

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Effizienzsteigerung der Züchtung schnellwachsender Baumarten über Chlorophyll-Fluoreszenzmessung als prädiagnostischer Leistungsparameter

Zuwendungsempfänger:

**Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-VFA)
Abteilung C - Waldgenressourcen
Professor-Oelkers-Str. 6
34346 Hann. Münden**

Förderkennzeichen:

22030511 bzw. 11NR305

Laufzeit:

01.01.2015 bis 30.04.2018

Monat der Erstellung:

10/2018

Datum der Veröffentlichung:

30.11. 2020

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Projektleiter: Dr. Alwin Janßen¹

Bearbeiter/innen:

Steffen Fehrenz

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA),

Abteilung C - Waldgenressourcen

Professor-Oelkers-Str. 6, 34346 Hann. Münden

¹ Anmerkung: Dr. Janßen ist zum Ende der Projektlaufzeit an das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) gewechselt. Steffen Fehrenz war bis zum Ende der Projektlaufzeit institutionell der NW-FVA zugehörig.

I. Inhalt

II. ZIELE	4
II.1 AUFGABENSTELLUNG.....	4
II.2 STAND DER TECHNIK.....	6
II.3 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN.....	7
III. ERGEBNISSE	8
III.1 ERZIELTE ERGEBNISSE	8
III.1.1 <i>Kalibrierung der Messgeräte sowie Beschaffung und Installation der Technischen Ausrüstung</i>	<i>8</i>
III.1.2 <i>Erarbeitung eines Messprotokolls durch Anlage und Prüfung einer hoch standardisierten Pappel- und Weiden-Testfläche.....</i>	<i>8</i>
III.1.3 <i>Art- und klonspezifische Prüfung photo-relevanter Leistungsparameter von Pappeln und Weiden auf ausgewählten Testflächen des Projekts FastWOOD.....</i>	<i>21</i>
III.1.4 <i>Prüfung von Klon-Standortwechselwirkungen über die Detektion photosynthetisch relevanter Parameter auf ausgewählten Flächen des Projekts ProLoc.....</i>	<i>32</i>
III.1.5 <i>Jahreszeitliche Aufnahme von Daten zur Entwicklung frühzeitig Leistung indizierender Parameter im Vergleich von Ortets und Ramets an Pappel- und Weiden-Züchtungspopulationen des Projekts FastWOOD.....</i>	<i>36</i>
III.1.6 <i>Ertragsabhängige Analyse der Fluoreszenzkinetik durch Trockenstress-Induktion im Klimaschrank</i>	<i>38</i>
III.1.7 <i>Simulation unterschiedlicher Wasser-, Nährstoff- und Licht-Modelle durch Invitro-Kultur im Pflanzenklimaschrank.....</i>	<i>43</i>
III.2 VERWERTUNG	44
III.3 ERKENNTNISSE VON DRITTEN.....	44
III.4 VERÖFFENTLICHUNGEN	44
LITERATUR.....	43

II. Ziele

II.1 Aufgabenstellung

Für die Züchtung von Gehölzen müssen wesentlich längere Zeiträume eingeplant werden um neue Idealtypen zu generieren. Auch die Neuzüchtung von für die Biomasseproduktion geeigneter schnellwachsender Gehölzarten erfordert wegen des wesentlich längeren Generationswechsels mehr Zeit als die der Züchtung von herkömmlichen krautigen Agrarkulturen. Gerade für den Kurzumtrieb geeignete physiologische und anatomische Eigenschaften von Gehölzen sind an den ausgewachsenen, oft über 20-jährigen Elternbäumen nicht mehr bonitierbar. Zudem zeigen die aus den gezielten Kreuzungen hervorgegangenen Neuzüchtungen ihre Qualitäten wiederum erst nach mehrjährigen Feldprüfungen. Pappeln und Weiden sind aufgrund ihrer Schnellwüchsigkeit und klonalen Vermehrbarkeit ausgesprochen geeignet um als Modellpflanzen für die Erforschung von Zusammenhängen zwischen Ertrag und Photosynthese-Effizienz zu dienen. Sehr schnell können Ergebnisse diesbezüglich mit einer hohen Reproduzierbarkeit generiert werden. Korrelationsanalysen der NW-FVA zeigen bei Pappeln nur einen geringen Zusammenhang im Höhenwachstum zwischen zweijährigen Sämlingen (Ortet) aus gezielten Kreuzungen und den aus diesen Sämlingen für die Vorselektion über Steckhölzer vermehrten ein- bzw. zweijährigen Klonen (Ramet), (BRIEBACH et al. 2012). Mit den bisher angewendeten Methoden ist eine zeitaufwendige Vorprüfung unumgänglich. Das physiologische Potential, welches zur Biomasseproduktion benötigt wird, um hohe Erträge zu erzielen, lässt sich anhand der Effizienz und Kapazität der Photosynthese-Systeme dagegen bereits für einjährige Kreuzungsprodukte ermitteln. Die ermittelten Daten können dann außerdem schon für Kreuzungen im darauffolgenden Jahr Verwendung finden. Es können somit Kreuzungslinien identifiziert werden, deren Bearbeitung mit einer höheren Wahrscheinlichkeit geeignete Leistungsträger hervorbringt. Die hierfür zur Verfügung stehende Messung der Chlorophyllfluoreszenz (CF) ist ein geeignetes Werkzeug zur Detektion der Effektivität mit der die jeweilige Pflanze die angebotene Sonnenenergie einfängt und dem Stoffwechsel zur Verfügung stellt. Störstellen durch Nährstoff- oder Wassermangel, aber auch die Stressantwort verschiedener Arten, Klone können durch die CF indiziert werden. Erstmalig werden Gehölze in größerem Umfang und beeinflusst durch unterschiedliche klimatische und edaphische Umgebungen durch die modernste biophysikalische Methode (Strasser 2001) einer tiefgreifenden Analyse unterzogen und bewertet. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zukünftig auf andere Gehölze, die durch ihren deutlich langsameren Wuchs auch wesentlich verzögert neue Daten generieren, übertragen werden.

Die in diesem Projekt angestrebte Steigerung der Züchtungseffizienz von Pappeln und Weiden wird durch folgende Zielstellungen beschrieben:

- Verlegung des Selektionszeitpunktes von Leistungsklonen in das Sämlings Stadium der Kreuzungspopulationen
- Verbesserung der Selektionskriterien für eine zielgerichteter Auswahl von Leistungsklonen - zugeschnitten für den jeweiligen Anwender und für das zukünftige Anbaugelände

- Verkürzung der bisher notwendigen Feldprüfungszeit für Pappeln und Weiden im Leistungsanbau
- Bereitstellung eines Diagnosetools zur sicheren Detektion von Nährstoff- und Wassermangelsituationen an edaphisch und klimatisch unterschiedlichen Standorten

Folgende züchterischen Anforderungen sollen in dem anvisierten Projekt durch die Bearbeitung photosynthetisch relevanter Daten zur Bereitstellung neuer Idiotypen führen (FEHRENZ & WEBER 2012 A):

- Erhöhung der Dichtstandsverträglichkeit durch Optimierung der photosynthetischen Kronenleistung über Anpassung der Lichtnutzungseffizienz – d.h. CO₂-Bindung auch der beschatteten Blätter an Dunkeltagen höher als die CO₂-Abgabe (GIVNISH 1998)
- Optimierung der Blattflächenausprägung für den Anbau im zukünftigen Rotationsmodus – d.h. z.B. Verhinderung von Selbstbeschattung und Erhöhung des Licht-Kompensationspunkts bei hohen Triebzahlen oder im Gegensatz dazu die Vergrößerung der Blattfläche und Steigerung der Lichtnutzungs-Effizienz (LNE) bei niedrigen Triebzahlen (WEI u. RÖNNBERG-WASTLJUNG 2007, THARAKHAN et al. 2008 und WU 1993)
- Anpassung der Lichtnutzungseffizienz (LNE) des Idiotypus an die Wasserverfügbarkeit des Zielstandorts – d.h. Blattfläche (Transpiration) und Photosynthese-Leistung (Wasserverbrauch der CO₂-Bindung) bilden eine Balance zum Wasserangebot bei Pflanzen, die durch Einkreuzen entsprechender Konstitutionstypen entstanden sind (GRIME 1979)

Tabelle 1: Übersicht über die Arbeitspakete des CF-Projekts

- **Arbeitspaket 1:** Kalibrierung der Messgeräte sowie Beschaffung und Installation der Technischen Ausrüstung
- **Arbeitspaket 2:** Erarbeitung eines Messprotokolls durch Anlage und Prüfung einer hoch standardisierten Pappel- und Weiden-Testfläche
- **Arbeitspaket 3:** Art- und klon spezifische Prüfung photo-relevanter Leistungsparameter von Pappeln und Weiden auf ausgewählten Testflächen des Projekts FastWOOD
- **Arbeitspaket 4:** Prüfung von Klon-Standortwechselwirkungen über die Detektion photosynthetisch relevanter Parameter auf ausgewählten Flächen des Projekts ProLoc
- **Arbeitspaket 5:** Jahreszeitliche Aufnahme von Daten zur Entwicklung frühzeitig Leistung indizierender Parameter im Vergleich von Ortets und Ramets an Pappel- und Weiden-Züchtungspopulationen des Projekts FastWOOD
- **Arbeitspaket 6:** Ertragsabhängige Analyse der Fluoreszenzkinetik durch Trockenstress-Induktion im Klimaschrank
- **Arbeitspaket 7:** Simulation unterschiedlicher Wasser-, Nährstoff- und Licht-Modelle durch Invitro-Kultur im Pflanzenklimaschrank

II.2 *Stand der Technik*

Zur Messung der Photosyntheseleistung von Pflanzen gibt es verschiedene Methoden. Die klassischen Gaswechsellmessungen sind sehr zeitintensiv, die Geräte dafür schwer und zur Erfassung größerer Pflanzenbestände ungeeignet. Trotz dieser deutlichen Nachteile kommen auch in neueren Untersuchungen Gaswechsel-Messgeräte nach wie vor zum Einsatz. (z.B. CENTRITTO et al. 2011). Die Anzahl der Wiederholungen wird durch die Dauer von 15-30 Minuten pro Messung und Blatt stark limitiert. Eine größere Anzahl von Testpflanzen, wie sie zur aussagekräftigen Selektion von Leistungsträgern in der Züchtungsforschung notwendig sind, können damit nicht erfasst werden. Herkömmliche biophysikalische Messgeräte, mit denen man ebenfalls Aussagen über den Zustand des Photosynthese Apparates einer Pflanze durch Messungen der von den Blättern abgestrahlten CF machen kann, liefern nur wenige nicht aussagekräftige Messparameter. Trotzdem gibt es immer noch neuere Veröffentlichungen, deren Kernaussage auf diesen Parametern aufbaut (z.B. HAO et al. 2011, WILSON & JACOBS 2012).

Eine weiterentwickelte biophysikalische Methode auf Basis von Fluoreszenz-Emissionen zur schnellen Erfassung von Leistungsparametern der Photosynthese (OJIP-Methode, STRASSER et al. 2000) wird im CF-Projekt zur Anwendung kommen. Eine Einzelmessung dauert dabei nur eine Sekunde und innerhalb kürzester Zeit sind dadurch größere Pflanzenbestände erfassbar. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Chlorophyllfluoreszenz Messgeräten, bei denen nur ein einziger verwertbarer Parameter und dessen abgeleitete Parameter je Messvorgang berechnet werden, sind mit dem hier verwendeten Feldmessgerät P-PEA (Hansatech) mehr als 30 verschiedene Parameter erfassbar. Da pro Einzelmessung 120 Messpunkte aufgezeichnet werden (im Gegensatz zu zwei Punkten mit der veralteten Methodik), ist eine viel tiefgreifendere Analyse der biophysikalischen Abläufe, die zur photosynthetischen Biomasseakkumulation führen, möglich. Diese zusätzlichen Informationen liefern eine sehr genaue Abschätzung des Zustandes und der Photosynthese-Performance der Pflanzen. Durch Miniaturisierung der Bauteile sind die verwendeten Messgeräte inzwischen sehr handlich und können daher auch in größeren Studien - sowohl im Labor wie im Freiland - erfolgreich eingesetzt werden. Diese Messtechnik wurde bereits erfolgreich in Feldstudien zur Ermittlung von Stressparametern und photosynthetischen Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden eingesetzt (POLLASTRINI et al., 2010; BUSSOTTI et al., 2007; ALBERT et al., 2010). Es wurden neue Leistungsparameter entwickelt (STRASSER et al. 2010), wie beispielsweise PI_{total} (Abschätzung der Gesamtperformance bis zur CO_2 -Fixierung), die im CF-Projekt in die Auswertung mit einbezogen werden und deren Aussagekraft für schnellwachsende Gehölze im CF-Projekt tiefgreifend geprüft werden müssen. Durch die Chlorophyll-Fluoreszenz (CF), als nicht-invasive biophysikalische Detektionsmethode, haben wir Einblick in die Effizienz der Photosysteme I und II mit ihren kompletten Antennenstrukturen, aber auch aller Elektronentransportketten vor und zwischen den Photosystemen. Alle diese physiologischen Strukturen sind der genetischen Ausstattung des jeweiligen Klons, aber auch der Licht- und Nährstoffsituation am aktuellen Standort geschuldet. Entsprechend können bestimmte Messparameter auch dem physiologischen Zustand und dem Umgang des jeweiligen Klons mit dieser Situation zugeordnet werden.

Die Untersuchungen von PRADEEP et al. (2008) bei Weiden haben gezeigt, dass die Züchtung von Sorten mit großen Blattflächen und großer Blattmasse je Blattfläche zu einer höheren Lichtnutzungs-Effizienz führt und direkt in der Maximierung der Biomasse wieder zu finden ist. Die Voraussagekraft von Blattfläche und Blattstickstoffgehalt für die Masseleistung von Weiden wurde ebenfalls von WEIH & BONOSI (2009) bestätigt. Eine frühzeitige Diagnose dieser Merkmale hat auch ein effizienteres Züchtungsprogramm zur Folge.

II.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die NW-FVA war Projektpartner und Koordinationsstelle des Projekts „Effizienzsteigerung der Züchtung schnellwachsender Baumarten über Chlorophyll-Fluoreszenzmessung als prädiagnostischer Leistungsparameter“. Über die gesamte Projektlaufzeit bestand intensive Zusammenarbeit mit der NW-FVA. Eine besonders enge Vernetzung bestand zu den von der NW-FVA koordinierten Verbundprojekten ProLoc (FNR, FKZ 22012112) und FastWOOD (FNR, FKZ 22000414).

III. Ergebnisse

III.1 Erzielte Ergebnisse

III.1.1 Kalibrierung der Messgeräte sowie Beschaffung und Installation der Technischen Ausrüstung

Für die Detektion der CF ist die **Kalibrierung** des aktuell **modernsten Feldmessgerätes P-PEA** auf die Prüfglieder der Gattungen **Populus** und **Salix** eine wichtige Voraussetzung, um vergleichbare Daten zu erhalten. Die britische Herstellerfirma Hansatech Instruments Ltd. wurde deshalb beauftragt, anhand aktueller Messergebnisse der NW-FVA, exakt aufeinander abgestimmte Messgeräte zu liefern. Für die Beschreibung der Leistungsfähigkeit einer Pflanze können verschiedene Module des gesamten Photosynthese-Apparates genauer geprüft werden.

Die Kalibrierung der PEA-Chlorophyll-Fluoreszenz Messgeräte erfolgte planmäßig noch vor Beginn der Vegetationsperiode im Mai 2015 in Zusammenarbeit von Daniel-Weber-Biomonitoring (DWB) und Hansatech LTD. Alle Geräte sind auf das Arbeitsgerät von DWB geeicht und ergeben auch in der Feldprüfung vergleichbare Ergebnisse. Es wurden im Frühjahr des Berichtszeitraums vergleichende Messungen an denselben Individuen durch alle drei Geräte durchgeführt und keine gerätespezifischen Abweichungen festgestellt. Die PEA's wurden Beide innerhalb des Projektzeitraums zweimal zu einer Überprüfung zu Hansatech LTD geschickt. Die Überprüfung erfolgte kostenlos. Mit jedem dieser Messgeräte wurde bis zum Ende des Berichtszeitraums je ca. 48'000 Einzelmessungen durchgeführt. Bis auf Akku-Probleme bei Feuchtigkeit laufen alle Geräte zuverlässig.

III.1.2 Erarbeitung eines Messprotokolls durch Anlage und Prüfung einer hoch standardisierten Pappel- und Weiden-Testfläche

Anlage der Vorprüfungs- und Vermehrungsfläche für die Zukünftige Hochnormierte Fläche (HNF):

Die verschiedenen Pappel- und Weidenklone, Arten und Sorten wurden zum Zweck der Vermehrung und einer Vorprüfung für die im Folgejahr zu etablierende hochnormierte Fläche (HNF) auf der selben Fläche abgesteckt. Die Vorprüfungsfläche wurde angelegt um ein Messprotokoll für die HNF, zu entwickeln. Gleichzeitig diente diese Fläche für die Produktion der Steckhölzer, die für den eigentlichen Versuch benötigt wurden. Insgesamt wurden 73 verschiedene Pappel- und Weidenklone im Mai 2015 abgesteckt. Die zuvor gewonnenen Steckhölzer wurden nach der Selektion der Prüfglieder für den Vorversuch gewogen und 5 Steckholzklassen (Gewicht) zugeordnet. Von je einer

Steckholzklasse wurden je Klon 10 Steckhölzer auf die Vorversuchsfläche gebracht und im Verband 2m x 0,3 m abgesteckt. Die Vorversuchsfläche beinhaltet je 8 Pappel- und Weidenarten sowie je 7 Pappel- und Weidenhybriden. Es wurden alle Pappel- und Weidenklone, die als Standards im FastWOOD-Projekt ausgewählt wurden sowie alle Prüfglieder des ProLoc-Projekts einbezogen. Weiterhin wurden Klone, die aufgrund ihrer hohen Leistung im FastWOOD-Projekt gezüchtet, selektiert und geprüft werden, mittel- und schwachwüchsigeren Klonen gegenübergestellt. Ausgewählt wurden die Pappel- und Weidenarten nach ihren Herkunftsbedingungen (Klima und Boden) sowie nach ihrer Wuchsstrategie (Baum oder Strauch) aber auch nach morphologischen Gesichtspunkten, wie Blattfläche, Verzweigungsmuster und weiterhin ihrer Phänologie – also der Länge und Zeitpunkt der Vegetationsperiode. Zur Entwicklung eines aussagekräftigen Messprotokolls ist es notwendig die physiologische, anatomische und morphologische Amplitude der züchtungsrelevanten Spezies durch die Kultivierung geeigneter Klone auf einem hoch standardisierten Prüffeld zu erfassen. Hierfür wurden jeweils 15 Pappel- und 15 Weidenklone zu je 10 Ramets auf einer möglichst bodenhomogenen Fläche in einem Pflanzverband von 1,20m x 0,30m abgesteckt (Abbildung 1). Die Standardisierung des Messprotokolls wurde erreicht durch einheitliche Steckholzgewichte sowie intensive und gleichmäßige Bekämpfung von Unkräutern, Pathogenen und Schädlingen. Es werden Normtriebe mit einer Höhe von ca. 1,20 m ausgewählt. An diesen Pflanzen wird durch Einzelblattmessung über den gesamten Trieb die klonspezifische, physiologische, anatomische und morphologische Variabilität innerhalb einer Pflanze vollständig erfasst (Abbildungen 1 und 2). Der Zeitpunkt der Messungen wird durch das Erreichen der geforderten Normhöhe bestimmt, was spätestens bei einsetzen der Seneszenz der untersten Blätter stattfinden muss und bei einem einjährigen Ramet für Pappeln und Weiden bei einer Höhe von 100 bis 120 cm erreicht wird. Ziel ist nicht nur die Identifikation des aussagekräftigsten Messbereichs des jeweiligen Kultivars und dessen klonübergreifende Standardisierung, sondern auch die Darstellung des erfolgreichsten Wachstumsmodells. Bisher wurde festgestellt, dass die Daten weniger streuen, wenn man Blätter von Pflanzen nach aktuellem Winterrückschnitt bewertet und von diesen wiederum nur voll determinierte Blätter des oberen Drittels, welches noch nicht von Seneszenz betroffen sein sollte, auswählt. Dieses bisherige Messprotokoll soll mit der oben genannten Vorgehensweise kritisch überprüft und gegebenenfalls modifiziert und effizienter gestaltet werden. Durch diese Untersuchungen wurde ein sicheres Messprotokoll etabliert, in dem der notwendige Probenumfang je Pflanze und Klon festgehalten ist.

