

# **PROTOKOLL ZUR PAM-MESSUNG**

---

im Rahmen  
der Alp-Flix-Exkursion 2014

Eberhard Karls Universität Tübingen  
Fachbereich Biologie - Alp-Flix-Exkursion  
Sommersemester 2014 // 10. - 13. Juli 2014  
Leitung: Luise Brandt & Andreas Hecker  
Protokoll: Daniel Bauer & Kornelius Schultka

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	- 1 -
1.1	Die beiden Photosysteme .....	- 1 -
1.2	Linearer Elektronentransport .....	- 1 -
1.3	Zyklischer Elektronentransport.....	- 2 -
2	Das Experiment .....	- 3 -
3	Material und Methoden .....	- 3 -
3.1	Material und Versuchsaufbau.....	- 3 -
3.2	Messung .....	- 4 -
3.3	Kurvenverlauf .....	- 5 -
4	Ergebnisse .....	- 5 -
5	Auswertung .....	- 8 -
5.1	Der $Y(N_0)$ -Wert.....	- 8 -
5.2	Der $Y(NPQ)$ -Wert .....	- 9 -
5.3	Vergleich der $Y(N_0)$ - und $Y(NPQ)$ -Werte .....	- 10 -
5.4	Diskussion und Kritik am Experiment.....	- 10 -
6	Zusammenfassung.....	- 11 -
7	Literaturverzeichnis.....	- 12 -
8	Anhang .....	- 12 -
8.1	A1.....	- 12 -

# Protokoll zur PAM-Messung

---

## 1. Einleitung

### 1.1 Die beiden Photosysteme

Man unterscheidet bei höheren Pflanzen zwei Funktionszentren, das Photosystem I (PS I) und das Photosystem II (PS II).<sup>1</sup>

**Das Photosystem II:** Das Chlorophyll a-Dimer im PS II weist ein Absorptionsmaximum bei 680 nm auf. Es wird dementsprechend auch als P680 bezeichnet. Eine weitere wichtige Komponente des PS II sind die beiden Polypeptide D1 und D2. Hier wird Wasser in Sauerstoff und  $H^+$  Protonen gespalten. Die frei werdenden Elektronen fließen in die Elektronen-Transportkette des PS II und bauen im Cytochrom  $b_6f$  den  $H^+$  Protonen-Gradienten auf. Die abgewanderten Elektronen werden bei der Photolyse des Wassers im Lumen ersetzt.

**Das Photosystem I:** Im PS I finden sich ebenfalls Chlorophyll a, weniger Chlorophyll b und Carotinoide. Das Chlorophyll a-Dimer im Reaktionszentrum I, Absorptionsmaximum bei 700 nm auf und wird entsprechend als P700 bezeichnet. Die Elektronen werden unter anderem von Ferredoxin transportiert. Dieses vermag als mobiles peripheres Protein auch die Kontaktaufnahme mit Cytochrom  $b_6f$  herzustellen (zyklischer Elektronentransport). Beim linearen Elektronentransport werden die Elektronen auf die NADP-Reduktase übertragen, wo aus  $NADP^+$   $NADPH/H^+$  synthetisiert wird.

### 1.2 Linearer Elektronentransport

**Photochemical Quenching:** bezeichnet die Lichtreaktion; chemische Energie wird mithilfe von Lichtenergie aufgebaut. Die angeregten Chlorophyll-Moleküle können ihre Energie auf drei Wegen abgeben: 1) Sie reichen die Energie an ein anderes Chlorophyll-Moleküle in Richtung des photochemischen Reaktionszentrums weiter. In diesem Fall spricht man vom linearen Elektronentransport:

Beim linearen Elektronentransport beginnt der Prozess am PS II. Energie wird in beiden Photosystemen gleichzeitig zugeführt. Durch die Lichtenergie werden pro aktivem Chlorophyll je ein Elektron abgegeben, also zwei Elektronen pro P680-Dimer. Die Elektronen werden in den Cytochrom- $b_6f$ -Komplex eingespeist,

