1.6 Sonnenstand und Dämmerungshelligkeit

Häufiger als man gemeinhin glaubt, ist die Sonnenstellung ein unfallverursachender Faktor und zwar durch

- (mittelbare) Blendung
- Schattenwurf
- Aufhellen von Ampelsignalen.

Darüber hinaus gilt es gelegentlich die Frage zu klären, ob es zum Unfallzeitpunkt bereits dunkel war, bzw. welche Resthelligkeit während der Dämmerungsphase vorlag. Die Berechnung der Sonnenposition und daraus abgeleiteter Effekte wie Schattenwurf und Resthelligkeit ist deshalb eine geläufige Aufgabe für den Unfallanalytiker. Bei genauerer Betrachtung zerfällt das Problem in mehrere Teile:

- Ermitteln der Sonnenposition abhängig von der wahren Ortszeit
- Berechnen der wahren Ortszeit aus der Standardzeit
- ggf. Berechnen der Resthelligkeit anhand der Sonnenhöhe
- Konstruktion des Schattenwurfs.

Diese Problemstellungen werden wir im Folgenden der Reihe nach angehen. Ein weiteres Problem sei allerdings im Vorfeld nicht verschwiegen: Das Bestimmen des Unfallzeitpunkts. Speziell Betrachtungen zur Dämmerungshelligkeit kranken oft daran, dass die Angaben betreffend den Unfallzeitpunkt nicht genau genug sind, sodass die Schwankungsbreite der berechneten Werte groß wird.

Angesichts dieser Unsicherheit werden wir bei den astronomischen Beziehungen jeweils nur die erste Näherung angeben. In der Literatur sind demgegenüber meist ausgefeiltere Betrachtungen mit Korrekturen höherer Ordnung zu finden, die jedoch das hier geforderte grundlegende Verständnis unnötig erschweren.

1.6.1 Berechnen der Sonnenposition

1.6.1.1 Geometrische Beziehungen

Wir setzen die wahre Ortszeit, d.h. diejenige Zeit, bei der die Sonne tatsächlich mittags ihren höchsten Punkt erreicht, zunächst als bekannt voraus. Dies erspart uns das längliche Vorgeplänkel betreffend die notwendigen Zeitkorrekturen, die in den gängigen Abhandlungen des Problems meist vorausgeschickt werden. Die **wahre Ortszeit** ist diejenige Zeit, die von einer Sonnenuhr angezeigt wird und ist aus den in Abschnitt 1.6.1.2 noch zu behandelnden Gründen nicht mit der gängigen Uhrzeit, der **gesetzlichen Zeit**, identisch.

Das Berechnen der Sonnenhöhe zur Mittagszeit ist eine vergleichsweise einfache Aufgabe. Bekanntermaßen steht die Erdachse nicht senkrecht auf der Erdbahnebene, d.h. der Ebene, in der sich die Erde um die Sonne dreht, der sog. **Ekliptik**, sondern schließt mit deren Senkrechten einen Winkel von 23°26′ ein (sog. **Schiefe der Ekliptik**). So kommt es, dass die nördliche Hemisphäre der Sonne im Sommer zugewandt und im Winter von ihr abgewandt ist, Abb. **1.6.1**. Die **Deklination** ist der Winkel, den die Erdachse mit der Oberfläche eines von der Erdumlaufbahn aufgespannten Zylinders einschließt.

Die Deklination beträgt bei Frühlings- und Herbstanfang 0° und erreicht bei Sommer- und Winteranfang ihre Maxima von ±23°26′. Dazwischen folgt der Verlauf einer Sinuslinie. Die Deklination δ lässt sich also aus dem zeitlichen Abstand zum Frühlingsbeginn (21.03., der 80,09-te Tag des Jahres) berechnen. Mit T als Anzahl der Tage seit Jahresbeginn gilt