Anlage der hochnormierte Fläche HNF:

Auf Grundlage eines Vermehrungsquartiers, welches in der 17. Kalenderwoche 2015 aus 73 Pappel- und Weidenklonen angelegt wurde, konnten die Prüfglieder für die hochnormierte Versuchsfläche (HNF) in ausreichender Stückzahl und in geeigneten Steckholz-Gewichtsklassen, gewonnen werden. Das Anlageformat des Vermehrungsquartiers und die Vorauswahl der zur Verfügung stehenden vermehrungsfähigen Pappel- und Weidenklone erlaubten eine gezielte Stichwahl der finalen Prüfgliedkollektion für die Anlage der HNF in der 17. KW 2016. Folgende Kriterien waren für die Auswahl der Prüfglieder entscheidend:

- Pappel- und Weidenarten aus verschiedenen Klimaregionen wie ozeanisch, kontinental, monsunbeeinflusst oder mediterran
- Hybride oder Art
- Stark-, mittel- oder schwachwüchsig
- züchterisch beeinflusst oder aus Naturpopulationen selektiert
- Zeitpunkt des Austriebs und des Triebabschlusses
- Blattfläche und visuelle Grünheit (potentieller Chlorophyllgehalt)
- Chlorophyllgehalt (Transmission)
- Photo-Effizienz (über Chlorophyll-Fluoreszenz)
- Nachkommen aus Kreuzungsfamilien aus Züchtungsprogrammen sowie deren Reziprok-Kreuzungen (vererbte Chloroplasten-Effizienz)
- Kreuzungseltern (Chloroplasten-Effizienz der Mutter)
- Blattbehaarung
- Blattstellungswinkel, bi-faziale und uni-faziale Blätter, bi-faziale und uni-faziale Spaltöffnungen
- Verzweigungsmuster, Bereicherungstriebe, Triebzahl
- Verhältnis Wurzelhalsdurchmesser und Höhe
- Sorten mit Leistungsnachweis
- Standard-Klone aus Feldprüfungen
- Klonale Vermehrbarkeit

Auf Grundlage dieser Kriterien wurden 75 Prüfglieder aus je 8 Pappel- und Weidenarten sowie 8 Pappel- und Weidenhybriden zusammengestellt um sie im Absteckverband 0,3 m x 2 m zu drei Blöcken mit je 75 Parzellen als HNF zu begründen.

Die Anlage des Vermehrungsquartiers und der HNF ermöglicht uns die Erstellung von Messprotokollen für die aktuelle und zukünftige nicht-invasive Prä-Diagnose der Leistungsfähigkeit und Stresstoleranz von Gehölzen im Kontext von Umwelt und Genotyp.

Folgende Parameter wurden in den Jahren 2016 und 2017 auf der HNF ermittelt:

- Zuwachs im wöchentlichen Rhythmus
- Austriebsbonitur im wöchentlichen Rhythmus
- Triebabschlussbonitur im wöchentlichen Rhythmus
- Photo-Effizienz durch Ganzpflanzenmessung an je zwei Pflanzen von 16 ausgewählten Klonen in der 25., 30. und 35 KW (insgesamt 5760 Einzelmessungen)
- Maximale Photo-Effizienz durch 4 Messpunkte an allen 75 Prüfgliedern zu je 30 Ramets in der 34. Kalenderwoche (2250 Einzelmessungen mit Clips)

- Maximaler Chlorophyllgehalt durch 4 Messpunkte an allen 75 Prüfgliedern zu je 30 Ramets in der 33. KW (2250 Einzelmessungen ohne Clips)
- Diurnale maximale Photo-Effizienz (6-9 Uhr und 14-17 Uhr) durch 4 Messpunkte an 75 Prüfgliedern zu je 10 Ramets in der 26 KW (insgesamt 6000 Einzelmessungen mit Clips)
- Maximale Blattfläche (Blattflächen-Index) für alle 75 Prüfglieder und je 30 Ramets in der 33. KW
- Abschlussbonitur für Höhe, Triebzahl, Wurzelhalsdurchmesser, Anzahl und Länge der Bereicherungstriebe
- Stündliche Ermittlung von Temperatur, Niederschlag und Strahlung durch die Klimastation

Um die physiologischen und biometrischen Veränderungen der verschiedenen Prüfglieder über die gesamte Vegetationsperiode der Jahre 2016 und 2017 zu erfassen, wurden die Höhen und die Chlorophyll-Fluoreszenz (CF) in einem Zweiwochen-Rhythmus innerhalb von drei Tagen ermittelt. Die CF wurde an je 4 Ramets von je 8 Pappel- und Weidenklonen intensiv (je Blatt und Spross) im 14tägigen Rhythmus gemessen (Abbildung 2). Zum Ende der Vegetationsperiode mussten an den leistungsfähigsten Klonen je Individuum bis zu 185 Messclips angebracht werden um die Photosynthese-Effizienz der ganzen Pflanze im Absteckjahr zu erfassen. Neben der 14tägigen Routine wurde im Juli eine Komplettbonitur durchgeführt. In der Julibonitur wurden alle Klone und deren Ramets mit je 4 CF-Messungen, 4 CG (Chlorophyll-Gehalt) -Messungen und je einer Blattflächenmessung (BF) bonitiert. Ab der ersten Septemberwoche wurde dann die phänologische (Triebabschluss und Laubabfall) und die Rostbonitur bis zum kompletten Abfall aller Blätter in der zweiten Dezemberwoche, im wöchentlichen Rhythmus, durchgeführt. Komplettbonituren ohne Laub wurden jeweils zum Jahresende der Jahre 2015, 2016 und 2017 durchgeführt und umfassten die Parameter Höhe, Triebzahl, Wurzelhalsdurchmesser und Verzweigungsmuster.

Um weitere, die Vitalität der Pflanzen beeinflussende Parameter auszuschalten, wurde ab der zweiten Maiwoche jeweils nach der Absteckung oder dem Rückschnitt die Unkrautbeseitigung und Insektenbekämpfung begonnen und im 14 tägigen Rhythmus bis einschließlich August durchgeführt. Dabei wurden die Zwischenreihen mit der Maschine gemulcht und in den Pflanzenreihen händisch bis 10cm in den blanken Boden gehackt. Pappel- und Weidenblattkäfer wurden abgesammelt und Blattläuse durch Marienkäferlarven bekämpft. Die Wühlmausbekämpfung fand zusammen mit dem FastWOOD-Projekt statt und wurde durch die Ausbringung von Schlagfallen und Buttersäure an wohlschmeckenden Weiden- und Pappelklonen und im Randbereich erfolgreich durchgeführt. Weiterhin wurden nach der Gewinnung und dem Einwiegen der Steckholzklassen, dem Abstecken und der Etikettierung der Steckhölzer, umfangreiche Arbeiten zur maschinellen und manuellen Unkrautbekämpfung, Wühlmaus- und Blattkäferbekämpfung, Ausfall Auffüllung und Bodenauflockerung durch Trittschaden, durchgeführt.



Abbildung 1: Vorprüfungsfläche CF in der 3. Maiwoche und Kompletzpflanzenmessung durch Anbringung von Clips an jedem Blatt eines Triebes für die CF-Messung am Klon Tordis durch Daniel Weber von DWB.

Verschneidung von Klima- und Zuwachsdaten:

Auf der Grundlage von Zuwachs- und Klimadaten dieser Fläche für ausgewählte Pappel- und Weidenklone, wurde für den FNR-Kongress „Mit Pflanzenzüchtung zum Erfolg“ ein Poster mit dem Titel „Pappeln und Weiden für den Klimawandel – Genetische Vielfalt als Züchtungsziel – klontypische Wachstumsraten als Antwort auf spezifische Temperatur-Sequenzen“, erarbeitet. Dieses Poster stellt einen Teilbereich der Nutzung der gewonnenen Daten innerhalb des Arbeitspakets 2 im CF-Projekt vor (Abbildung 3). Die Kernaussagen dieser ersten gewonnenen Erkenntnisse sind:

- Im Temperaturverlauf einer Wachstumsperiode haben Extremwetterlagen wie Kälte- und/oder Wärmeperioden zu bestimmten Wachstumsphasen verschiedener Arten, Klonen und/ oder Hybridkombinationen einen größeren Einfluss auf den Biomasse-Ertrag als die Summe der Temperaturen einer Wachstumsperiode - vorausgesetzt die Nährstoff und Wasserversorgung ist optimal (azonale Verbreitung von Pappeln und Weiden).
- Die Auswirkungen von Kälteeinbrüchen innerhalb der Vegetationsperiode auf den Zuwachs von Pappel- oder Weiden-Klonen kann züchterisch beeinflusst werden. Die Auswahl der Mutterart und des zusammen mit ihr weiter vererbten Chloroplast, sollte der Herkunft entsprechend, in seiner Photo-Effizienz, an einen kühl-gemäßigten Temperaturgang adaptiert sein.

- Weiden profitieren durch ihren über zwei Wochen früheren Austrieb und der damit verbundenen frühzeitigen Ausbildung der maximalen Photosynthesefläche mehr von frühzeitigen Wärmeperioden als Pappeln. Die Pappeln erreichen erst Mitte August ihre maximale und verglichen mit Weiden zu diesem Zeitpunkt höhere Photosynthesefläche.

Anwendung der Ergebnisse zur Entwicklung des Messprotokolls

Die im CF-Projekt untersuchten Agrargehölze sind Pflanzen der Familie der Weidengewächse. Sie nutzen drei grundsätzliche Wuchsstrategien. Diese Wuchsstrategien sind den Taxa Pappel, Baumweide und Strauchweide zuzuordnen. Entsprechend wurden für die ersten Untersuchungen zur Verteilung der Photosynthese-Leistung über die Gesamtpflanze vier Pappel- und Weidenklone intensiver untersucht. Ausgewählt wurden zwei Strauchweiden-Hybriden, eine Baumweide, zwei Balsampappel-Hybriden und eine Schwarzpappel-Hybride. In Abbildung 3 wird am Beispiel dieser ausgewählten Pappel- und Weidenklone der Zusammenhang zwischen Wuchshöhe (Zuwachs) und Blattflächen-Effizienz über die ganze Pflanze durch den CF-Leistungsparameter $P_{i_{new2}}$, welcher im Rahmen des CF-Projekts entwickelt wurde, dargestellt. Es wurde jedes entfaltete Blatt des längsten Triebes von der juvenilen Spitze bis zum letzten noch grünen aber seneszenten Blatt gemessen. An die Weidenblätter wurde ein Klipp je Blatt und an die Pappeln zwei Klipps je Blatt angebracht. Diese Messungen wurden im Laufe der Vegetationsperiode auf 8 Weiden- und 8 Pappelklone erweitert und in den Jahren 2015 und 2016 in der jeweils letzten Woche der Monate Mai, Juli und September morgens und abends wiederholt. In Abbildung wird das Ergebnis der 6 Kalibrierungsklone des Vormittags (9-11 Uhr) der vierten Maiwoche 2016 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Strauchweiden im Vergleich zu den Pappeln über eine niedrigere aber stetig über den Gesamtrieb flacher verteilte Lichtnutzungs-Fläche verfügen. Demgegenüber ist bei der Baumweide und den Pappeln ein hoher Anstieg der Leistung innerhalb eines kürzeren Triebbereiches erkennbar. Es wird also deutlich, dass Sträucher und Bäume eine unterschiedliche Lichtnutzungsstrategie besitzen. Um die wahre Leistung dieser Klone zu identifizieren ist zu beachten, dass die Strauchweiden ihre Photosynthetisch wirksame Fläche durch die Anzahl der Triebe um das bis zu 6fache erhöhen, die Pappeln über deutlich größere Blattflächen je Blatt und Trieb sowie einen höheren Chlorophyllgehalt verfügen und dass der hier ausgewählte Baumweidenklon bis zu 50% des Lichts über die den Messtrieb peripherierenden Bereicherungstriebe perzipiert. Die entsprechende Korrektur der CF-Werte über die genannten Parameter ist also erforderlich. Es wird deutlich, wie wichtig die gleichzeitige Messung der Blattflächen, Triebzahlen, Verzweigungsmuster und Chlorophyllgehalte sind. Diese ausgewählten Ergebnisse der Vorprüfungsfläche zeigen schon für das erste Jahr des CF-Projekts, welche zentrale Rolle die Lichtnutzungs-Effizienz, der dem jeweiligen Klon zur Verfügung stehenden Blattflächen spielt und über Zuwachsraten, Morphologie und Nutzung der Vegetationsperiode entscheiden.

Ganzpflanzenmessung 05.08.2015

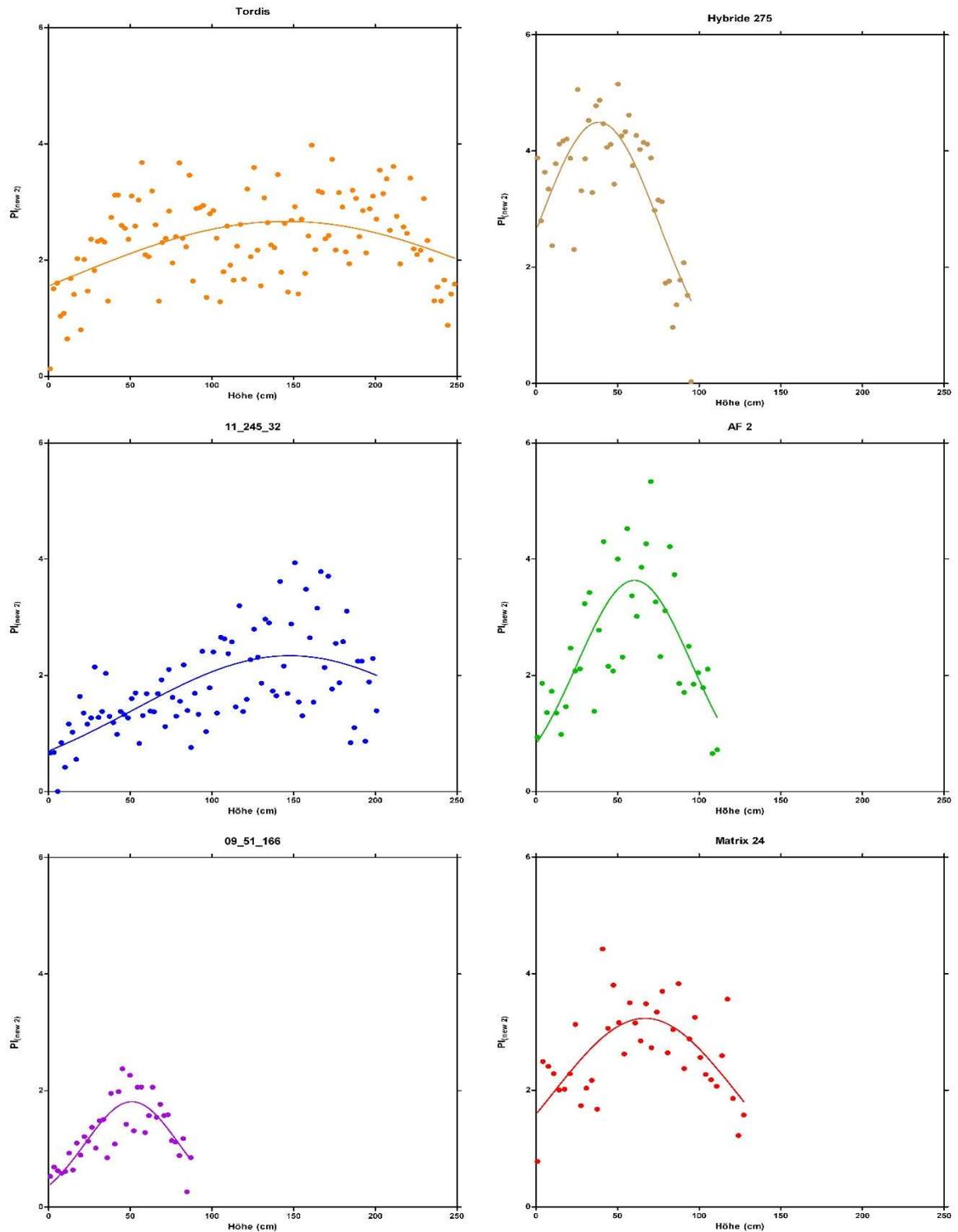


Abbildung 2: Photosynthetische Leistungsverteilung über die gesamte Länge eines Triebes von je drei Weiden- (links) und drei Pappelklonen auf der Grundlage eines im Projekt neu erarbeiteten physiologischen Leistungsindizes (hier $PI_{New2} = PI_{Sm}$, siehe Ableitung eines Ertragsschätzers auf Seite 30).