---

<sup>1</sup>Abbildung zur Funktionsweise siehe Anhang A1

während Protonen ins Lumen transportiert werden. Die abtransportierten Elektronen müssen ersetzt werden. Dies geschieht beim PS II in der Photolyse des Wassers. Im PS I (P700) werden wie schon im PS II mithilfe von Photonen die P700-Dimere ionisiert. Innerhalb des Photosystems I werden die Elektronen über mehrere Redoxsysteme an Ferredoxin abgegeben. Dieses spielt beim zyklischen Elektronentransport später wieder eine Rolle. Über die Ferredoxin-NADP-Reduktase gelangen die Elektronen schließlich zum Endakzeptor  $\text{NADP}^+$ . Der lineare Elektronentransport gleicht sich dadurch aus, dass Elektronen von einem Ende der Kette aus Redoxsystemen zum anderen, vom Elektronendonator Wasser zum Elektronenakzeptor  $\text{NADP}^+$  fließen und diese in der Photolyse des Wassers im PS II wieder bereit gestellt werden. Die Produkte sind  $\text{NADPH}/\text{H}^+$  und ATP. Die ATP-Synthase wird durch den Protonen-Gradienten angetrieben. Während des Elektronentransports durch den Cytochrom- $b_6/f$ -Komplex und durch die Photolyse von Wasser entsteht im Lumen ein höherer Gradient von  $\text{H}^+$ -Protonen, welche beim passieren durch die ATP-Synthase selbige antreiben und aus  $\text{ADP}+\text{P}$  ATP bilden.

### 1.3 Zyklischer Elektronentransport

**Non Photochemical Quenching:** Die beiden anderen, oben angedeuteten Wege für Chlorophyll Energie abzugeben sind Teil des Lichtschutz-Mechanismus der Pflanze: das angeregte Chlorophyll strahlt Energie in Form von 2) Fluoreszenz oder 3) Wärme ab. Es wird keine chemische Energie aufgebaut.

Gibt das Ferredoxin die Elektronen nicht an die Ferredoxin-NADP-Reduktase ab, spricht man vom zyklischen Elektronentransport. Die von P700 abgegebenen Elektronen gehen dabei zunächst wie beim linearen Transport auf Ferredoxin über, werden dann aber zurück zum Cytochrom- $b_6/f$ -Komplex transportiert. Die Elektronen passieren erneut die Redoxsysteme des Komplexes und fließen wie beim linearen Transport über Plastocyanin zum P700 zurück. Damit ist der Zyklus geschlossen. Sowohl beim zyklischen wie auch beim linearen Transport wird ATP produziert. Die zweite Lichtreaktion (PS II) und damit die Photolyse von Wasser sind nicht beteiligt.  $\text{NADPH}/\text{H}^+$  wird nicht gebildet. Ebenso wenig das Nebenprodukt Sauerstoff.

## 2 Das Experiment

Chlorophyll a wird mit Blaulicht angeregt. Es kommt zur Fluoreszenz, welche gemessen wird. Die Theorie dahinter besagt, dass Lichtenergie unter normalen Umständen in der Fotosynthese in chemische Energie umgewandelt wird. Kommt es aber zu einem zu starken Lichteinfall, wird überflüssige Energie in Form von Licht oder Wärme wieder abgegeben. Dieser Effekt wird noch verstärkt, wenn die Bestandteile des Photosystems zuvor durch zu starken Lichteinfall zerstört wurden. Es gilt: je stärker die Energieabgabe durch Fluoreszenz, desto weniger Fotosynthese betreibt Pflanze.

### Aussagehorizonte des Experiments

- 1) Veränderung der Fotosyntheseleistung unter Umweltbedingungen
- 2) Vergleich der Reaktion auf Licht von heimischen und Versuchspflanzen
- 3) Reaktion von Pflanzen auf ultraviolettes Licht (UVB)

### Arbeitshypothesen

- 1) *Nicotiana benthamiana* (Laborpflanze) ist mit zunehmender Höhe gestresster durch UVB und weist darum eine zunehmende Fluoreszenz auf.
- 2) *Potentilla aurea*/ *Helianthemum nummularium* (einheimischen Pflanzen) weisen mit zunehmender Höhe im Vergleich zu *Nicotiana benthamiana* niedrigere Fluoreszenzwerte und damit eine bessere Photosyntheseleistung auf.

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Material und Versuchsaufbau

Für den Versuch wird ein Computer mit dem Programm *Junior Pam* benötigt. Daran ist ein Puls-Amplituden-Moduliertes Fluorometer (PAM) angeschlossen, an welches wiederum ein Glasfaserkabel befestigt wird. Dieses wird am Ende bündig an einen Magneten fixiert, der später mit dem Gegenstück am Blatt befestigt wird. Im Versuch wurden auf 4 unterschiedliche Höhen (1600 Höhenmeter (Hm), 1800 Hm, 2000 Hm, 2200 Hm) je 2 Pflanzen von *Nicotiana benthamiana* - auf 2000 Hm und 2200 Hm 2 Tage bzw. 4 Tage auf 1600 Hm und 1800 Hm - vor der Messung ausgebracht. Am Tag der Messung wurden die Pflanzen zwischen 25 und 40 Minuten abgedunkelt, indem ein Hartplastikbecher mit Aluminiumauskleidung auf sie gestülpt und fixiert wurde. Gleiches geschah mit je 2 dort wild lebenden