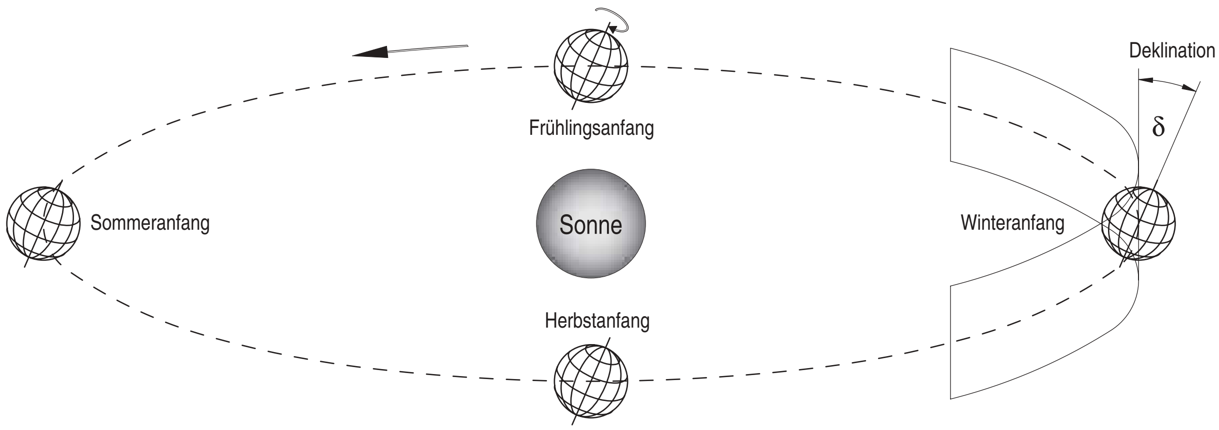

Abb. 1.6.1: Die Erdachse ist gegenüber der Erdumlaufbahn geneigt. Dies führt u.a. zu den Jahreszeiten. Die Erde dreht sich gegen ihre Umlaufrichtung um die Sonne.

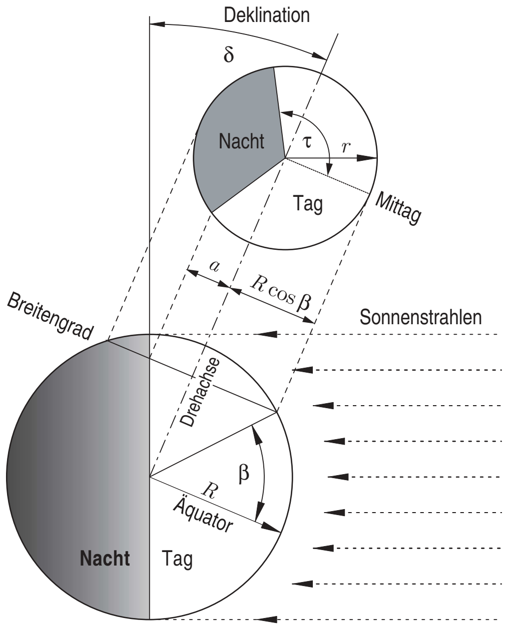

Abb. 1.6.2: Ermitteln der Tageslänge abhängig von Deklination und Breitengrad

$$\delta \;=\; 23{,}45° \;\sin\left[\frac{2\pi}{365{,}2425}(\,T - 80{,}09)\right] \qquad (1.6.1)$$

Unter einem Jahr verstehen wir hier wie im Folgenden den Zeitbedarf für einen vollen Sonnenumlauf, der im Mittel 365,2425 Tage (= 365 + ¼ – $^{3}/_{400}$) benötigt. (Das Schaltjahr fällt alle hundert Jahre aus, wird aber alle 400 Jahre dennoch eingefügt – eine Regelung, die im Jahr 2000 sicher zahlreiche Software-Fehler verhindert hat.) Ein **gregorianisches Jahr** hat damit 31.556.952 Sekunden. Die letzte noch an astronomischen Ereignissen orientierte Definition der SI-Sekunde bestimmte diese als den Bruchteil 1/31.556.925,9747 des Sonnenumlaufs (**Tropischen Jahres**) 1900 – womit wir jetzt in diesem Abschnitt um die Zeit- und Kalenderrechnung doch nicht ganz herum gekommen sind.