Pappeln und Weiden für den Klimawandel

Genetische Vielfalt als Züchtungsziel – klontypische Wachstumsraten als Antwort auf spezifische Temperatur-Sequenzen



Steffen Fehrenz¹, Daniel Weber², Christoph Stiehm¹ & Janos Kroh¹

¹Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt.: Waldgenressourcen
²Daniel-Weber-Biomonitoring, Heinrich Hoffmann Str. 5, 60528 Frankfurt am Main



Pappeln und Weiden haben die höchsten Biomasseerträge unter allen Gehölzen der gemäßigten Breiten. Das ist das Resultat einer der höchsten Netto-Photosyntheseraten (20 – 35 µmol CO₂/m²s) von Holzpflanzen weltweit (Ceulemans & Saugier 1991). Pappeln und Weiden befinden sich damit im Leistungsbereich der meisten C3-Agrarpflanzen. **Unter optimaler Wasser- und Nährstoffversorgung** ist die Rate des Zuwachses und damit der Biomassertrag abhängig von der Lichtnutzungs-Effizienz und der Photosynthese-Kapazität des jeweiligen Genotyps. Die Effizienz der Photosysteme des jeweiligen Genotyps (Klon, Sorte oder Zucht-Linie) korreliert damit zunehmend zu **spezifischen Temperaturverläufen in der Vegetationsperiode**, wie diese in den Ausgangsarten der Zuchtlinien evolutionär optimiert sind. Pappeln und Weiden eignen sich durch ihre klonale Vermehrbarkeit hervorragend als **Modellpflanzen**. Sie können als einzige Gehölze der gemäßigten Breiten durch ihre annähernd 100%ige „Wieder-Absteckbarkeit“ als Indikatoren für Untersuchungen zur Adaption and potentielle Klimaschwankungen und Extremwetterlagen genutzt werden. Die klimaabhängige Wuchtleistung von Pappeln und Weiden wird aktuell und auch in dieser Studie im Rahmen des CF-Projekts „Effizienzsteigerung der Züchtung schnellwachsender Baumarten über Chlorophyll-Fluoreszenzmessung als prädiagnostischer Leistungsparameter“ durch die Anlage einer **hochnormierten Versuchsfläche** (HNF, im Kamp der NW-FVA) mit 76 Pappel- und Weidenklonen zu je 3 Wiederholungen a 10 Ramets in den Jahren 2015 und 2016 über 20 cm Steckhölzer, untersucht. Die Bodenbedingungen (selber Ort), der Zeitpunkt der Etablierung (17. Kalenderwoche) der Pflanzverband (1,8 m x 0,3 m) sowie die Auswahl der Prüfglieder wurden in den beiden Jahren der Prüfung jeweils gleich gehalten.

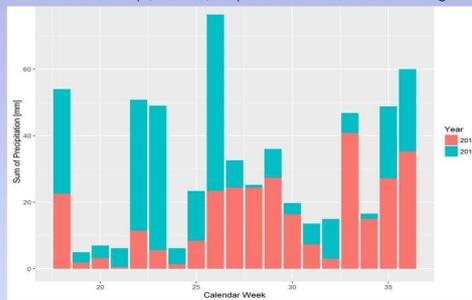


Abb. 1: Durchschnittliche wöchentliche Niederschläge in den Vegetationsperioden 2015 und 2016

Prüfglieder Pappel:
 Maffix 24: *Populus maximowiczii* x *Populus trichocarpa*
 Max 1: *Populus nigra* x *Populus maximowiczii*
 AF2: *Populus deltoides* x *P. nigra*
 NW13-0676U: *Populus trichocarpa* x *Populus maximowiczii*

Prüfglieder Weide:
 Tordis: *Salix schverinii* x *Salix viminalis*
 10_164_04: *Salix alba*
 11_232_13: *Salix daphnoides*
 11_246_03: (*Salix schverinii* x *Salix viminalis*) x *Salix viminalis*

Niederschlag versus Temperatur:

Der Vergleich des Niederschlags (Abbildung 1) der Jahre 2015 (rot) und 2016 (blau) zeigt in jeder Kalenderwoche des Jahres 2016 höhere Werte. Dies würde bedeuten, wenn der Niederschlag limitierend auf den Zuwachs hätte sein können, dann wäre das im Jahr 2015. Da im Jahr 2015 für alle Pappel- und Weidenklone deutlich höhere Zuwächse erreicht wurden, kann der Niederschlag in diesem Jahr nicht limitierend gewesen sein. Deshalb kann der Einfluss des Niederschlags als beeinflussende Größe für diese Analyse ausgeschlossen werden. Die mittleren Temperaturen von Mai bis September der Jahre 2015 und 2016 zeigten nur sehr geringe Abweichungen. Dementgegen zeigten sich aber in den Sequenzen vom 3. – 10. Juli und 7. – 16. August in jedem dieser Jahre deutliche Unterschiede im Verlauf der Temperatur.

Pappel versus Weide:

Weiden sind bekannt dafür, schon im ersten Jahr ihrer Etablierung Höhen von bis zu 4m zu erreichen können. Dieser Trend zeigt sich in dieser Analyse der Höhenzuwächse zwischen jeweils 4 Pappel- und Weidenklonen auch auf der HNF (Abbildung 2). Entgegen des Trends zeigt der Pappelklon NW13-0676U im zuwachsschwachen Jahr 2016 als einzige Pappel einen Höhenzuwachs der über den Weiden liegt.

Temperatursequenz und Höhenzuwachs:

Die deutlich später austreibenden Pappeln (ca. 2 Wochen), benötigen bis zur Entfaltung ihrer maximalen Blattfläche (August) höhere Temperaturen, als sie in den wichtigen Temperatursequenzen (Juli und August) des Jahres 2016 vorhanden waren. Die ausgewählten Weiden dagegen profitieren wesentlich mehr von den Warmphasen 2015 als die Pappeln - zeigen aber auch die stärksten Einbrüche in ihrer Leistung im Jahr 2016.

In dieser Analyse von zwei Vegetationsperioden wird sichtbar, dass der Einfluss einzelner Temperatursequenzen höher ist, als die Durchschnittswerte innerhalb einzelner Wachstumsperioden. Es wurde gezeigt, dass die detaillierte Diagnose von Temperatursequenzen unterschiedlicher Etablierungsjahre hervorragend als Selektionskriterium von **kältephasen-toleranten Genotypen**, im Kontext der Züchtung von Pflanzen als Nachwachsende Rohstoffe für den Klimawandel, genutzt werden kann.

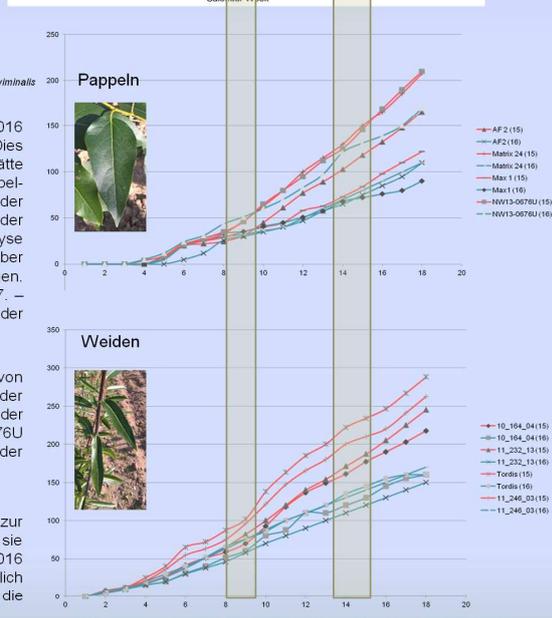
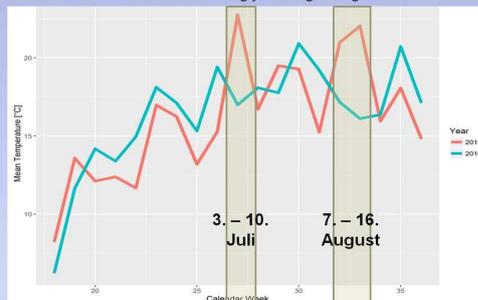


Abb. 2: Gegenüberstellung der Wöchentliche Durchschnittstemperatur für die Vegetationsperioden der Jahre 2015 (rot) und 2016 (blau) zum Höhenzuwachs ausgewählter Pappel- und Weidenklone auf der HNF (Hochnormierte Fläche) im Kamp der NW-FVA

CEULEMANS, R., SAUGIER, B.: Photosynthesis. In: RAGHAVENDRA, A. S. (ed), Physiology of trees, pp. 21-50. Wiley, London, 1991

Dipl.-Biol. Steffen Fehrenz
 phone: +49 5541 7004 63
 mail: steffen.fehrenz@nw-fva.de

Dipl.-Biol. Daniel Weber
 phone: +49 177 400 600 4
 mail: daniel@dw-biomonitoring.com

<https://www.nw-fva.de/index.php?id=626>



Abbildung 3: Temperatur und Niederschlag versus wöchentlichen Zuwachs ausgewählter Pappeln und Weiden der Jahre 2015 und 2016 auf der Hochnormierten Fläche des CF-Projekts „Sportplatz“

Definition der Parameter die den Analysen im CF-Projekt zugrunde liegen:

Im CF-Projekt wurden physiologische Parameter über die Chlorophyll-Fluoreszenz gewonnen. Sie werden im Folgenden definiert und wurden interpretiert als Fluoreszenz-Induktionskinetiken, ausgehend von F_0 über die Stufen F_J , F_I bis F_P , woraufhin der mehrphasige Fluoreszenzdurchgang O-J-I-P entsteht (Abbildung 4). Dieser für Fluoreszenzkinetiken typische Phasendurchgang war die Voraussetzung für den durch STRASSER und STRASSER (1995) etablierten JIP-Test, wobei zum Zeitpunkt F_0 (minimale Fluoreszenz) die Reaktionszentren des Photosystem II in offenem (oxidierten) Zustand und nach Erreichen des Zeitpunkt F_M diese in geschlossenem (reduzierten) Zustand vorliegen (STRASSER et al. 2001).

Energiefluss-Parameter der Photosynthese:

Lichtabsorption

ABS/CS_M = Lichtabsorption je Fläche bezogen auf maximale Fluoreszenz (F_M)

Der Parameter **ABS/CS_M** bewertet die Menge des Lichts, welches über die Excitonen an die Reaktionszentren (RC) P680 (PSII) und P700 (PSI) weitergeleitet werden. Dieser Parameter stellt die Lichtabsorption je Fläche, bezogen auf die maximale Fluoreszenz dar. Er bewertet die Größe der Antennenkomplexe sowie den direkten Excitonentransfer zwischen den beiden Photosystemen. Die Lichtabsorption des PSII ist bei Pappeln generell höher als bei Weiden. Dennoch werden die Pappeln und Weiden entlang ihrer Volumen-Leistung zugeordnet.

Energie-Trapping

TR/CS_M = Eingefangene Netto-Energie bis zum primären Elektronen-Akzeptor Q_A (abzüglich Abstrahlung) je Reaktionszentrum bezogen auf die maximale Fluoreszenz (F_M)

Die Grund-Fluoreszenz F_0 repräsentiert die Fluoreszenz-Emission eines Chlorophyll A-Moleküls der Antennenstruktur des Photosystem II im angeregten Zustand. Nur bei kompletter Oxidation des Elektronen-Akzeptors Q_A kann die reelle Grund-Fluoreszenz F_0 gemessen werden und die Adaption an den Dunkelzustand ist ausreichend. Die maximale Fluoreszenz F_M wird nur erreicht, wenn die Lichtintensität und die Zeit der Lichteinwirkung ausreichend waren und zur Lichtsättigung des Photosystem II führten. Damit wird der primäre Elektronen-Akzeptor Q_a vollständig reduziert.

Energie-Abstrahlung

DI₀/CS_M = Als Wärme- und Fluoreszenz-Strahlung abgegebene Energie bezogen auf die maximale Fluoreszenz (F_M)

Bevor die weiter geleiteten Excitonen in den Excitonenfallen der Photosysteme in Elektronenäquivalente umgewandelt werden und als Energie-Trapping TR/CS_M gezählt werden

können, wird ein Teil, der nicht genutzt werden kann, durch Wärme- und/oder Fluoreszenzstrahlung abgestrahlt. Je größer die abgestrahlte Energie gegenüber der weitergeleiteten oder eingefangenen Energie, umso weniger Energie kann genutzt werden um den Elektronenakzeptor Q_A zu reduzieren.

Elektronen-Weiterleitung

ET_0/CS_M = Elektronen-Weiterleitung aus PSII, ab primärem Elektronen-Akzeptor Q_A , je Fläche bezogen auf die maximale Fluoreszenz (F_M)

ET_0/CS_M beschreibt die Menge an Elektronen, die generiert und weitergeleitet werden können, wenn die Abstrahlungsenergie von der Lichtabsorption abgezogen wird und diese Energie vom primären Elektronen-Akzeptor in die Elektronenkaskade weitergeleitet werden kann.

Leistungs-Indikatoren (Performance-Indizes)

PI_{TOT} = Leistungsindex der photochemischen Aktivität des Photosystems II und Photosystems I

PI_{TOT} ist ein Leistungsindex, der über beide Photosysteme einschließlich der Elektronenkaskade zwischen ihnen, den Elektronendurchsatz indiziert.

PI_{ABS} = Leistungsindex der photochemischen Aktivität des Photosystems II

PI_{ABS} bewertet nur die Leistungsfähigkeit des PSII und der darauffolgenden Elektronenkaskade.

Area = Fläche zwischen Fluoreszenzkurve und maximaler Fluoreszenz (F_M), Größe des reduzierten Plastochinonpools

Das Area ist ein Maß, welches die Fläche zwischen der Fluoreszenzkurve und der maximalen Fluoreszenz darstellt. Es stellt die Größe des reduzierten Plastochinonpools (PQ) dar. Sämtliche Elektronen, die durch das PSII eingefangen wurden, und dieses passieren konnten, werden hier weitergeleitet. Die Menge des reduzierten Plastochinon-Pools ist der Index, der den Übergang der Elektronen von PSII in die Dunkelreaktion bewertet.

$S_m = area/(F_M - F_0)$ = Maß für die Energie, die nötig ist, um alle Reaktionszentren zu schließen und damit die Elektronentransportkette von PSII vollständig zu reduzieren

Je mehr Energie nötig ist um die Elektronen-Transportkette zu reduzieren umso höher ist deren Weiterleitungs-Kapazität. Je mehr Elektronen von Q_A^- in die Elektronen-Transportkette übergehen umso länger verbleibt das Fluoreszenz-Signal kleiner als F_M und umso höher ist S_m .

N = Indiziert wie viele Male der primäre Elektronen-Akzeptor bis zum Erreichen von F_M reduziert und reoxidiert wurde.

Licht-Nutzungs-Effizienz (Lichtreaktion)

Φ_{P0} = $TR_0/ABS = 1-F_0/F_M$ = Licht-Nutzungs-Effizienz = Ausbeute der primären Photochemie

$\Phi_{P0}/1-\Phi_{P0}$ = Maß für die Lichtreaktion

Quantenausbeute (Dunkelreaktion)

Ψ_{E0} = ET_0/TR_0 = Quantenausbeute Elektronen in die Transportkette weiter zu leiten

$\Psi_{E0}/1-\Psi_{E0}$ = Maß für die Dunkelreaktion

Relative variable Fluoreszenzen

V_J = $(F_{2ms}-F_0)/(F_M-F_0)$ = Aktivität des Photosystem II bezogen auf die maximale Aktivität

V_I = $(F_{30ms}-F_0)/(F_M-F_0)$ = Aktivität des Photosystem I bezogen auf die maximale Aktivität

dV/dt_0 = $TR_0/RC = 4(F_{30ms}-F_0)/(F_M-F_0)$ = Maximale Anreicherungs menge des Anteils geschlossener Reaktionszentren

Morphologische Parameter der Lichtnutzung

Die Größe und Kapazität der Photosynthesefläche eines sommergrünen Gehölzes ist eine temporale Investition und die Errichtung dieser Solarsegel muss aus dem Energiehaushalt der Pflanze getragen werden. Je größer und komplexer die Blattfläche umso mehr Ressourcen mussten für deren Ausstattung vom Energiehaushalt entnommen werden. Die Berechnung der Photosynthesefläche über die Dimension und Dichte der Blätter ist aufwendig. Aus diesem Grund wurden Blattflächen-Indizes entwickelt um mit geringem Aufwand und nicht-invasiv einen möglichst großen Stichprobenumfang reproduzierbar zu analysieren, siehe FEHRENZ und WEBER (2012 A).

Photosynthesefläche

BFI_{30} = Blattdimensionen (Blattflächen-Index) eines 30 cm langen Sprosssteils eines Triebes im mittleren Bereich zwischen juvenilen und seneszenten oder schon abgeworfenen Blättern. In diesem

Bereich werden die Länge und die Breite von drei repräsentativen Einzelblättern gemessen und gemittelt um diesen Wert anschließend mit der Gesamtzahl der sich an diesem Triebbereich befindenden Blätter zu multipliziert.

BFI_{HS} = Da zumindest bei Sträuchern, aber auch zurück geschnittenen Bäumen, meist mehrere Triebe aus einem Wurzelsystem versorgt werden und somit das zu beschreibende Individuum prägen, wird der BFI₃₀ mit der summierten Gesamtheit aller Triebe über 1m (Höhensumme, HS) dieses Individuums, multipliziert. Damit wird der Blattflächen-Index BFI₃₀ auf die gesamte Pflanze projiziert.

JSQ = Juvenilität-Seneszenz-Quotient = Ist ein Umrechnungsfaktor, der den Bereich des Triebes beschreibt, der mit photosynthetisch aktiven Blättern besetzt ist. Er wird berechnet aus dem Höhenansatz des ersten grünen Blattes und dividiert durch die Gesamthöhe des gemessenen Sprosses.

CG = Chlorophyllgehalt des Blattes, welcher durch eine Transmissionsmethode zur Bestimmung des Blattgrüns über das Messgerät ArbCm-01 (Hansatech) ermittelt wird.

BFI_{HSxJSQ} = Der auf die Gesamtpflanze projizierte Blattflächen-Index BFI_{30xHS} wird mit dem tatsächlichen Anteil der Blätter der jeweiligen Triebhöhe oder Höhengruppe umgerechnet.

BFI_{HSxJSQxCG} = Durch Multiplikation des BFI_{HSxJSQ} mit dem Index des Chlorophyllgehalts (CG) wird auf die photosynthetische Lichtnutzungs-Kapazität der Gesamtblattfläche des Individuums (Licht exponiertes Blattgrün) geschlossen.

