
 - Midwest (Industriestandort)

Warum ist Freibewitterung so wichtig?

- Freibewitterung ist deutlich komplexer als künstliche (Labor-) Bewitterung
- Labor Tests sind nicht zwangsläufig realistisch
- Die Aussagekraft von Labor Tests sollte immer durch Freibewitterungsergebnisse validiert werden.
- Die Ergebnisse von regelmäßigen Freibewitterungs-tests stellen einen sehr wertvollen Datensatz zu günstigen Kosten dar.

Worüber reden wir heute:

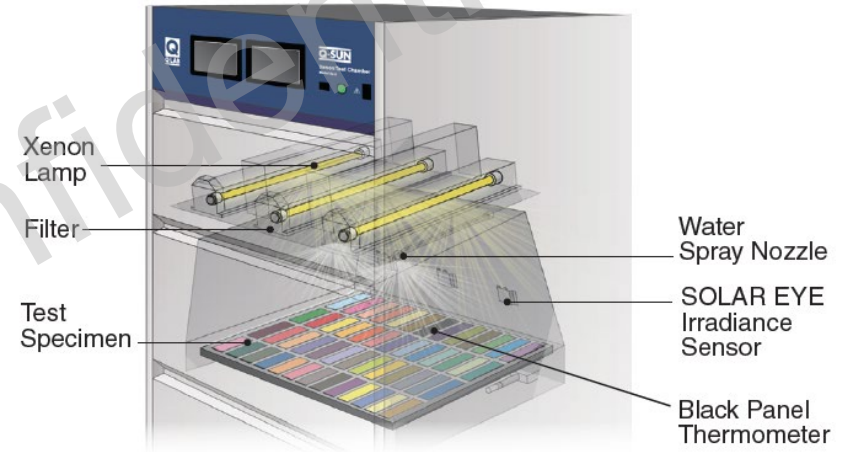
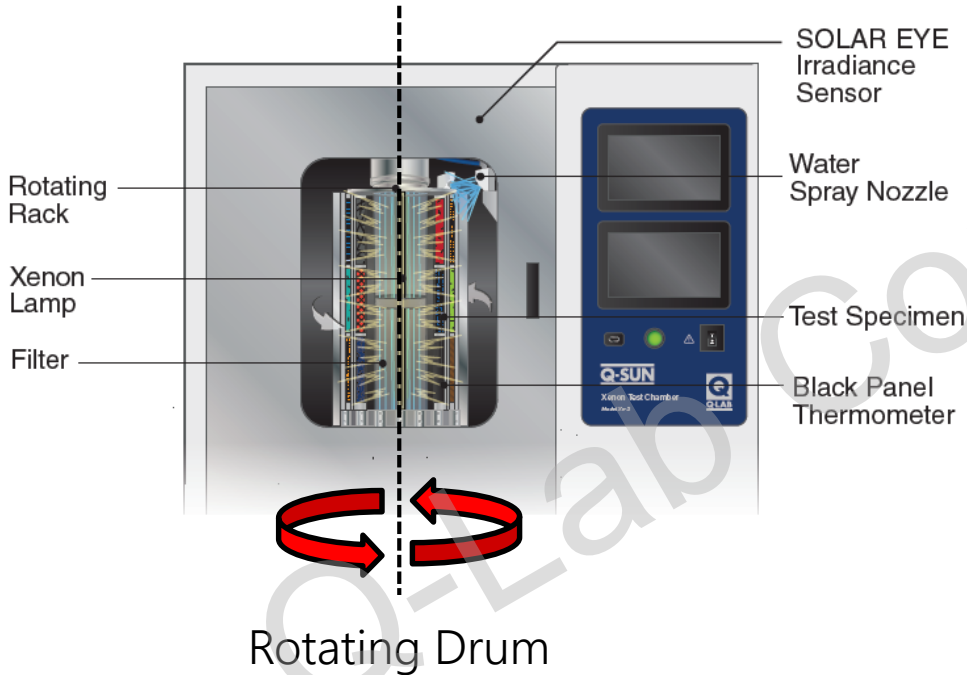
- Grundlagen der Bewitterung
- Wozu hilft die Laborbewitterung?
- **Beschleunigte Labor Bewitterungsprüfungen**
 - Xenon
 - UV-Röhren
- Elemente eines effizienten Test Programmes

Xenon Bogen Lampen

Beschleunigte Labor Bewitterung

Xenon Bogen Prüfkammern

Rotation oder Flachbett



Flat Array

Xenonbogenlampen

Luftgekühlt



Wassergekühlt



Wassergekühlt
als Baugruppe

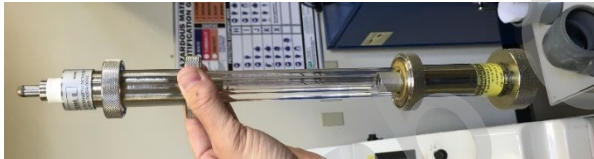


Kalibrierung der Strahlungsstärke bei Xenonlampen

Xenonbogenlampen werden mithilfe einer kalibrierten Referenzlampe oder eines Kalibrier-Radiometers kalibriert und eingestellt

Kalibrier-
Radiometer

Kalibrierte Referenzlampe



Kalibrier-
Strahlungssensor



Überblick über Filter

- Daylight
- Window
- Extended UV

Für rotierende Trommel
(„Filterlaterne“)



