

Herleitung und Einbau der Photosyntheseparameter in das Modell

Sie haben an den Jungpappeln die Nettophotosynthese (NP) bei verschiedenen Lichtintensitäten (Photonenflußdichten, PAR) gemessen. Tragen Sie die Meßwerte eines Blattes gegeneinander auf (Abszisse PAR, Ordinate NP), so erhalten Sie die sogenannte Lichtantwortkurve (Abb. 9):

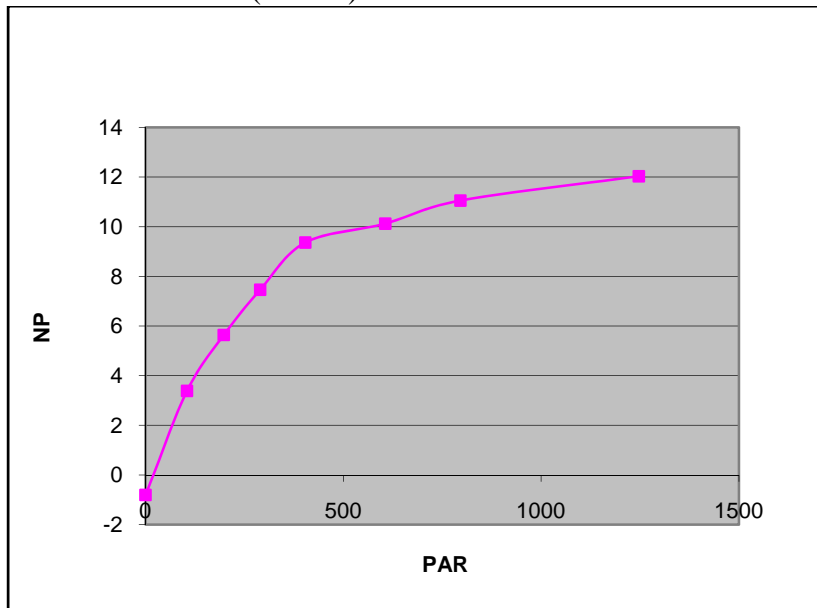


Abb. 9 Lichtantwortkurve für ein gemessenes Blatt

Wir wollen aus dieser Kurve die drei Parameter, f_{max} (maximale Photosynthese), pe (photosynthetische Effizienz) und rd (Dunkelatmung) ableiten. f_{max} entspricht hierbei der Asymptote der Kurve, pe der Steigung bei den niedrigsten Lichtintensitäten, und rd dem Ordinatenabschnitt, d.h. dem NP-Wert bei Dunkelheit (PAR = 0). Die Form dieser Kurve läßt sich mit dem folgenden Modell abbilden, wodurch wir auch direkt die drei gewünschten Parameter erhalten:

$$y = y_0 + a(1 - e^{-bx})$$

($y_0 = rd$, $a = f_{max}$, $b = pe$).

Für die obige Kurve erhalten wir die folgenden Werte:

$rd = -0.7419$ (DARK_RESPIRATION_RATE)

$f_{max} = 12.6572$ (FMAX)

$pe = 0.0036$ (PHOTO_EFFICENCY)

Die Nettophotosynthese wird in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ gemessen und manchmal auch als Carbon Exchange Rate (CER) bezeichnet, weil es die Rate bezeichnet, mit der das Kohlendioxid aus der Luft in photosynthetisch fixierte Triglyzeride umgewandelt wird.

Die Beziehung zwischen CER und der Photonendichte (PPFD, entspricht weitgehend der PAR) lässt sich nun durch die folgende Gleichung darstellen:

$$CER = \frac{((F_{max} + Rd) * Pe * PPFD)}{(Pe * PPFD) + F_{max} + Rd} - Rd$$

Da uns alle Kenngrößen bekannt sind, können wir nun hiermit im Prinzip die CER für beliebige PPFD berechnen. Was uns nun noch fehlt, sind tatsächliche Eingabewerte für die PPFD, z.B. ein typischer Tagesgang im Freiland oder im Gewächshaus. Solche Tagesgänge liegen meist mit einer Auflösung von einer Stunde vor, d.h. es gibt 24 Werte pro Tag (unsere Formel berechnet zwar die CER pro Sekunde, die Messung der PPFD wäre allerdings mit dieser hohen zeitlichen Auflösung sehr unpraktisch). Die folgende Abbildung (Abb. 10) zeigt einen typischen Tagesgang der PPFD für das Freiland:

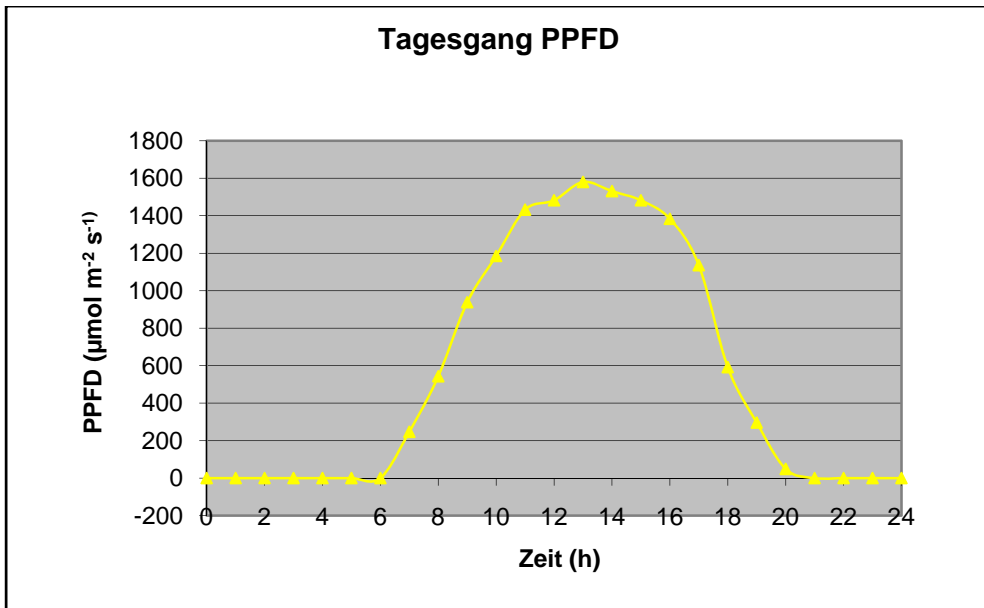


Abb. 10. Tagesgang der PPFD (nach Host et al. 1990, verändert).

Pro Stunde gibt es einen Eintrag, der das Mittel aus mehreren Messungen darstellt.

Die Photosyntheseleistung eines Blattes ist nun nicht nur von der Lichtstärke abhängig, sondern auch von seinem Entwicklungszustand und von der Temperatur. Betrachten wir zunächst den Entwicklungszustand des Blattes. Nach Host et al. (1990) kann man vier Zustände (Maturity Code, MC) unterscheiden, die sich allesamt in ihren Photosyntheseparametern unterscheiden, und die auch genau anhand ihrer LPI's bestimmt werden können:

- MC 1: unreif (expandierend) (LPI 0-9)
- MC 2: gerade entwickelt (LPI 10-12)
- MC 3: reif (LPI 13-15)
- MC 4: überreif (LPI 16-21, und darüber)

Die folgende Abbildung (Abb. 11) zeigt die Lichtantwortkurven für die vier Zustände. Deutlich ist zu erkennen, dass unreife und überreife Blätter (MC 1 und 4) schlechtere PS-Kennwerte aufweisen als reife und frisch entwickelte (MC 2 und 3).