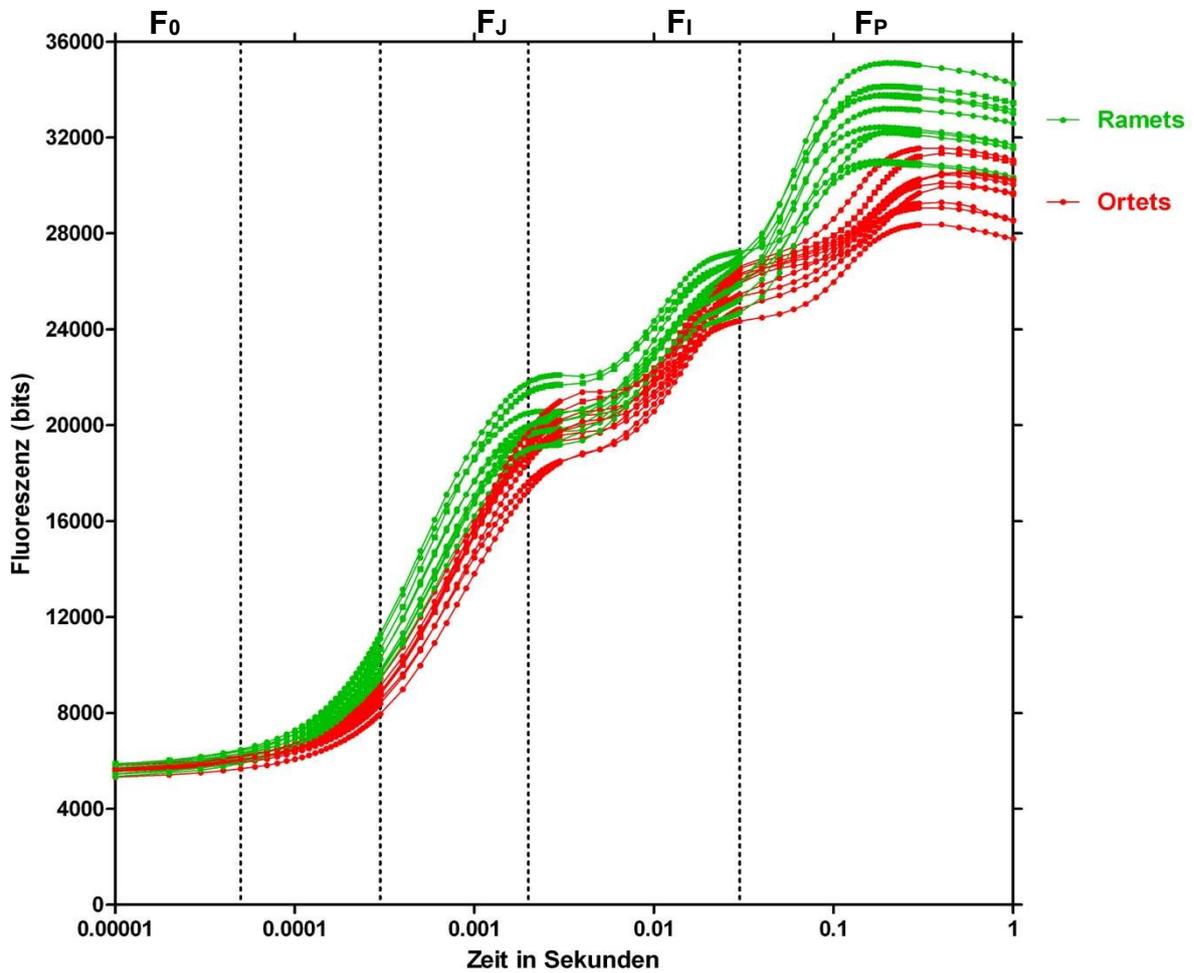
Ertrag indizierende Parameter:

Die den Ertrag indizierenden Parameter sind nicht-invasive biometrische Messungen der Höhe und Durchmesser. Sie dienen als Schätzer für die zu erwartende Biomasse, welche ansonsten nur durch eine Vollernte in ihrer Menge bestimmt werden könnte.

HS = Höhengruppe = Summiert die Längen aller Triebe 1. Grades über 1m Höhe eines Individuums.

Vol = Volumen = Durch Einbeziehung des Wurzelhalsdurchmessers und Verrechnung mit der Höhengruppe wird auf das Holzvolumen je Individuum geschlossen. Dabei ist zu beachten, dass nur über die Ermittlung der Holzdichte, der reale Ertrag des Genotyps ermittelt werden kann.

Vergleich der Chlorophyll-Fluoreszenzkurven zwischen
 Ortets und Ramets



<http://www.queenmaryphotosynthesis.org/nield/psIIimages/oxygenicphotosynthmodel.html>
 (embryophyte)

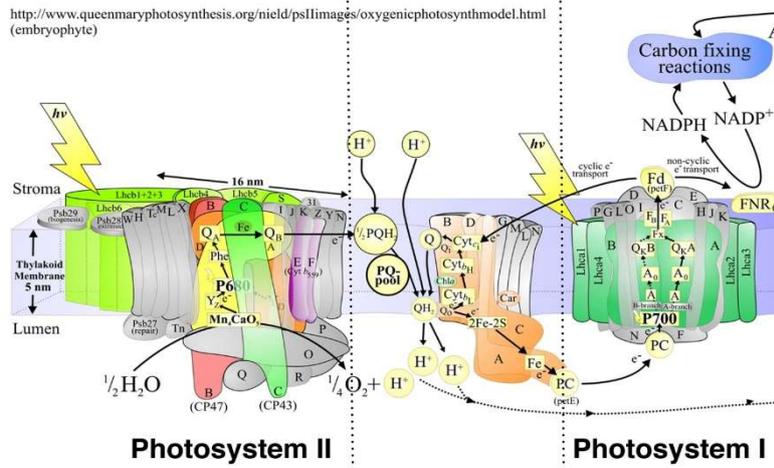


Abbildung 4: Fluoreszenzdurchgang O-J-I-P in Bezug zum realen biochemischen Elektronentransfer einer Biomembran (Thylakoidmembran) innerhalb eines Chloroplasts.

Die komplett analysierten Daten zur Biometrie, Phänologie und Physiologie, die auf der HNF „Sportplatz“ in den drei Vegetationsperioden des Berichtszeitraums genommen wurden, werden in der geplanten Publikation „Growth strategies and light use efficiency of poplars and willows“ (Fehrenz et al. 2019) abschließend betrachtet werden.

III.1.3 Art- und klonspezifische Prüfung photo-relevanter Leistungsparameter von Pappeln und Weiden auf ausgewählten Testflächen des Projekts FastWOOD

Im Rahmen der drei Züchtungsphasen des FastWOOD-Projekts wurden in den Jahren 2013 bis 2017 Pappel- und Weidentestflächen angelegt. Diese sind aus den in Bezug auf Biomasse und Pathogenresistenz vielversprechendsten Klone unterschiedlicher Arten und Hybriden der Züchtungsjahre 2009 bis 2015 zusammengestellt. Die Klone aus dem FastWOOD-Projekt wurden aus einem hochwertigen Genpool generiert und überschreiten wahrscheinlich die derzeitigen Erträge an Biomasse, wie sie bei den Pappeln durch Matrix-Klone und bei den Weiden durch die Klone Inger, Tora und Tordis erbracht werden, deutlich. Sommergrüne Pioniergehölze der gemäßigten Breiten repräsentiert durch Pappeln und Weiden haben die höchsten Photosynthese-Raten im Pflanzenreich. Sie sind dadurch befähigt in einer begrenzten Vegetationsperiode unter hoher Konkurrenz an Störstellen Höchstleistungen zu erbringen, die von keiner anderen Pflanze erreicht werden könnte. Die weitere Optimierung der Photosysteme dieser leistungsstarken Pflanzen durch die Züchtung, stellt eine Herausforderung dar, und die gemessenen Werte der Photosynthese-Leistung erreichen für C2-Pflanzen ein Maximum, welches als Grenzwert der Umwandlung von Licht in chemische Energie im Pflanzenreich betrachtet werden kann. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die FastWOOD-Klonprüfung geeignet ist, um das Spektrum der verschiedenen Pappel- und Weidenarten sowie ihrer auf Biomasse-Leistung gezüchteten Klone, in Bezug auf die Photosynthese-Leistung, nach Oben zu skalieren.

Insgesamt drei Pappel- und drei Weiden-Feldprüfungsserien, angelegt in den Jahren 2015 bis 2017, die Feldprüfung wiederum aus 20 bis 35 verschiedenen Klone bestehen, wurden an 10 Individuen je Klon aus mit 3 Wiederholungen aller dort zu prüfenden Klone, die photosynthetisch relevanten Leistungsparameter sowie die Blattflächen ermittelt und mit den durch FastWOOD gewonnenen Biomasse-Daten korreliert. Die Messungen wurden durch Feldkampagnen in einem Zeitraum von Anfang August bis Ende September durchgeführt.

2015 wurden 23 Weiden- und 36 Pappel-Züchtungen an je 3 Standorten für eine dreijährige Klonprüfung abgesteckt. Diese Prüfungen sind das Resultat aus verschiedenen Selektionsstufen, die auf der Grundlage von Kreuzungen seit 2009, durchgeführt wurden. Im Rahmen des CF-Projekts wurden in dieser **Feldprüfungsserie 615** die 4 Flächen Siemen (Wendland, Ost-Niedersachsen),

Uplengen (Ostfriesland), Stiedenrode (Nord-Ost Hessen) und Reinhardshagen (Hessisches Wesertal) durch die Parameter CF, CG und BF innerhalb einer zweiwöchigen Feldkampagne bonitiert.

In den KW 30 – 34 des Jahres 2016 wurden im Rahmen einer durchgängigen Feldkampagne von drei Wochen auf den FastWOOD **Klonprüfungen 615 und 616** in Stiedenrode 1 und 2, Kaxdorf, Merbachfeld 1 und 2, Siemen und Augustfehn die oben beschriebenen photosynthetisch relevanten Parameter mit derselben Methode ermittelt. Für die sich im zweiten Jahr befindlichen Prüfung 615 wurde ein Teil zurückgeschnitten und wiederum mit der FastWOOD-Methode gemessen. Für den nicht zurück geschnittenen Teil wurde die ProLoc-Methode (AP 4) angewendet, in welcher 16 Pappel- und je 16 Weidenklone ausgewählt wurden.

Der starke Unkrautdruck und der Mangel an Mitarbeitern verursachten auf den FastWOOD-Klonprüfungsflächen, welche im Frühjahr 2015 angelegt wurden, erhebliche Zuwachsverzögerungen, vor allem bei Pappeln. Leider sind aufgrund der Beschattungs- und Wurzelkonkurrenz-Wirkung der Unkrautlast auch Auswirkungen auf die Photosynthese-Leistung vor allem auf Pappelklone auf verschiedenen FastWOOD-Flächen registriert worden. Vergleichswerte, die für einige Klone ohne Unkrautlast auf der CF-Vorprüfungsfläche genommen wurden, konnten diese Auswirkungen auf die gemessenen Daten bestätigen. Vorteilhaft ist dieser Umstand aber dennoch um zusätzliche Daten zu gewinnen, die Aussagen über den Einfluss der Unkrautlast im Etablierungsjahr von Pappel- und Weiden-Versuchsflächen, zulassen.

Die letzte Pappel- und Weiden-Feldprüfung des Züchtungsprojekts FastWOOD wurde 2017 mit dem „**Roggenfeld**“ (Abbildung 5) angelegt. In dieser Feldprüfung, die gleichzeitig als Vermehrungsquartier dient, wurden 23 Weiden- und 36 Pappelklone in zwei Wiederholungen zu a 24 Prüfgliedern abgesteckt. Vom 15. – 30. September 2017 fand hier die letzte CF-Felddatenerhebung statt. Hierbei wurden die oben beschriebenen Methoden für die Ermittlung von Daten zur Photosynthese und Blattfläche angewendet und weiterhin biometrische Messung der Höhe und des Stammfussdurchmessers durchgeführt. Diese Daten werden hier näher betrachtet und dienen als Referenz für die Auswertung.

Energiefluss-Parameter der Photosynthese

Für die Ermittlung der Energiefluss-Parameter wurden 20 Weiden- und 48 Pappelklone auf der Feldprüfungsfläche „Roggenfeld“ beprobt. Je Klon wurden 4 Einzelmessungen im photosynthetisch aktiven Bereich des höchsten Triebes durchgeführt. Insgesamt wurden innerhalb von 5 Vormittagen in der Zeit von 8 bis 11 Uhr 1920 Einzelmessungen durch Chlorophyll-Fluoreszenz-Detektion durchgeführt. Der Fluoreszenzdurchgang erlaubt die Berechnung von Parametern, die Aussagen über die Lichtabsorption bis zur Größe der Verfügbarkeit von Energie für die Transformation in chemische Energie, die der Pflanze zur Verfügung gestellt werden kann, erlauben.

Die Lichtabsorption (ABS/CS_m) ist bei Pappelarten und deren Hybriden in der Sektion Takamahaca (Balsampappeln), der von Strauchweiden der Sektion Viminalis (*S. viminalis*, *S. schwerinii* und *S. sachalinensis*) signifikant überlegen (Abbildung 6). Auch die Fixierung der Exzitonen-Energie (TR/CS_m) und Reduktion des primären Elektronen-Akzeptors Q_A des Photosystem II (PSII) ist bei den Pappeln gegenüber den Strauchweiden signifikant höher.



Abbildung 5: Prüf- und Vermehrungsfläche "Roggenfeld" (vierwöchig) im Anlagejahr 2017. Die Fläche beinhaltet Pappel- und Weidenklone der 100 besten aus den FastWOOD Kreuzungen der Jahre 2012 bis 2015.

Trotz der erhöhten Wärmeabstrahlung (DI_0/CS_m) der Pappeln werden von diesen, gegenüber den Strauchweiden, immer noch deutlich mehr Elektronen aus dem PSII in den Plastochinon-Pool der Elektronenkaskade (ET_0/CS_m) weitergeleitet. Erst die Größe des Plastochinon-Pools (Area) zeigt eine Angleichung in seiner Ausprägung im Vergleich zwischen Pappeln und Strauchweiden. Die Größe des Plastochinon-Pools (PQ) könnte in unserer Untersuchung am ehesten als speziesübergreifender Leistungsparameter betrachtet werden, denn Pappeln und Strauchweiden zeigen hier eine gemeinsame Skalierbarkeit unabhängig von ihrer genotypischen Lichtnutzungs-Strategie. Die Größe des PQ-Pools ist ein Ausdruck der Kapazität zur Aufnahme und Weiterleitung von Elektronen, die von der jeweiligen Pflanze zur späteren Energietransformation in chemische Energie genutzt werden kann. Die Größe des PQ-Pools wird in seiner Effizienz im Elektronendurchsatz durch den Parameter S_m weiter beschrieben. S_m beschreibt die Energie, die zur Sättigung oder vollständigen Reduktion des PQ-Pools notwendig ist. In Abbildung 6 wird gezeigt, dass der PQ-Pool der Strauchweiden deutlich mehr Energie zum Reduzieren benötigt als die Pappeln. Das bedeutet, dass der PQ-Pool der Strauchweiden, die zur Verfügung stehenden Elektronen vollständig nutzen und umsetzen kann und weiterhin auch bei einem erhöhten Angebot weniger schnell überlastet ist.

Die in Abbildung 7 dargestellten **Vitalitätsparameter** beschreiben die Effizienz einzelner Bereiche des Elektronendurchgangs durch den Photosynthese-Apparat von der Licht- bis zur Dunkelreaktion. Die Performance-Indizes sind eine polyparametrische Zusammenfassung der Übergangswahrscheinlichkeit von Elektronen zwischen den einzelnen Redoxsystemen (Abbildung 4).

Durch den Vitalitätsparameter $\Phi_{iP_0/1-\Phi_{iP_0}}$ ist es möglich ein Maß für die Lichtreaktion zur Beschreibung der Lichtnutzungseffizienz $\Phi_{iP_0} = TR_0/ABS = 1-F_0/F_M$ einzusetzen. Dieser Parameter

zeigt, dass die Pappeln eine höhere Ausbeute der primären Photochemie besitzen. Demgegenüber besitzt die Weide eine deutlich höhere Quantenausbeute und damit Effizienz der Dunkelreaktion, wie es durch den Parameter $\Psi_{iE0}/1-\Psi_{iE0}$ ($\Psi_{iE0} = ET_0/TR_0$) beschrieben wird. Gegenüber den Pappeln haben die Weiden insgesamt eine deutlich höhere Quantenausbeute. Die Aktivität der Photosysteme wird durch die Parameter $V_J = (F_{2ms}-F_0)/(F_M-F_0)$ = Aktivität des Photosystem II und $V_I = (F_{30ms}-F_0)/(F_M-F_0)$ = Aktivität des Photosystem I beschrieben. Beide Photosysteme haben bei Pappeln gegenüber den Weiden eine höhere Aktivität. Demgegenüber zeigen die Performance-Indizes P_{iABS} und P_{iTOT} eine deutlich höhere Weiterleitungswahrscheinlichkeit von Elektronen durch den gesamten Photosynthese-Apparat bei Weiden gegenüber den Pappeln.

Die Höhensumme (HS) in Abbildung 8 als **Ertrag indizierender biometrischer Parameter** zeigt, dass Strauchweiden, durch ihre Vieltriebigkeit, deutlich höhere Werte gegenüber den Pappeln aufweisen. Letztere bilden im Absteckungsjahr nur einen Trieb. Die Chlorophyllgehalte (CG) unterscheiden sich nur wenig zu Gunsten der Strauchweiden. Auf 30 cm Trieblänge im photosynthetisch aktiven Bereich des höchsten Triebes haben die Pappeln eine wesentlich höhere Blattfläche, wie der BFI_{30} in Abbildung 8 deutlich zeigt. Nach Verrechnung des BFI_{30} mit der HS wird deutlich, dass die Weiden fast die gleiche Photosynthesefläche je Wurzelstock (Individuum) erreichen wie die Pappeln. Wenn jetzt noch der photosynthetisch aktive Bereich JSQ einbezogen wird, dann haben Pappeln und Strauchweiden vergleichbar hohe Blattflächen, wie der BFI_{HS+JSQ} in Abbildung 8 zeigt. Durch das weitere Einbeziehen des Chlorophyllgehalts (CG) zeigen die Weiden sogar eine leicht höhere Photosynthese-Kapazität.

Auf der Suche nach einem die Leistung vorausschauend beschreibenden Diagnose-Werkzeug zeigt die **Diskussion der Zusammenhänge physiologischer, morphologischer und biometrischer Parameter** (Tabelle 1) zunächst einen Grundzusammenhang der Ertrag indizierenden Parametern Volumen und Höhensumme untereinander. Für die Pappel beschreiben die Blattflächen-Indizes einen positiven Zusammenhang mit ihrer HS- oder Volumenleistung. Die Strauchweiden hingegen zeigen keinen oder einen negativen Zusammen zwischen BF-Indizes und Leistung. Das bedeutet erstaunlicherweise, dass bei Strauchweiden eine größere Blattfläche zu geringeren Erträgen führt oder umgekehrt, größere Erträge nur durch kleinere Blattflächen erzielt werden. Ähnliche Erkenntnisse wurden auch schon in FEHRENZ & WEBER (2012 B) auf einer Prüffläche nicht registrierter Weidensorten gewonnen. Die Vitalitätsparameter zeigen ihren dichtesten Zusammenhang mit dem Ertrags-Indikator HS in der Gattungsübergreifenden Berechnung (Pappel/Weide). Je höher die Quantenausbeute umso höher die Volumen-Leistung bei Pappeln. Es gibt bei Pappeln eine leicht positive Korrelation mit dem Faktor 0,255. Die Erhöhung der Quantenausbeute führt bei Pappeln also direkt zu einer Volumenzunahme. Im Gegensatz dazu führt die Erhöhung der Quantenausbeute bei Weiden nicht zu einer Erhöhung der Volumen-Leistung. Hier gibt es eine negative Korrelation mit dem Faktor -0,208. Je mehr Elektronen gegenüber der eingefangenen Energie weitergeleitet werden können, umso höher ist die Quantenausbeute.