Pflanzen der Art *Potentilla aurea*. Einzig auf 1600 Hm wurde keine Pflanze dieser Art gefunden, sodass ersatzweise *Helianthemum nummularium* dafür benutzt wurde. Beim Erreichen der Standorte waren jedoch von je einer Pflanze der Art *Nicotiana benthamiana* auf 2200 Hm, 1800 Hm und 1600 Hm keine Daten zu erheben, weil entweder die Blätter oder die Pflanze selbst fehlten oder die Pflanze keine Reaktionen auf die Messung zeigte. Nach Erreichen der Abdunklungszeit wurden zuerst die Pflanzen von *Nicotiana benthamiana* gemessen, danach die Pflanzen von *Helianthemum nummularium* was die unterschiedliche Abdunklungszeit hervorruft. Die Messungen wurden an derselben Stelle des ausgewählten Blatts der jeweiligen Pflanze durchgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Lichtimpuls nicht auf eine Blattader oder geschädigte Stellen des intakten Blatts traf. War das der Fall, wurde das Blatt zwischen den Magneten fixiert. Danach startete die Messung.

### 3.2 Messung

Die Messung startete im Programm *Junior Pam* im Reiter „Start“ mit dem Ermitteln des  $F_0$ -Wertes. Dieser gibt den minimalen Fluoreszenzwert an, der (ohne Lichtreiz aus dem PAM) über das Glasfaserkabel durch eine Photodiode gemessen wurde. 15 - 25 Sekunden wurde der  $F_0$ -Wert aufgezeichnet, um sicher zu gehen, dass er sich auf einem Niveau stabilisiert hat.

Im Anschluss wurde der Button „ $F_0/F_m$ “ gedrückt. Der  $F_m$ -Wert wurde durch einen Blaulichtimpuls (aktinisches Licht) über das Glasfaserkabel gemessen. Dieser gibt die maximale Fluoreszenz an.

Nachdem sich der Wert wieder auf dem  $F_0$ -Ursprungsniveau stabilisierte (nach circa 20-35 Sekunden), wurde unter der Listenführung „Status“ das Kästchen „ $F_m$ “ ausgewählt und danach unter der Listenführung „Program“ das Kästchen „Act.+Yield“ ebenfalls angeklickt. Danach lief 60 Sekunden eine Messung. Nach Abschluss dieser wurde 30 - 60 Sekunden gewartet, bis sich der Wert wieder auf einem Niveau stabilisierte. Die Messung „Act.+Yield“ wurde nach dem gleichen Muster insgesamt 3x durchgeführt. Danach wurde der „Stop“-Button ausgewählt und der Reiter „Report“ aufgerufen. In diesem wurden bei allen auszuwählenden möglichen Werten auch ein Haken gesetzt und die Datei wurde gespeichert.

### 3.3 Kurvenverlauf

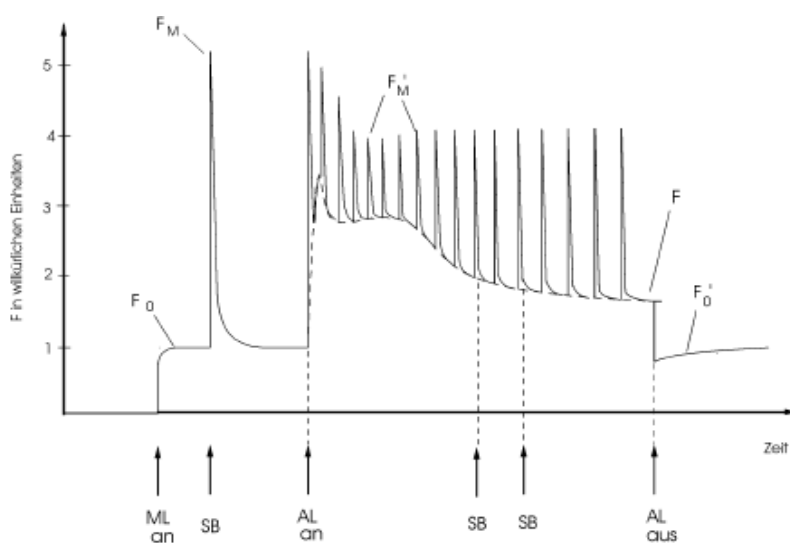


Abbildung 3.3: „Schematische Darstellung der durch die Sättigungblitzmethode ermittelten Fluoreszenzniveau:  $F_0$ ,  $F_M$  Fluoreszenz bei geöffneten bzw. geschlossenen Reaktionszentren nach Dunkeladaptation;  $F'_0$ ,  $F'_M$  im helladaptierten Zustand. Es wird zwischen verschiedenen Lichtarten unterschieden: ML = Messlicht, SB = sättigender Blitz, AL = Aktinisches Licht.“<sup>2</sup>

Quelle: siehe Fußnote 2.

