



# DOSIMETRIE DER NIGHTIONISIERENDE STRAHLUNG

1



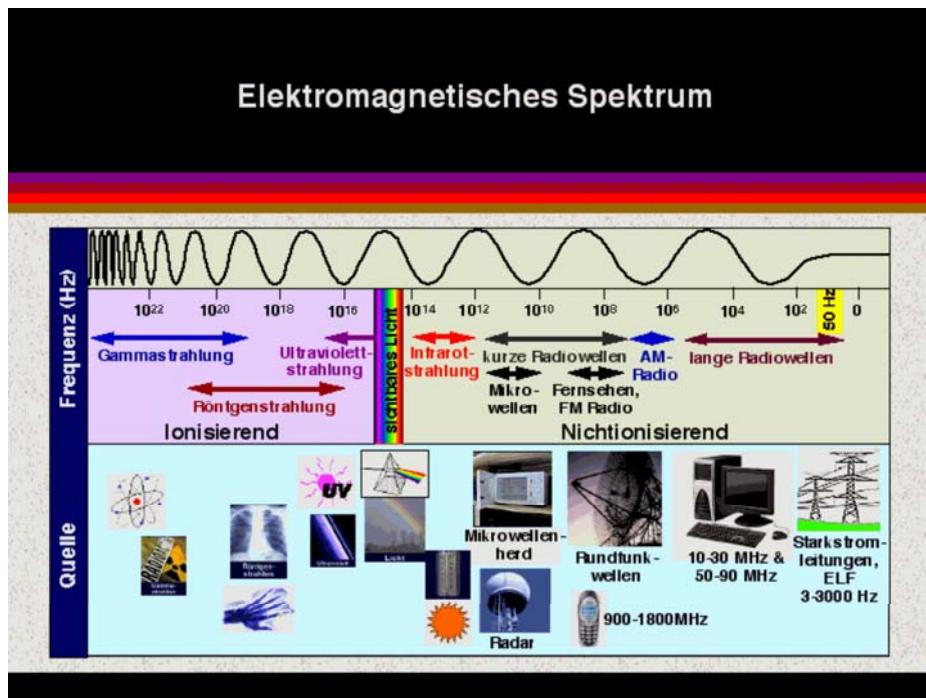
## Nichtionisierende Strahlung:

Elektrische und magnetische Felder, bzw.  
Elektromagnetische Strahlung  
in dem Frequenzbereich:

**0 –  $3 \cdot 10^{15}$  Hz**

ab 100 nm  $\rightarrow \infty$

2



## Ultraviolettstrahlung

### Die Aufteilung der UV Strahlung

UV-A: 315 - 400 nm

UV-A1: 340 - 400 nm

UV-A2: 315 - 340 nm

UV-B: 280 - 315 nm

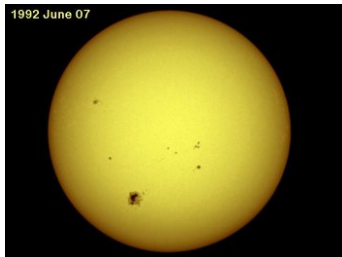
UV-C: 100 - 280 nm

4

# Ultraviolettstrahlung

## Quelle

- natürliche
- die Sonne



- künstliche
- Hg-Dampflampen
- Xenon-Bogenlampen
- Leuchtstofflampen

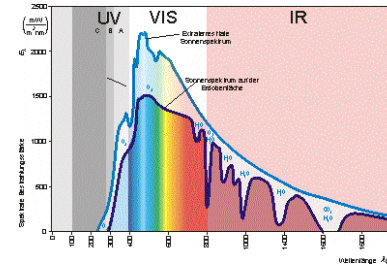


5

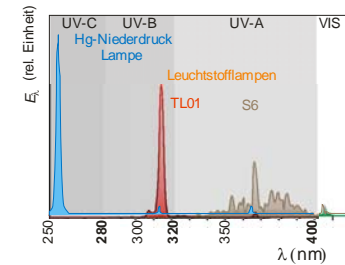
# Ultraviolettstrahlung

## Das Spektrum der Quellen

### Die Sonne



- Hg-Dampflampen
- Leuchtstofflampe



6

# Ultraviolettstrahlung

## Das Spektrum der Quellen

|   | Kontinuierliches Spektrum | Linienspektrum |
|---|---------------------------|----------------|
| Sonne                                       | +                         |                |
| Hg-Dampflampe*<br>( $p < 1$ atm Dampfdruck) |                           | +              |
| Xenon-Bogenlampe                            | +                         |                |
| Leuchtstofflampe                            | +                         | +              |