Energiefluss-Parameter der Photosynthese von Pappeln und Weiden

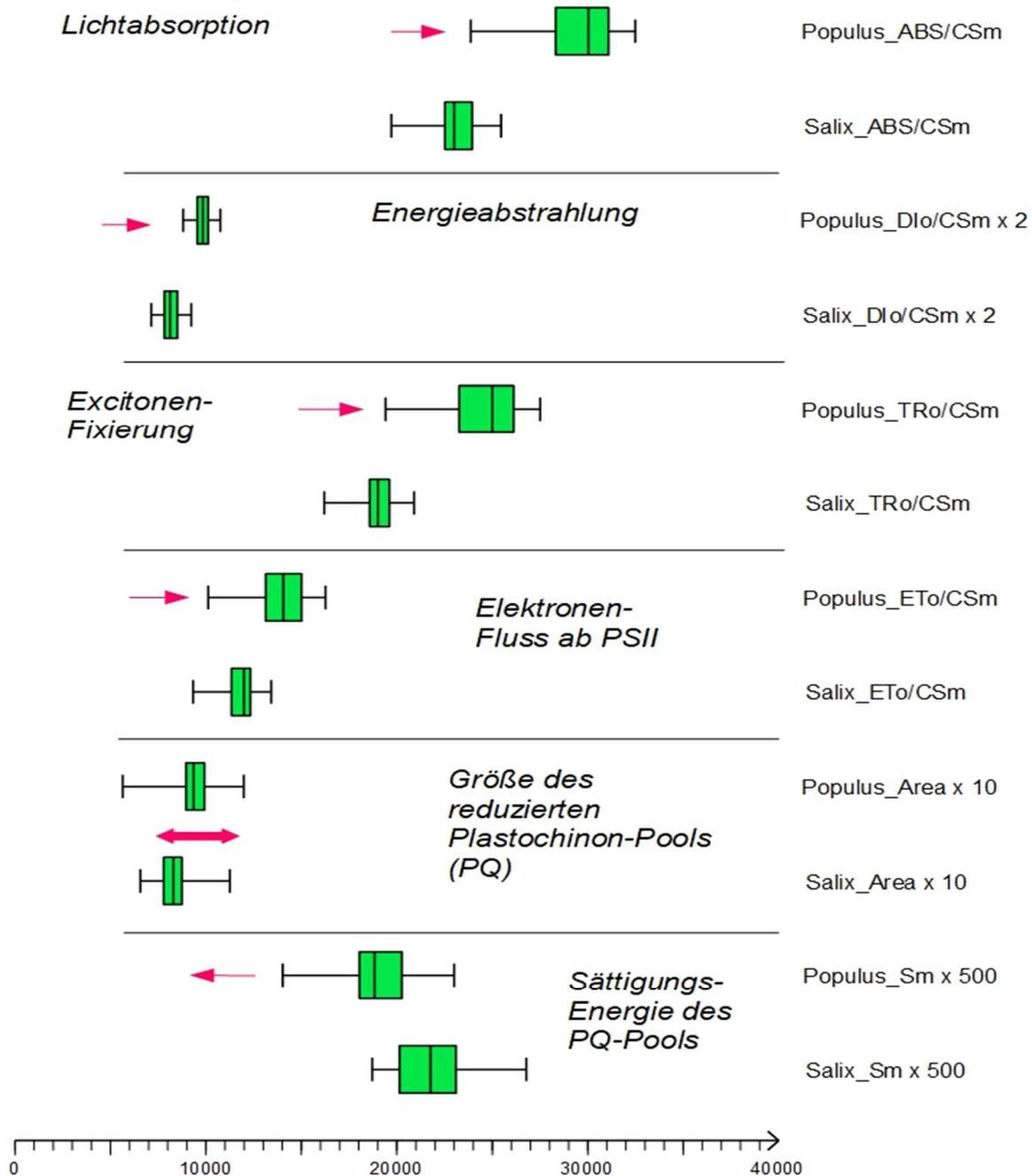


Abbildung 6: Kenngrößen des Energieflusses der Photosynthese von 28 Pappel- und 20 Strauchweidenklonen, berechnet auf Grundlage von Chlorophyll-Fluoreszenz Messungen an 4 Blättern des jeweils höchsten Triebes, im Mittelbereich des photosynthetisch aktiven Bereichs zwischen juvenil und seneszent, an je 10 Pflanzen pro Klon, im ersten Jahr nach ihrer Absteckung im Versuchs- und Vermehrungsquartier „Roggenfeld“. Die Messung erfolgten vom 15. - 20. September 2017.jeweils zwischen 8 bis 11 Uhr.

Vitalitätsparameter der Photosynthese von Pappeln und Weiden

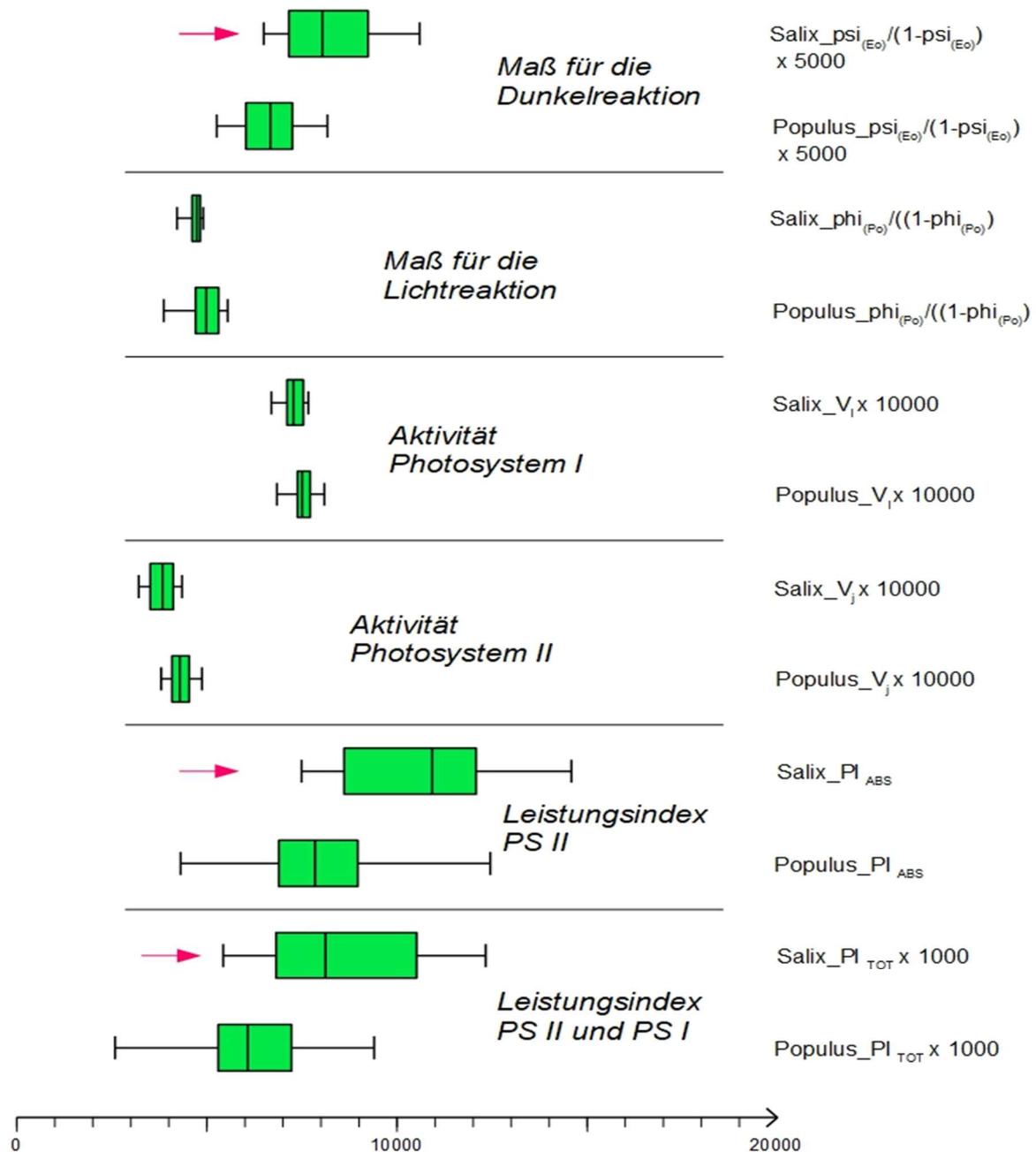


Abbildung 7: Photosynthetisch relevante Vitalitätsparameter von 28 Pappel- und 20 Strauchweidenklonen, berechnet auf Grundlage von Chlorophyll-Fluoreszenz Messungen an 4 Blättern des jeweils höchsten Triebes, im Mittelbereich des photosynthetisch aktiven Bereichs zwischen juvenil und seneszent, an je 10 Pflanzen pro Klon, im ersten Jahr nach ihrer Absteckung im Versuchs- und Vermehrungsquartier „Roggenfeld“. Die Messung erfolgten vom 15. - 20. September 2017, jeweils zwischen 8 bis 11 Uhr.

Morphologie der Lichtperzeption von Pappeln und Weiden

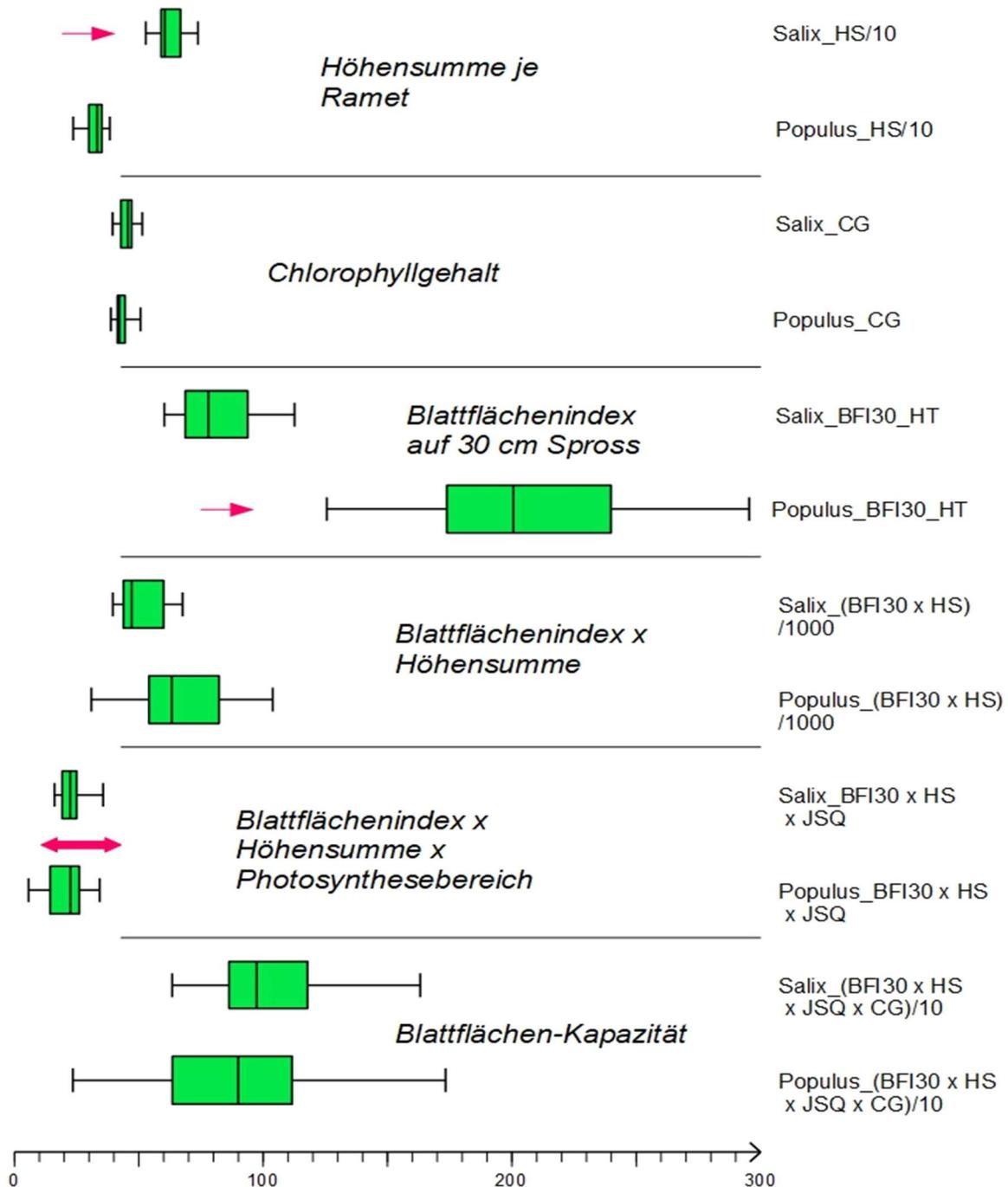


Abbildung 8: Für die Lichtperzeption relevante morphologische Parameter von 28 Pappel- und 20 Strauchweidenklonen, berechnet auf Grundlage biometrischer Messungen der Blattfläche und Blattdichte des jeweils höchsten Triebes, im Mittelbereich des photosynthetisch aktiven Bereichs zwischen juvenil und seneszent, an je 10 Pflanzen pro Klon, im ersten Jahr nach ihrer Absteckung im Versuchs- und Vermehrungsquartier „Roggenfeld“. Die Messungen erfolgten vom 25. - 30. September 2017.

Tabelle 1: Zusammenhänge zwischen physiologischen (Energiefluss, Leistungs- und Vitalitätsparameter) und morphologischen (Blattflächen-Indizes) mit den Zuwachs-indizierenden Parametern Volumen und Höhensumme (HS) von Pappeln und Strauchweiden der Prüf- und Vermehrungsfläche „Roggenfeld“, die auf Grundlage der Messungen in der Zeit vom 15. – 30. September durchgeführt wurden. Farblich hervorgehoben sind Korrelationskoeffizienten höher als 0,40 (rot) und kleiner als -0,40 (grün). Die Erläuterung zur Bedeutung der einzelnen Parameter ist in Kapitel 1 zu finden.

	ABS/CS _M	DI/CS _M	TR/CS _M	ET _o /CS _M	Area	Sm	N	
Pappel/Weide	-0,05	-0,23	-0,02	0,05	0,23	0,32	0,23	Volumen
Pappel	0,06	-0,31	0,10	0,19	0,30	0,33	0,32	Volumen
Weide	0,18	0,13	0,19	0,00	0,32	0,24	0,12	Volumen
Pappel/Weide	-0,62	-0,67	-0,61	-0,42	-0,21	0,51	-0,19	HS
Pappel	0,55	0,23	0,55	0,51	0,48	-0,03	-0,11	HS
Weide	0,36	0,23	0,38	0,27	0,58	0,42	0,27	HS
Pappel/Weide	-0,31	-0,34	-0,30	0,13	0,29	0,68	0,28	CG
Pappel	-0,10	-0,03	-0,09	0,15	0,40	0,55	0,28	CG
Weide	-0,11	-0,29	-0,06	0,33	0,60	0,73	0,59	CG
Pappel/Weide	0,73	0,56	0,74	0,65	0,51	-0,30	0,27	BFI ₃₀
Pappel	0,35	-0,25	0,41	0,50	0,54	0,31	0,18	BFI ₃₀
Weide	-0,19	-0,17	-0,20	0,01	-0,15	-0,03	0,10	BFI ₃₀
Pappel/Weide	0,58	0,28	0,60	0,62	0,56	-0,07	0,19	BFI _{HS}
Pappel	0,49	-0,08	0,53	0,58	0,59	0,20	0,07	BFI _{HS}
Weide	-0,03	-0,08	-0,03	0,13	0,09	0,15	0,22	BFI _{HS}
Pappel/Weide	0,16	-0,10	0,20	0,37	0,40	0,22	-0,02	BFI _{HS+JSQ}
Pappel	0,55	0,15	0,59	0,70	0,69	0,21	-0,03	BFI _{HS+JSQ}
Weide	0,10	0,04	0,11	0,18	0,07	0,05	0,14	BFI _{HS+JSQ}
Pappel/Weide	0,08	-0,17	0,12	0,34	0,43	0,35	0,04	BFI _{HS+JSQ+CG}
Pappel	0,51	0,05	0,55	0,70	0,74	0,31	0,02	BFI _{HS+JSQ+CG}
Weide	0,07	-0,02	0,09	0,25	0,20	0,21	0,27	BFI _{HS+JSQ+CG}
Pappel/Weide	-0,43	-0,46	-0,41	-0,20	-0,13	0,34	-0,27	JSQ
Pappel	0,23	0,19	0,24	0,35	0,27	0,02	-0,21	JSQ
Weide	0,28	0,20	0,31	0,24	0,04	-0,10	-0,05	JSQ
	$\phi_{i(Po)}/((1-\phi_{i(Po)})$	$\psi_{i(Eo)}/(1-\psi_{i(Eo)})$	V _i	V _i	PI _{ABS}	PI _{TOT}	PI _{SAL}	
Pappel/Weide	0,25	0,13	-0,17	-0,12	0,21	0,16	0,16	Volumen
Pappel	0,35	0,25	-0,27	-0,26	0,29	0,31	0,26	Volumen
Weide	0,12	-0,21	0,19	0,28	-0,05	-0,19	-0,16	Volumen
Pappel/Weide	-0,21	0,56	-0,56	-0,37	0,60	0,52	0,13	HS
Pappel	0,48	-0,06	0,03	0,07	0,20	0,09	0,49	HS
Weide	0,19	0,01	-0,01	-0,07	0,15	0,14	0,21	HS
	HS	CG	BFI ₃₀	BFI _{HS}	BFI _{HS+JSQ}	BFI _{HS+JSQ+CG}	JSQ	
Pappel/Weide	0,30	0,03	0,11	0,41	0,15	0,13	-0,18	Volumen
Pappel	0,73	-0,05	0,56	0,68	0,32	0,28	-0,37	Volumen
Weide	0,62	0,05	-0,46	-0,20	-0,40	-0,35	-0,50	Volumen
Pappel/Weide		0,36	-0,78	-0,31	0,24	0,30	0,66	HS
Pappel		-0,06	0,53	0,75	0,53	0,50	-0,19	HS
Weide		0,22	-0,44	0,00	-0,06	-0,02	-0,14	HS

Das heißt auch, umso geringer das eingefangene Licht gegenüber der Elektronenweiterleitung umso höher die Quantenausbeute. Für die Weiden würde das in Bezug auf die Volumen-Leistung bedeuten, dass je weniger Licht eingefangen werden muss oder je höher die Elektronenweiterleitung ist, umso höher müsste die Volumen-Leistung werden. Das Gegenteil ist aber der Fall. Je weniger Licht bei den Weiden eingefangen wird umso geringer ist auch ihre Volumen-Leistung denn es können nicht mehr Elektronen weitergeleitet werden, als auch eingefangen wurden. Das heißt wiederum auch, dass bei den Strauchweiden nur eine Erhöhung der Lichtabsorption zu einer Steigerung des Ertrags führen könnte. Die PS I und II -Aktivitäten sind für die Pappeln reziprok zur Volumen-Leistung der Prüfglieder! Das bedeutet, je leistungsfähiger die Pflanze umso geringer fallen die relativen Aktivitäten der Photosysteme gegenüber der maximalen Fluoreszenz aus. Das bedeutet weiterhin, dass der Beitrag der Lichtreaktion zur Volumen-Leistung geringer ist, als der der Dunkelreaktion. Die

Performance-Indizes P_{iABS} und P_{iTOT} haben ihre höchste Ausdruckskraft in der speziesübergreifenden Berechnung. Den größten physiologischen Zusammenhang mit dem Ertrag bildet in dieser Untersuchung aber die Größe des Plastochinon-Pools (PQ) mit der Höhensumme (HS). Bei Pappeln und Strauchweiden indiziert der PQ-Pool den Ertrag mittelstark positiv.

