

Ökologisches Potenzial und Analyse von Leistungsparametern europäischer Weidenarten für den Kurzumtrieb

Ecological potential and analysis of performance parameters for European willow species suitable for short rotation coppice

Steffen Fehrenz und Daniel Weber

Zusammenfassung

Ausgehend von schwedischen Züchtungsbemühungen wurden vor allem die Arten *Salix viminalis* und *Salix dasyclados* mit ihren zahlreichen Sorten wie u. a. Tora, Björn und „Tordis“ in den Fokus der Energieholzbereitstellung gerückt. Diese Sorten glänzen durch hervorragende Eigenschaften, wie klonale Vermehrbarkeit, sowie Widerstandsfähigkeit gegen Rost und starken Frost. Für den mitteleuropäischen Anbau von Weiden im Kurzumtrieb sind aber auch Eigenschaften, wie Trockenheitsresistenz, und die Bodenbeschaffenheit an Marginalstandorten von Bedeutung. Durch die Einkreuzung von z. B. *Salix caprea*, wie auch *Salix purpurea* und *Salix daphnoides*, wird deren Anspruchslosigkeit gegenüber Wasser in neue Sorten integriert. Auch die hohe Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems von *Salix cinerea* an verdichteten, sauren und sauerstoffarmen Böden erhöht die Vielfalt des züchterischen Potenzials für die Energieholzbereitstellung. Nicht zuletzt bietet die Weide

auch bei der Wahl des Rotationsmodus die entsprechende Vielfalt. So ist der Anbau von *S. alba*, *S. fragilis* und *S. pentandra* für die Midi- oder sogar Maxirotation noch zu prüfen. Die Kapazität der Fotosynthese, die Effizienz der Kohlenstofffixierung sowie die phänologisch und anatomisch-morphologischen Spezifikationen eines potenziellen Leistungsträgers entscheiden gemeinsam über dessen Eignung für die Biomasseproduktion. Aus diesem Grund ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Wuchs- und Resistenzeigenschaften vorselektierter Züchtungsprodukte dem Züchter die baldige Erkennung von Leistungsträgern. Auf einer Versuchsfläche von 34 alten Weidensorten, die in einem Blockversuch zu 24 Ramets je Klon angelegt wurden, wurden die Parameter Höhe, Austriebsvermögen, Blattrostbefall, Einzelblattfläche, relative Blattfläche sowie verschiedene Parameter der Fotosyntheseeffizienz erfasst. In einem Vergleich zwischen Arten, Sektionen und Klonen wurden diese Leistungsindizes auf ihre Aussagekraft in Bezug auf die zu erwartende Biomasseproduktion überprüft. Wir geben einen Überblick wie im Rahmen des Projekts „Weidenzüchtung“ (FKZ 22012409) der NW-FVA durch Analyse dieser, in einer frühen Prüfungsphase bewerteten Leistungsparameter, die morphologische und ökologische Plastizität heimischer Weidenarten für die Biomasseproduktion im Kurzumtrieb züchterisch genutzt werden kann.

Stichworte: *Salix*, KUP, Rostresistenz, Leistungsparameter, Blattfläche, Chlorophyll-Fluoreszenz

Abstract

Building on tree breeding efforts in Sweden, wood energy production has since focussed primarily on the species *Salix viminalis* and *Salix dasyclados* with their numerous varieties including Tora, Björn und „Tordis“. These varieties stand out with excellent characteristics such as clonal reproduction potential, and resistance to rust and severe frost. For the cultivation of willow in short rotations in Central Europe, however, characteristics such as drought resistance and soil conditions on marginal sites are also important. By crossbreeding, e.g. *Salix caprea*, *Salix purpurea* and *Salix daphnoides*, the non-specific site requirements of these varieties in relation to water were incorporated into new varieties. In addition, the high productivity of the rooting system of *Salix cinerea* on compacted, acidic, nutrient-poor soils increased variation in breeding potential for wood energy production. Not least, willow also affords the desired flexibility in the selection of the rotation period. Thus the cultivation of *S. alba*, *S. fragilis* and *S. pentandra* still needs to be tested for medium and also maximum rotation periods. The photosynthetic capacity, carbon-fixation efficiency and the phenology and morphology of a potentially vigorous tree determine its suitability for biomass production. For this reason, early recognition of growth and resistance characteristics of the preselected crossbreeds enables the breeder to identify high performers quickly. In a study site comprising 34 old

willow cultivars established in a block trial with 24 ramets per clone, the parameters height, coppicing capacity, leaf rust infestation, single leaf area, relative leaf area, in addition to a range of parameters for photosynthesis efficiency were recorded. In a comparison of species, sections and clones, the significance of the performance indices were tested in relation to expected biomass production. We provide an overview of how the analysis of performance parameters, assessed in an earlier test phase as part of the willow breeding project (FKZ 22012409) of the NW-FVA (North-West German Forest Research Institute), morphological and ecological plasticity of native willow species can be used to breed for biomass production in short rotation coppice plantations.

