

1. Aufgabenstellung

Simulieren Sie die Photosyntheserate eines Kronenbereiches, der homogen mit Nadeln in sphärischer Anordnung gefüllt ist und untersuchen Sie die Gesetzmäßigkeiten, nach denen Struktur und Physiologie die CO₂-Aufnahme des Kronenausschnittes beeinflussen.

Beschränken Sie sich zunächst einmal auf direkte Strahlung, ("schwarze" Blätter, Lambert-Beer'sches Gesetz).

Die Photosynthese beschreiben Sie mit der Lichtantwortfunktion nach Thornley 1976. Unterteilen Sie den Kronenraum in Schichten a 0.1 m² Blattfläche pro m² Grundfläche, der Blattflächenindex sei 4 m²/m².

In der Diskussion aufzugreifende Fragen:

1. Welche Auswirkungen hat die Schichtdicke auf die Ergebnisse der Simulation?
2. Wie groß ist die relative PAR-Absorption in Abhängigkeit von LAI und Sonnenwinkel für diffuse und für direkte Strahlung?
3. Welche Beziehungen sehen Sie zwischen LAI und Brutto-Photosynthese (GPR)?
4. Welche Unterschiede bewirkt die diffuse Strahlung in der Beziehung zwischen GPR und LAI?
5. Welche Beziehungen sehen Sie zwischen LAI und Netto-Photosynthese?
6. Welche Auswirkungen hätte eine Klumpung von Blattfläche auf die Ergebnisse der Simulationen?
7. Was würde sich ändern, wenn die Blätter nicht schwarz wären?
8. Fassen Sie die problematischen Vereinfachungen in dem Vorgehen zusammen.

2. Methode der Auswertung

2.1 Die Theorie

Die Photosynthese kann mit der Lichtantwortfunktion nach Thornley beschrieben werden. Damit wird die Brutto-Photosynthese in Abhängigkeit von der Photonenflussdichte berechnet, weil die Photonen unabhängig ihrer Energiegehalte wirken.

$$GPR = \frac{(\alpha \cdot I + P_{\max}) - \sqrt{(\alpha \cdot I + P_{\max})^2 - 4\alpha \cdot I \cdot P_{\max} \cdot \theta}}{2\theta}$$

GPR – Brutto-Photosynthese

α – Lichtausnutzungseffizienz

I – Photonenflussdichte

P_{\max} – maximale Photosyntheserate

θ – Parameter für die Krümmung der Hyperbel

Die Netto-Photosynthese (NPR) ergibt sich, indem von der Brutto-Photosynthese (GPR) die Atmungsrate (R_d) abgezogen wird, welche als konstant für den gesamten Kronenraum angesehen wird:

$$\text{NPR} = \text{GPR} - R_d$$

Da die Blätter des betrachteten Kronenbereiches als schwarz angesehen werden, wird davon ausgegangen, dass die auf die Blattfläche auftreffende Strahlung vollständig absorbiert wird. Dadurch werden die Vorgänge Transmission und Reflexion vernachlässigt. Da eine Fichtenadel etwa 90% der auf sie treffenden Strahlung absorbiert, ist diese Näherung für diese Modellbetrachtung durchaus geeignet.

Die Photonen die auf die Krone treffen werden nur von dem Teil der Blattfläche die der Strahlung zugewendet ist absorbiert, also die senkrecht zur Strahlungsausbreitungsrichtung projizierte Fläche. Deswegen muss die Projektionsfläche der Blätter bestimmt werden.

Diese Fläche ist in der Regel kleiner als die Gesamtfläche. Das Verhältnis von projizierter zur gesamten Fläche wird als Extinktionskoeffizient (k) bezeichnet. Mit diesen Extinktionskoeffizienten kann beschrieben werden, wie die Strahlung abnimmt, wenn sie tiefere Blattschichten erreicht. Er ist abhängig von dem Sonnenwinkel und dem Blattstellungswinkel. Dieser wird in Azimutal- und Vertikalrichtung, der Aufgabenstellung nach, als gleichverteilt angesehen, daher wird bei dem betrachteten Kronenbereich vereinfacht von einer Kugel ausgegangen.

Da in dieser Aufgabe von schwarzen Blättern ausgegangen wird, ist die Strahlungsabschwächung in einer Schicht proportional zu k . Sie wird mit der nachfolgenden Gleichung beschrieben:

$$\frac{\partial I}{\partial L} = -k \cdot I_L$$

I_L – Photonenflussdichte

L – Blattflächenindex der durchstrahlten Schicht

Aus dieser Gleichung ergibt sich das Lambert und Beer'sche Gesetz der Strahlungsextinktion, wenn man diese Differenzialgleichung über die Blattfläche vieler dünner Blattschichten integriert:

$$I_L = I_0 \cdot e^{-k \cdot L}$$

I_0 – Photonenflussdichte vor Eintritt der Strahlung in das Medium

Mit dieser Gleichung kann nun für jede Schicht die an der Photosynthese beteiligte Strahlung bestimmt werden. Anschließend kann daraus mit der Gleichung von Thornley für jede Schicht die Brutto-Photosynthese berechnet werden. Berücksichtigt werden soll in diesem Modell die uniforme diffuse und die direkte Strahlung. Für die diffuse Strahlung wird ein Extinktionskoeffizient von 0,75 angenommen.