Ableitung von Ertragsschätzern aus morphologischen und physiologischen Daten des CF-Projekts

Die Analyse der Elektronendurchgänge sowie der Ausprägung der Licht-perzipierenden Organe in den Gattungen *Populus* und *Salix* haben einen für die jeweilige Gattung und für die Einzelparameter spezifischen Zusammenhang zu Ertrag indizierenden Parametern geliefert (siehe Tabelle 1). Tabelle 1 zeigt durch Kreuzkorrelation (Pearson) der wichtigsten im CF-Projekt analysierten Parameter, die relevanten (Korrelationsfaktor $> 0,4$ oder $< -0,4$) positiven (rot) und negativen (grün) Zusammenhänge, jeweils für Pappeln und Weiden sowie für alle Prüfglieder (Pappel/Weide). Wichtig für die Interpretation der Daten ist, dass sich alle Zusammenhänge nur auf die oberirdische Biomasse (Holzvolumen und Höhensumme) beziehen. Es ist aber davon auszugehen, dass 30 bis 60 % der Gesamtbiomasse aus unterirdischer Biomasse (Wurzel) besteht. Die Investition in unterirdische Biomasse gewinnt bei mehrjährigen Pflanzen wie Gehölzen über die Jahre des Anbaus an Bedeutung, da die Investition in unterirdische Biomasse in den Folgejahren den Ertrag oberirdischer Biomasse auch unter Berücksichtigung widriger Umstände, wie Dürrezeiten, zumindest aufrecht erhalten kann. Unter günstigen Umständen ist die Investition in die Wurzel mit einer gesicherten Zuwachsrate verbunden und hat eine Ertragssteigerung in den Folgejahren des Anbaus zur Folge. Die Suche nach einem biophysikalischen und/oder morphologischen Ertragsschätzer soll hier über die Analyse der holzigen Biomasse (Volumen = Vol und Höhensumme = HS), grünen Biomasse (Blattflächen = BF), Photosynthese-Kapazität (Chlorophyllgehalt = CG) sowie Photosynthese-Effizienz (Parameter des Elektronendurchgangs der Photosynthese).

Morphologische Ertragsschätzer: Der Chlorophyllgehalt (CG) ist ein Parameter, der die Dichte der Chloroplaste in der Zelle beschreibt und somit als Ausdruck der Photosynthese-Kapazität beschrieben werden kann. Da Chlorophyll eine heterozyklische C-N Verbindung ist, ist dessen Synthese direkt an den Verbrauch von Stickstoff gebunden. Erstaunlicherweise konnte kein Zusammenhang zwischen der Konzentration des Chlorophylls im Blatt mit irgendeinem der Ertrag indizierenden Parameter festgestellt werden. Die Variabilität weder innerhalb der jeweiligen Gattung noch zwischen den Gattungen *Populus* und *Salix* ist gering (Abbildung 8). Obwohl der CG klonspezifisch ist, führt ein höherer CG nicht zu einem höheren Ertrag. Damit eignet sich der **Chlorophyllgehalt** nicht als Ertragsschätzer für Pappeln und Weiden. Dennoch ist der nicht vorhandene Zusammenhang zwischen Chlorophyllgehalt und Ertrag an oberirdischer Biomasse ein interessantes Indiz für die hohe Stickstoff-Effizienz der Salicaceae (Weidengewächse).

Die **Größe der Photosynthesefläche** von Pflanzen kann man mit der Größe eines Solarpanels auf einem Hausdach vergleichen. Je mehr Fläche ich habe umso mehr Licht kann ich in Strom umwandeln. Dennoch muss ein größeres Panel mit mehr Aufwand produziert werden als ein kleineres. Auch für die Produktion von mehr oder/und größeren Blättern muss die Pflanze mehr

Energie und Materie verwenden als für kleinere. Deswegen ist die morphologische Ausprägung der Blätter und deren Fläche immer ein artspezifisches Gleichgewicht zwischen Investitionskosten und Nutzen. Pappeln und Strauchweiden sind ein gutes Beispiel für zwei völlig unterschiedliche Lichtnutzungskonzepte. Dies zeigt sich deutlich durch Betrachtung des Zusammenhangs Blattfläche versus Ertrag (Tabelle 1). Alle Varianten zur Berechnung der Blattfläche, auch unter Einbeziehung von Korrekturfaktoren wie der Höhensumme und des Juvenilitäts-Index, ergeben eine mittel hohe positive Korrelation zwischen 0,32 bis 0,75 für die Pappeln und eine davon reziproke mittel hohe negative Korrelation zwischen -0,2 bis -0,5 für die Strauchweiden. Der dichteste Zusammenhang zum Ertrag an oberirdischer Biomasse im ersten Jahr für **Pappeln** und **Strauchweiden** entsteht über die Ermittlung des morphologischen Leistungs-Index $PI_{BFHS} = BFI_{HS}$ (Tabelle 1, Definition S. 18 u. 19). Das bedeutet je größer ein Pappelblatt und je dichter es an einem möglichst langen Trieb inseriert ist, umso mehr Ertrag ist für den jeweiligen Klon zu erwarten. Für Strauchweiden ist genau das Gegenteil der Fall, denn je mehr ein spezifischer Klon in Blattmasse investiert, umso geringer fällt die zu erwartende Wuchsleistung aus.

Physiologische Ertragsschätzer: Die Messung des Elektronendurchgangs der Photosynthese durch Chlorophyll-Fluoreszenz ergibt für jede Einzelmessung 160 Messpunkte innerhalb eines Messzeitraums von 1 s (Abbildung 4). Dieser Elektronendurchgang wurde hier in Bezug zum Elektronentransfer in einer realen Biomembran gebracht und ergab durch Mittelung zahlreicher Messungen einen für Pappeln und Strauchweiden typischen Verlauf. Pappeln und Strauchweiden unterscheiden sich stark in der 1. Phase der Lichtperzeption sowie der Umwandlung dieser zu elektrischer Energie. Im weiteren Verlauf des Elektronentransfers nähert sich der Elektronentransfer im Bereich des Übergangs von der Licht- zur Dunkelreaktion an eine vergleichbare Größenordnung an (Abbildung 6). Damit ist der Bereich des Übergangs von der Licht- zur Dunkelreaktion geeignet zur Definition eines **physiologischen Leistungs-Index (Performance-Index, PI)**, der für Pappeln und Strauchweiden gleichermaßen einen Bezug zum Ertrag liefert. Die klassischen Leistungs-Indizes in der Fluoreszenzkinetik PI_{ABS} und PI_{TOT} generieren ihre Ausprägung durch die Verrechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten der einzelnen Abschnitte des Elektronentransfers in der Photosynthesekette. Beide Leistungs-Indizes erhöhen sich also entsprechend ihrer Ausprägung, je weniger Energie verloren geht, von der Lichtperzeption über die Energietransformation und Elektronenweiterleitung bis zum Übergang in die Dunkelreaktion. Die Photosynthese einer Pflanze wird damit als umso ineffizienter interpretiert, je geringer der Wert des Leistungs-Index ist. Es stellt sich aber die Frage, ob diese angebliche Ineffizienz nicht dennoch zur gleichen Größenordnung an zur Verfügung gestellter Energie führt, wie eine Pflanze, die weniger Energie beim Elektronentransfer verliert aber dennoch auf demselben Niveau Energie für den Stoffwechsel dieser Pflanze generiert. In Abbildung 6 wird der große Energieverlust von Pappeln gegenüber Strauchweiden sichtbar. Anders interpretiert beginnen Pappeln auf einem deutlich höheren Niveau bei der Lichtperzeption als Strauchweiden. Die klassischen Leistungs-Indizes (Abbildung 7) bewerten dieses für die Pappel als ineffiziente und schlechte Performance gegenüber der Strauchweide. In Wirklichkeit ist das aber nicht der Fall, wie in Abbildung 6 bei dem Parameter „Area“ deutlich wird. Im Parameter „Area“, haben sich Pappeln und Strauchweiden auf einen Vergleichbaren Bereich genähert. Der Parameter „Area“ gibt

die Fläche unter der Fluoreszenzkurve an und spiegelt die Größe des reduzierten Plastochinon-Pools wieder (Abbildung 4). Die Größe des Plastochinon-Pools ist das Ergebnis aller akkumulierten und weitergeleiteten Elektronen, egal ob auf „effizientem Weg“ gewonnen, wie bei den Strauchweiden oder „ineffizientem Weg“, wie bei den Pappeln. Die Größe des Plastochinon-Pools gibt also an, welche Menge an Energie jeder Pflanze zur Verfügung steht und in Biomasse umgewandelt werden kann. Die Korrelation der Werte des Parameters „Area“ mit Ertragsdaten (hier Höhensumme, HS, Tabelle 1) ergibt für das erste Jahr einen deutlich positiven Zusammenhang zur oberirdischen Biomasse von 0,48 für Pappeln und 0,58 für Strauchweiden. Im Folgejahr 2018 wurde eine weitere biometrische Messung (Roggenfeld) durchgeführt und ergab in diesem Parameter einen mittel starken positiven Zusammenhang von 0,61 für Pappeln und 0,75 für Strauchweiden. Das heißt, der in 2017 gemessene physiologische Parameter „Area“ hat einen noch stärkeren Zusammenhang zur oberirdischen Biomasse im zweiten Jahr, nach Rückschnitt, also auf der zweijährigen Wurzel und zeigt damit, dass die Energie die im ersten Jahr für einige besonders leistungsfähige Klone in unterirdische Biomasse geflossen ist, im zweiten Jahr einen verbesserten Zuwachs an oberirdischer Biomasse zur Folge hatte. Somit ist die Voraussagekraft des Parameters „Area“ in Bezug auf den Ertrag bei Pappeln und Strauchweiden gezeigt. Hiermit wird der Parameter „Area“ als **physiologischer Ertragsschätzer** in Form eines **Leistungs-Indizes** $PI_{AREA} = Area =$ Größe des Plastochinon-Pools (hier PI_{NEW1}) für Pappeln und Strauchweiden definiert.

Die im CF-Projekt entwickelten morphologischen und physiologischen Leistungs-Indizes PI_{BFHS} , PI_{JSQ} und PI_{AREA} können auch als Selektionswerkzeuge in der Neuzüchtung von Pappeln und Weiden im Sämlingsstadium genutzt werden. Voraussetzung ist eine zweijährige Wurzel nach einjährigem Rückschnitt. Die Ursprungspflanze (Ortet) ist aus Samen entstanden. Im zweiten Jahr bildet dieser Sämling nach komplettem Rückschnitt anstatt der Sämlingswurzel eine neue Adventivwurzel. Diese Adventivwurzel folgt der oben beschriebenen klontypischen Ressourcen-Verteilung der Gesamtpflanze. Die aus dem Ortet gewonnenen klonalen Vermehrungseinheiten (Steckhölzer) folgen nach ihrer Etablierung ebenfalls dieser klontypischen Ressourcen-Verteilung. Deshalb ist die Ableitung der Selektionskriterien über die beschriebenen Leistungs-Indizes für die Ertragsschätzung im zukünftigen Anbauregime auch schon für Sämlinge (Ortets) empfehlenswert.

III.1.4 Prüfung von Klon-Standortwechselwirkungen über die Detektion photosynthetisch relevanter Parameter auf ausgewählten Flächen des Projekts ProLoc

Die 2009 angelegten Prüfflächen des 2016 ausgelaufenen Projekts ProLoc wurden unter dem Aspekt klimatischer und edaphischer Standortfaktoren für das CF-Projekt ausgewählt. Die im ProLoc-Projekt zu erfassenden Klon-Standort-Wechselwirkungen von 3 Pappel- und 2 Weidenklonen konnten als einmalige Voraussetzungen für die Erfassung photosynthetisch relevanter Indikatoren genutzt werden. Damit war es erstmalig möglich, den Ertrag des jeweiligen Prüfglieds am jeweiligen Standort in einen physiologischen Bezug zu bringen.

Auf diesen Flächen ist das Ziel, durch CF-Messungen Unterschiede im Nährstoff- und Wasserangebot in Bezug auf das klon-typische Potential zu indizieren. Erste Untersuchungen zeigen, dass z.B. die Messparameter „Aktivitätszustand der Reaktionszentren“ (Licht im Pflanzverband), „Grundfluoreszenz“ (Wasserhaushalt und Wuchsphase) und „Verfügbarkeit von Elektronen-Carriern“ (Nährstoffversorgung) Aussagen erlauben, die für eine Anbauempfehlung der jeweiligen Sorten verwendet werden können.

Sechs vorhandene ProLoc-Versuchsflächen wurden aufgrund der vorliegenden und zu erwartenden Ertragsergebnisse exemplarisch nach den Kriterien Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit sowie Klima ausgewählt. Im ProLoc-Projekt wurden/werden deutschlandweit Flächen betreut, an denen der Zusammenhang zwischen Standort und Ertrag analysiert wurde/wird. In den Jahren 2015, 2016 und 2017 wurden im Rahmen je einer durchgängigen Feldkampagne im Zeitraum 4. Juli- bis 2. Augustwoche auf den 6 ProLoc Klonprüfungen Unterrieden, Dornburg, Finsterwalde, Potsdam, Jackerath und Rheinbach die Parameter Chlorophyll-Fluoreszenz, Chlorophyllgehalt, Blattfläche und Verzweigungs-muster bonitiert. Die typischen ProLoc-Flächen haben ein Versuchsdesign, in dem die 5 Prüfglieder (Max 1, Hybride 275, AF2, Inger und Tordis) zu je 4 Blöcken x 4 Reihen x 20 Ramets abgesteckt sind. Für unsere Untersuchung haben wir grundsätzlich eine Abend- und eine Morgenmessung durchgeführt. Wir haben die Parameter CF, CG und BF als Raster-Stichprobe in jeder Höhenklasse (1m) des höchsten Triebes pro Pflanze, an jeder 9. Pflanze aus Reihe 2 und 3 in jeweils zwei Blöcken pro Klon analysiert. Insgesamt wurden also in jeder ProLoc-Fläche 20 Pflanzen durch eine Morgen- und eine Abendmessung über die genannten Parameter bonitiert. Insgesamt wurden die ausgewählten ProLoc Flächen angepasst an das ProLoc-Rotationsregime in der Reihenfolge 2., 3. Standjahr der zweiten Rotationsperiode und 1. Jahr in der dritten Rotationsperiode bonitiert.

Die bonitierten ProLoc-Flächen wurden auch nach Ertragsleistung ausgewählt. Aus den Ertragsdaten der Ernte im Winter 2014 wurde ersichtlich, dass die höchsten Erträge jeweils für die Flächen Potsdam und Rheinbach (bei Bonn) ermittelt wurden. Im Mittelfeld befinden sich die Standorte Unterrieden (Nord-Ost-Hessen) und Dornburg (bei Jena). Für die untere Leistungskategorie wurden die Tagebau-Rekultivierungsflächen Finsterwalde (Süd-Brandenburg) und Jackerath (Tagebau Garzweiler, NRW) ausgewählt. Innerhalb der Flächen wurden weiterhin ersichtlich, dass die Weiden

und die Pappeln sich am jeweiligen Standort sehr spezifisch verhalten und entsprechend ihrer Physiologie im Rahmen des jeweiligen Standort-Ertrags durch eine Rangverschiebung auffallen. In Abbildung 9 wurden die 5 Klone Inger, Tordis, Max1, Hybride275 und AF2 anhand verschiedener Leistungs- und Stress-Indizes auf den oben beschriebenen Standorten über die CF-Analyse miteinander verglichen. Der im Rahmen des CF-Projekts neu entwickelte Leistungs-Index PI_{AREA} (PI_{NEW2} , Arbeitsname) zeigt im Vergleich zu den Vorgänger-Leistungs-Indizes eine deutlich bessere Differenzierbarkeit zwischen den Standorten. Dementsprechend kann dieser die Leistung und den zu erwartenden Ertrag in Bezug auf die Standortbedingungen klontypisch voraussagen und als Schätzer für den Anbau dienen. Ein guter Indikator für den Grad des Stresses, den der jeweilige Klon an einem Standort ausgesetzt ist, wird durch den Parameter DI_0/RC (Quanten-Reflexion je Reaktionszentrum) beschrieben. Dieser Parameter drückt aus, wie hoch der Anteil reflektierten und für die Energiegewinnung nicht genutzten Lichts ist. Das Abschalten der Photosysteme findet dann statt, wenn die Wasserzufuhr nicht ausreichend ist. Am Standort Finsterwalde (gelbe Linie), welcher als ehemaliger Braunkohletagebau durch fehlende wasserführende Schichten in Erreichbarkeit der Wurzeln, und durch deutlich niedrigere Niederschläge gekennzeichnet ist, wird der Grad des Stresses besonders deutlich. Weiterhin zeigen alle Leistungs-Indizes über alle Prüfglieder den deutlich geringeren Ertrag der Versuchsfläche Grünwalde an. Hier wird deutlich, dass alle Prüfglieder, begründet durch den fehlenden Wasseranschluss, mehr Licht wieder abstrahlen müssen als sie könnten, da dem Wasserspaltekomplex weniger Wasser zur Verfügung steht. Das Resultat ist eine deutlich geringere Menge an Elektronen, die zur Erzeugung chemischer Energie und schließlich zur Umsetzung in Wachstum zur Verfügung steht. In Abbildung 10 wurde der oben beschriebene Ertragsschätzer PI_{NEW2} (Arbeitsname für PI_{AREA} , siehe S. 29 - 30) für den Standort Dornburg, einem Standort mit überdurchschnittlichem Ertrag, im Vergleich der Klone dargestellt. Die jeweils 4 gemessenen Pflanzen jedes der 5 Klone wurden durch die Abend- und Morgenmessung gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass die Klone AF2, Inger und Tordis ihre Photosysteme so regenerieren konnten, dass es ihnen möglich ist, schon sehr früh am Tag mit der Licht-Perzeption zu beginnen. Demgegenüber reagieren die Klone Max1 und Hybride 275 eher verzögert auf die beginnende Photoperiode. Das nächtliche Regenerationsvermögen scheint nach Analyse der ersten Daten eine Schlüsselrolle in der Leistungsfähigkeit verschiedener Klone unter verschiedenen Standortbedingungen aus zu üben.

In der für 2019 geplanten Publikation „Photochemical response of poplar and willow clones under different environmental crop conditions“ (Fehrenz et al. 2019) werden deutlich tiefere Einblicke in die Ergebnisse dieses Teils des CF-Projekts gewährleistet werden.