Unsere Messkurve unterscheidet sich von der Kurve der Abbildung 1 insofern, dass zwischen „AL an“ und „AL aus“ nur eine Messung stattfand (die dazwischen liegenden „SB“ und die damit verbundenen  $F_M$ -Peaks fallen weg).

## 4 Ergebnisse

Höhenmeter	Pflanzenart	F	$F_0$	$F_M$	$F'_M$	$F'_0$	Y(N <sub>0</sub> )	Y(NPQ)
1600	<i>Hn</i> <sup>3</sup>	195,14	169	736	632,14	154,33	0,28	0,05
	<i>Nb</i> <sup>4</sup>	261,57	234	646	578,71	223,17	0,41	0,06
1800	<i>Pa</i> <sup>5</sup>	289	343	1277	881,43	227,17	0,27	0,13
	<i>Nb</i>	279,14	296	669	560,43	251,83	0,43	0,1
2000	<i>Pa</i>	297,86	327	691	678,43	252,17	0,59	-0,05
	<i>Nb</i>	347,57	346	607	531,43	297,83	0,59	0,09
2200	<i>Pa</i>	192,29	257	630	388,86	156,5	0,35	0,28
	<i>Nb</i>	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 4: Mittelwerte aller PAM-Messungen.

<sup>2</sup>(HAMMES 2000)

