

80633 Hagemann UV-Perlen

Funktionsprinzip

Die UV-Perlen bestehen aus einer Mischung von Kunststoffen und Farbstoffen. Die genaue Zusammensetzung wird von den Herstellenden nicht veröffentlicht und ist patentrechtlich geschützt.

Bei den Farbstoffen handelt es sich um **photochrome Farbstoffe**. Diese reagieren bei Bestrahlung mit elektromagnetischer Energie mit einer reversiblen Änderung des Farbtons. Bei den Hagemann-UV-Perlen ist die photochrome Zustandsänderung abhängig von einem externen Stimulus (Photonen mit einer bestimmten Energie (Wellenlänge)). Dieser Vorgang wird als „gated photochromism“ bezeichnet.

Ein Photon trifft auf ein Farbstoffmolekül und wird dort absorbiert. Das Farbstoffmolekül wird angeregt und geht in einen Singulett- oder Triplettzustand über. In diesem Zustand ändert sich das Absorptionsspektrum des Farbstoffes. Es wird nur noch ein Teil des einfallenden Spektrums reflektiert. Unser Auge (genauer gesagt, unser Gehirn) nimmt das als Farbe (z. B. Lila) wahr.

Wird der Farbstoff nicht mehr mit den für die Reaktion erforderlichen Photonen bestrahlt, dann kommt es zu einer thermischen Rückreaktion (T-Typ-Photochromie) und der Farbstoff kehrt in seinen ursprünglichen Zustand (bei den UV-Perlen farblos/Weiß) zurück.

Die Zustandsänderung der Farbstoffmoleküle in den Hagemann UV-Perlen kann als Motivation für die Arbeit mit quantenmechanischen Modellen im Unterricht (Physik, Sek II) eingesetzt werden. So lassen sich Elektronen im Farbstoff durch die stationäre Schrödinger-Gleichung beschreiben. Mithilfe von mathematischen Operatoren und Koordinatentransformationen können die Lernenden Energiezustände bestimmen und die notwendigen Energien (Photonen) berechnen, die für eine Anregung der Elektronen benötigt wird (Franck-Condon-Prinzip). Zur Berechnung von Zahlenwerten (Photonen/Wellenlängen) kann man z. B. auf natürlich vorkommende Mineralien zurückgreifen (z. B. Sodalith/Hackmanit), deren Zusammensetzung und Struktur einschlägigen Werken der Chemie entnommen werden können. Anschließend bietet sich ein Experiment mit diesen Materialien an, um die berechneten Werte zu bestätigen.

Hinweise für Kindergärten, Grundschulen, Sek I:

Für die Erklärung des Funktionsprinzips der Hagemann UV-Perlen sind fundierte mathematische Kenntnisse (Vektoranalysis, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik) notwendig, da die Zustandsänderung des Farbstoffes nur mit den Methoden der Quantenphysik beschrieben werden kann. Deshalb sollte in Kindergärten, Grundschulen und in der Sek I nur das Phänomen „Photochromie“ vorgestellt werden: „In den Perlen befindet sich ein Farbstoff, der je nach Lichteinstrahlung seine Farbe ändert.“

UV-Index

Der UV-Index ist ein international normiertes Maß für die sonnenbrandwirksame solare Bestrahlungsstärke, also eine dosimetrische Größe. Es handelt sich um eine Größe der Dimension Zahl.

Es gilt für die Bestrahlungsstärke einer horizontalen Fläche:

$$E_{\text{CIE}} = \int s_{\text{er}}(\lambda) E(\lambda) d\lambda$$

Für die Beschreibung der Zustandsänderung der Farbmoleküle muss eine Größe mit der Dimension Energie (Joule) verwendet werden.

Für die Strahlungsenergie von Photonen gilt:

$$Q_e \equiv E = h \int_0^{\infty} n(f) \cdot f \, df$$

Ferner gilt:

$$\lambda = \frac{v_p}{f}, E_{\lambda}(\lambda) = \frac{dE(\lambda)}{d\lambda}$$

Da wir die Randbedingungen (genaue Zusammensetzung des Kunststoffes und die Farbstoffe) nicht kennen, kann man zwar eine beschreibende Gleichung aufstellen, jedoch ist eine Aussage über die Intensität der Verfärbung und dem UV-Index damit nicht möglich.

Ein spannendes Unterrichtsprojekt oder ein Projekt für Jugend forscht

Weitere und genauere Informationen zum UV-Index, zu dessen Vorhersage und Messung kann man beim deutschen Wetterdienst bekommen:

<https://www.dwd.de/>

Hypothese: „Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem UV-Index und der Verfärbung der Perlen.“

Über ausreichend viele Messreihen können die Farben der Perlen und die Intensität der Verfärbung in Abhängigkeit vom UV-Index bestimmt werden. Wenn es einen Zusammenhang gibt, dann muss dieser mathematisch modelliert und validiert werden. Ein Ergebnis könnte eine Farbtabelle sein, mit der man den UV-Index aufgrund der Verfärbung der Perlen ablesen kann.