



SYSTECH J.Schnyder GmbH

Schliefweg 30
CH-4106 Therwil
Telefon 091 827 15 87
www.systech-gmbh.ch

Berechnung der Sonnenbahn

Nach Prof. Dr. Paul Wirz
Bearbeitet von Jörg Schnyder

V 0.1

Inhalt

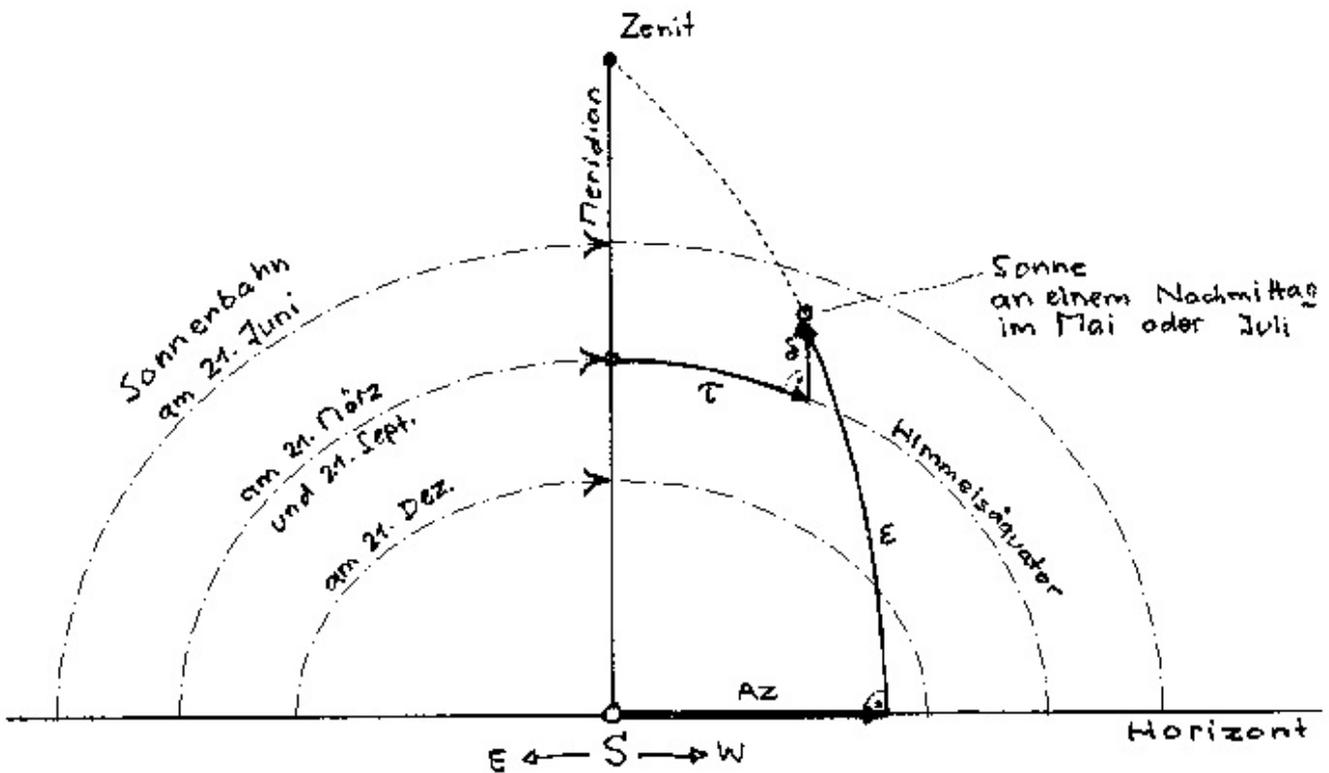
Vorwort.	2
Erklärungen.	2
Berechnungen.	3
Deklination der Sonne.	3
Stundenwinkel.	3
Azimut und Höhe.	3
Einstrahlungs-Winkel.	5

Vorwort

Angeregt durch eine Projektarbeit hat Prof. Dr. Paul Wirz seine Überlegungen zur Berechnung der Sonnenbahn in einem Brief vom Februar 2006 an Jörg Schnyder dargelegt. Da diese sicherlich für andere Interessierte von Nutzen sein können, sind diese hier leicht überarbeitet wiedergegeben.