Keywords: *Salix*, SRC, rust resistance, performance parameters, leaf area, chlorophyll fluorescence

1 Einleitung

Von den weltweit etwa 500 Weidenarten sind je nach Artbegriff etwa 65 Spezies für den mitteleuropäischen Raum beschrieben (RECHINGER 1957). Davon sind mehr als 10 Arten dafür bekannt, dass sie in unseren Breiten zu Sträuchern und sogar Bäumen heranwachsen können und somit das grundsätzliche Potenzial für die Gewinnung von Biomasse besitzen. Die Gattung *Salix* gilt unter Botanikern als schwierige Gruppe. Durch die hohe morphologische, aber dennoch geringe genetische Diversität, ist eine Zuordnung in systematischer Hinsicht nicht immer einfach. Das Auftreten von Polyploidie innerhalb verschiedener Sektionen und die verbreitete Hybridisierung ist ein Hinweis darauf, dass sich die Artbildung in dieser Gattung noch mitten in der Evolution befindet. Die einzelnen Entwicklungslinien sind noch nicht vollständig getrennt und so kommt es, dass der einzige artstabilisierende Faktor die Eingliederung in spezielle Ökosysteme ist. Diese Eingliederung sorgt in der Gattung *Salix* dafür, dass deutlich getrennte Areale zunächst zu exogenen Kreuzungsbarrieren führen und somit das Potenzial der Weiden zur Hybridisierung auch über Sektionsgrenzen hinweg aufrecht erhält. Die Eroberung diverser Lebensräume führt zur morphologischen und physiologischen Adaptionen einiger Spezies, die aus diesem Grund besonders wertvoll für den Anbau im Kurzumtrieb sind.

2 Bewertung des ökologischen Potenzials europäischer Weidenarten und deren Hybriden für den Kurzumtrieb

Die Einstufung, der zur Züchtung im Kurzumtrieb zur Verfügung stehenden Weidenarten in Hinblick auf ihr ökologisches Potenzial aber auch ihrer systematischen und reproduktionsbiologischen Spezifikationen, war im Projekt „Weidenzüchtung“ eine wichtige Voraussetzung für alle durchgeführten Kreuzungs-

arbeiten. Die Zusammenstellung der in Abbildung 1 dargestellten Übersicht „Ökologisches Potenzial europäischer Weidenarten und Hybriden“ erfolgte auf Grundlage der Erfahrungen, die in diversen Kreuzungsexperimenten (2009 bis 2011) und unter Berücksichtigung der bestehenden Literatur (HÖRANDL et al. 2002, LAUTENSCHLÄGER-FLEURY 1994, SCHIECHTL 1992, SCHÜTT et al. 1994) gewonnen werden konnten. Für die Züchtung im Kurzumtrieb relevante artspezifische Eigenschaften geeigneter Weidentaxa und ihre Einkreuzung in zukünftige Leistungsklone werden im Folgenden beschrieben.