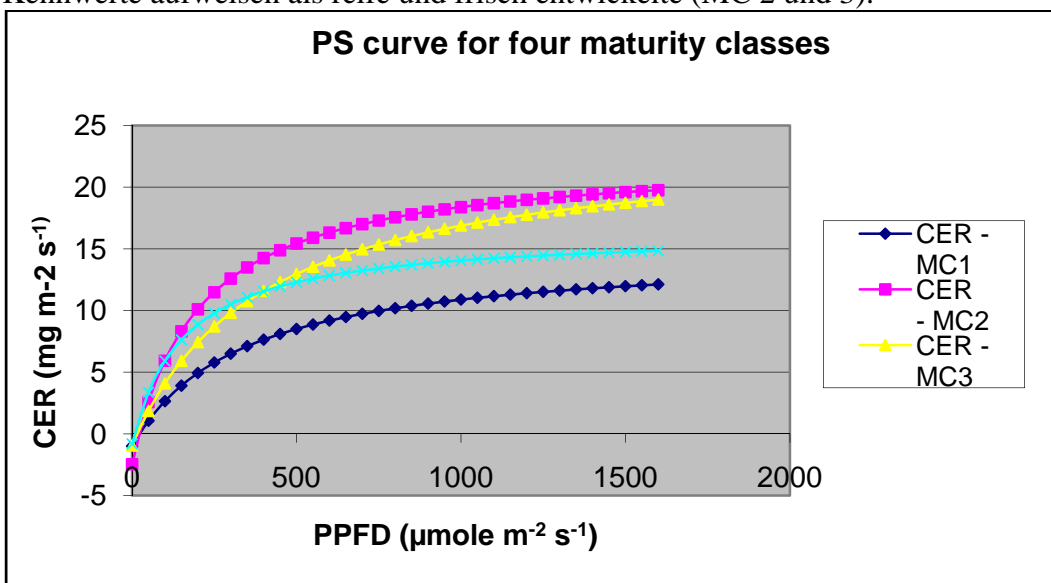


Abb. 11: Lichtantwortkurven für die vier verschiedenen Entwicklungszustände des Blattes (nach Host et al. 1990, verändert).

Für die Tagesgänge der Photosynthese ergibt sich ein ganz ähnliches Bild (Abb. 12), hier erkennt man aber auch ganz gut, dass die Dunkelatmung bei den leistungsfähigsten Blättern (MC 2) relativ hoch ist:

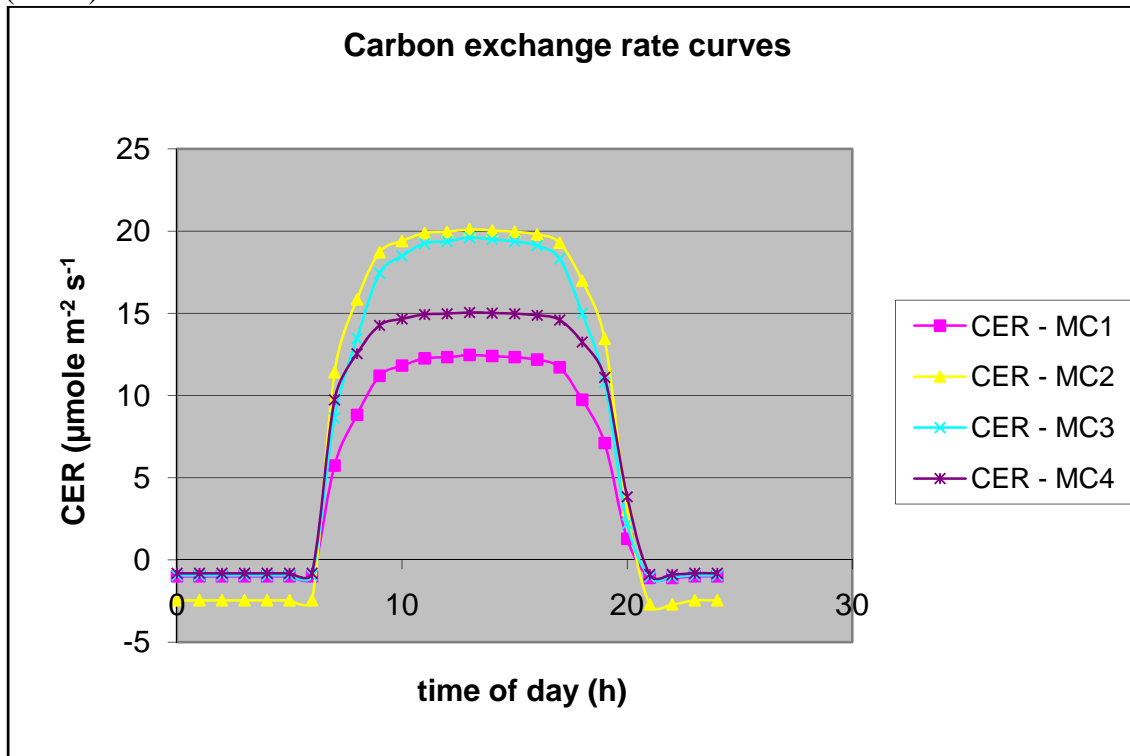


Abb. 12: Tagesgänge der Nettophotosynthese (als CER) für die vier verschiedenen Blattentwicklungszustände (nach Host et al. 1990, verändert)

Nun ist die Photosyntheseleistung eines Blattes aber auch noch von der Temperatur abhängig, die ja auch über den Tag variiert. Schauen wir uns mal einen typischen Tagesgang der Temperatur an (Freiland, im Sommer, Abb.13):