<sup>3</sup>*Helianthemum nemmularium*

<sup>4</sup>*Nicotiana benthamiana*

<sup>5</sup>*Potentilla aurea*

## Vergleich der Y (N<sub>0</sub>) Werte über die Höhenstufen

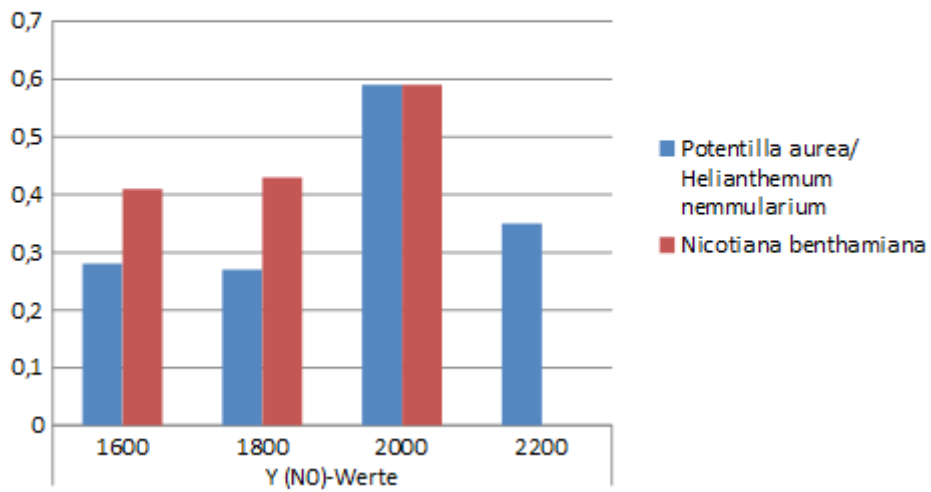


Abbildung 4a: Vergleich der Y(N<sub>0</sub>)-Werte über die Höhenstufen

## Vergleich der Y (NPQ) Werte über die Höhenstufen

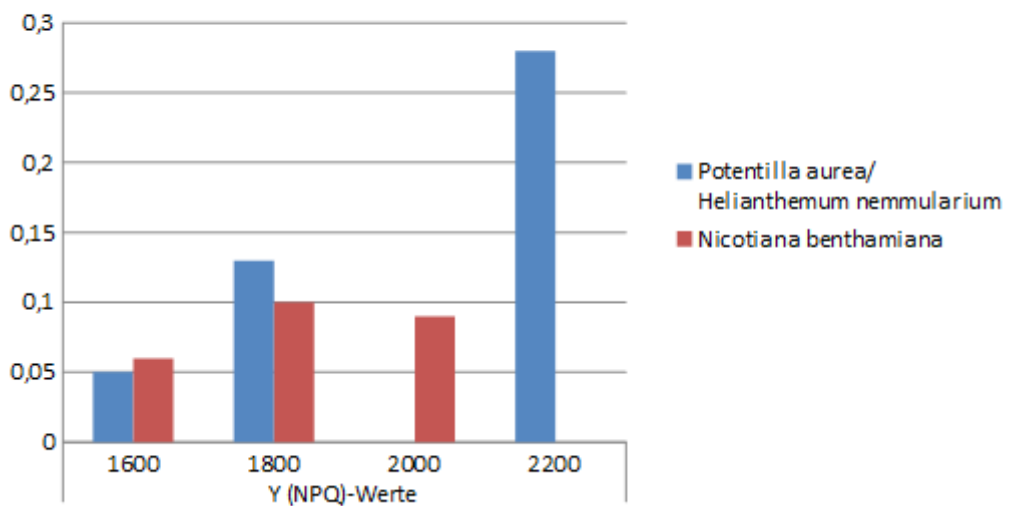


Abbildung 4b: Vergleich der Y(NPQ)-Werte über die Höhenstufen



### Vergleich auf 1600 Hm

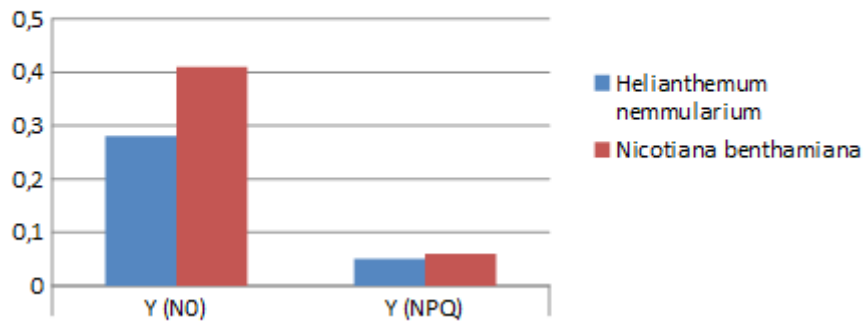


Abbildung 4c: Vergleich der Y(N<sub>0</sub>)- und Y(NPQ)-Werte auf 1600 Hm

### Vergleich auf 1800 Hm

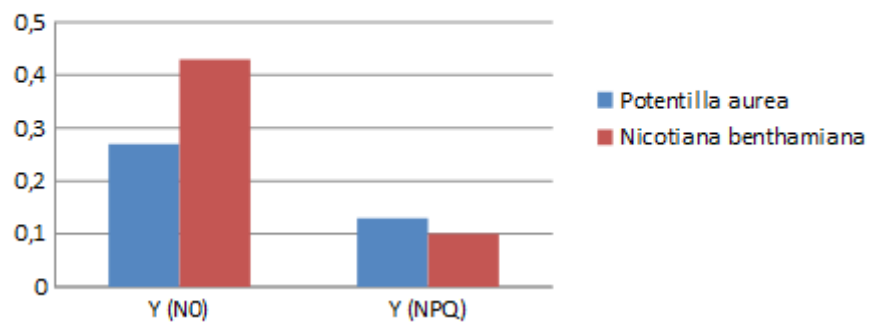


Abbildung 4d: Vergleich der Y(N<sub>0</sub>)- und Y(NPQ)-Werte auf 1800 Hm

### Vergleich auf 2000 Hm

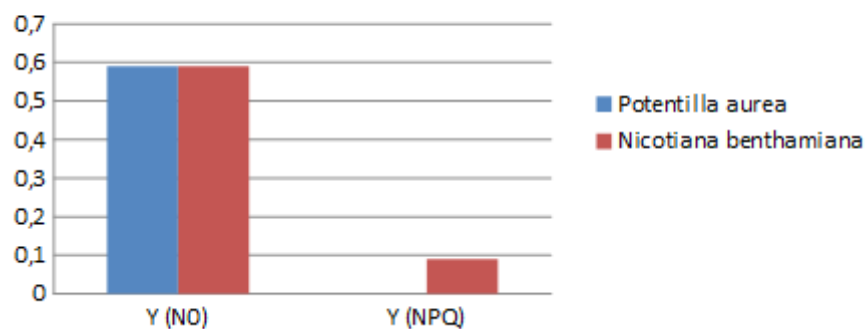


Abbildung 4e: Vergleich der Y(N<sub>0</sub>)- und Y(NPQ)-Werte auf 2000 Hm

## Vergleich auf 2200 Hm

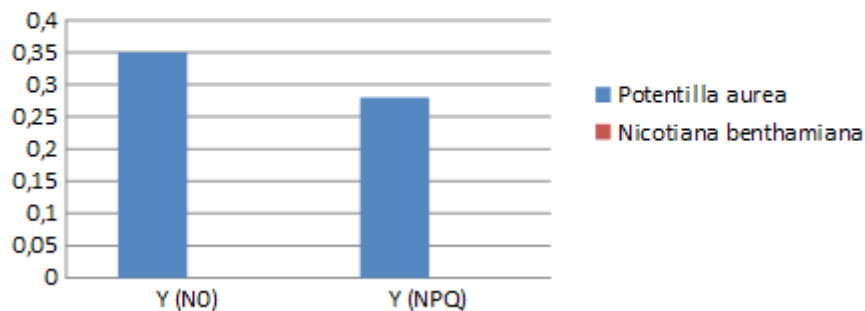


Abbildung 4f: Vergleich der Y(N<sub>0</sub>)- und Y(NPQ)-Werte auf 2200 Hm

## 5 Auswertung

Von großem Interesse für unsere Betrachtungen sind zum einen der Y(N<sub>0</sub>)- und der Y(NPQ)-Wert.

### 5.1 Der Y(N<sub>0</sub>)-Wert

Der Y(N<sub>0</sub>)-Wert wird als „Quantum yield of non-regulated non-photochemical energy loss in PS II“<sup>6</sup> definiert und mit der Formel  $Y(N_0) = F / F_M$  errechnet. Der konkrete Fall referiert auf die Tabelle 4 und die Abbildung 4a.

Die Quantenausbeute direkt nach der Dunkeladaption für die Laborpflanze *Nicotiana benthamiana* steigt mit zunehmender Höhe an. Auf 1600 Hm beträgt der Wert 0,41, auf 1800 HM 0,43 und auf 2000 Hm 0,59. *Nicotiana benthamianas* Quantenausbeute direkt nach der Dunkeladaption verbessert sich mit zunehmender Höhe.

Für die wild vorkommende Pflanze *Potentilla aurea*/ *Helianthemum nummularium* stellt sich die Quantenausbeute direkt nach der Dunkeladaption zunächst ähnlich dar: Auf 1600 Hm mit 0,28 und 1800 Hm mit 0,27 liegen die beiden Werte sehr nah bei einander, obgleich der zweite Wert um 0,01 vermindert ist. Auf 2000 Hm steigt