Vergleich ProLoc Standorte

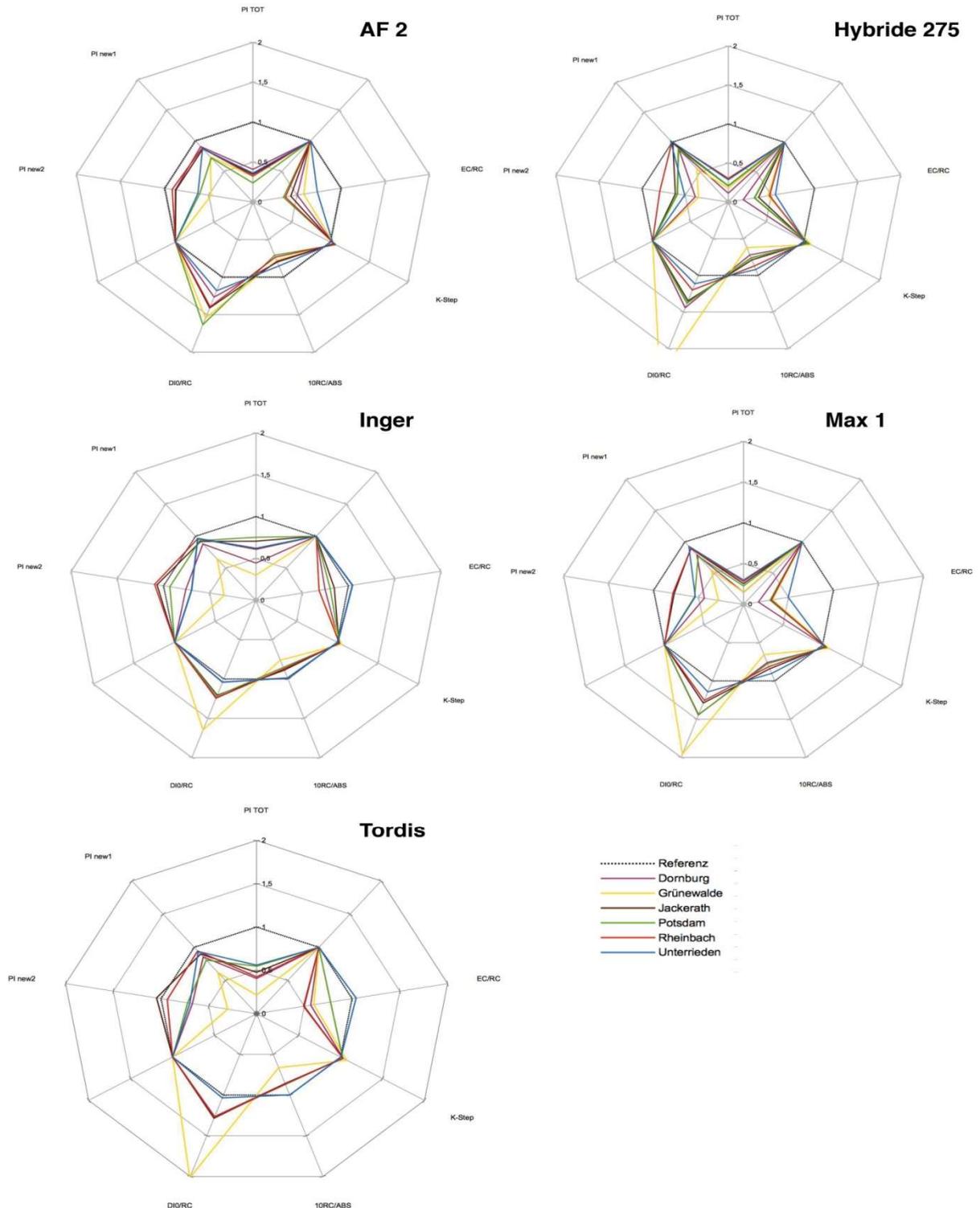


Abbildung 9: Vergleich von 3 CF-Leistungsindizes (PI_{TOT} , $PI_{NEW1} = PI_{Sm}$ und $PI_{NEW2} = PI_{AREA}$), DIQ/RC (Quanten-Reflektion je Reaktionszentrum), 10RC/ABS (Anteil aktivierter Reaktionszentren im Photosystem 2), K-Step (Aktivität des Wasserspaltekomplex) und EC/RC (Elektronentransportrate zwischen den Photosystemen) der 5 Prüf-Klone des ProLoc-Projekts an den 6 bonitierten Standorten. Alle Werte beziehen sich auf Inger (Unterrieden, Morgenmessung) als Referenz.

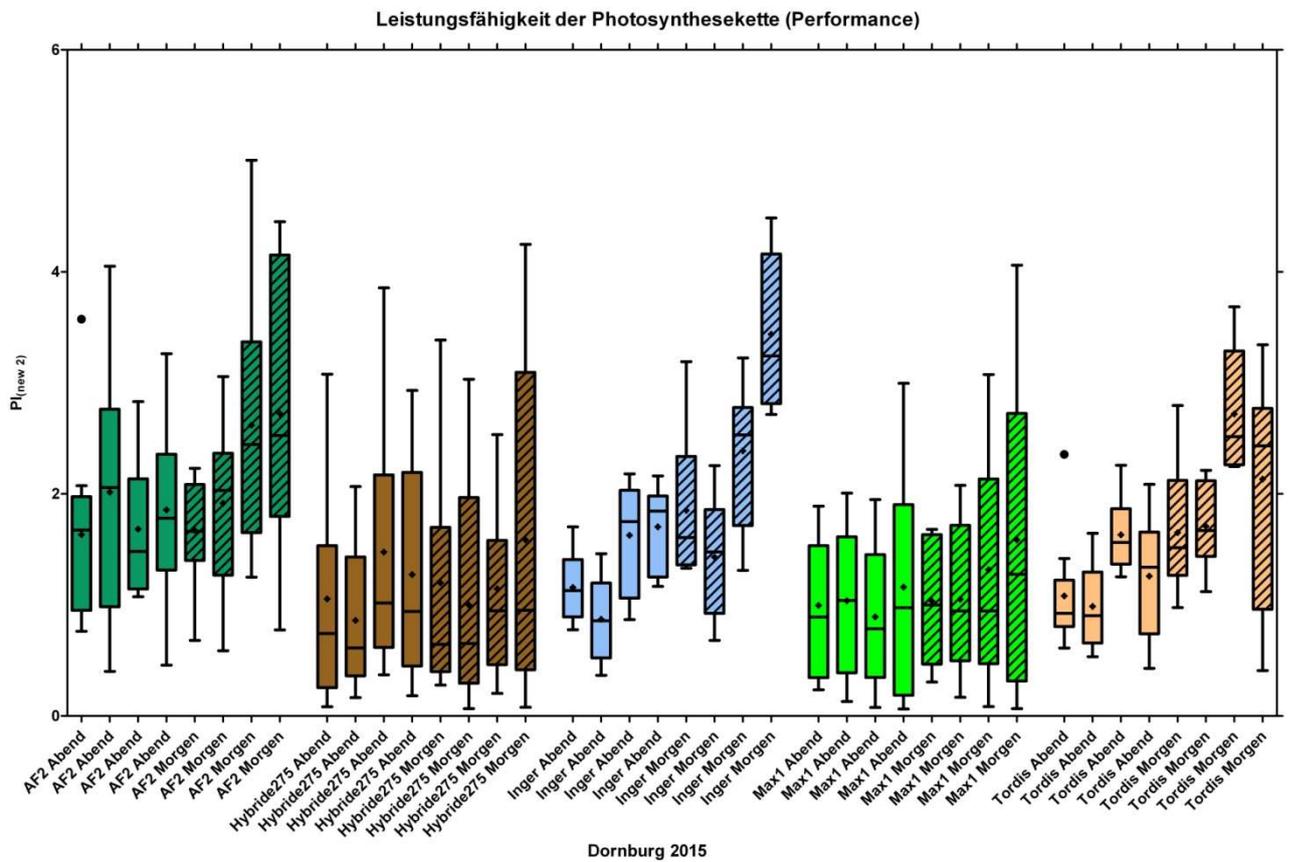


Abbildung 10: Gegenüberstellung der CF-Abend- und Morgenmessungen (gestreift) der 5 ProLoc-Klone auf der Prüffläche Dornburg (Leistungs-Index $PI_{NEW2} = PI_{AREA}$)

III.1.5 Jahreszeitliche Aufnahme von Daten zur Entwicklung frühzeitig Leistung indizierender Parameter im Vergleich von Ortets und Ramets an Pappel- und Weiden-Züchtungspopulationen des Projekts FastWOOD

Sowohl bei Pappeln als auch bei Weiden werden im Projekt FastWOOD jährlich zwischen 50 und 70 verschiedene Kreuzungsfamilien bereitgestellt. Am Ende der Kreuzungsarbeiten werden bis zu 80 Individuen (Ortets) je Kreuzungsfamilie in Frühbeet-Kästen oder Kreuzungsquartieren gepflanzt, um die Pflanzen dort innerhalb von zwei Jahren bis zu einer Höhe von 3m heran zu ziehen.

An exemplarisch ausgewählten ein- und zweijährigen Ortets der Kreuzungspopulation der züchtungsrelevanten Arten sollen Messungen durchgeführt werden, die frühzeitig zielgerichtet zukünftige Leistungsträger identifizieren. Ziel ist, Unterschiede im Verlauf der Messkurve zu analysieren, die Aufschluss geben können, in welchem Bereich der Photosynthesekette sich differenzierbare Variationen befinden, die einen leistungsfähigen Klon schon am Ortet erkennen lassen (Abbildung 4). Zu diesem Zweck werden für Pappeln und Weiden jeweils zwei verschiedene Kreuzungspopulationen ausgewählt, um an einer Stichprobe von 20 % der vorhandenen Ortets mit einer repräsentativen Variabilität der Höhe und des Wurzelhalsdurchmessers, Messungen zur Photosynthese-Effizienz und zur Blattfläche durchzuführen. Diese Individuen werden dann über die Vorprüfungen als Ramet bis zum Feldtest durch eine einmalige Bonitur dieser Parameter innerhalb von drei Vegetationsperioden begleitet. Die Messungen erfolgen jeweils in der Haupt-Photoperiode.

Es gibt einen fundamentalen Zusammenhang zwischen Ertrag und Leistungsfähigkeit der Photosynthese. Dennoch ist die Photosynthese abhängig von ihrer Versorgung mit Wasser und Nährstoffen. Die Versorgung der Pflanze mit Wasser und Nährstoffen ist wiederum abhängig von der Leistungsfähigkeit der Wurzel. Pappeln und Weiden sind prinzipiell in der Lage zwei Wurzeltypen auszubilden. Die generative Vermehrung über Samen erzeugt Sämlinge mit Sämlings- oder Primärwurzeln. Die meisten Pappeln und Weiden sind in der Lage sich klonal zu vermehren und Adventiv-Wurzeln an Sprosstteilen zu bilden. Die klonale Vermehrbarkeit und ihre Etablierung über Steckhölzer machen Pappeln und Weiden im Anbau sehr kostengünstig. Nach dem Keimen, Pikieren und Auspflanzen in das Kreuzungsquartier geschieht die Selektion von positiven Genotypen in der Züchtung anhand einer Pflanze (Ortet), die auf ihrer Sämlingswurzel gewachsen ist. Da die spätere Verwendung dieser Pflanze aber über Steckhölzer (Ramet) erfolgt und durch ein Adventiv-Wurzel-System ernährt wird, sind dramatische Rangverschiebungen nach Wechsel der Vermehrungsform nicht nur zu vermuten, sondern wurden auch schon mehrfach festgestellt, u. A. im Rahmen der Züchtungsarbeiten in FastWOOD. Das bedeutet, eine ertragsstarke Pflanze im Kreuzungsquartier muss nicht unbedingt eine ertragsstarke Pflanze bleiben, wenn sie „verklont“ wird, und umgekehrt. Daraus ergibt sich die Fragestellung, ob man generell einen prädiagnose-Parameter, welcher eine Aussage über den potentiellen Ertrag eines Ortets schon im Stadium des Kreuzungsquartiers indiziert, finden kann. Die Vermutung liegt nahe, dass dieser prädiagnose-Parameter im Bereich der

potentiellen Photosynthese-Effizienz zu suchen ist, und soll durch die Etablierung eines dazu passenden Versuchs in AP 4 verifiziert werden.

Für dieses Arbeitspaket wurde eine Pappel-Kreuzung des Jahres 2014, bestehend aus 12 nicht zurück geschnittenen Ortets ausgewählt und im September des gleichen Jahres in den Parametern Höhe, Wurzelhalsdurchmesser, Photo-Effizienz, Chlorophyllgehalt und Blattfläche analysiert. Diese Pflanzen wurden 3 Höhenklassen zugeordnet. Von diesen Pflanzen wurden je 8 Steckhölzer geschnitten, welche auf einer Versuchsfläche abgesteckt wurden um sie in der kommenden Vegetationsperiode durch dieselben Parameter zu analysieren. Der Vergleich dieser Daten soll den Zusammenhang zwischen Zuwachs und CF-Analyse sowie Sämling (Ortet) und Steckholz (Ramet) ermitteln. Die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen werden zeigen, ob der Ertrag eines Klons schon im Sämlings Stadium ermittelt werden kann und somit eine frühzeitige Selektion auf der Grundlage prädiagnostischer Werkzeuge, wie sie die CF-Technik darstellt, die Züchtung von klonal vermehrbaren Gehölzen deutlich verkürzen könnte.

Leider konnte diese Arbeitspaket im Projektzeitraum nicht zur Auswertung gebracht werden. Die gewonnenen Steckreiser der 8 Ausgangs-Ortets hatten eine Höhenvariabilität zwischen 70 bis 130 cm. Um auf eine repräsentative und vergleichbare Anzahl von wenigstens 8 Steckhölzern zu kommen, musste die Steckholzlänge auf 8 cm reduziert werden. Das hatte zur Folge, dass durch den hinzukommenden geringen Durchmesser von teilweise 5 mm die Ausfallrate der Ramets vor allem von den kleineren Ortets bis 90 % lag. Die Ramets wurden daraufhin im Winter 2018 zur Untervermehrung neu abgesteckt. Die Ergebnisse dieses Versuchs werden zu einem späteren Zeitpunkt analysiert und präsentiert.

III.1.6 Ertragsabhängige Analyse der Fluoreszenzkinetik durch Trockenstress-Induktion im Klimaschrank

Zur Durchführung von klimaschrankgestützten Simulationen von abiotischen Faktoren wurde eine Auswahl von Modell-Klonen *In vitro* etabliert und entsprechend über Subkultur multipliziert. Diese wurden unter variierenden Nährstoff-, Wasser-, Temperatur- und Lichtsituationen kultiviert und anschließend auf ihr ökophysiologisches Potential geprüft. Um ein Wachstums-Modell zu generieren, wurden Biomasse (Wurzel, Spross und Blatt) sowie Photosynthese-Parameter nach einer definierten Kultivierungszeit aufgenommen.

Zur Vergleichbarkeit mit den Felddaten wurden Pappel- und Weidenklone *In vitro* überführt, die auch in Feldprüfungen als Standards zum Einsatz kommen oder in Großversuchen wie im ProLoc-Projekt als Prüfglieder zum Einsatz kamen. Die Versuche der Arbeitspakete 6 und 7 wurden aus technischen Gründen gekoppelt. Aus einem Versuchsdurchlauf konnte so alle angestrebten Daten gewonnen werden.

Durch die Simulation von Temperaturabläufen im Klimaschrank ist es möglich die leicht klonal vermehrbaren Weiden und Pappeln als Steckhölzer im Container-Versuch zu kultivieren. Der nutzbare Raum des Klimaschranks kann mit maximal 12 PVC-Abwasserröhren (Abbildung 11) von 55 cm Höhe und 10 cm Durchmesser (innen) mit einem Durchwurzelungsvolumen von 4 Liter doppelt gewaschenem Flusssand bestückt werden. Für jeden Versuchsdurchlauf wurde eine Röhre nur mit Sand und ohne Pflanze mit laufen gelassen um als Standard zu dienen. (Abbildung 11). Diese Abwasserrohre wurden für den Versuch der Normalvariante wurden der Temperaturverlauf und die Tageslänge so programmiert, dass sie dem durchschnittlichen Frühlingsverlauf in Mitteleuropa vom 1. Mai bis 1. Juli entsprechen. Nach erfolgter Programmierung konnten seit diesem Zeitpunkt im CF-Projekt 7 Klimasimulationen mit je drei Prüfgliedern zu je drei Ramets durchgeführt werden.

Die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen ist beim Anbau von schnell wachsenden Agrargehölzen wie Pappeln und Weiden ein entscheidender Faktor. Einerseits kann eine Trockenperiode während der Anlagephase zu hohen Ausfällen führen, andererseits soll die Anlage von Flächen auch auf Marginalstandorten erfolgen. Diese Flächen weisen allerdings häufig neben einer verringerten Nährstoffverfügbarkeit auch eine unzureichende Wasserversorgung auf.

Aus diesem Grund werden die gleichen Pappel- und Weiden-Modellklone, wie in Arbeitspaket 2. verwendet und auf ihre Trockentoleranz überprüft. Vierzig Ramets je Klon, die durch *in vitro*-Vermehrung und Steckholzgewinnung bereitgestellt wurden, werden hierfür in Container mit einem definierten Substrat gepflanzt. Zur Überprüfung der physiologischen Plastizität der Klone gegenüber Wassermangel, wird die bereits in den Vorarbeiten beschriebene Methodik der differentiellen Fluoreszenzkinetik eingesetzt.



Abbildung 11: Weidenklone Inger (Oben) und Zieverich (Unten) nach 5 Wochen Kultivierung im Klimaschrank unter drei verschiedenen Medien. Mittlere Höhe der Pflanzen beträgt 51 cm.

Die Versuche der Arbeitspakete 6 und 7 wurden aus Zeit- und Kapazitätsgründen gekoppelt. Somit durchlaufen alle Pflanzen von der Anzucht auf verschiedenen Medien über die Analysen zur Stickstoff-Effizienz bis zur Induktion des Trockenstress alle Teilschritte und jede Versuchsphase dient zur Erhebung der entsprechenden Daten. Folgende Arbeitsschritte sind für das Durchlaufen eines 8-wöchigen Versuchszyklus nötig:

1. Invitro-Etablierung von 34 Pappel- und Weidenklonen
2. Vermehrung von zwei Klonen für einen Versuchszyklus auf 24 2wöchig bewurzelte Sprossspitzen von ca. 2 cm Trieblänge und 4-6 cm Wurzellänge
3. Pikieren von je zwei Invitro-Pflanzen in je eine PVC-Abwasserröhre (Abbildung 1) von 55 cm Höhe und 10 cm Durchmesser (innen) mit einem Durchwurzelungsvolumen von 4 Liter

doppelt gewaschenem Flusssand. Für jeden Nährstoffversuch wurde eine Röhre nur mit Sand und ohne Pflanze mit laufen gelassen um als Standard zu dienen.