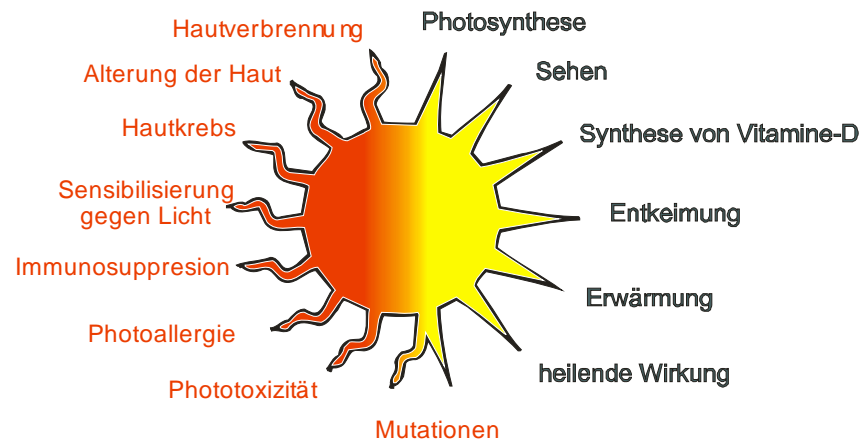
7

## Die biologische Wirkung der Ultraviolettstrahlung

8



# Wirkung der Sonne



"Our sun has two faces,  
one good and one bad,  
like Janus"

A. Giese, 1978,  
Living with Our Sun's Ultraviolet Rays, Plenum

9



# Negative Wirkungen

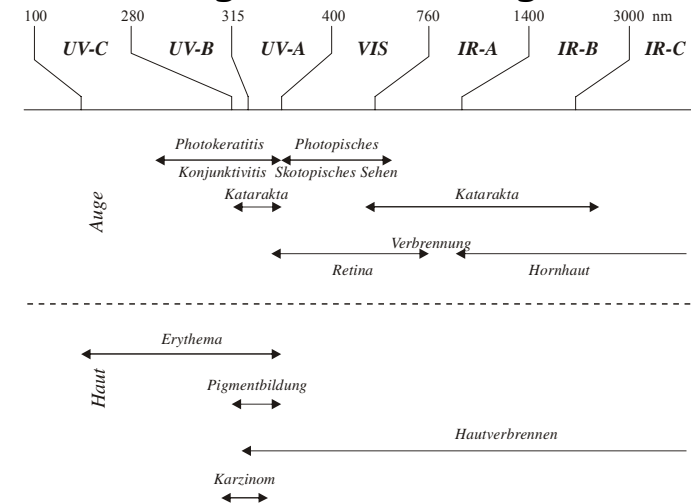


Abb. 2.16

10



Stochastische Schädigung

Deterministische Schädigung

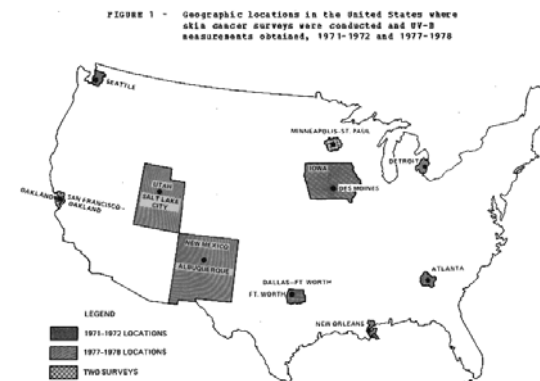


11



Scotto, J., T. R. Fears, and J. F. Fraumeni. 1981. *Incidence of non-melanoma skin cancer in the United States*. NIH Pub. no. 82-2433. Bethesda, MD: U.S. Dept. of Health and Human Services, National Institutes of Health.

<http://www.ciesin.org/docs/001-526/001-526.html>



12



FIGURE 3 - Annual age-adjusted incidence rates for nonmelanoma skin cancer among white males and females according to geographic areas of the United States, 1971-1972 and 1977-1978