Erklärungen

Zeichnung 1 dient zum Erklären der verwendeten Begriffe. Man blickt gegen Süden zum Himmel. Die Zeichnung ist nicht massstäblich; es ist bekanntlich unmöglich, eine Kugelfläche ohne Verzerrung in eine Ebene abzubilden.

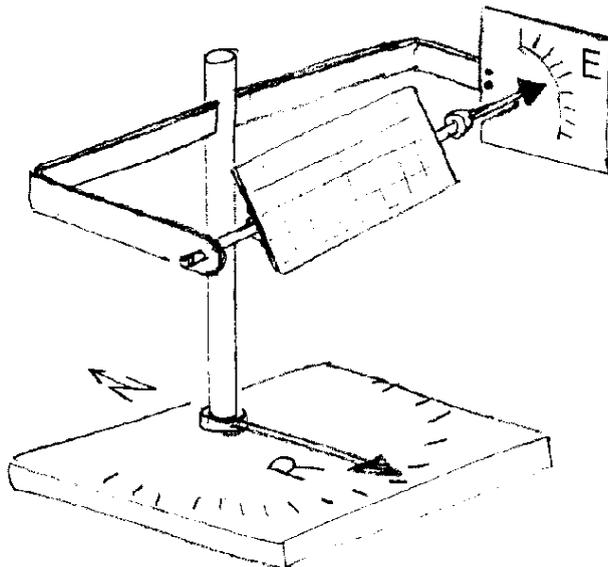


Zeichnung 1

- τ:** Stundenwinkel (in Grad längs Himmelsäquator) zur Berechnung siehe weiter unten)
- δ:** Deklination der Sonne (in Grad über dem Himmelsäquator; zur Berechnung siehe weiter unten)
- Az:** Azimut (in Grad längs Horizont; positiv gegen Osten gezählt; entgegen der astronomischen Praxis)
- ε:** Höhe (in Grad über dem Horizont)

Die nebenstehende Zeichnung 2 soll zeigen, wie die "Blickrichtung" eines Sonnenpanels durch Wahl der Richtung **R** und der Elevation **E** bestimmt ist.

Zum optimalen Ausrichten auf die Sonne muss die Richtung **R** gleich dem Azimut **Az**, die Elevation gleich der Höhe ϵ der Sonne eingestellt werden.



Zeichnung 2

Berechnungen

Deklination der Sonne

Die *Deklination δ der Sonne* ändert sich im Laufe des Jahres ungefähr nach einer Sinusfunktion (oder, je nach Wahl des "Startzeitpunktes" nach einer Cosinusfunktion). Bei Start am 21. Dezember gilt:

$$\delta = -23,5^\circ \cdot \cos\left(360^\circ \cdot \frac{d}{365,24}\right)$$

wobei d die Nummer des Tages bezeichnet, gezählt vom 21. Dezember an.

Stundenwinkel

Zum Berechnen des *Azimuths Az der Sonne* wird der Stundenwinkel τ benötigt. Für den vorliegenden Fall genügt es, eine gleichförmige Bewegung der Sonne in ihrer Bahn anzunehmen, so dass der Stundenwinkel in 24 Stunden um 360° zunimmt:

$$\tau = 180^\circ - h \cdot 15^\circ$$

mit h : Stunde, Vorzeichen von τ positiv gegen Osten

Azimut und Höhe

Aus Stundenwinkel und Deklination der Sonne finden wir nun Azimut **Az** und Höhe ϵ der Sonne wie folgt:

Es bedeuten: β : geografische Breite des Aufstellungsortes
 τ : Stundenwinkel
 δ : Deklination