2.2 Der SAS-Quellcode

```

/* Der Extinktionskoeffizient für diffuse uniforme Strahlung ist ca. 0.75*/

/* Macro */

%macro beer_PS(ose, lai, beta, F_PAR_b, F_PAR_d);
  /*
  Oset: Ausgabedatensatz
  beta: Sonnenhöhenwinkel in °
  FPar_b: direkte PAR-Flussdichte µE/(m²s)
  FPar_d: diffuse PAR-Flussdichte µE/(m²s)
  LAI: Blattflächenindex
  */
  DATA &ose;
  retain sum_pl; /* die Photosyntheseraten werden über die
  verschiedene Blattwinkelklassen einer Schicht aufsummiert */
  retain sum_NPC 0 sum_PC 0 sum_RD 0;
  /* Photosyntheseraten, die kumulativ über die Blattfläche aller Schichten
  aufsummiert werden. Initialisierung mit 0 */

  /* Konstanten: */
  pi = 4*atan(1);

  /* Photosyntheseparameter: Leverenz & Jarvis, 1981 Sonnennadeln der
  Sitkafichte */
  theta=0.7;
  alpha=0.048;
  Rd = 1.6; /*Dunkel-Respiration CO2-Abgabe pro m² Blattfläche */
  p_max=12; /* Sättigungswert der Brutto-Photosynthese */

  /* Randbedingungen */
  lai=&LAI; /* Blattflächenindex m² proj. Blattfläche / m² Grundfläche*/
  beta=&beta*pi/180; /* im Bogenmaß Sonneninkinationswinkel bezogen auf
  die Grundfläche */
  sinb = sin(beta);
  f_par_b0=&F_PAR_b;
  /* direkte Einstrahlung außerhalb des Kronenraumes b für "beam"*/
  f_par_d0=&F_PAR_d; /* diffuse Einstrahlung außerhalb des
  Kronenraumes */

  fl=0.1; /* Blattflaeche pro Schicht in m²*/

```

```

/*Extinktionskoeffizient für diffuse Strahlung */
k_d = 0.75;
/*Extinktionskoeffizient für direkte Strahlung */
k_b = 0.5*(1/sinb);

/* Schleife über (LAI-1)/fl Kronenschichten */
DO L=fl/2 TO (lai-fl) BY fl;
/* L ist die kumulative Blattfläche über der betrachteten Schicht */
/* Lambert Beer'sches Gesetz:
F_par ist die über die Grundfläche gemittelte PAR
nach Passage einer einer kumulativen Blattfläche von L.
Die Extinktion (=exp(-0.5*(1/sin(beta))*1))
sagt uns, dass die Schattenfläche im Vergleich zur
Grundfläche entsprechend mit zunehmendem L größer wird.
F_par ist tatsächlich ein Mittelwert, dem Modell zufolge
ist es aber so, dass wir in einem Teil des Querschnittes
totalen Schatten haben und in dem Rest die volle
Sonneneinstrahlung. Dies ist wichtig zu unterscheiden, wenn die
Photosynthese
berechnet werden soll, da diese nicht-linear von der Strahlung
abhängt.*/

/* Diffuse Strahlung */
F_PAR_d= f_par_d0*exp(-k_d*1);
/* Diffuse Strahlung Annahme uniform overcast sky */
/* Brutto-Photosynthese der Blätter, die nur diffuse Strahlung erhalten */
a=f_par_d*alpha+p_max; /* Hilfsvariable */
gpr_d=(a-sqrt(a**2-4*f_par_d*alpha*p_max*theta))/(2*theta);
/*µmol CO2/(m²s)*/
f_par_b=f_par_b0 * exp(-k_b*1);
/* gemittelte direkte PAR-Flussdichte µE/(m²s)*/
f_b=fl*exp(-k_b*1);
/* Blattfläche einer Schicht, die direkt bestrahlt ist */
/* Initialisierung der Summenvariablen für die Schleife über
die Blattwinkel */
sum_pl=0;

/* Schleife über die Blattwinkel (beta_l), da die Intensität der
Strahlung von beta_l abhängt, mit dem sie auf die Blätter auftrifft. Es
gilt: F_par = F_par0 * sin(beta_l) */
DO beta_l = Pi/80 TO Pi/2 BY Pi/40 ;
/* direkte Strahlung Photonenflussdichte in der Winkelklasse */
sin_delta= sin(abs(beta_l-beta));
/* Sinus des Winkels zwischen Strahlung und Blattoberfläche*/
f_par=f_par_b0*sin_delta+ F_PAR_d;
/* PAR-Flussdichte auf dem Blatt */
/* Lichtantwortfunktion: Nicht rechtwinklige Hyperbel, Thornley, 1976 */
a=f_par*alpha+p_max; /* Hilfsvariable */
gpr_b=(a-sqrt(a**2-4*f_par*alpha*p_max*theta))/(2*theta);
/*Brutto-Photosynthese pro m**2 Blattfläche */
/* Berechnung der Photosynthese pro Schicht und Winkelklasse */
GPR_b=GPR_B*f_b/20;/*Brutto-Photosyn. pro 1/20 bestrahlter
Fläche :1/20 wg. 20 Winkelklassen mit je 1/20 der Blattfläche der
sonnenbeschienenen Blätter */
sum_pl=sum_pl+GPR_b;
end;

/* Raten für die jeweilige Schicht */
GPR_B = sum_pl;
/* Bruttophotosynthese der sonnenbeschienenen Blätter */
GPR_d=GPR_d*FL*(1-f_b/FL);