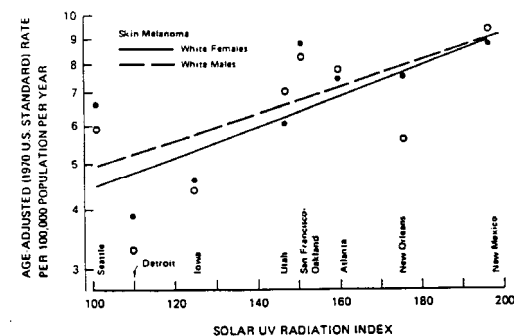
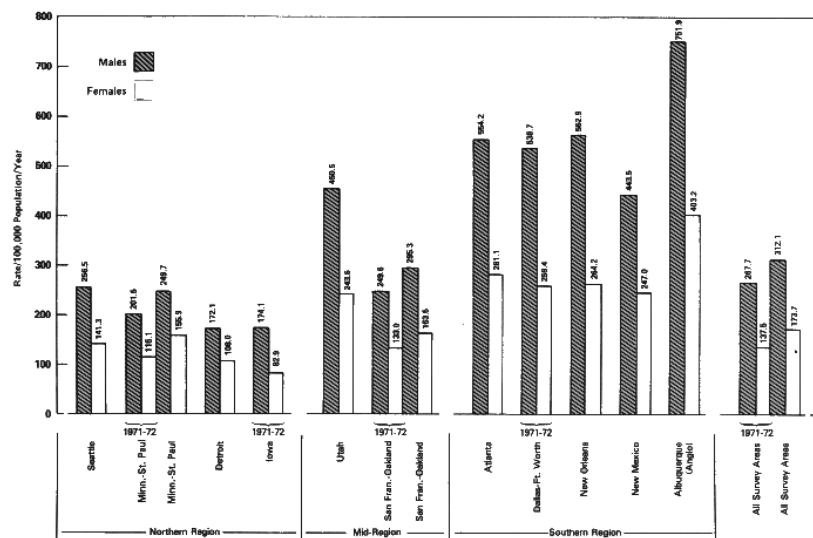


FIGURE 6-1  
ANNUAL AGE-ADJUSTED INCIDENCE RATES FOR CMM (SEER DATA 1973-1976) AMONG WHITE FEMALES (OPEN SYMBOLS) AND MALES (CLOSED SYMBOLS), ACCORDING TO 1 YEAR'S UV MEASUREMENTS IN SELECTED AREAS OF U.S. <sup>a/</sup>

<sup>a/</sup> The UV radiation index is the total R-B meter counts over a 1 year period multiplied by 0.0001. The meters read UV-B between 290 nm and 320 nm, as well as some UV-A.

Source: NRC 1982.

14



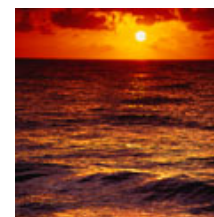
| Countries with the Highest Incidence of Skin Melanoma |                               |                                   |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| Rank  | Country                       | Incidence per 100,000 individuals |
| 1   | <a href="#">Australia</a>     | 88.7                              |
| 2   | <a href="#">New Zealand</a>   | 80.9                              |
| 3   | <a href="#">Norway</a>        | 44.5                              |
| 4   | <a href="#">Sweden</a>        | 39.5                              |
| 5   | <a href="#">Switzerland</a>   | 39.5                              |
| 6   | <a href="#">Denmark</a>       | 37.5                              |
| 7   | <a href="#">United States</a> | 37.4                              |
| 8   | <a href="#">Austria</a>       | 31.7                              |
| 9   | <a href="#">Iceland</a>       | 29.1                              |
| 10  | <a href="#">Netherlands</a>   | 28.5                              |

Source: International Agency for Research on Cancer

15



## Was ist entscheidend in der biologischen Wirkung der UV-Strahlung?



Die Strahlung?



Das biologische Objekt?



16



# 1. Die Ultraviolettstrahlung

UV-Quelle →

- Gesamt emittierte Leistung
- Spektralverteilung

Auf Flächeneinheit auftreffende

- Strahlungsleistung → Gesamtbestrahlungsstärke  $E$  in  $W/m^2$
- Spektralverteilung → spektrale Bestrahlungsstärke  $E(\lambda)$  in  $W/m^2 nm$

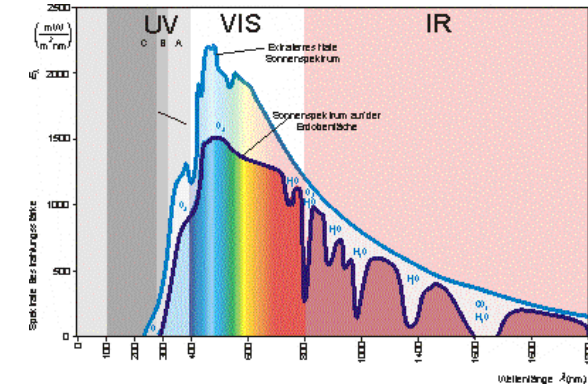
17



# 1. Die Ultraviolettstrahlung

z.B. die Sonne →

- Solarkonstante:  $1368 W/m^2$
- Spektralverteilung:



18



# 1. Die Ultraviolettstrahlung der Sonne

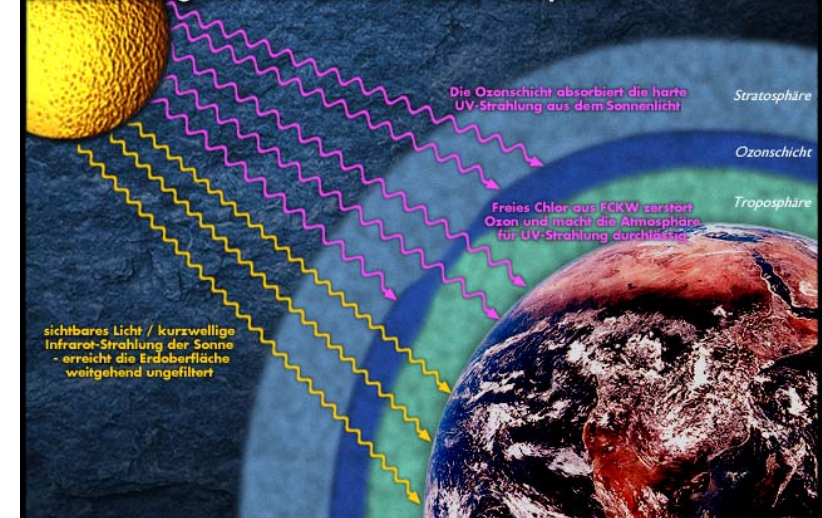
Abhängig von mehreren Faktoren

- Sonnenhöhe (Jahreszeit, Tageszeit, geographischer Ort)
- Meereshöhe
- Ozongehalt der Atmosphäre (TOC)
- Aerosolgehalt der Atmosphäre (schwebende Teilchen  $SO_2$ ,  $NO_x$ )
- Wolken

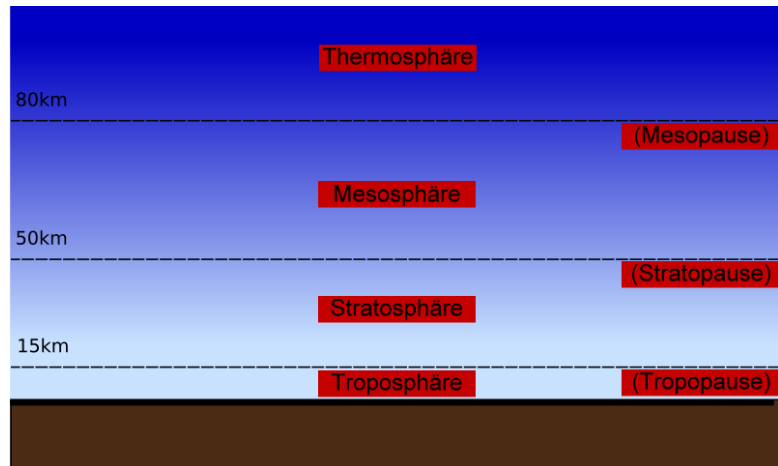
19



## Die Bedeutung der Ozonschicht in der Atmosphäre



20

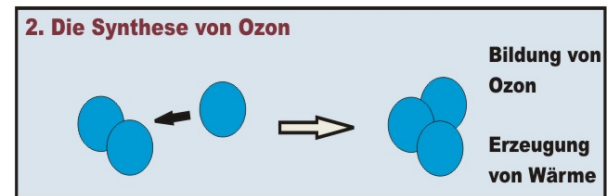


21



## Die Ozon-Photosynthese

$\lambda < 240 \text{ nm}$

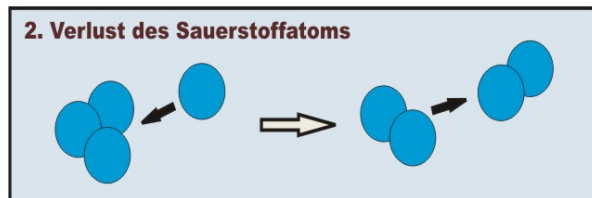
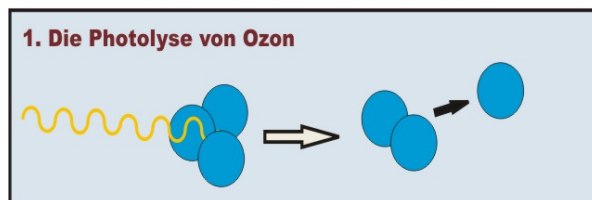


