

## Anhang: Formeln

### (1) Deklination $\delta$ in Abhängigkeit der Jahreszeit

$$\sin \delta = \sin(E) \cdot \sin(\epsilon)$$

$E = 23.4438^\circ$  (Ekliptikschiefe, nach Palmage 1976, zit. in Funk 1985)

$$= 279.9348^\circ + \omega + 1.914827^\circ \sin M - 0.079525^\circ \cos M + 0.019938^\circ \sin 2M - 0.001620^\circ \cos 2M$$

$$= \frac{d-1}{365} 360^\circ \quad (d: \text{Tag im Jahr})$$

### (2) Höhenwinkel $\gamma$ der Sonne in Abhängigkeit der Jahres- und Tageszeit

$$\sin \gamma = \cos \phi \sin \delta + \sin \phi \cos \delta \cos \alpha$$

Höhenwinkel über dem Horizont

Zenitwinkel

Geographische Breite

Deklination der Sonne

Stundenwinkel der Sonne:  $\alpha = 15^\circ \cdot (\text{WOZ/h} - 12)$

### (3) Differenz ZGL zwischen mittlerer und wahrer Ortszeit

$$\text{ZGL}(d) = -0.123570 \cdot \sin M + 0.004289 \cdot \cos M - 0.153809 \cdot \sin 2M - 0.060783 \cdot \cos 2M$$

$$= \frac{d-1}{365} 360^\circ \quad (d: \text{Tag im Jahr})$$

### (4) Differenz zwischen mittlerer Ortszeit und Zonenzeit

$$\text{MOZ} = \text{MZZ} \pm |L - L_{\text{zone}}| \cdot 4 \text{ min}$$

MOZ Mittlere Ortszeit am Standort des Beobachters

MZZ Mittlere Zonenzeit

L Längengrad des Standorts

$L_{\text{zone}}$  Längengrad, auf den sich die MZZ bezieht.

Das Pluszeichen in der Formel gilt für eine geographische Länge  $L$  östlich des Meridians  $L_{\text{zone}}$ .

### (5) Extraterrestrische Strahlung $I_0$ in Abhängigkeit der Jahreszeit

$$I_0 = I_0 \cdot (\bar{r}/r)^2$$

- $\bar{I}_0$  Solarkonstante (= 1.367 kW m<sup>-2</sup>)  
 $\bar{r}$  Mittlerer Abstand Erde–Sonne (= 149 504 000 km)  
 $r$  Aktueller Abstand Erde–Sonne (km)

$$r = \frac{\bar{r} (1 - ex^2)}{1 + ex \cos(\zeta)} \quad (\text{Blatter 1988})$$

- $r, \bar{r}$  Aktueller bzw. mittlerer Abstand Erde - Sonne  
 $ex$  Numerische Exzentrizität der Erdbahn (= 0.01674; Unsöld 1974)  
 $\zeta$  Winkel des Erdbahnvektors zum Periheldurchgang (Funktion des Tages im Jahr)

### (6) Linke Trübe $T_L$ in Abhängigkeit der Jahreszeit

$$T_L = 4.91 - 1.30 \cos \quad + 0.370 \sin \quad + 0.175 \cos 2 \quad + 0.208 \sin 2$$

$$= \frac{d-16}{365} 360^\circ \quad (d: \text{Tag im Jahr})$$

### (7) Deklination nach Volk (1998)

$$= 23.45^\circ \sin \frac{d+284}{365} 360^\circ \quad (d: \text{Tag im Jahr})$$

### (8) Strahlung an der Erdoberfläche $R_0$ nach Transmissionskoeffizient

$$R_0 = I_0 \tau^{m(t,z)}$$

- $R_0$  Strahlung an der Erdoberfläche auf die zum Strahlengang normale Ebene  
 $I_0$  Extraterrestrische Strahlung ( 1.367 kW m<sup>-2</sup>; siehe Formel 5)  
Transmissionskoeffizient der Atmosphäre (= 0.75)  
 $m(t,z)$  optische Luftmasse zum Zeitpunkt  $t$  auf Meereshöhe  $z$   
 $t$  Wahre Ortszeit und Tag im Jahr

$$m(t,z) = \frac{1}{\cos(\theta)} 1 - \frac{z}{ht} \quad (\text{Williams et al. 1973})$$

- $\theta(t)$  Zenitwinkel der Sonne zum Zeitpunkt  $t$   
 $z$  Höhe über dem Meer  
 $ht$ : Atmosphärische Dicke (10'000 m)

## (9) Strahlung an der Erdoberfläche $R_0$ nach Volk (1998)

$$R_0 = I_0 e^{-(1-\tau) m(t) (\rho(z)/\rho_0)}$$

- $R_0$  Strahlung an der Erdoberfläche auf die zum Strahlengang normale Ebene  
 $I_0$  extraterrestrische Strahlung (  $1.367 \text{ kW m}^{-2}$ ; siehe Formel 5)  
 $\tau$  Transmissionskoeffizient der Atmosphäre (= 0.75)  
 $m(t)$  Optische Luftmasse zum Zeitpunkt t

$$m(t) = \frac{1}{\cos(\theta)} + \frac{a}{(90^\circ - \theta + b)^c} \quad (\text{Kasten \& Young; zit. in Volk 1998})$$

- $\theta(t)$  Zenitwinkel der Sonne zum Zeitpunkt t  
 $t$  Wahre Ortszeit und Tag im Jahr  
a, b, c Empirische Konstanten (a=0.50572, b=6.07995, c=1.6364)

$$\frac{\rho(z)}{\rho_0} = e^{\frac{-0.033675 z}{288 - 0.00325 z}}$$

- $\rho(z)$  Luftdruck auf Höhe z (in m)  
 $\rho_0$  Luftdruck auf Meeresniveau

### Literatur

- Blatter, H. (1988) Sonnenbahn und Zeitmessung. Ausgewählte astronomische Grundlagen. *Berichte und Skripten, Geographisches Institut der ETH Zürich*, **5**, 1–31.  
Funk, M. (1985) Räumliche Verteilung der Massenbilanz auf dem Rhonegletscher und ihre Beziehung zu Klimaelementen. *Zürcher Geographische Schriften*, **24**, 1–183.  
Unsöld, S. (1974) *Der neue Kosmos*. Springer, Berlin et al., 438 S.  
Volk, G. (1998) RADCALC. <http://bzgserver.boku.ac.at/volk/radcalc1/index.htm>