```

```

/* Bruttophotosynthese der beschatteten Blätter */
    GPR = GPR_b + GPR_d; /* Bruttophotosynthese */
    F_Par=F_PAR_b + F_PAR_d; /* PAR-Flussdichte */
    NPR = GPR - Rd * FL; /* Nettophotosynthese, Blätter
betreiben mit unterschiedlicher Rate Photosynthese, alle Blätter der
Schicht atmen mit der selben Rate. */
    RDr=-RD*FL; /* Dunkelatmung */

    /* kumulative Raten bis zur Schicht*/
    sum_GPR + GPR;
    sum_NPR + NPR;
    sum_RD + (-RD*FL);

    relPAR_d = 1 - F_PAR_D / f_par_d0;
/*bereits absorbierte Strahlung*/
    relPAR_b = 1 - F_PAR_B / f_par_b0;

    OUTPUT;
END;
drop pi a sum_pl beta_l sin_delta ;
run;
%mend;

%beer_PS(beer_PS,4,50,500,100);

symbol1 i = join v=none c = green w=2 l=1;
symbol2 i = join v=none c = red w=2 l=1;
symbol3 i = join v=none c = blue w=2 l=1;

axis1 minor=(n=3) label=("L - kumulative Blattfläche über der Schicht");
axis2 label=(a=90 "Photosyntheserate in mirko mol CO2/ (m^2 * s)");
axis3 label=(a=90 "Photonenflussdichte in mirko mol E/ (m^2 * s)");

/*-----GPR_NPR_rdr*/

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\GPR_NPR_rdr.gif';
proc gplot data=beer_PS;
    plot (GPR NPR Rdr)*1 / overlay legend vaxis=axis2 haxis=axis1;
run;
quit;

/*-----Bruttophotosynthese*/

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\BruttoPhotosy.gif';
proc gplot data=beer_PS;
    plot (GPR GPR_b GPR_d) *1/overlay legend vaxis=axis2 haxis=axis1;
run;
quit;

/*-----Photonenfluss*/

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\Photonenfluss.gif';
proc gplot data=beer_PS;
    plot (F_PAR F_par_b F_PAR_d) * 1/overlay legend vaxis=axis3 haxis=axis1;
run;
quit;

/*-----Summe GPR_NPR_rdr*/

```

```

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\Summe GPR_NPR_rdr.gif';
proc gplot data=beer_PS;
  plot (sum_GPR sum_NPR sum_RD) * 1/overlay legend vaxis=axis2 haxis=axis1;
run;
quit;

/*-----*/

%beer_PS(beer_PS_02,8,50,500,100);

axis5 order=0 to 1 by 0.1 label=(a=90 "relative PAR-Absorbtion");
axis4 order=0 to 8 by 1 label=("L - kumulative Blattfläche über der Schicht (LAI)");

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\LAI_8.gif';
proc gplot data=beer_PS_02;
  plot (relpar_d relpar_b) * 1/overlay legend vaxis=axis5 haxis=axis4;
run;
quit;

%beer_PS(beer_PS_02,4,50,500,100);

axis5 order=0 to 1 by 0.1 label=(a=90 "relative PAR-Absorbtion");
axis4 order=0 to 8 by 1 label=("L - kumulative Blattfläche über der Schicht (LAI)");

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\LAI_4.gif';
proc gplot data=beer_PS_02;
  plot (relpar_d relpar_b) * 1/overlay legend vaxis=axis5 haxis=axis4;
run;
quit;

%beer_PS(beer_PS_02,8,20,500,100);

axis5 order=0 to 1 by 0.1 label=(a=90 "relative PAR-Absorbtion");
axis4 order=0 to 8 by 1 label=("L - kumulative Blattfläche über der Schicht (LAI)");

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\LAI_8_beta_20.gif';
proc gplot data=beer_PS_02;
  plot (relpar_d relpar_b) * 1/overlay legend vaxis=axis5 haxis=axis4;
run;
quit;

%beer_PS(beer_PS_02,8,90,500,100);

axis5 order=0 to 1 by 0.1 label=(a=90 "relative PAR-Absorbtion");
axis4 order=0 to 8 by 1 label=("L - kumulative Blattfläche über der Schicht (LAI)");

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\LAI_8_beta_90.gif';
proc gplot data=beer_PS_02;
  plot (relpar_d relpar_b) * 1/overlay legend vaxis=axis5 haxis=axis4;
run;
quit;

/*-----*/

```

```
%beer_PS(beer_PS_03,8,90,500,0);

goptions device=gif733 gsfmode=REPLACE;
goptions GACCESS='sasgastd>U:\PPOEK\ueb8\keineDiffPAR.gif';
proc gplot data=beer_PS_03;
  plot (GPR NPR Rdr)*1 / overlay legend vaxis=axis2 haxis=axis1;
run;
quit;

/*-----*/
```

3. Ergebnis

Mit der Lichtantwortfunktion von Thornley und dem Lambert und Beer'schen Gesetz wurden zunächst für folgende Ausgangsparameter die Photosynthese simuliert:

Blattflächenindex (LAI): 4 m²/m²

Photonenflussdichte der direkten Strahlung (F_PAR_b): 500 μE/m²s

Photonenflussdichte der diffusen Strahlung (F_PAR_d): 100 μE/m²s

Inklinationswinkel der Sonne (β): 50°

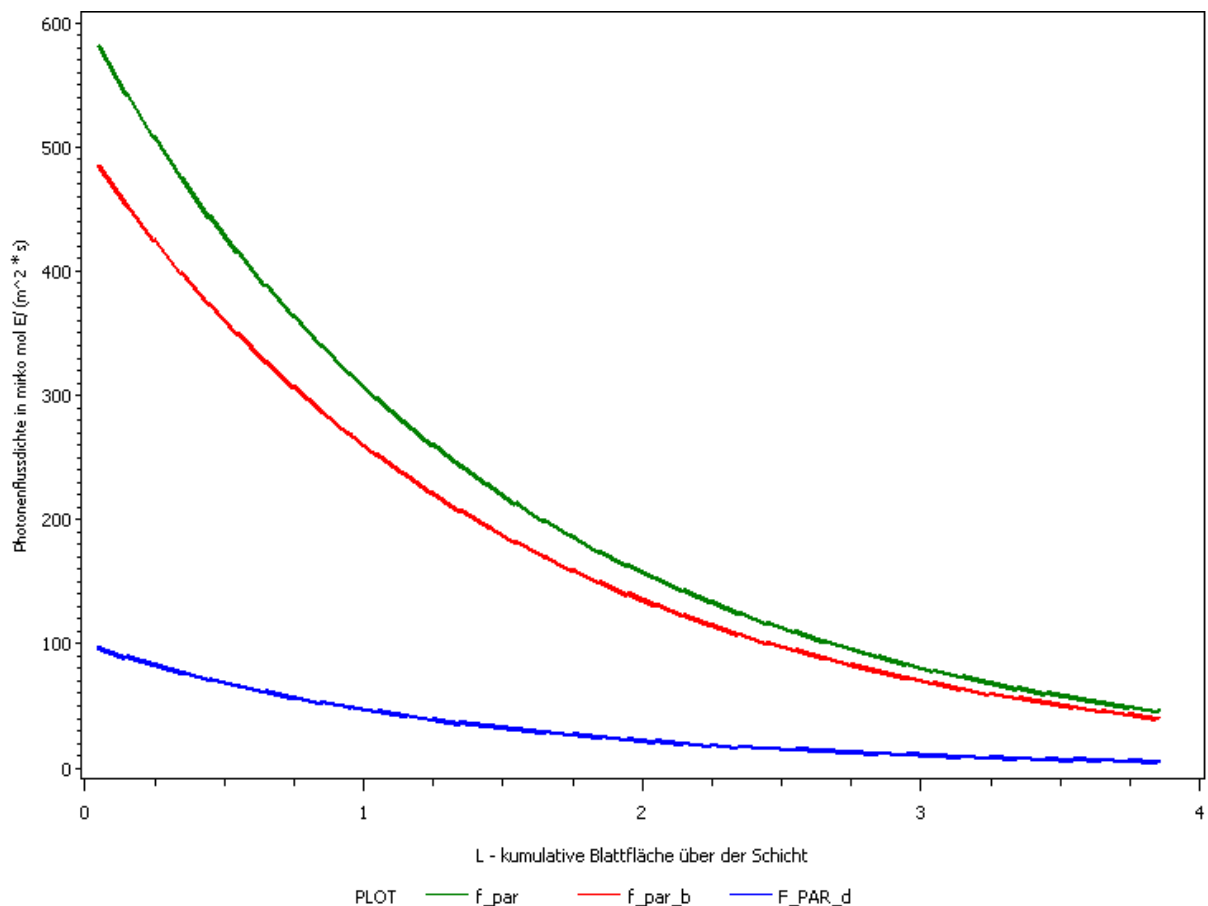


Abbildung 1: Strahlungsflussdichten für direkte, diffuse und gesamte Strahlung für die einzelnen Schichten

Abbildung 1 zeigt eine Abnahme der Photonenflussdichten für die direkte, die diffuse und die gesamte Strahlung mit zunehmender kumulativer Blattfläche über der betrachteten Schicht. Je mehr Schichten durchstrahlt wurden, desto geringer wird die Photonenflussdichte.

Dieser Zusammenhang ergibt sich aus dem Lambert und Beer'schen Gesetz.

Aus diesen Photonenflüssen wurde anschließend die Bruttphotosynthese berechnet, die in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt ist.