Das Berechnen des Sonnenhöchststands ζ am Mittag abhängig von Deklination δ und Breitengrad β ist eine einfache Übung

$$\zeta \;=\; 90° - \beta + \delta \qquad (1.6.2)$$

Auch die Tageslänge, gemessen als Drehwinkel τ gegenüber der Südrichtung, wird nur von Deklination und Breitengrad beeinflusst, Abb. **1.6.2**. Der Drehradius *r* gegenüber der Erdachse entspricht am Äquator dem Erddurchmesser *R*, ansonsten

$$r \;=\; R\cos\beta \qquad (1.6.3)$$

Der Abstand *a* der Schattenline von der Erdachse wächst mit dem Abstand vom Äquator. Der Drehwinkel bei Sonnenauf- und -untergang ergibt sich damit aus der Bedingung

$$\cos\tau \;=\; a/R \;=\; \sin\beta\tan\delta \qquad (1.6.4)$$

Dieser Winkel lässt sich leicht in Stunden vor bzw. nach Mittag umrechnen und so die zugehörige wahre Ortszeit ermitteln. Allerdings unterscheidet sich die so berechnete Sonnen-

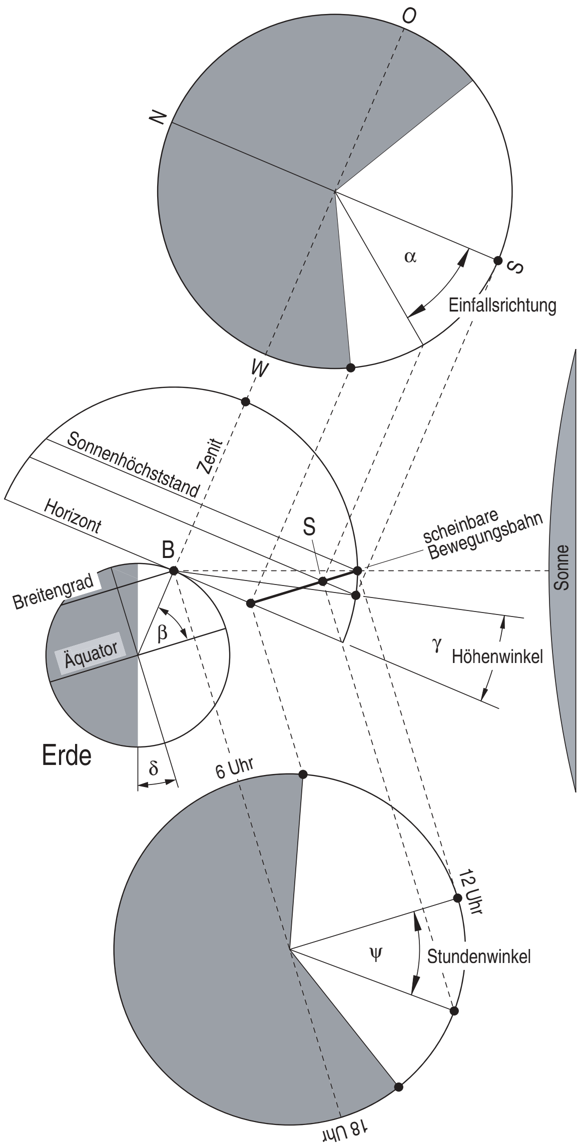

Abb. 1.6.3: Ermitteln einer beliebigen Sonnenposition

untergangszeit (nachdem man sie auf die gesetzliche Zeit umgerechnet hat) von derjenigen, die man in Tabellenwerken findet. Denn als Sonnenuntergang wird genau genommen derjenige Zeitpunkt verstanden, zu dem der Sonnenrand (und nicht ihr Mittelpunkt) am Horizont verschwindet. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich der Sonnenmittelpunkt bereits 50′ (0,83°) unter dem Horizont, ein Effekt der zu zwei Dritteln durch die atmosphärische Brechung verursacht wird und zu einem Drittel durch den scheinbaren Sonnenradius von 13,3′ (0,22°).

Für die Berechnung einer beliebigen Sonnenposition, beschrieben durch die Einfallsrichtung α gegenüber der Südrichtung (**Azimut**) und den **Höhenwinkel** γ, wechseln wir am Besten auf das erdfeste Bezugssystem, Abb. **1.6.3**. Der erdfeste Beobachter B, der auf dem Breitengrad β steht, sieht das Himmelsgewölbe parallel zur Erdachse um sich kreisen. Parallel zum Äquator spannt sich über ihm der **Himmelsäquator**. Sämtliche Sterne, die Sonne eingeschlossen, bewegen sich auf Kreisbahnen parallel zum Himmelsäquator, pro Stunde um 15°, bezogen auf die Erdachse. Der Durchmesser dieser Kreisbahnen nimmt ab, je weiter man sich der Süd- oder Nordrichtung nähert, bis hin zum Polarstern, der genau im Norden zu finden ist und deshalb stillsteht.