22



## Ozon-Abbaureaktionen

$\lambda < 320 \text{ nm}$

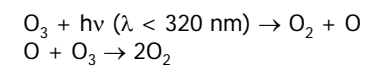
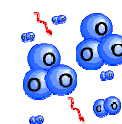
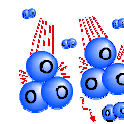
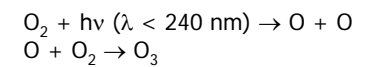
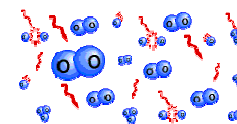


23



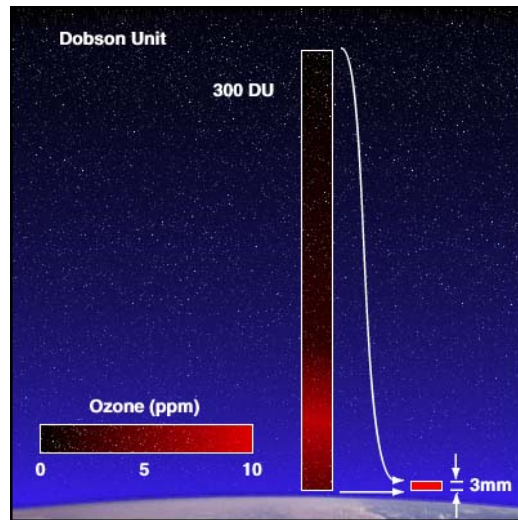
## Dynamische Gleichgewicht der Photolyse und Abbau

ohne chemische Verunreinigung!



*Sidney Chapman, 1930*

24



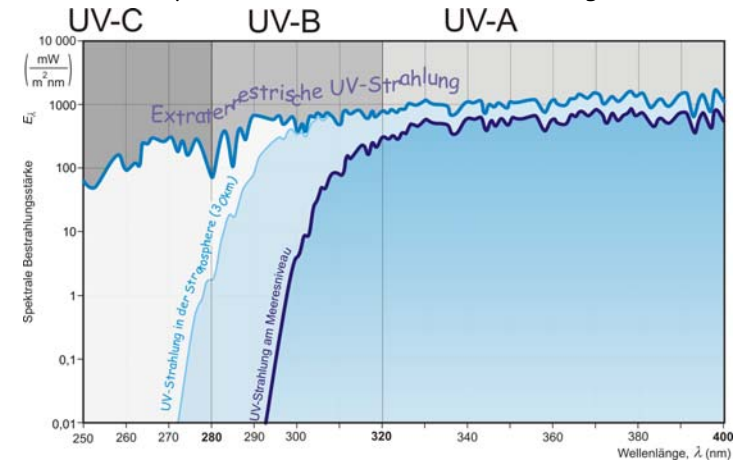
300 DU  $\Leftrightarrow$  Ozonschicht der Dicke von 3 mm unter Normalbedingung  
(1 bar, 273 K)

25



## Funktion des Ozonschichtes

- Absorption der UV-C und UV-B Strahlung



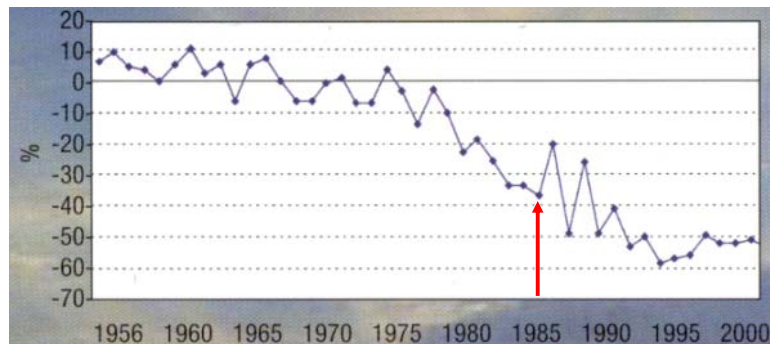
- Schutz der Biosphere vor harten UV-Strahlung