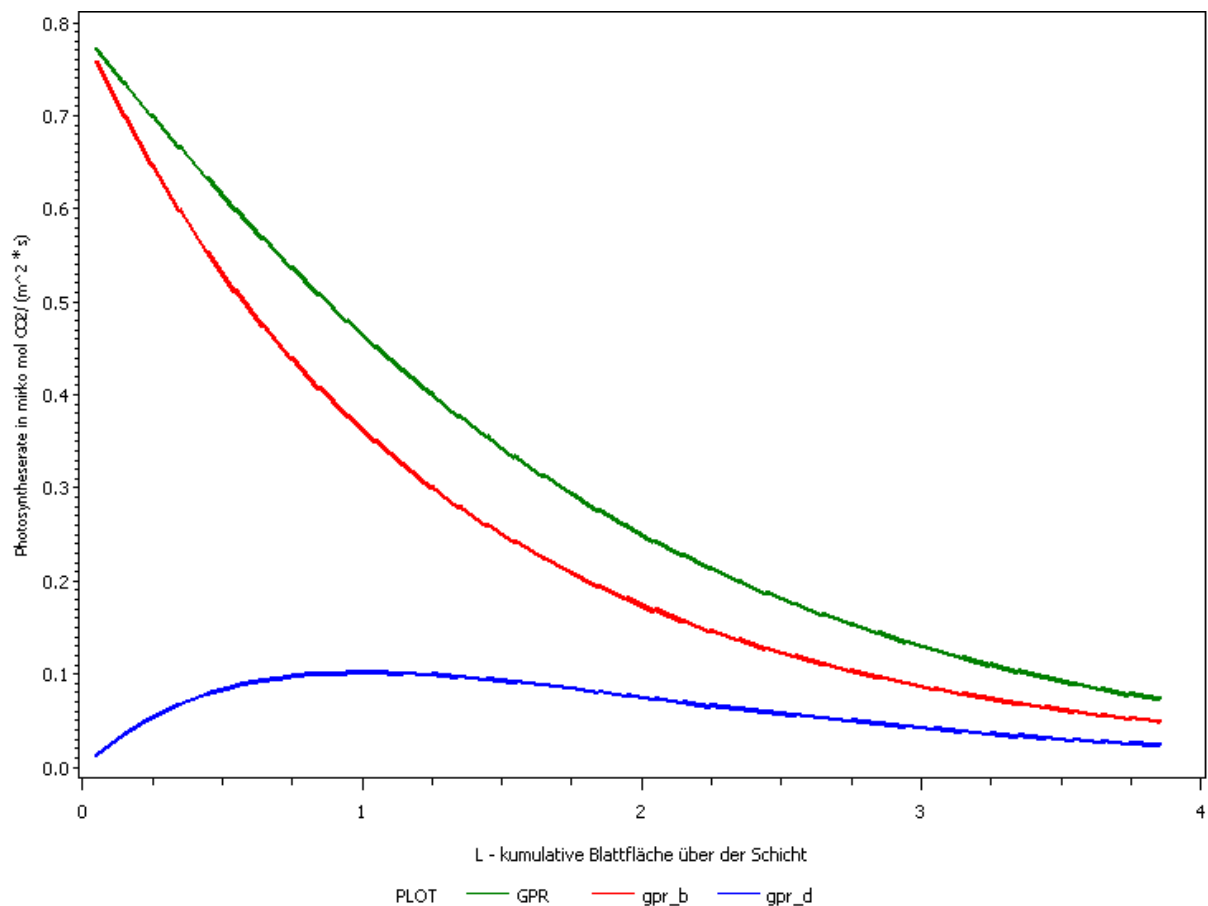


Abbildung 2: Bruttphotosyntheserate für direkt und diffus mit Sonne beschienene Blätter sowie Gesamt-Bruttphotosyntheserate


Die direkt mit Sonne beschienenen Blätter erhalten sowohl direkte als auch diffuse Strahlung.

Die gesamte Photosyntheserate (GPR) ergibt sich aus der Summe für die Bruttphotosynthese der direkt (Im Folgenden auch als Sonnenblätter bezeichnet) und der diffus mit Strahlung

versorgten Blätter (Im Folgenden auch als Schattenblätter bezeichnet). Die

Bruttphotosyntheserate der direkt mit Strahlung beschienenen Blätter (gpr_b) nimmt mit Zunahme der kumulativen Blattfläche ab, da sie von der Strahlungsflussdichte abhängt, deren Verlauf in Abbildung 1 zu sehen ist.

Die Kurve für die Bruttphotosynthese der Schattenblätter (gpr_d) steigt bis etwa zu einer kumulativen Blattfläche von 1 an, erreicht dort ihr Maximum und sinkt dann langsam wieder ab. In den oberen Schichten ist sie geringer, da dort weniger Blätter vorhanden sind, die nicht

direkt mit Sonne bestrahlt werden. Zwar wird die Photonenflussdichte der diffusen Strahlung (f_{par_d}) geringer (siehe Abbildung 1), dennoch steigt die Anzahl der Schattenblätter pro Schicht mit Zunahme der kumulativen Blattfläche an, was den anfänglichen Anstieg erklärt. Anschließend sinkt die Bruttphotosynthese wieder ab, die Anzahl der Schattenblätter nimmt pro Schicht immer weniger zu und die diffuse Strahlung wird mit einem Extinktionskoeffizienten von 0,75 abgeschwächt. Die Bruttphotosyntheserate (GPR) ergibt sich aus der Summe der Photosyntheseraten von Sonnen- und Schattenblättern. 