Für flaches
Probentablett



**Bei Bedarf werden weitere Spezialfilter verwendet*

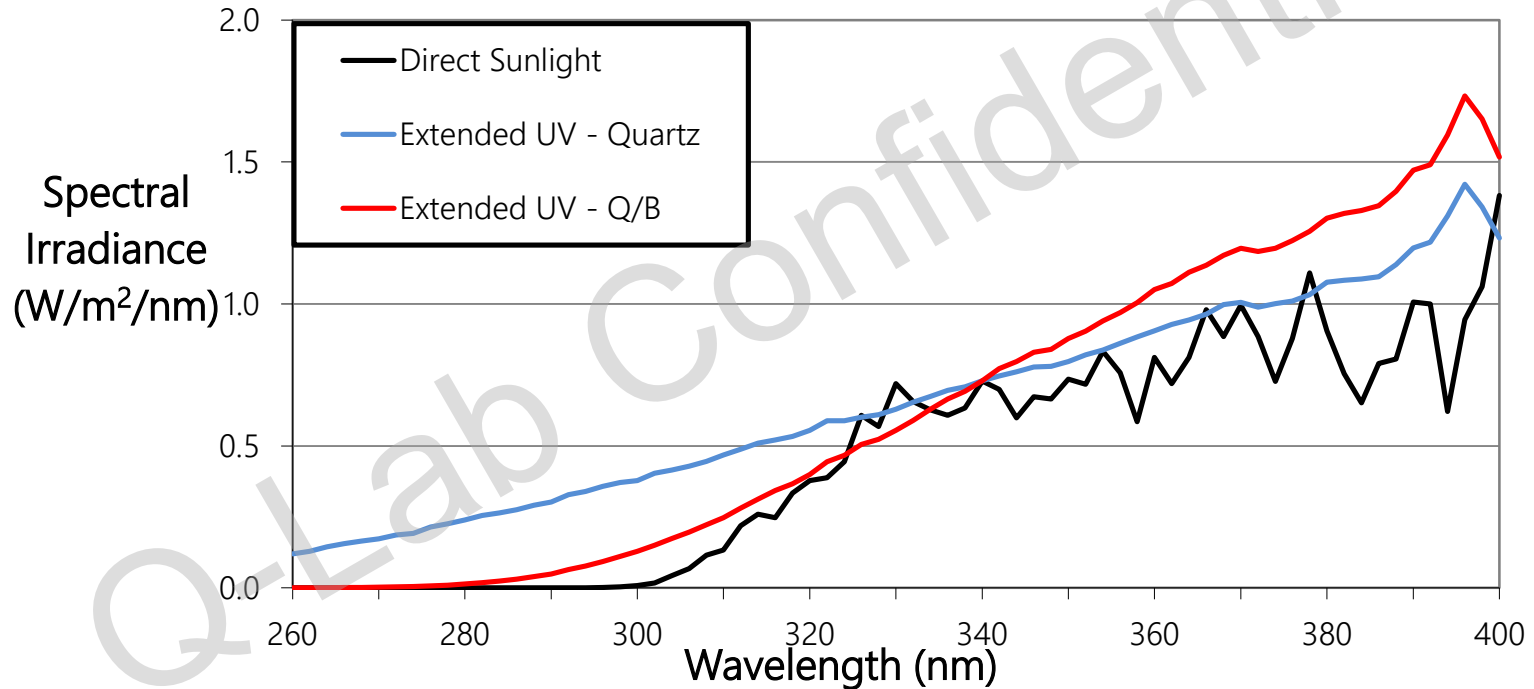
Spektren von Xenonbogenlampen

Haupteinflussfaktoren

- Optische Filter
- Bestrahlungsstärke (Intensität)
- Wellenlänge, bei der die Bestrahlungsstärke geregelt wird („Regelpunkt“)
- Alterung der Lampe