26

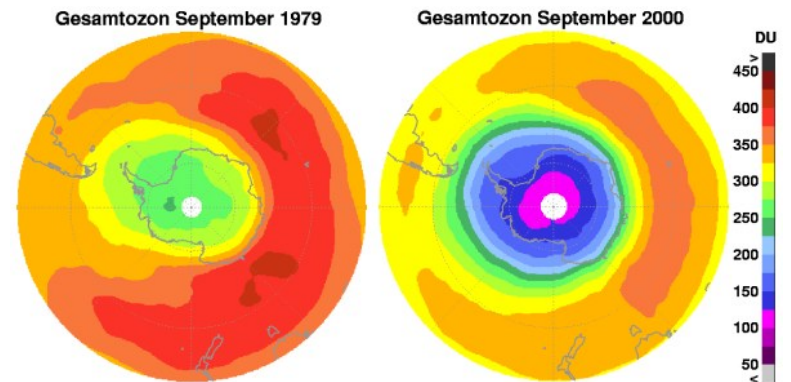


## FARMAN: „Ozonloch“ in 1985 über Halley Bay, Antarktik

Abweichung der Ozonkonzentration von der vieljährigen Durchschnitt



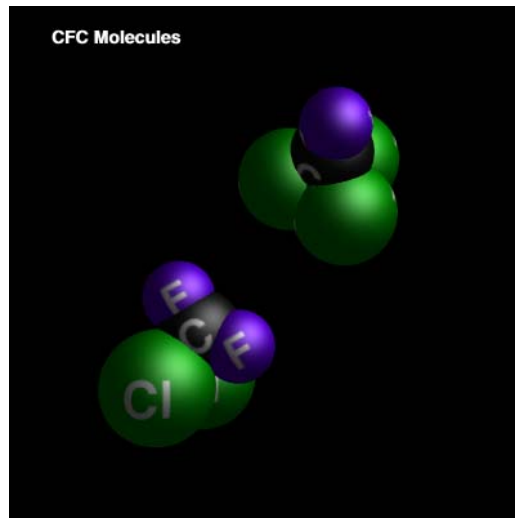
27



28



## Chlorfluorkarbon (CFK)



### FCKW

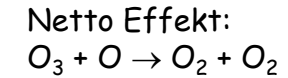
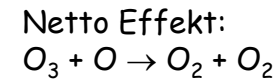
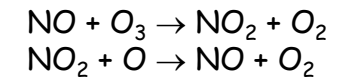
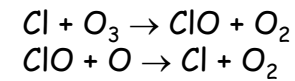
- Kältemittel in Kühlschränken, Klimaanlage
- Treibgas für Sprühdosen
- Feuerlöschmittel

- sehr beständig
- unbrennbar
- meist ungiftig
- geringe Toxizität

29



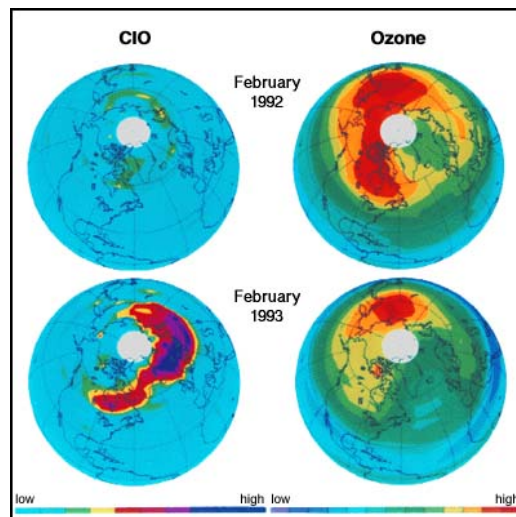
## Ozonreduktion



• *F. Sherwood Rowland, Mario Molina* 1974  
 • *Paul Crutzen* 1969

*Nobel Preis in Chemie* 1995

30



31



## 2. Das biologische Objekt



Empfindlichkeit des Objektes

- Wirkungsquerschnitt ( $\sigma$ )
- Spektralverteilung

Def.: **Wirkungsquerschnitt** ist die Fläche, die das biologische System bezüglich der gefragten Wirkung einem einfallendem Photon zeigt.



$$\frac{\text{Fläche}}{\text{auftreffendes Photon}} \rightarrow \frac{\text{cm}^2}{\text{Photon}}$$



32



## 2. Das biologische Objekt

Empfindlichkeit des Objektes ( $S$ )

- Wirkungsquerschnitt ( $\sigma$ )
- Spektralverteilung ( $S(\lambda)$ )

Def.: **Empfindlichkeit** ist der Reziprokwert der Energiedichte, die die betreffende biologische Wirkung hervorruft



$$\frac{\text{Fläche}}{\text{auftreffende Energie}} \rightarrow \frac{\text{cm}^2}{\text{mJ}}$$