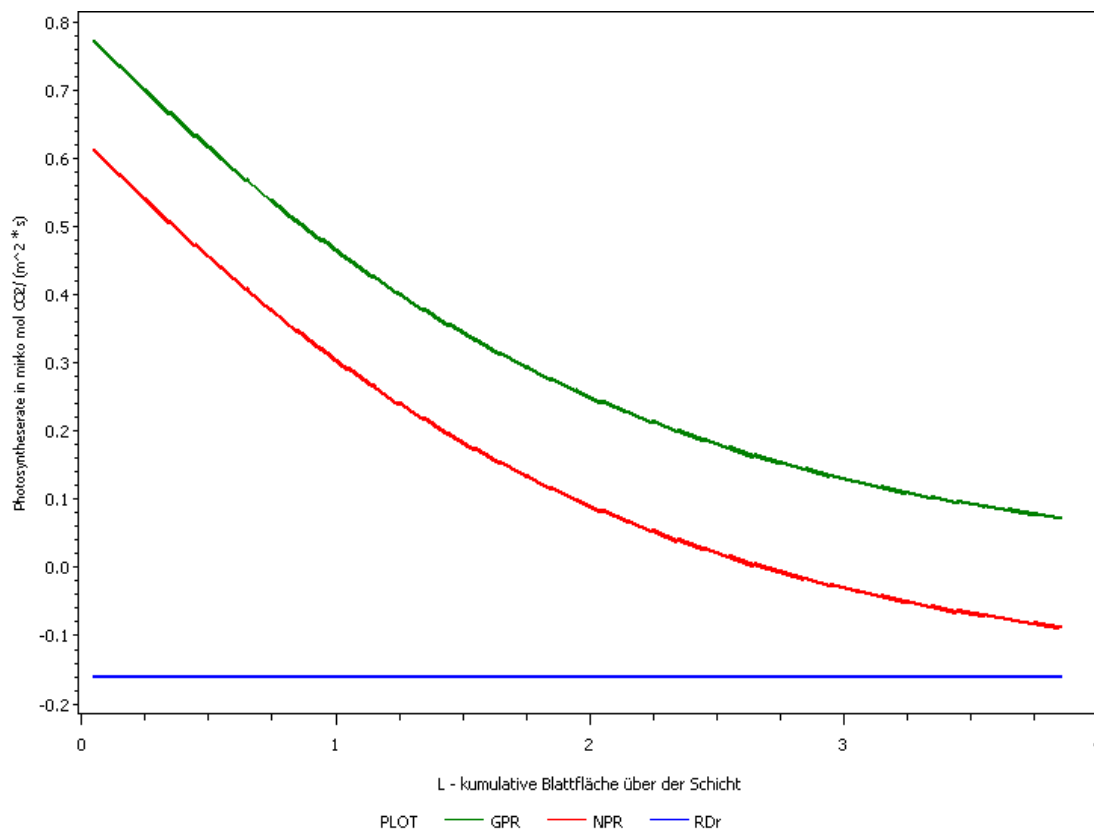


Abbildung 3: Dunkelatemungsrate(RDr) Netto (NPR)- und Bruttphotosyntheserate(GPR) nach Kronenschicht

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die Netto- und die Bruttphotosyntheserate parallel zueinander verlaufen. Dies ergibt sich aus der zugrunde liegenden Gleichung $\text{NPR} = \text{GPR} - \text{RDr}$. Da vorausgesetzt wurde, dass die Dunkelatemungsrate für alle Blätter gleich ist, muss die Nettphotosyntheserate parallel zur Bruttphotosyntheserate, nach unten verschoben um den Betrag der Dunkelatemungsrate, verlaufen. Die Abbildung 3 zeigt die Abnahme der Photosyntheseraten für jede Schicht mit Zunahme der kumulativen Blattfläche. Die nachfolgende Abbildung 4 stellt diese Raten in aufsummierter Form dar.