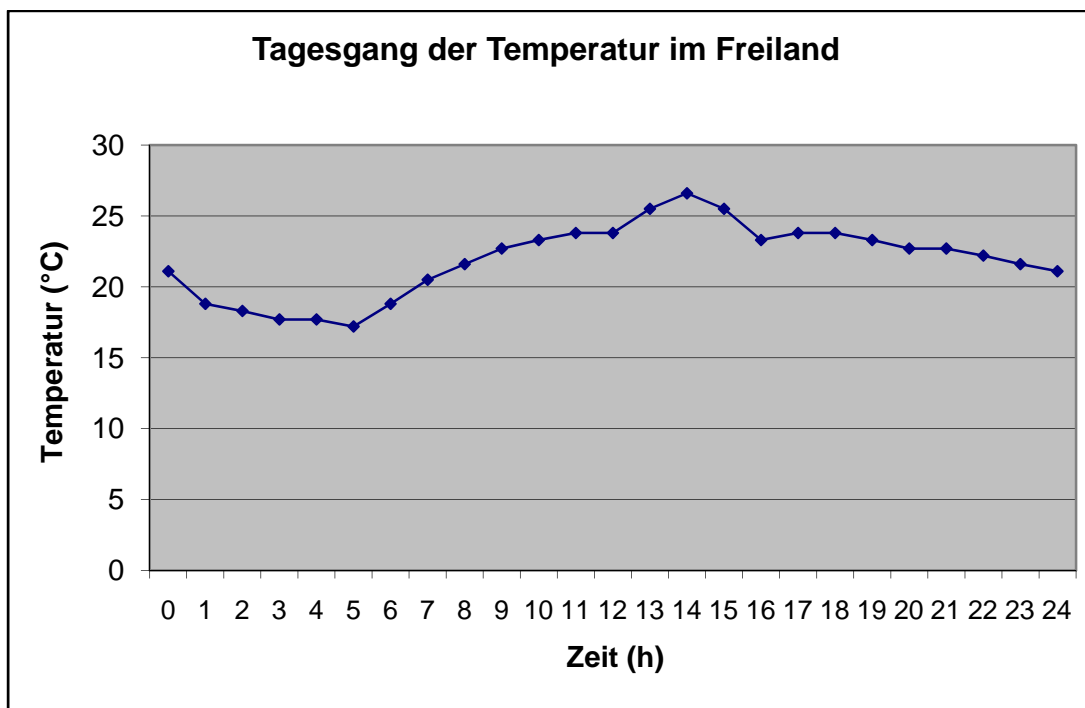


Abb. 13: Tagesgang der Temperatur im Freiland (nach Host et al. 1990, verändert)

Obwohl die Temperatur hier nicht viel variiert, wird man sie wohl oder übel berücksichtigen müssen, denn sie hat Auswirkungen auf die Parameter rd (Dunkelatmung: höher bei höheren Temperaturen) und f_{max} (maximale Photosyntheseleistung bei höchster Lichtstärke: Optimum der Photosynthese bei 28 bis 32°C, darunter oder darüber suboptimal).

Wir erweitern nun unsere Gleichung für die vier Entwicklungszustände (MC 1 bis 4) und die Temperatur:

$$CER = \frac{((F_{max}(MC) * C_{PS}(T) + Rd(MC) * C_{Rd}(T)) * Pe(MC) * PPF D) - Rd(MC) * C_{Rd}(T))}{(Pe(MC) * PPF D) + F_{max}(MC) * C_{PS}(T) + Rd(MC) * C_{Rd}(T)}$$

Wenn wir nun wissen wollen, wie viel Photosynthese ein Blatt pro Tag betreibt, so müssen wir die Fläche des Blattes berücksichtigen. Es ergibt sich, dass

$$PS = f(a, MC, ppfd, T)$$

mit a = Blattfläche (m²)

Die Gesamtleistung lässt sich annähernd als Summe der stündlichen Durchschnittsleistungen beschreiben:

$$PS = \sum_{t=1}^{24} CER(ppfd_t, T_t, mc) * a * 3600 * uf * \frac{1}{1000}$$

wobei $uf = \frac{44.01 * 10^{-6} * 180.162}{264.06}$ ein Umrechnungsfaktor ist, der das mol-Gewicht von CO₂

in Gramm Glucose umrechnet (Erklärung: 1 μmol CO₂ hat eine Masse von 44.01*10⁻⁶g, 1 mol Glucose entspricht 180.162 g, 6 mol CO₂ werden benötigt für die Produktion von 1 mol Glucose: 6 * 44.01 g = 264.06 g). Anschließend erfolgt eine Umrechnung auf die SI-Einheit Kilogramm.

Die Funktionen für die Nettophotosynthese (bzw. CER) und die Tagessumme der Photosynthese (PS) sind bereits im Modell implementiert.