33



## 2. Das biologische Objekt

Empfindlichkeit des Objektes ( $S$ )

- Wirkungsquerschnitt ( $\sigma$ )
- Spektralverteilung ( $S(\lambda)$ )

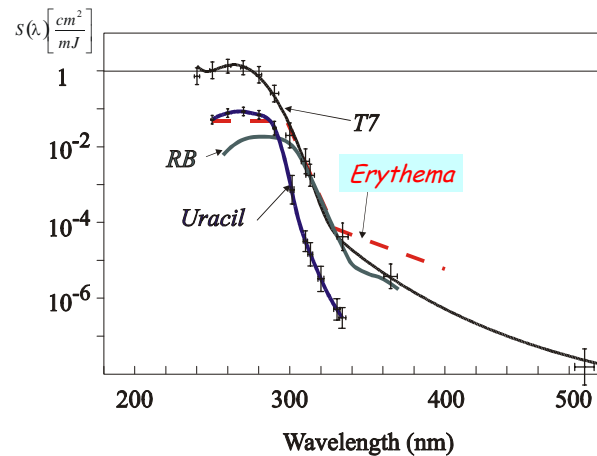
Def.: **Wirkungsspektrum** ist die Spektralverteilung der Empfindlichkeit

- in absolutem Wert:  
z.B. 250 J/m<sup>2</sup> Energiedichte bei  $\lambda = 280$  nm löst gerade die Hautröte (Erythem) bei Hauttyp II (germanischer Typ) aus  
→  $S(280) = 1/250 \text{ m}^2/\text{J}$
- in relativem Wert:  
bei der größten Empfindlichkeit  $S_{rel} = 1$   
dimensionslos

34



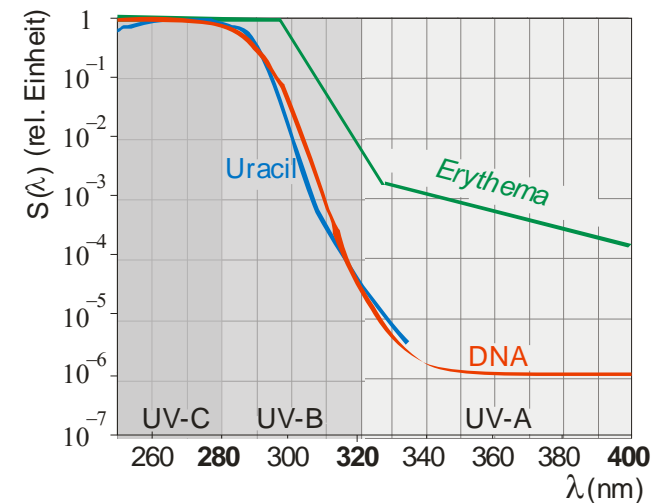
## Interessante Wirkungsspektren gegeben in absoluter Empfindlichkeit



35



## Interessante Wirkungsspektren gegeben in relativen Einheiten



36



## UV - Dosimetrie

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage  
International Commission on Illumination  
Internationale Beleuchtungskommission

### 1. Physikalische Dosis ( $D_{UV}$ ):

$$D_{UV} = E \cdot t$$

Bestrahlungsstärke      Expositionszeit

$$[D_{UV}] = [E] \cdot [t] = \frac{W}{m^2} \cdot s = \frac{J}{m^2}$$

37



## UV - Dosimetrie

CIE - Commission Internationale de l'Eclairage  
International Commission on Illumination  
Internationale Beleuchtungskommission

### 2. Biologisch wirksame Dosis (BED), $H$ :

$$H = t \cdot \sum_{\lambda} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Spektralverteilung der  
Bestrahlungsstärke

Spektralverteilung der  
Empfindlichkeit

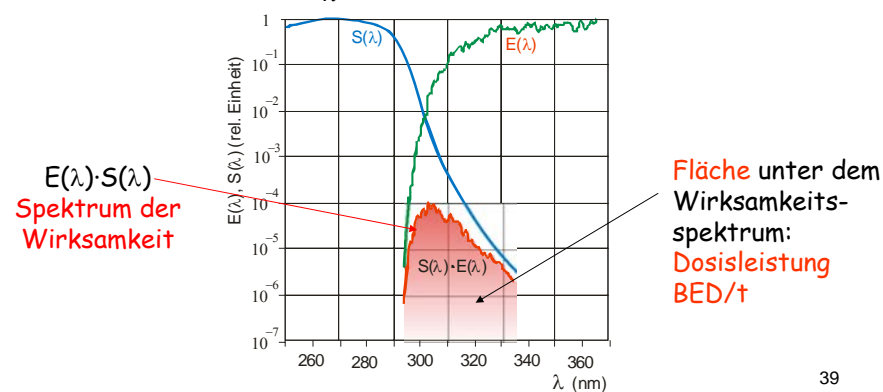
38



## UV - Dosimetrie

### 2. Biologisch wirksame Dosis (BED), $H$ :

$$H = t \cdot \sum_{\lambda} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$