der Wert auf 0,59 an und fällt aber bei 2200 Hm auf 0,35 ab. Auf 2200 Hm ist der Wert noch größer als auf den unteren Höhen. Die Quantenausbeute direkt nach der Dunkeladaption für *Potentilla aurea*/ *Helianthemum nummularium* steigt mit zunehmender Höhe an, erreicht ihr Maximum auf 2000 Hm, und sinkt dann ab.

<sup>6</sup>(KLUGHAMMER & SCHREIBER 2008)

Vergleicht man die Werte beider Pflanzen miteinander, ist zu sehen, dass *Nicotiana benthamiana* eine höhere Quantenausbeute direkt nach der Dunkeladaptation auf den unteren Höhen zeigt, aber auf 2000 Hm *Potentilla aurea* den gleichen Wert aufweist. Beide Pflanzen zeigen auf den oberen Höhen/auf der oberen Höhe eine höhere Quantenausbeute. Dieser Befund spricht gegen die Arbeitshypothese, dass *Nicotiana benthamiana* mit zunehmender Höhe gestresster durch UVB ist als *Potentilla aurea*/ *Helianthemum nummularium*. Auch die Arbeitshypothese, dass *Potentilla aurea*/ *Helianthemum nummularium* mit zunehmender Höhe im Vergleich zu *Nicotiana benthamiana* niedrigere Fluoreszenzwerte und damit eine bessere Photosyntheseleistung aufweisen, ist nicht mit den hier ermittelten Werten belegbar.

Dennoch ist festzuhalten, dass die Werte nur zwischen 0,27 und 0,59 liegen und vom maximalen Wert 1 weit entfernt sind, was für eine verminderte Funktionsweise des PSII spricht, der durch den Umweltstress bedingt sein kann.<sup>7</sup>

## 5.2 Der Y(NPQ)-Wert

Der Y(NPQ)-Wert wird als „Quantum yield of regulated non-photochemical energy loss in PS II“<sup>8</sup> definiert und mit der Formel  $Y(NPQ) = F/F_M' - F/F_M$  errechnet. Der konkrete Fall referiert auf die Tabelle 4 und die Abbildung 4b.

Die Quantenausbeute, nachdem die Pflanze mit einem maximalen Lichtimpuls wieder an Licht gewöhnt wurde, für *Nicotiana benthamiana* beträgt 0,06 auf 1600 Hm, steigt auf 0,1 auf 1800 Hm an und sinkt nur um 0,01 auf 0,09 auf 2000 Hm ab. Insgesamt sind die Werte aber sehr niedrig für die Quantenausbeute von *Nicotiana benthamiana*, nachdem die Pflanze mit einem maximalen Lichtimpuls wieder an Licht gewöhnt wurde.