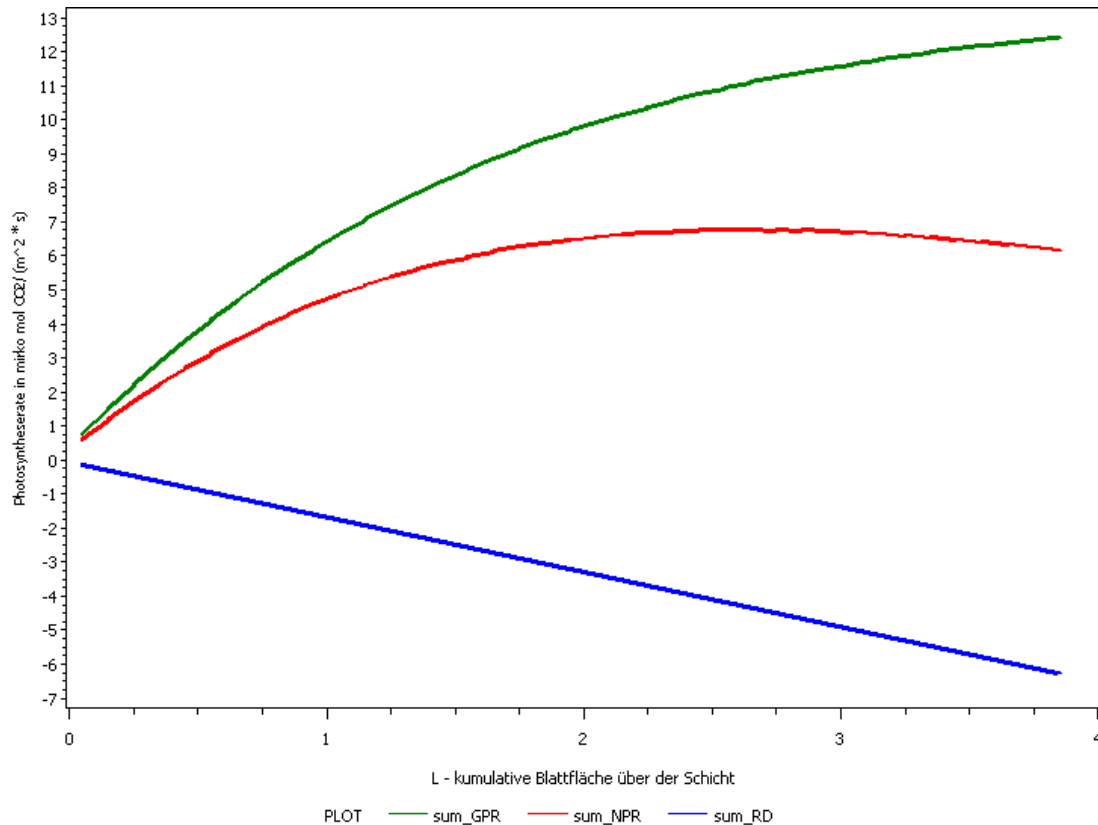


Abbildung 4: Aufsummierte Dunkelatemungs-, Nettophotosynthese- und Bruttophotosyntheserate nach kumulativer Blattfläche

Wie in Abbildung 3 zu sehen, verläuft die Dunkelatemungsrate konstant im Negativen. Daraus ergibt sich die in Abbildung 4 zu sehende Gerade mit negativer Steigung. Der Verlauf ist dadurch zu erklären, dass alle Blätter gleich viel Dunkelatmung betreiben. Die Kurve für die Bruttophotosyntheserate steigt mit abnehmender, positiver Steigung an. Es ist also zu erkennen, dass die Blätter, je tiefer die Schicht liegt, weniger Photosynthese betreiben. Die Nettophotosyntheserate weist ein Maximum auf. **Dieses Maximum liegt in dem Punkt, wo der Betrag der Bruttophotosynthese- und der der Dunkelatemungsrate gleich groß sind.** Nach diesem Punkt, veratmen die Blätter mehr Energie, als sie durch Photosynthese erzeugen können, die Nettophotosynthese sinkt ab.

4. Diskussion

4.1 Welche Auswirkungen hat die Schichtdicke auf die Ergebnisse der Simulation?

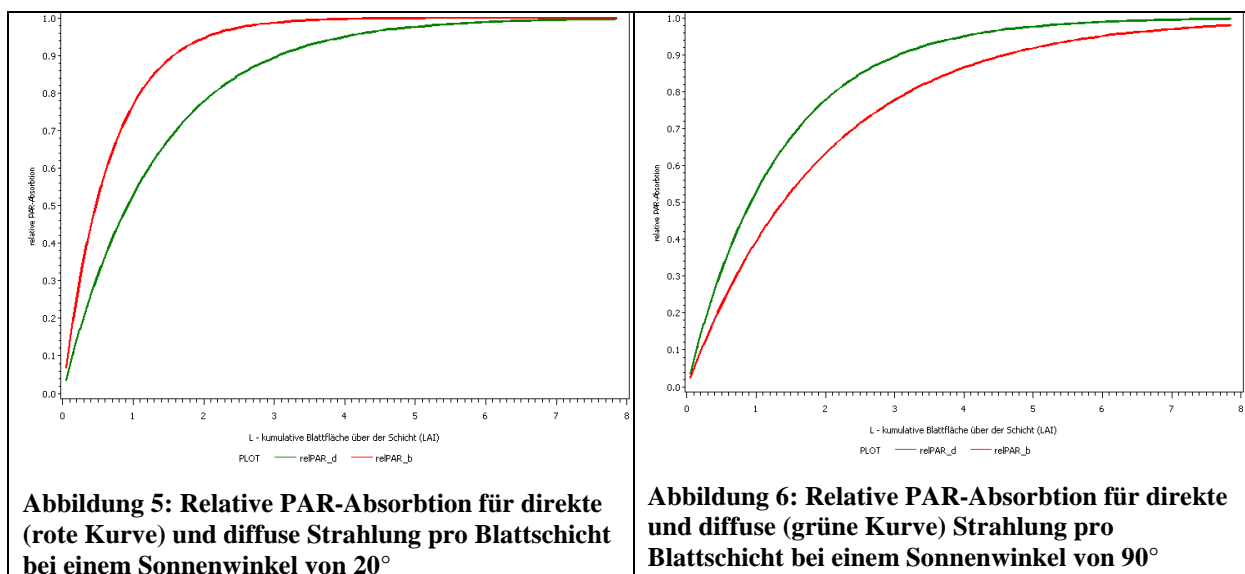
Die Schichtdicke bestimmt die Blattoberfläche für eine Schicht. Wenn die Schichtdicke größer gewählt wird, dann werden für die Kurven mehr Punkte berechnet und der Verlauf ist


weniger glatt. Auf die gesamte Photosyntheserate hat die Schichtdicke keinen Einfluss, sondern auf die Photosyntheseleistung für die einzelnen Schichten. Eine dickere Schicht bewirkt eine höhere Strahlungsabschwächung pro Blattschicht. Wird die Schichtdicke vergrößert, so steigt zum einen die Blattfläche, die komplett unbeschattet ist. Hier kann die Photosynthese dann überschätzt werden. Zum anderen werden dann darunter liegende Schichten stärker beschattet und haben eine niedrigere Photosyntheseleistung. Die Schichtdicke ist also entscheidend um den Verlauf der Photosynthese in der Krone abzubilden.