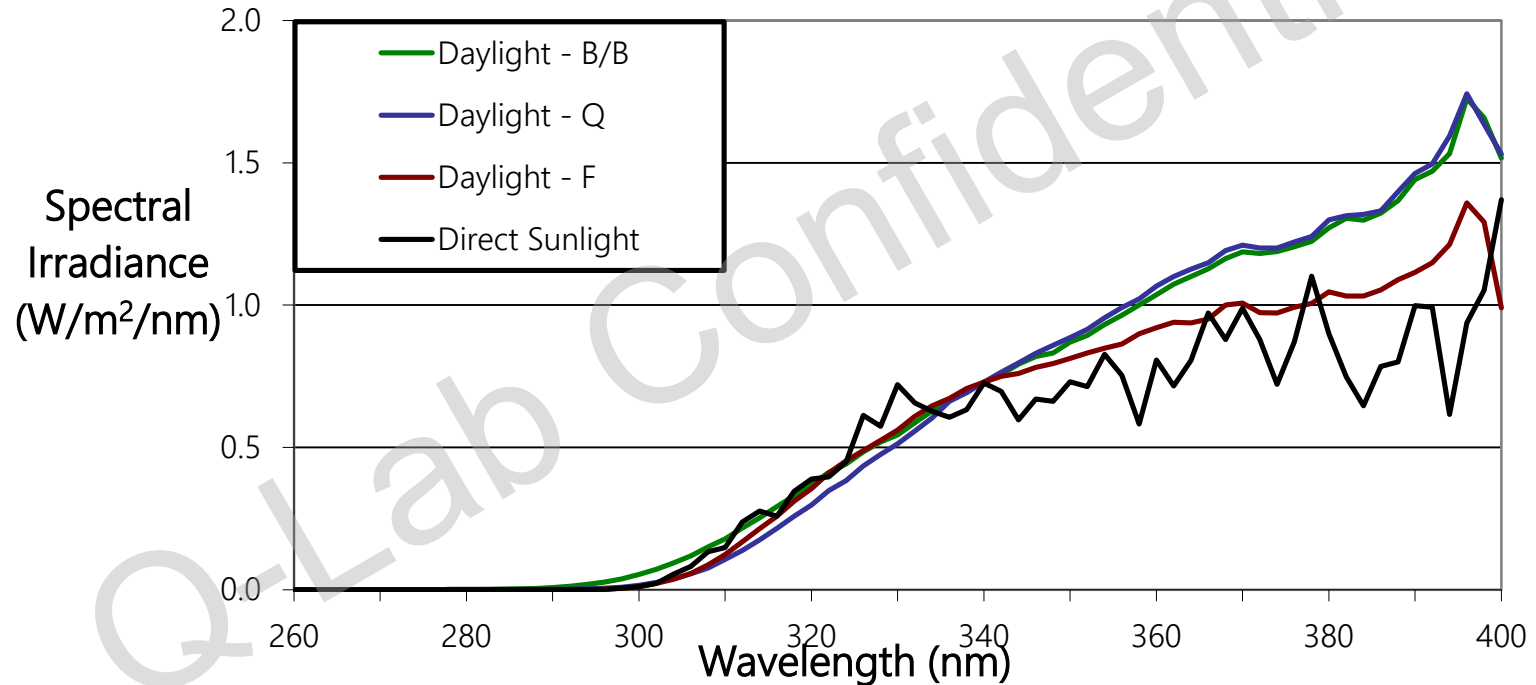
Xenonbogenlampe

mit Filter des Typs „Extended UV“ UV-Spektrum



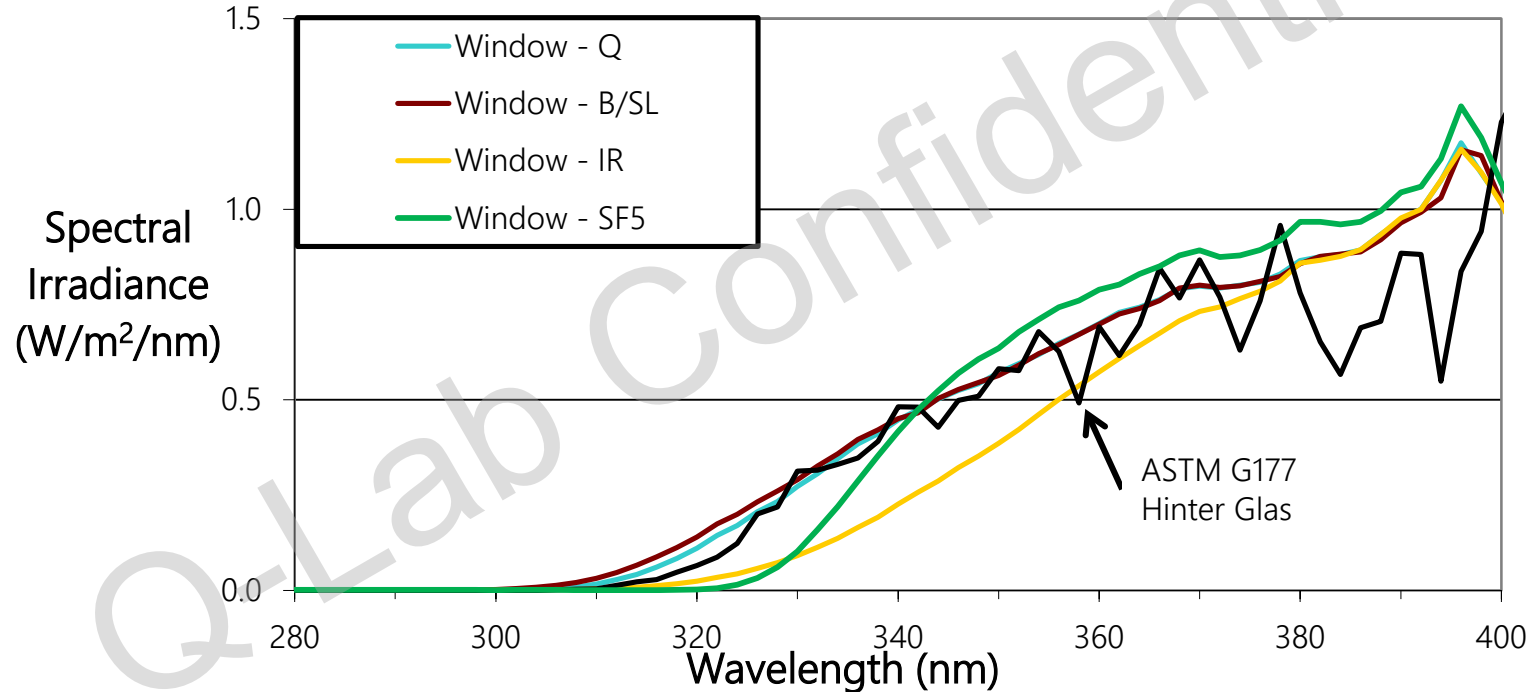
Xenonbogenlampe

mit Filter des Typs „Daylight“ UV-Spektrum



Xenonbogenlampe

mit Filter des Typs „Window“ UV-Spektrum



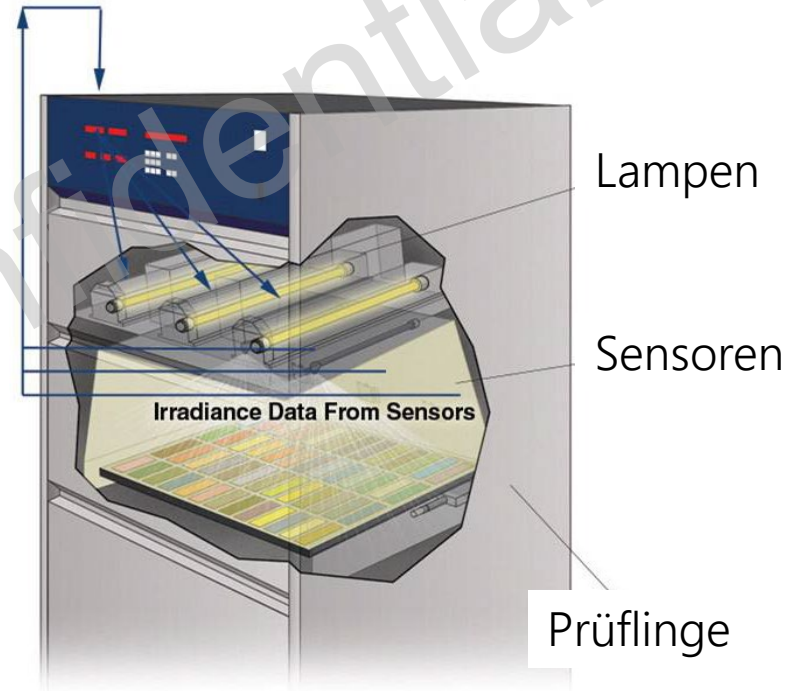
Alterung optischer Filter

Wasserkühlung und Luftkühlung

- Filter für wassergekühlte Lampensysteme müssen alle 400-2.000 Stunden ersetzt werden
 - Die Durchlässigkeit der Filters nimmt durch Verunreinigungen, die selbst in Reinstwasser enthalten sind, im Laufe der Zeit ab
- Filter für luftgekühlte Lampensysteme altern in der Regel nicht und müssen nicht ersetzt werden