Die Y(NPQ)-Werte für *Potentilla aurea*/ *Helianthemum nummularium* liegen auf 1600 Hm nur bei 0,05, danach steigt der Wert auf 0,13 bei 1800 Hm an, wird sogar mit -0,05 negativ, was als 0,0 zu werten ist, da an dieser Stelle nur die positive Ausbeute betrachtet wird, und steigt auf 2200 Hm auf 0,28 an. Der letzte Wert ist sehr auffällig, denn er überragt die anderen um mehr als das Doppelte. Auf der höchsten Höhe findet demnach die beste Quantenausbeute von *Potentilla aurea*, nachdem die Pflanze mit einem maximalen Lichtimpuls wieder an Licht gewöhnt

---

<sup>7</sup>Vgl. ebd.

<sup>8</sup>ebd.

wurde, statt.

Sowohl *Nicotiana benthamiana* als auch *Potentilla aurea*/ *Helianthemum nummularium* weisen eine sehr niedrige Quantenausbeute unter maximalem Lichtimpuls mit Werten von -0,05 bis 0,13 und 0,28 auf. Im Vergleich beider Pflanzenlinien ist festzustellen, dass beide auf 1600 Hm einen fast identischen Wert aufzeigen und der Wert von *Nicotiana benthamiana* nur um 0,01 größer ist. Auf 1800 Hm ist der Wert von *Potentilla aurea* nur um 0,03 größer. Auf 2000 Hm weist *Potentilla aurea* mit einem negativen Wert keine Quantenausbeute auf, *Nicotiana benthamiana* dagegen mit 0,09 einen niedrigen. Auf 2200 Hm allerdings weist *Potentilla aurea* einen im Vergleich mit den vorhergehenden Daten recht hohen Wert von 0,28 auf. Ein Vergleich mit *Nicotiana benthamiana* ist durch bereits erklärte Ursachen nicht möglich.

Den Daten des Y(NPQ)-Wertes zufolge ist weder die erste noch die zweite Arbeitshypothese zu bestätigen.

### 5.3 Vergleich der Y(N<sub>0</sub>)- und Y(NPQ)-Werte

Vergleicht man die Y(N<sub>0</sub>)- mit den Y(NPQ)-Werten jeder Pflanzenlinie für sich (siehe Abbildungen 4c-f), ist festzustellen, dass auf allen Höhen die Quantenausbeute unter dunkeladaptierter Pflanzen deutlich höher ist als die Quantenausbeute unter maximalem Lichtimpuls. Aber dennoch müssten sich die Unterschiede gravierender zeigen.<sup>9</sup> Begründet ist das in den niedrigen Werten von Y(N<sub>0</sub>), weshalb das Experiment nochmals überdacht und über mögliche Ursachen reflektiert werden muss.

### 5.4 Diskussion und Kritik am Experiment

Mögliche Ursachen für die höheren Werte von Y(N<sub>0</sub>) und Y(NPQ) auf den höheren Lagen könnte das Wetter darstellen. Das Wetter bei den Messungen der Pflanzen auf 2000 Hm und 2200 Hm war sehr wolkig und regnerisch, die Wetterbedingungen bei den Pflanzen auf 1600 Hm und 1800 Hm recht sonnig. Das heißt, dass die Wolken den UV-Stress genommen haben könnten, wohin gegen in den niedrigeren Lagen bereits ein hoher Lichteinfall und daher vermehrt UV-Stress eingewirkt haben könnte.

---

<sup>9</sup>Vgl. ebd.

Zudem ist Lichtstress nur eine Art von Stress. Die Pflanze kann auch durch Kältestress, Wasserstress, Fraß, etc. geschwächt sein, was Einfluss auf die Ergebnisse haben kann.

Auch die Lage der gemessenen Blätter ist von Bedeutung: werden obere Blätter gemessen, sind diese schon vom Licht gestresster als Blätter, die von oberen beschattet werden. Aufgrund der oft beschädigten Pflanzen musste mit dem Vorlieb genommen werden, was verfügbar war.

Was das Material betrifft, stellte die Pflanzenart *Nicotiana benthamiana* Probleme dar, weil sie nur sehr wenige Blätter bot, die zumal sehr instabil waren. Ersetzt werden könnte die Versuchspflanze durch z.B. *Fragaria vesca* aus dem Labor, die stabilere Blätter in höherer Anzahl aufweist.

Zudem waren manche Töpfe von *Nicotiana benthamiana* am Ort der Messung verschwunden, abgefressen bzw. vom Wetter zerstört, sodass ein kleiner Käfig, den man um die Pflanze herumstecken kann, dem entgegenwirken könnte.