4.2 Wie groß ist die relative PAR-Absorption in Abhängigkeit von LAI und Sonnenwinkel für diffuse und für direkte Strahlung?

Die relative PAR-Absorption gibt an, wie viel Prozent der Freilandstrahlung von einer Blattschicht absorbiert werden. Je größer der LAI ist, desto größer ist die relative Absorption für die gesamte Krone, da mehr Blattmasse zu einer geringeren Durchlässigkeit der Krone für Strahlung führt. Wenn der Sonnenwinkel variiert wird, dann bleibt die diffuse Strahlung gleich, da in diesem Modell ein konstanter Extinktionskoeffizient angenommen wurde. Der Extinktionskoeffizient der direkten Strahlung hängt hingegen vom Sonnenwinkel ab. Bei einem flachen Sonnenwinkel wird die Kronenprojektionsfläche größer, das bedeutet, es wird in den ersten Schichten relativ gesehen mehr Strahlung absorbiert, wie in Abbildung 6 zu sehen. Bei einem steileren Sonnenwinkel wird die Kronenprojektionsfläche kleiner, dadurch werden die Blätter weniger gegenseitig beschattet und die relative Absorption der tiefer liegenden Schichten steigt an.



Bei einem steileren Sonnenwinkel ist ein größerer LAI also sinnvoll um die Einstrahlung besser auszunutzen. Bei flacher Sonneneinstrahlung ist hingegen ein relativ kleiner LAI in der Lage, einen relativ hohen Anteil der Strahlung zu absorbieren. 


4.3 Welche Beziehungen sehen Sie zwischen LAI und Brutto-Photosynthese (GPR)?

Wie in Abbildung 4 zu erkennen, steigt die summierte Bruttphotosynthese mit dem LAI an und nähert sich asymptotisch einem Maximum. Je größer der LAI ist, desto größer ist auch die Bruttphotosynthese. Jedoch steigert sich die Bruttphotosynthese mit zunehmendem LAI immer weniger. An der Abbildung 2 ist zu erkennen, dass, je tiefer eine Schicht liegt, sie immer weniger Bruttphotosynthese betreibt. Dies liegt daran, dass die Einstrahlung immer stärker durch die zunehmende Anzahl an darüber liegenden Schichten abgeschwächt wird.

4.4 Welche Unterschiede bewirkt die diffuse Strahlung in der Beziehung zwischen GPR und LAI?

Die diffuse Strahlung sorgt dafür, dass in den tieferen Schichten eine höhere Bruttphotosynthese stattfindet, als wenn nur direkte Strahlung berücksichtigt wird. Sie ist also in den tieferen Schichten von besonderer Bedeutung. Je größer die diffuse Strahlung ist, desto höher ist die Bruttphotosynthese in tieferen Schichten. Ohne diffuse Strahlung nähert sich die Bruttphotosynthese bei großem LAI der in tieferen Schichten schneller der Null an.

4.5. Welche Beziehungen sehen Sie zwischen LAI und Netto-Photosynthese?

Wenn der Betrag der Bruttphotosynthese pro Schicht den der Dunkelatmung unterschreitet, wird die Nettophotosynthese negativ. Ein zu großer LAI würde für einen Baum dann bedeuten, dass er bei zu großer Blattmasse Energie verliert, da die unteren Schichten mit steigendem LAI immer ineffizienter werden. Erst bei Betrachtung der Nettophotosyntheserate wird deutlich, dass ein zu großer LAI negative Auswirkungen auf die Photosynthese hat. Eine Betrachtung der Bruttphotosynthese wäre hierfür nicht ausreichend. 

4.6 Welche Auswirkungen hätte eine Klumpung von Blattfläche auf die Ergebnisse der Simulationen?

Eine Klumpung bewirkt, dass bei gleichem LAI weniger Strahlung von dem Baum absorbiert und mehr transmittiert wird. Bei diesem Modell wurde eine mögliche Klumpung der Blätter

nicht betrachtet. Sie würde bei gleichem LAI die Photosynthese senken, da weniger Strahlung für die Photosynthese eingesetzt werden kann.



4.7 Was würde sich ändern, wenn die Blätter nicht schwarz wären?

Wenn in diesem Modell nicht von schwarzen Blättern ausgegangen wird, müssen Vorgänge wie Transmission und Reflexion berücksichtigt werden. Die Berechnungen würden komplizierter werden, besonders die Berechnung der diffusen Strahlung würde sich erschweren.

4.8 Fassen Sie die problematischen Vereinfachungen in dem Vorgehen zusammen.

Wesentliche Vereinfachungen des Modells:

- Annahme, dass die Blätter schwarze Körper sind
- Baumkrone entspricht einer Kugel
- Blätter im Baum sind homogen verteilt
- Diffuse Strahlung ist konstant in jeder Mittelschicht
- Konstante Atmungsrate
- Nur Einstrahlung als Einfluss auf die Photosynthese



Durch die Vereinfachungen ist es möglich den Prozess der Photosynthese mit einem bestimmten Aufwand abzubilden. Sie sorgen für ein leichteres Verstehen des Modells und für eine einfachere Anwendung. Wenn dieses Modell komplexer wäre, würde es die Realität vielleicht besser abbilden, dennoch wäre auch die Anwendung schwieriger, weil beispielsweise mehr Eingangsparameter notwendig wären.