SOLAR EYE™-Strahlungsregelung bei Q-SUN-Prüfgeräten

- Regelkreis
 - Xenonbogenlampe
 - Strahlungssensor
 - Steuermodul
- Die Wellenlänge, bei der die Bestrahlungsstärke geregelt wird, wird als **Regelpunkt** bezeichnet



Optionen für den Regelpunkt der Bestrahlungsstärke

- Schmalband
 - 340 nm
 - 420 nm
- Breitband
 - Total UV (TUV; 300-400 nm)
 - Global (300-800 nm) – nicht empfohlen
 - Kürzere Wellenlängen verursachen höheren Photoabbau
 - Alterung der Xenonlampe wird nicht berücksichtigt

Warum ist die Auswahl des Regelpunkts so wichtig?

- Xenonbogenlampen altern bei Gebrauch
- Die Lebensdauer einer Lampe wird durch Verschiebungen im Spektrum begrenzt
- Durch Regelung der Bestrahlungsstärke im **relevanten Wellenlängenbereich** wird die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit verbessert

Temperaturregelung mit Schwarztafelsensor

- Geläufigste in Prüfverfahren vorgesehene Methode
- Annäherung an maximale Oberflächentemperatur von Prüflingen
- Kann in Kombination mit Sensor und Steuereinheit für die Lufttemperatur in der Prüfkammer verwendet werden

Schwarztafel und Schwarzstandard sensoren

Schwarztafel	Bauweise	Bezeichnung gemäß ASTM	Bezeichnung gemäß ISO
	Schwarz beschichtete Edelstahlplatte	Nicht isolierte Schwarztafel	Schwarztafel
	Schwarz beschichtete Edelstahlplatte auf 0,6 cm starker weißer PVDF-Platte	Isolierte Schwarztafel	Schwarzstandard

**Es sind auch Weißtafeln erhältlich, die den oben aufgeführten Schwarztafeln entsprechen, diese sind jedoch weit weniger geläufig*

Für höchstmögliche Geschwindigkeit höchstmögliche Einsatztemperatur herstellen

Für geringstmögliches
Fehlerpotenzial höchstmögliche
Einsatztemperatur *NICHT*
überschreiten

Regelung der Lufttemperatur in der Prüfkammer (CAT)

- Für verschiedene Prüfmethoden vorgeschrieben
- Zur Regelung der relativen Luftfeuchte (RH) erforderlich
- Sensor muss vor Licht geschützt werden
- Schwarztafel ist durch Absorption von Strahlungswärme immer wärmer als Luft in Prüfkammer

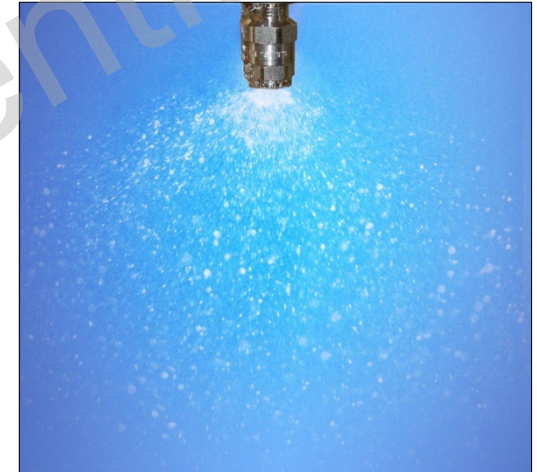
Regelung der relativen Feuchte

- Für viele Prüfmethode vorgeschrieben
 - Textilien
 - Automobilprodukte (SAE)
- Relative Luftfeuchte kann bei vielen Xenon-Prüfgeräten erzeugt und geregelt werden
 - Boilersystem
 - Zerstäubersystem
- Bei vielen langlebigen Stoffe hat die relative Luftfeuchte im Vergleich zur Besprühung und Betauung sehr geringe Auswirkungen

Xenonbogen-Prüfgeräte

Besprühung mit Wasser

- Besprühung von vorne
 - Primäres Besprühungsverfahren
 - Kalibriertechnik für Besprühung von vorne wurde erst kürzlich entwickelt (ASTM D7869)
- Besprühung von hinten
 - Ergebnis eines fehlgeschlagenen Experiments zur Erzeugung von Kondenswasser; in manchen Normen noch gefordert
- Zweifachbesprühung
 - Zur Ausbringung einer zweiten Lösung, z. B. saurem Regen oder Seifenlauge
- Eintauchen (Untertauchen)
 - Alternative zur Besprühung von vorne; wird in manchen Normen gefordert



Xenonbogen-Prüfgeräte

Unzulängliche Besprühung mit Wasser ?

- Bei Xenon-Prüfgeräten mit rotierender Trommel wird evtl. zu wenig Wasser auf die Prüflinge aufgebracht;
- In ASTM D7869 wird eine Kalibrierung der Wasserversorgung gefordert, die eine ausreichende Besprühung der Prüflinge garantieren soll.