Das Wetter ist eine Komponente im Feld, die nicht zu ändern ist. Durch das Abpassen von gleichen Bedingungen kann dem aber entgegengewirkt werden (wenn die Zeit auf einer Exkursion dazu reicht).

Außerdem könnte man mehrere Pflanzen auf den Stationen aussetzen, sodass die Chance, dass Pflanzen bis dahin messbar bleiben, erhöht wird.

## **6 Zusammenfassung**

Sowohl die  $Y(N_0)$ - als auch die  $Y(NPQ)$ -Werte bestätigen weder die erste noch die zweite Arbeitshypothese. Allerdings sind viele Faktoren aufgetreten, die das Experiment beeinflusst haben (können). Deshalb ist es umso wichtiger bei den nächsten Versuchen, diese zu berücksichtigen, und/oder die Grundidee und die Arbeitshypothesen logisch und auf wissenschaftlichen Fakten nochmals zu überdenken und weiterzudenken.

## 7 Literaturverzeichnis

Klughammer, C. & Schreiber, U.: Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method. PAM Application Notes. 2008.

<<http://www.walz.com/downloads/pan/PAN078007.pdf>> (22.09.2014).

Hammes, E.: Entwicklung eines Meßaufbaus zum Biomonitoring mit Hilfe von Chlorophyll-Fluoreszenz-Messungen vom Fahrzeug. Kiel 2000.

<[http://www.zbm.uni-kiel.de/aghansen/Abschlussarbeiten/hammes\\_dipl.pdf](http://www.zbm.uni-kiel.de/aghansen/Abschlussarbeiten/hammes_dipl.pdf)> (22.09.2014)

Bolhar-Nordenkamp, H.R., Long, S.P. & Lechner, E.G.: Die Bestimmung der Photosynthesekapazität über die Chlorophyllfluoreszenz als Maß für die Streßbelastung von Bäumen. 1989 Phyton (Austria) Vol.29, Fasc.1, S.119-135.

<[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/Thylakoid\\_membrane.svg/1020px-Thylakoid\\_membrane.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/Thylakoid_membrane.svg/1020px-Thylakoid_membrane.svg.png)> (22.09.2015)

## 8 Anhang

### 8.1 A1

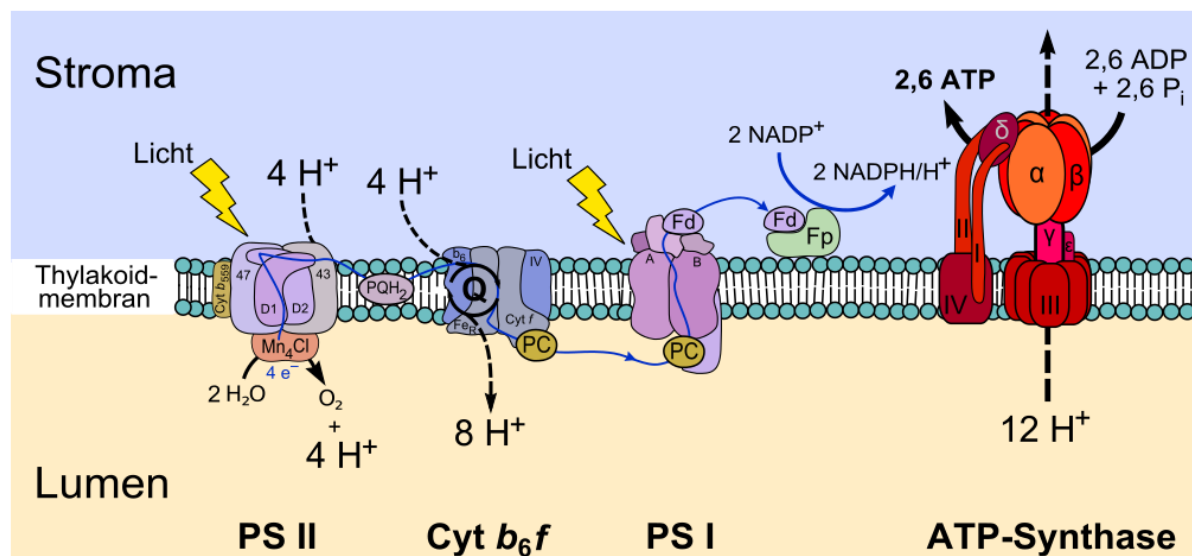


Abb. 1: Proteine des Photosystems.

Quelle: <[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/Thylakoid\\_membrane.svg/1020px-Thylakoid\\_membrane.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/Thylakoid_membrane.svg/1020px-Thylakoid_membrane.svg.png)> (22.09.2015).