4. Die Klimasimulation erfasst einen Zeitraum mit den ansteigenden Tageslängen eines Frühjahrs von der 17. bis 24. Kalenderwoche. Die Temperaturspanne war am Tag sich wöchentlich steigernd von 18 bis 26 °C und in der Nacht von 8 bis 16 °C. Die Beleuchtung entspricht 1200 μmol Tageslicht.
5. Jeder Teilversuch innerhalb eines Versuchszyklus bestand aus dem jeweiligen Klon (insgesamt 2) und 4 Ramets des jeweiligen Klon Insgesamt 4 + 4 + 4 + 4 + 1 (Standard) und hat eine individuelle Nährstoffzusammensetzung des jeweiligen Mediums. 1.) Leitungswasser + 0,25 %ig Blaukorn, 2.) Leitungswasser + 0,175 %ig Blaukorn und 3.) Leitungswasser + 0,175 %ig Blaukorn + 100 mg/l Ammoniumnitrat.
6. Die Pflanzen wurden nach einer Woche von insgesamt 3 aus der Invitro-Kultur überführten und pikierten 2-3 cm hohen Pflänzchen auf 1 je Röhre. Dadurch konnten Totalausfälle verhindert werden. So durchlief jeweils eine Pflanze je Röhre den Versuchsdurchlauf.
7. Die Versuchsröhren funktionieren wie eine Lysimeter-Anlage auf kleinstem Raum. Das Nährmedium wird alle 4 Tage (Woche 1-3), 3 Tage (Woche 4-6) und 2 Tage (Woche 7) durch eine definierte Menge von 250 ml (Woche 1-5) und 500 ml (Woche 6-7) des jeweiligen Nährmediums – vollständig ausgetauscht. Die nach einer Stunde durch die Röhren samt Pflanzenwurzel gelaufene Menge des Nährmediums wird aufgefangen und nach jedem Wechsel auf PH und Leitfähigkeit analysiert und dann verworfen.
8. Es wurden die wöchentlichen Zuwachsraten je Pflanze registriert. Ab der 8. Woche wurden die die Säulen durchlaufenden Medien nicht nur in ihrem PH und ihrer Leitfähigkeit analysiert, sondern auch durch Ionen-Chromatographie auf Gehalt an Stickstoff, Phosphor und Kalium in der Abteilung Umweltanalytik der NW-FVA analysiert. Des Weiteren wurden auch das Leitungswasser und die Nährmedien vor dem Durchlauf analysiert. Aus diesen Analysewerten wurde durch die Ionendifferenz der N-P-K Verbrauch des jeweiligen Klons unter verschiedenen Ernährungsstufen ermittelt. An jedem Blatt jeden Prüfglieds wurden der Fluoreszenzdurchgang, der Chlorophyllgehalt und die Blattfläche ermittelt.
9. Der letzte Durchlauf der Nährmedien war der Startpunkt für die Induktion des Trockenstress bis zum Ende der 9. Woche. Die Pflanzen wurden solange weiter kultiviert bis die Stadien der Welke und des Absterbens der Blätter erreicht wurden. Vom Tage des letzten Durchlaufs (vital) bis zum Welkegrad mehr als 50% der Blätter in dem 50% der Blattfläche vertrocknet waren, wurden täglich eine Stunde nach Beginn der Nachtphase (Im Klimaschrank 7 Uhr morgens) die Photo-Effizienz und der Welkegrad jeden Blattes ermittelt. Es wurde je Klon und Nährmedium je 1 Pflanze ohne Trockenstress Induktion weiter kultiviert, 1 Pflanze bis zum Einstellen des 1. Welkegrades, 1 Pflanze bis zum letzten Welkegrad und eine Pflanze bis zur Vertrocknung des Laubes zu 100 % nicht bewässert. Nach Erreichung des entsprechenden Welkegrades wurden die jeweiligen Pflanzen zwei Tage mit einem Nährmedien-Durchlauf regeneriert und nochmals die Photo-Effizienz ermittelt.

10. Nach der Regenerationsphase wurde der Versuch abgebaut. Es wurden die Trockengewichte von Blättern, Sprossen und Wurzeln ermittelt und zusätzlich für einige Klone das Stickstoff/Kohlenstoff (N/C) Verhältnis der Blätter ermittelt.

Bis zum Abschluss des CF-Projekts konnten die Pappelklone H275, Max1, AF2 und Matrix 24 sowie die Weidenklone Inger, Tordis, Zieverich und 09_23_147 wenigstens einem Versuchsdurchlauf unterzogen werden. Abgebildet sind die Mediane der Datenpunkte im Zeitverlauf von 0-1 Sekunde von 40 Einzelblattmessungen des photosynthetischen Bereichs von jeweils vier Einzelpflanzen nach 7 Wochen Kultivierung im Klimaschrank unter den Oben beschriebenen Bedingungen. Es folgte anschließend die Auslösung des Trockenstressreizes durch das komplette Aussetzen der Zugabe des Nährmediums.

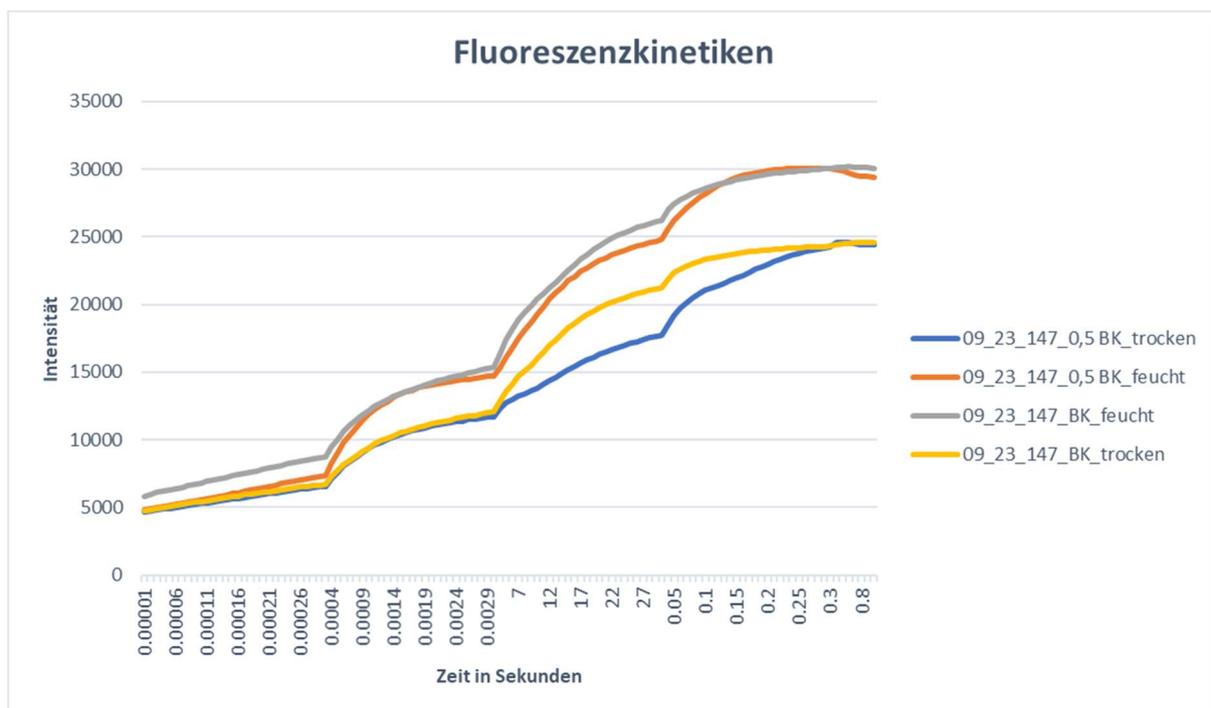


Abbildung 12: Fluoreszenzkinetiken des Weidenklons 09_23_147 (*Salix viminalis* x *Salix schwerinii*) nach 7 Wochen Klimaschrank-Kultivierung und zusätzlich 3 Tagen ohne (trocken) und mit (feucht) Zugabe von Nährmedium unter verschiedenen Nährstoffregimen.

Der Strauchweidenklon 09_23_147 zeigt in der Fluoreszenzkinetik den typischen Verlauf für Strauchweiden. Die Strauchweiden zeigen kaum Unterschiede in den Zuwachsraten sowie in den Fluoreszenzkinetiken im Vergleich zwischen der halben und ganzen Menge an Stickstoffzusatz (Abbildung 13). Auch 09_23_147 zeigt dieses Verhalten vor und während der Induktion des Trockenstressses. Dennoch unterscheiden sich die Werte unter Trockenheit beträchtlich. Der Elektronendurchsatz der Proben mit der halben Konzentration an Stickstoff ist niedriger, obwohl das Maximum die gleiche Höhe aufweist. Somit kann gesagt werden, dass eine gute Nährstoffversorgung

bei Strauchweiden zu geringeren Ertragseinbußen führen kann, obwohl eine bessere Nährstoffversorgung unter humiden Bedingungen nicht unbedingt zu einer Ertragssteigerung führt.

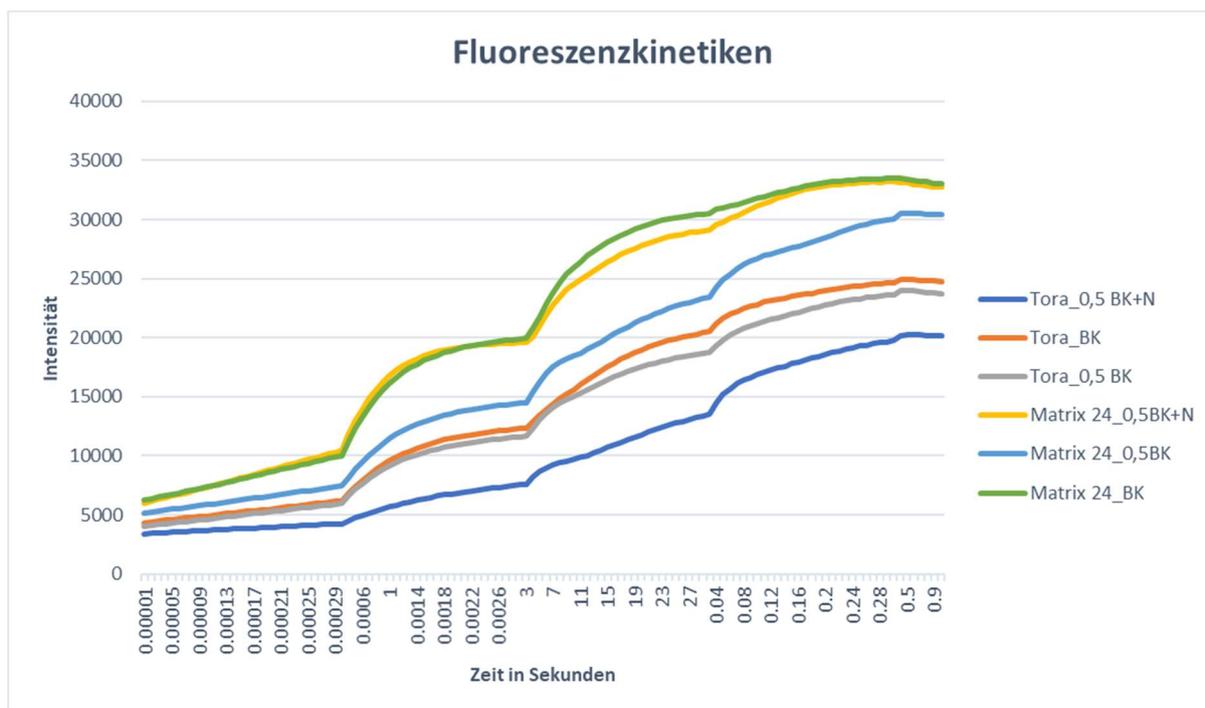


Abbildung 13: Fluoreszenzkinetiken der Klone Tora und Matrix 24 nach 7 Wochen Klimaschrank-Kultivierung unter verschiedenen Nährstoffregimen.

In Abbildung 13 wurden exemplarisch die Fluoreszenzkinetiken der Strauchweide Tora und der Balsampappel-Hybride Matrix 24 dargestellt. Abgebildet sind die Mediane der Datenpunkte im Zeitverlauf von 0-1 Sekunde von 40 Einzelblattmessungen des photosynthetischen Bereichs von jeweils vier Einzelpflanzen nach 7 Wochen. Die Pappel H275 zeigt in diesem Versuch eine insgesamt höhere Ausprägung der Intensität in der Fluoreszenzkinetik. Hohe Stickstoffgehalte des Nährmediums führen bei dieser Pappel zu einem höheren Elektronendurchsatz. Die Strauchweide Tora (*Salix schwerinii* x *Salix viminalis*) zeigt kaum Unterschiede zwischen der normalen zur halben Stickstoffzugabe. Die Zugabe von Stickstoff zur halb konzentrierten Nährlösung führt zu deutlichen Einbußen des Elektronendurchsatzes. Die einseitige Erhöhung der Stickstoffzugabe führt wahrscheinlich zur Übernützung anderer Nährstoffe wie Kalium und/oder Phosphor, die wiederum für andere Stoffwechselfvorgänge benötigt wurden. Die dennoch höheren Biomasse-Erträge von Tora gegenüber H275 (hier nicht gezeigt) weisen auf eine hohe Stickstoffeffizienz des Strauchweidenklons Tora hin.

III.1.7 Simulation unterschiedlicher Wasser-, Nährstoff- und Licht- Modelle durch Invitro-Kultur im Pflanzenklimaschrank

Methoden, Versuchsaufbau und Ergebnisse siehe Arbeitspaket 6

III.2 Verwertung

Bis zum Projektende im Dezember 2017 wurde eine umfassende Referenzdatenbank erstellt. Diese Datenbank umfasst Art- und Standortsspezifische Referenzdaten von Pappeln und Weiden, die in der Land- und Forstwirtschaft als Ertragsschätzer genutzt werden könnten. Die CF-Technik bietet dazu ein preiswertes und vor allem schnelles Werkzeug. Nach der Förderphase durch die FNR wird die Einwerbung weiterer Fördermittel über die FNR aber auch anderer Förderer als sinnvoll angesehen, um die in diesem Projekt erzielten methodisch, technisch und wissenschaftlichen Innovationen auf andere Gehölze und Kulturpflanzen zu übertragen. Ziel weiterer Forschungstätigkeit nach Projektende ist die Konstruktion eines verbesserten CF-Messgerätes in Zusammenarbeit mit dem bisherigen Hersteller Hansatech sowie die Erweiterung der Messsonde durch Terahertztechnik. Die Nutzung der Referenzdatenbank zur Verbesserung der Prozessions-Software wird angestrebt und soll die wirtschaftliche Grundlage für eine Firmenausgründung aus der NW-FVA darstellen.

Im Verlauf des Projekts werden wir grundlegende und/oder erweiterte Daten zu folgenden Themen liefern:

1. Prä-Diagnose-Werkzeuge und Datenbank zur Ertragsabschätzung von Gehölzen
2. Grundlegende und erweiterte Zusammenhänge zu Stickstoff-Akkumulation und Stickstoff-Effizienz von Pappeln und Weiden
3. Grundlegende und erweiterte Zusammenhänge zu den Auswirkungen von Trockenstress auf schnellwachsende Gehölze

III.3 Erkenntnisse von Dritten

Erkenntnisse von Dritten wurden innerhalb des Berichtszeitraums nicht bekannt.

III.4 Veröffentlichungen

Fehrenz, S., Weber, D., Stiehm, C., Kroh, J., 2017. Pappeln und Weiden für den Klimawandel - Genetische Vielfalt als Züchtungsziel - klontypische Wachstumsraten als Antwort auf spezifische Temperaturen, in: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Ed.), Gülzower Fachgespräche. Vortrag: 2. Kongress - Mit Pflanzenzüchtung zum Erfolg: Kongress, 3.-4. April 2017, Berlin, Berlin, p. 122.

Geplante Veröffentlichungen:

„Growth strategies and light use efficiency of poplars and willows“ (Fehrenz et al. 2019)

„Photochemical response of poplars and willows under different environmental crop conditions“ (Fehrenz et al. 2019)

Literatur:

- Albert, K. R.; Mikkelsen, T. N.; Ro-Poulsen, H.; Arndal, M. F. u. Michelsen, A. (2011): Ambient UV-B radiation reduces PSII performance and net photosynthesis in high Arctic *Salix arctica*. *Environmental and Experimental Botany*. 72 (3), 439-447
- Briebach, C., Merkel H, Hüller W., Gebhardt K. (2012): Frühselektionskriterium „Zuwachsleistung von Sämlingen“ auf dem Prüfstand. Posterbeitrag Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8, 2012
- Bussotti, F.; Desotgiu, R.; Cascio, C.; Strasser, R. J.; Gerosa, G. u. Marzuoli, R. (2007): Photosynthesis responses to ozone in young trees of three species with different sensitivities, in a 2-year open-top chamber experiment (Curno, Italy). *Physiologia Plantarum*, 130 (1), 1399-3054
- Centritto, M.; Brilli, F.; Fodale, R.; Loreto, F. (2011): Different sensitivity of isoprene emission, respiration and photosynthesis to high growth temperature coupled with drought stress in black poplar (*Populus nigra*) saplings. *Tree Physiol* (2011) 31 (3): 275-286
- Fehrenz, S. und Weber D. (2012 B): Photosyntheseeffizienz und Blattfläche: Steigerung des Ertrags und der Züchtungseffizienz durch frühe Diagnose von Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden. Posterbeitrag Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8, 2012
- Fehrenz, S. und Weber D. (2012 C): Chlorophyllfluoreszenz als Diagnosetool zur Quantifizierung von photosynthetischen Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden. Posterbeitrag Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8, 2012
- Fehrenz, S. und Weber D. (2012 A): Ökologisches Potential und Analyse von Leistungsparametern europäischer Weidenarten für den Kurzumtrieb. Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8, 2012
- Givnish, J. T. (1988): Adaption to Sun and Shade: A Whole-plant Perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* 15, 63-92
- Grime, J. P. (1979): *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley, Chichester, 1979
- Pollastrini, M.; Desotgiu, R.; Cascio, C.; Bussotti, F.; Cherubini, P.; Saurer, M.; Gerosa, G. u. Marzuoli, R. (2010): Growth and physiological responses to ozone and mild drought stress of tree species with different ecological requirements. *Trees - Structure and Function* 24 (4), 695-704
- Tharakan, P., Volk, T., Nowak, C., Ofezu, G. (2008): Assessment of Canopy Structure, Light Interception, and Light-use Efficiency of First Year Regrowth of Shrub Willow (*Salix* sp.). *Bioenergy Ressources* 1:229 – 238

Strasser, B. J. and Strasser R. J. (1995): Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. In Mathis, P. (Ed.) *Photosynthesis: from Light to Biosphere*, Vol. V, pp. 977-980, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.

Strasser, R. J., Srivastava, A., Tsimilli-Michael, M. (2000): The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pathre U and Mohanty P (eds) *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation*, Chapter 25, pp 443--480. Taylor and Francis, London, UK

Strasser, R. J.; Srivastava A.; Tsimilli-Michael, M. (2001): The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. In: Yunus M., Pathre U. and Mohanty P. (eds) *Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaption*, Chapter 25, pp 443-480. Taylor and Francis, London, UK

Strasser, R. J.; Tsimilli-Michael, M.; Qiang, S. u. Goltsev, V. (2010): Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1797, 1313-1326

Weih, M. u. Rönnerberg-Wastljung, A. C. (2007): Shoot biomass growth is related to the vertical leaf nitrogen gradient in *Salix* canopies. *Tree Physiol.* 27, 1551-1559

Wu, R. L. (1993) Simulated optimal structure of a photosynthetic system: implication for the breeding of forest crop ideotype. *Can J For Res* 23:1631–1638