Xenonbogenlampen – Zusammenfassung

- Beste Simulation des gesamten Sonnenlichtspektrums
- Lampen altern („Wippeneffekt“)
- Temperature Auswirkungen
- Besprühung mit Wasser und RH-Regelung
- Höherer Kosten- und Wartungsaufwand sowie im Vergleich zu Prüfgeräten mit UV-Leuchtstofflampen höhere Komplexität

Q-SUN Xenon Arc Testers

Xe-1



Xe-2



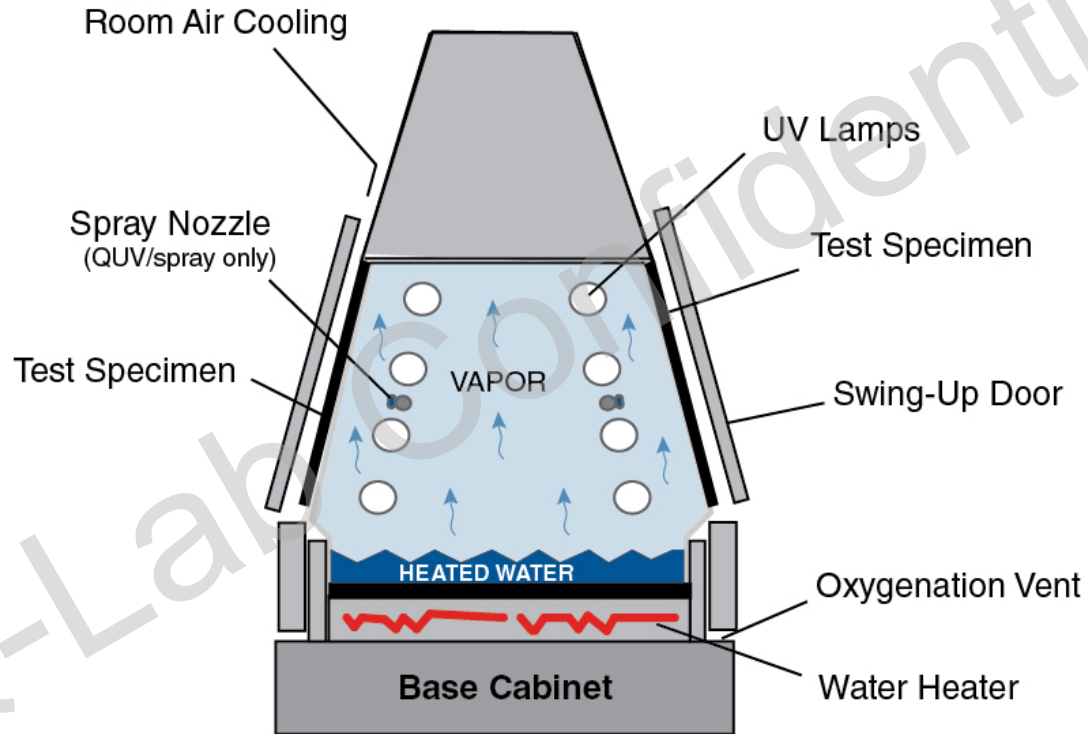