Nehmen wir der Anschaulichkeit halber an, Abb. **1.6.4**, der Radius des Himmelsgewölbes sei R, dann beträgt der Radius der Sonnenbahn $R \cos \delta$ (Kreis 2). Auf diesem Hilfskreis tragen wir den Stundenwinkel ψ an und projizieren ihn zurück auf die scheinbare Bewegungsbahn der Sonne in den Punkt S. Für diesen Punkt gilt es nun, Höhenwinkel γ und Azimut α zu bestimmen.

Der Betrachter, der in Richtung Sonne S blickt, sieht sie in der Höhe h über dem Horizont. Diesen Punkt projizieren wir wieder auf die Himmelskugel in den Punkt H. Der Höhenwinkel γ ergibt sich nun aus der Verbindung des Standpunkts B mit dem Punkt H. Um die Einfallsrichtung zu ermitteln, spannen wir einen zur Horizontebene parallelen Hilfskreis 3 durch den Punkt H auf, projizieren darauf den Punkt S und ermitteln so die Einfallsrichtung α.

Soweit die grafisch-anschauliche Lösung des Problems, doch wird man heutzutage eher der rechnerischen Lösung zuneigen. Diese ergibt sich unmittelbar aus der grafischen Lösung. Wir ermitteln zunächst die Höhe h über dem Horizont. Offensichtlich gilt (Kreis 1)

$$c + e = R \cos \delta \cos \psi \tag{1.6.5}$$

sowie (Kreis 1)

$$c = R \sin \delta \tan \beta \tag{1.6.6}$$

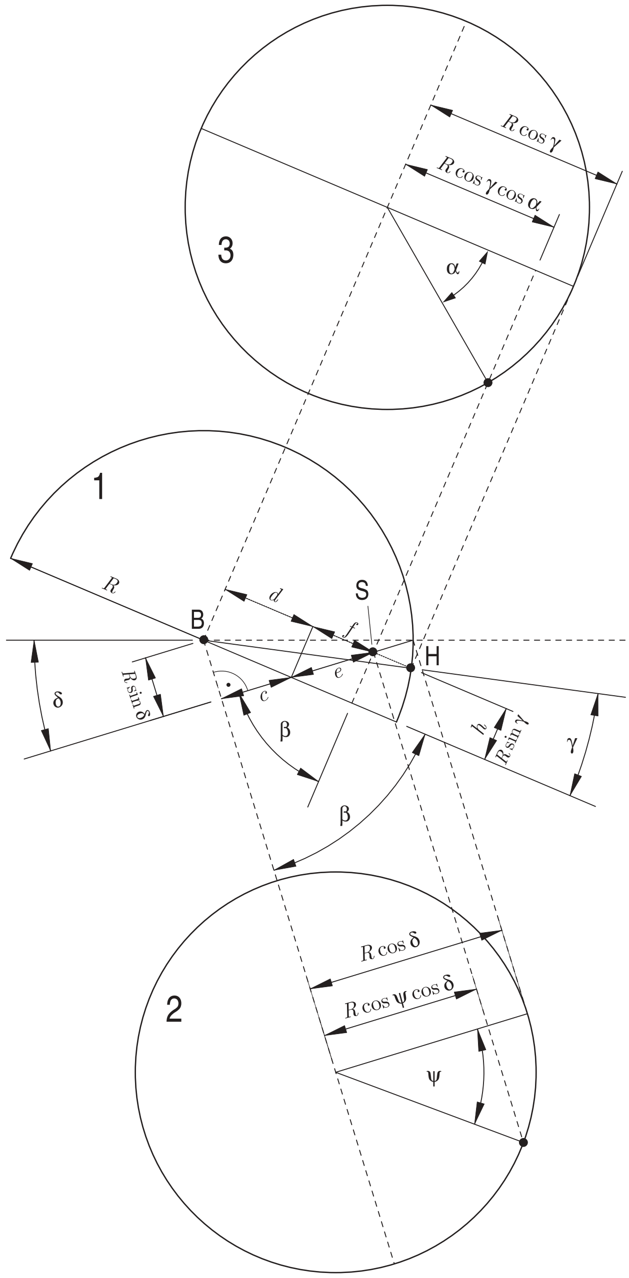

Abb. 1.6.4: Winkelbeziehungen für die Berechnung der Sonnenposition
Die Situation ist dieselbe wie in Abb. 1.6.3