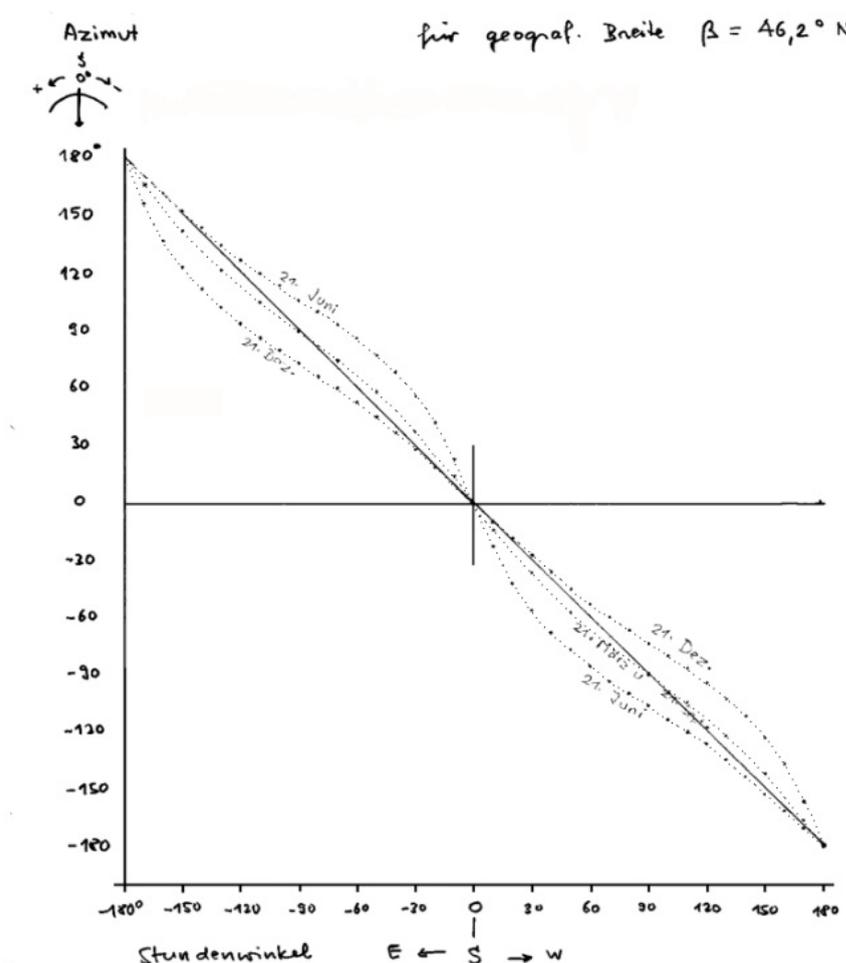
$$\varepsilon = \arcsin(\sin \beta \cdot \sin \delta + \cos \beta \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau)$$

$$Az = \arcsin\left(-\frac{\cos \delta \cdot \sin \tau}{\cos \varepsilon}\right)$$

Man beachte, dass die arcsin-Funktion zweideutig ist! Wenn man sich über den richtigen Quadranten nicht aus der Anschauung im Klaren ist, hilft die ebenfalls zweideutige Funktion

$$Az = 180^\circ - \arccos\left(\frac{\sin \delta - \sin \beta \cdot \sin \varepsilon}{\cos \beta \cdot \cos \varepsilon}\right)$$

In Zeichnung 3 ist die Funktion $Az = f(\tau)$ mit dem Datum (also eigentlich mit der Deklination δ) als Parameter für die Geografische Breite von Castaneda ($\beta = 46,2^\circ$ Nord) dargestellt.



Unter Benützung der vom Datum und von der Tageszeit abhängigen Werte von **Az** und **ε** kann man nun z.B. mit einem Theodoliten - oder eben mit dem Solarpanel - die Sonne anvisieren.

Einstrahlungs-Winkel

Im vorliegenden Zusammenhang ist es nun wichtig, den (am Himmel gemessenen) Winkel **ζ** zwischen der Richtung zur Sonne und der "Blickrichtung" des Solarpanels zu kennen, denn die wirksame Einstrahlung nimmt mit dem Cosinus dieses Winkels ab. Es gilt

$$\cos \zeta = \sin \varepsilon \cdot \sin E + \cos \varepsilon \cdot \cos E \cdot \cos(Az - R)$$

- mit **Az**: Azimut der Sonne (von der Südrichtung aus gegen Osten positiv gezählt)
ε: Höhe der Sonne über dem Horizont
R: Richtung der Senkrechten zum Panel (vgl. Zeichnung 2; von der Südrichtung aus gegen Osten positiv gezählt)
E: Elevation der Senkrechten zum Panel (vgl. Zeichnung 2; bei senkrechten

Montiert man z.B. ein Panel fix an einer genau Ost-Wert verlaufenden senkrechten Wand, so "blickt" das Panel in horizontaler Richtung nach Süden und es sind $R = 0$ und $E = 0$. Die Formel für $\cos \zeta$ lautet dann einfach

$$\cos \zeta = \cos \varepsilon \cdot \cos Az$$

So, das waren einige meiner Gedanken zum Problem.

Luzern, 8. Februar 2006 Dr. P. Wirz

Castaneda 12. Januar 2008 J. Schnyder (Bearbeitung)