Xe-3



Schnellbewitterungs-prüfungen mit UV-Leuchtstofflampen

QUV – 1970 entwickelt

Schematische Darstellung des QUV-Prüfgeräts



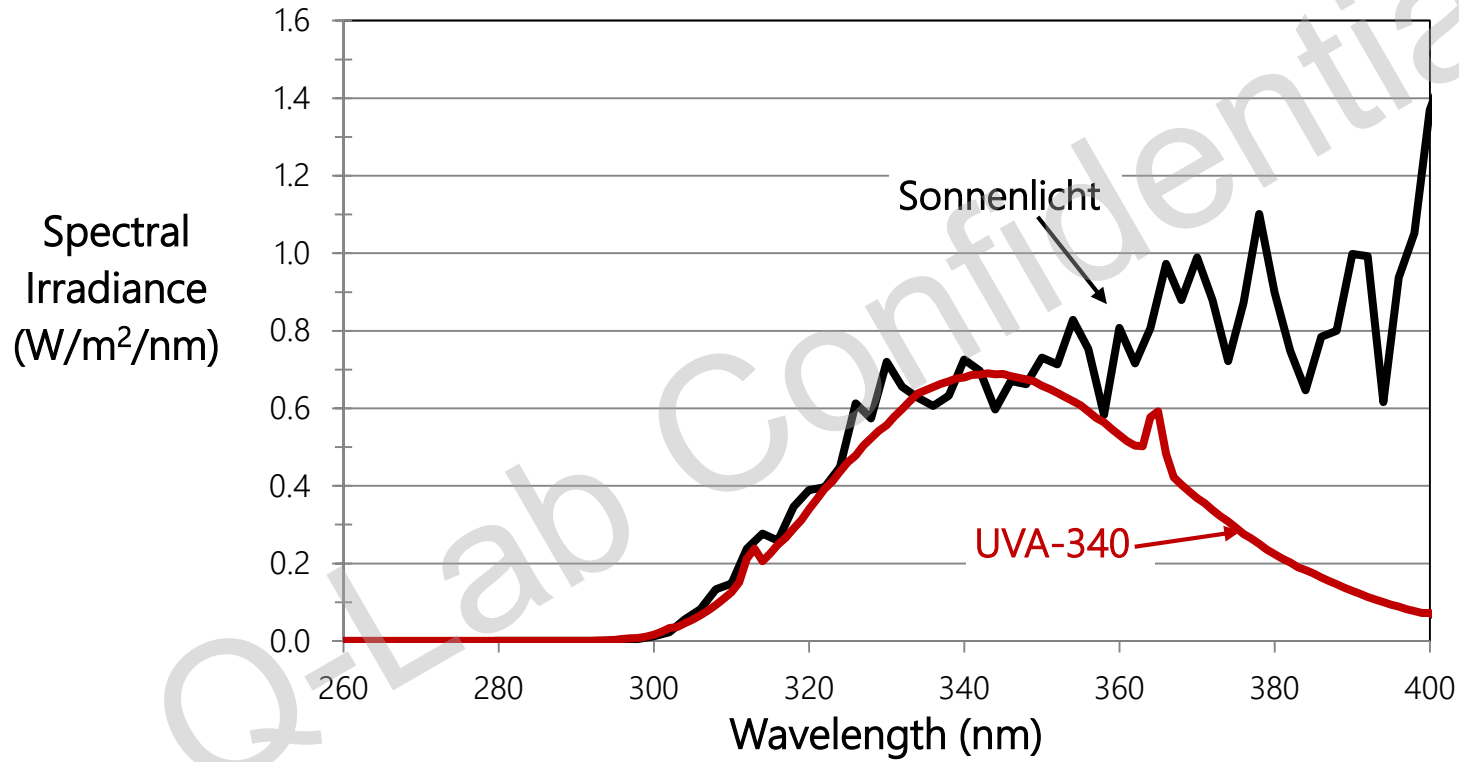
UV-Leuchtstofflampen



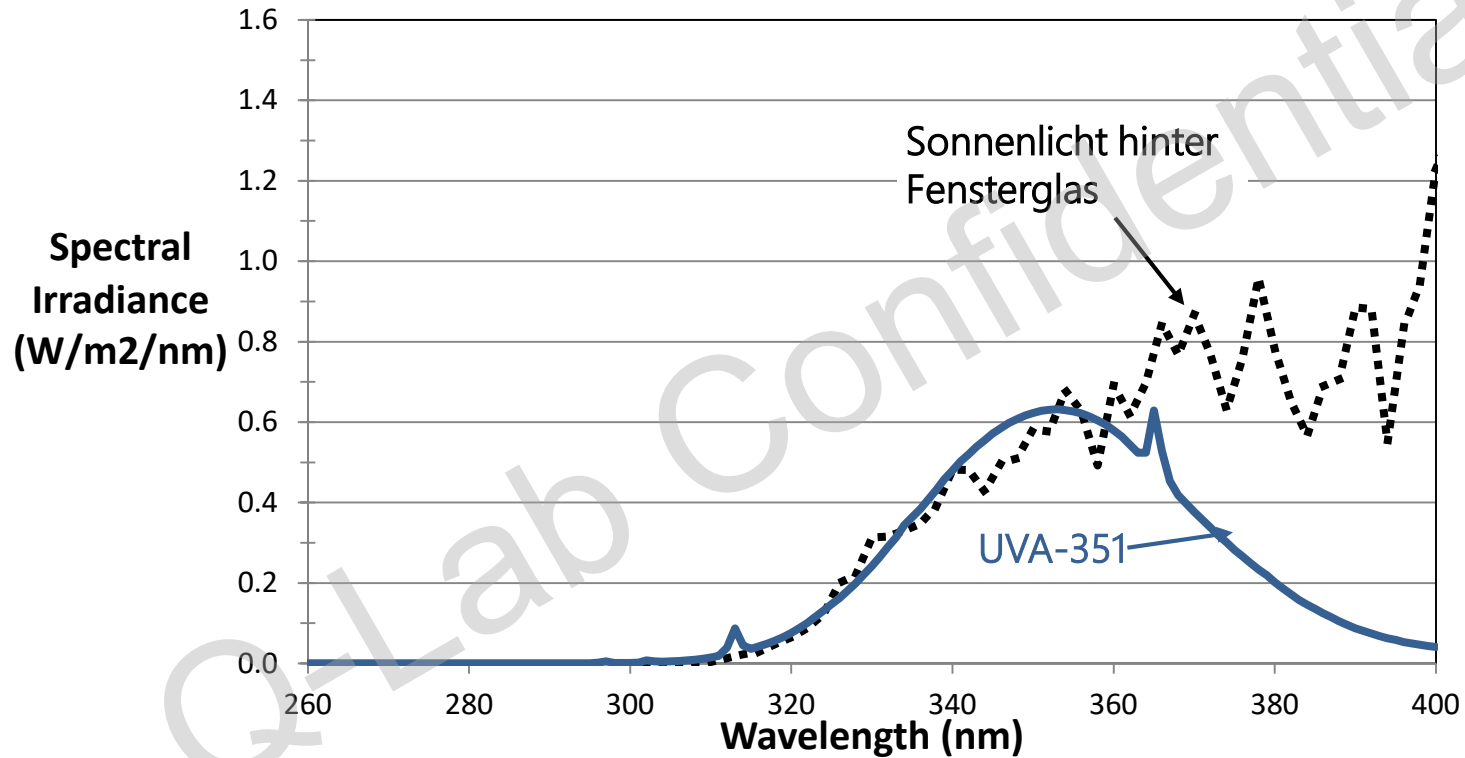
QUV Lampen Übersicht

- UVA-340 (Tageslicht UV)
- UVA-351 (Fensterglas UV)
- UVB-313EL/FS-40 (Extended UV)
- Cool White (Innenraum)