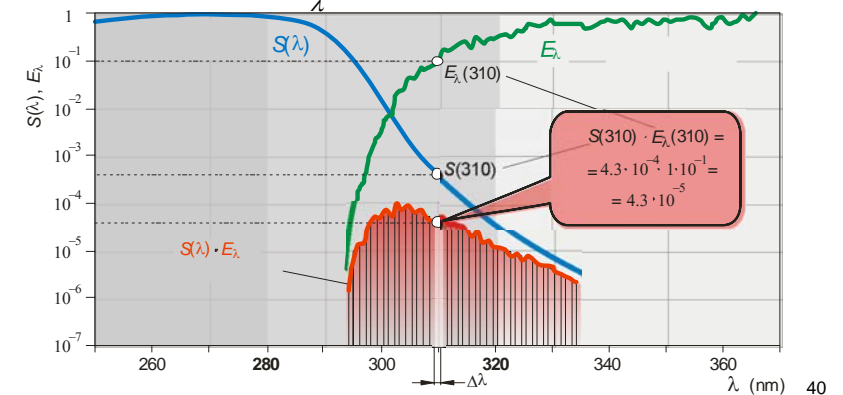
39



## UV - Dosimetrie

### 2. Biologisch wirksame Dosis (BED), $H$ :

$$H = t \cdot \sum_{\lambda} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$



40



## UV - Dosimetrie

### 2. Biologisch wirksame Dosis (BED), $H$ :

$$H = t \cdot \sum_{\lambda} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Einheit:

•  $S$  in  $\text{m}^2/\text{J} \rightarrow H$  dimensionslos

•  $S_{\text{relativ}} \rightarrow [H] = (\text{J}/\text{m}^2)_{\text{eff}}$

41



## Messung der BED

• Physikalische Methode  $\rightarrow$  Verfolgen der Ozonreduktion und UV-B Erhöhung

• Biologische Methode  
Auf DNA-Schädigung basierende Methode

+ Epidemiologie  $\rightarrow$  Gesundheitsrisiko

42



## Direkte Messung der BED

| Detector                       | Authors                             | Publication                        |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| <i>Simple organisms</i>        |                                     |                                    |
| B. subtilis spores UVSSP       | R.M. Tyrrell                        | 1978, Photochem. Photobiol.        |
| B. subtilis spores             | N. Munakata                         | 1981, Mutat. Res.                  |
| E. coli CSR06                  | D. Karentz, L.H. Lutze              | 1990, Limnol. Oceanography         |
| „DLR Biofilm“                  | L. Quintern, G. Horneck et al.      | 1992, Photochem. Photobiol.        |
| <i>Bacteriophage T7</i>        | <i>Gy. Rontó et al.</i>             | <i>1992, JPPB, B. Biol.</i>        |
| Bacteriophage $\Phi$ X174& DNA | J. Regan et al.                     | 1992, Photochem. Photobiol.        |
| Bacteriophage T1               | M. Sasaki et al.                    | 1993, J. Geomag. Geoelectr.        |
| <i>Model molecules</i>         |                                     |                                    |
| Polysulphone films             | A. Davis, G. Deane, B. Diffey       | 1976, Nature                       |
| Provitamine D                  | I. Terenetzka et al.                | 1994, SPIE Proc.                   |
| <i>Polycrystalline uracil</i>  | <i>P. Gróf, S. Gáspár, G. Rontó</i> | <i>1996, Photochem. Photobiol.</i> |

43



## Direkte Messung der BED

### *Bacteriophage T7*

$$H_{T7} = \ln \left( \frac{n}{n_0} \right) = t \cdot \sum_{\lambda} E(\lambda) \cdot S_{T7}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

$n/n_0$  – Überlebensrate

### *Polycrystalline uracil*

$$H_U = \ln \frac{OD_0 - OD_{\infty}}{OD(t) - OD_{\infty}} = t \cdot \sum_{\lambda} E(\lambda) \cdot S_U(\lambda) \Delta\lambda$$

OD – optische Dichte des Uracil-Dünnschichtes

44