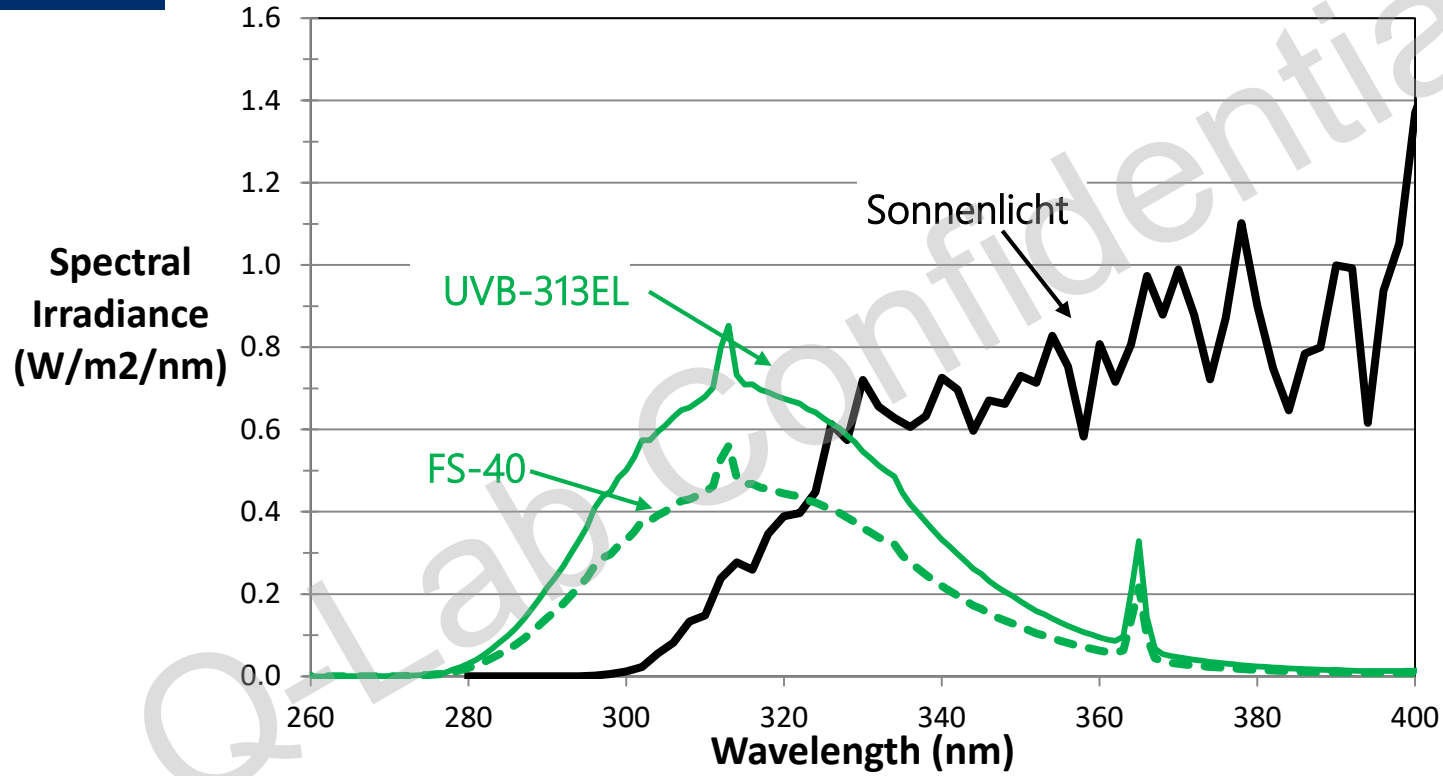
UVA-340-Lampen



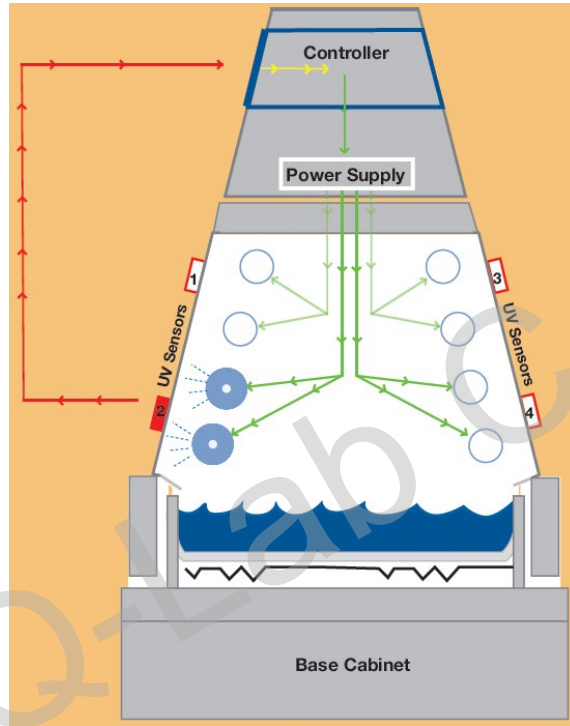
UVA-351-Lampen



UVB-Lampen



SOLAR EYE™-Strahlungsregelung bei QUV



Regelkreis

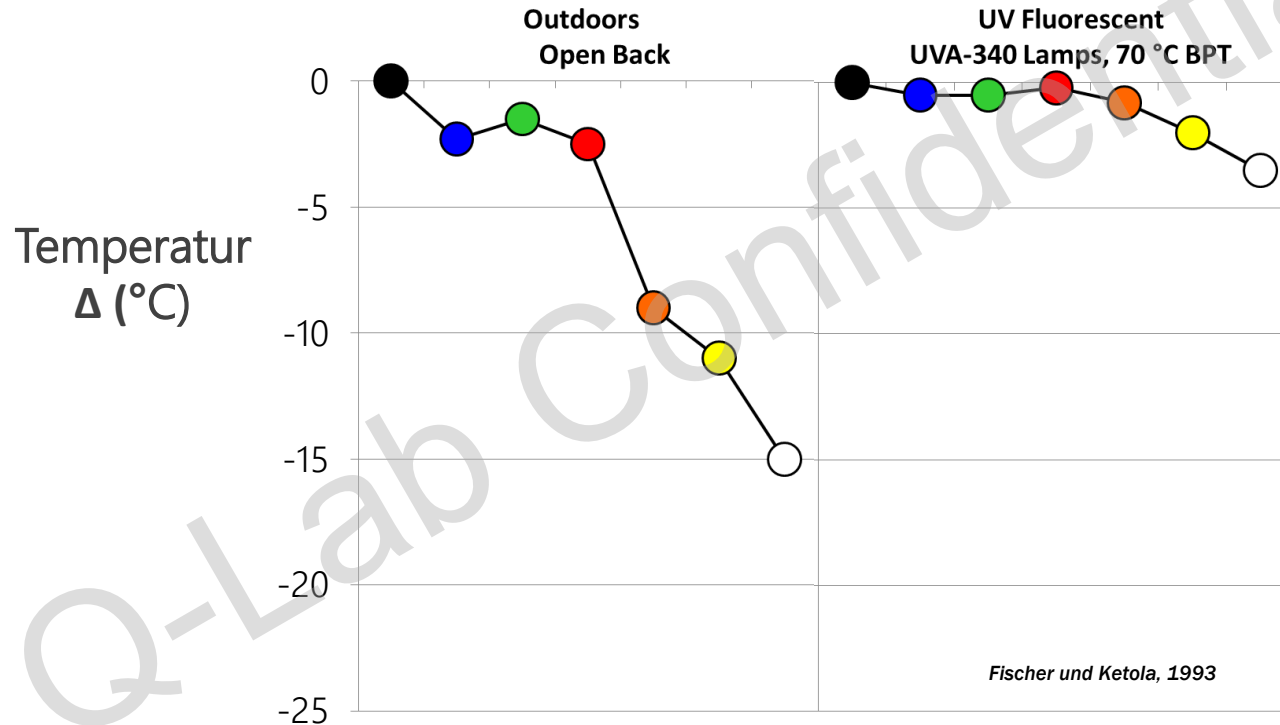
- UV-
- Leuchtstofflampe
- Strahlungssensor
- Steuermodul

Vorteile von Leuchtstofflampen

- Schnelle Ergebnisse
- Einfachere Strahlungsregelung
- Sehr stabiles Spektrum – keine Alterung
- Geringer Wartungsaufwand
 - Einfache Kalibrierung
- Geringer Preis und geringe Betriebskosten
- Einfache und benutzerfreundliche Wartung

Temperatur und Farbe

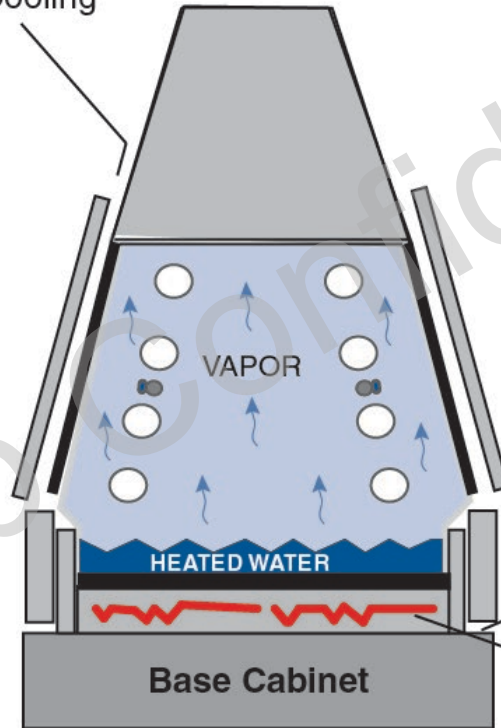
Temperaturunterschiede zwischen farbigen Prüfblechen und einer Schwarztafel



Fischer und Ketola, 1993

Kondensation

Room Air Cooling



Oxygenation Vent

Water Heater

Vorteile der Kondensation im QUV-Prüfgerät

- Größte Übereinstimmung mit natürlicher Benetzung
- Beste Möglichkeit zur beschleunigten Simulation von Wasserauswirkungen in einem Labor-Prüfgerät
- Erhöhte Temperatur
- Hoher O₂-Gehalt
- Destillation im Prüfgerät – keine Ablagerung von Rückständen auf Prüflingen! Garantiert sauberes Wasser



Im QUV-Prüfgerät kann einfach Kondenswasser erzeugt werden – kein teures Reinwasser erforderlich

Besprühung mit Wasser

- Sorgt für vollständige Sättigung der Teile
- Sorgt für Erosion und Temperaturschock



Besprühung ist im QUV-Prüfgerät schwierig und relativ teuer

UV-Leuchtstofflampen – Zusammenfassung

- UVA-340: beste Simulation von kurzweiliger UV-Strahlung
- UVB-313: schnellste und anspruchsvollste Prüfung
- Stabiles Spektrum – keine Alterung
- Kein sichtbares Licht
- Realistische und gründliche Betauung
- Wasserbesprühung, aber keine RH-Regelung möglich

QUV Labor Bewitterungs Tester

Model QUV/se



UV Röhren and XenonBogen

sind sich ergänzende Technologien !

UV Röhren

- UVA-340 bestmögliche Simulation des UV Anteils der Sonne
- UVB-313 könnte ggf. zu hart sein
- Kein Anteil im sichtbaren Licht
- Stabiles Spektrum
- Keine RH Kontrolle
- Kondensation or Wasser sprühen
- Günstig, einfache Handhabung

Xenon Bogen

- Voll Spektrum (UV-Vis-IR)
- Beste Simulation des gesamten Sonnenlichts
- Spektrum verändert sich
- RH Kontrolle
- Wasser sprühen
- Deutlich komplexeres System und höhere Prüfkosten

Worüber reden wir heute:

- Grundlagen der Bewitterung
- Wozu hilft die Laborbewitterung?
- Beschleunigte Labor Bewitterungsprüfungen
 - Xenon
 - UV-Röhren
- Elemente eines effizienten Test Programmes

Welche Prüfungen soll ich durchführen?

Schnellbewitterungsprüfung	Ergebnis	Dauer der Prüfung	Ergebnisabgleich mit
Qualitätskontrolle	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• kurz	Materialspezifikationen
Qualifikation / Validierung	bestanden / nicht bestanden	<ul style="list-style-type: none">• fix• mittel bis lang	Referenzmaterial oder Spezifikation
Korrelationsprüfung	nach Rang gewichtete Daten	<ul style="list-style-type: none">• unbegrenzt• mittel	natürliche Freibewitterung (Referenzstandort)
Prognose	Lebensdauer Beschleunigungsfaktor	<ul style="list-style-type: none">• unbegrenzt• lang	natürliche Freibewitterung (Einsatzumgebung)

Ein Test Programm erstellen:

- Art des beschleunigten Tests identifizieren
 - Freibwitterungsdaten sind ein “Muss” für Korrelation oder Vorhersagen
- Anwendungsumfeld identifizieren
 - Innen oder im Freien
 - Trocken oder Nass
 - Heiß oder kalt

Ein Test Programm erstellen:

- Bewährte Methodik anwenden:
 - Prüfen, bis zu einem definierten Fehlerbild
 - Mehrere Prüflinge (Statistik)
 - Regelmäßige Zwischenbewertung und Umlagerung
- Auswahl einer geeigneten Test Architektur
 - Was sagt der Standard?
 - Ist Vollspektrum notwendig?
 - Wie wichtig ist die Wasseraufnahme?

Vielen Dank für Ihre Teilnahme !

Fragen ?

info@q-lab.com

Q-Lab Confidential