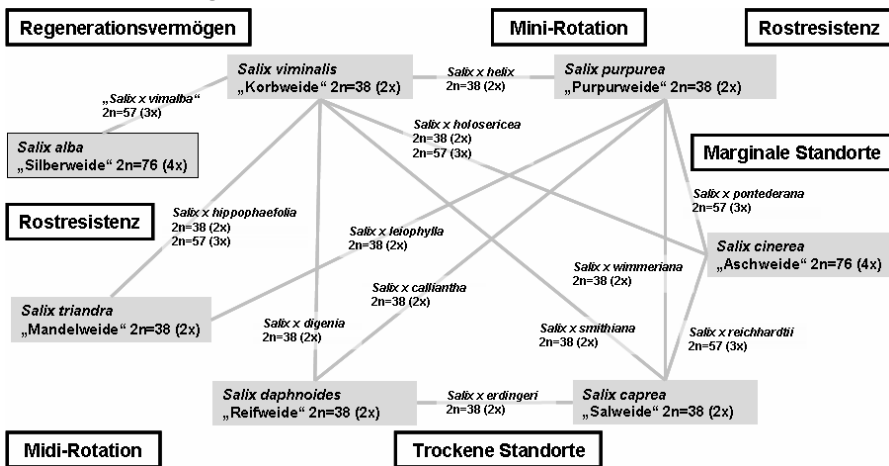


Abbildung 1: Übersicht der Kreuzungsmöglichkeiten mitteleuropäischer Strauchweiden der Untergattung *Caprisalix* mit der UG *Amerina* (Baumweiden, hier nur vertreten durch *S. alba*), Zuordnung wichtiger ökologischer Artmerkmale und Leistungsparameter für den Kurzumtrieb sowie Auflistung der artspezifischen Ploidiegrade auch ihrer Hybriden, Darstellung artspezifischer ökologischer Trends

2.1 Regenerationsvermögen

Die hohe Regenerationsfähigkeit sowie ihr jährlicher Zuwachs zeichnen die Arten *S. viminalis*, *S. purpurea* und *S. alba* aus. Die hohe Biegsamkeit ihrer Triebe veranlasste schon die Menschen in der Antike dazu, diese Weiden für Flechtarbeiten und wasserbautechnische Zwecke zu verwenden. Landschaftsökologisch wertvolle Kopfweiden weisen noch immer auf diese traditionellen Nutzungsformen hin. Die ausgezeichnete klonale Vermehrbarkeit und der jährliche Zuwachs sind vor allem auch der Grund, weshalb die Art *S. viminalis* die Ausgangsart aller bisherigen Züchtungsbemühungen für den Energieholzanbau mit Weiden ist.

2.2 Rostresistenz

Rostpilze können schon ab dem ersten Jahr der Kultivierung erhebliche Schäden an den Pflanzen anrichten. Da der verursachte Schaden vor allem auf den Blättern

wirksam wird, ist vor allem die Fotosynthese auf den befallenen Blattflächen beeinträchtigt. Die Folgen sind geringere Zuwachsraten und Ausreifung des Holzes, was zusätzlich noch zu Frostschäden führen kann. Eine erhöhte natürliche Resistenz gegenüber Rostpilzen, einem der pathogensten Pilze an Weiden, konnte bisher nur bei *S. alba*, *S. fragilis* und *S. pentandra* aus der Untergattung (UG) Amerina sowie der Purpurweide *S. purpurea* aus der UG Caprisalix beobachtet werden. Eine geringere Anfälligkeit gegenüber Rostpilzen wird vor allem mit einem erhöhten Catechingehalt begründet (HAKULAINEN et al. 1999). Erhöhte Rostresistenz konnte im Projekt „Weidenzüchtung“ für die Hybriden *S. x belix* (*S. purpurea* x *S. viminalis*), *S. x calliantha* (*S. purpurea* x *S. daphnoides*) und *S. x wimmeriana* (*S. purpurea* x *S. caprea*) erzielt werden. Die aus diesen Kreuzungen entstandenen Selektionen müssen ihre Resistenz aber noch an verschiedenen zu testenden Standorten zeigen.

2.3 Marginale Standorte

Kreuzungen mit *S. cinerea* könnten für feuchte, verdichtete und sauerstoffarme Standorte interessant sein. Die daraus entstehenden Hybriden *S. x pontederana* (*S. cinerea* x *S. purpurea*) und *S. x reichardtii* (*S. cinerea* x *S. caprea*) kommen auch in der Natur vor. Die Purpurweide (*S. purpurea*) zeigt eine besonders hohe ökologische Amplitude. So erobert sie Standorte, die in ihrer Höhengausbreitung von der planaren bis in die montane Stufe reichen. Die von ihr besiedelten Lebensräume weisen eine hohe Variabilität des Substrats in Bezug auf Bodenreaktion und Körnung auf. So findet man sie begleitend an Gebirgsbächen über 2000 m aber auch als Pioniergehölz auf Halden und Steinbrüchen in der Ebene. Auch unter erhöhten Salzkonzentrationen im Boden leidet sie deutlich weniger als andere Gehölze. Ihr ausgeprägtes Wurzelsystem befähigt diese Art an erosionsgefährdeten Hanglagen als stabilisierendes Element eingesetzt zu werden. Auch die Reifweide (*S. daphnoides*), besonders deren Variation Pomeranica, ist befähigt zur Eroberung von Marginalstandorten. So ist die Baltische Reifweide in Dünen der Ostsee zu finden. Sie wird aus diesem Grund auch zur Befestigung von Wanderdünen in Russland gepflanzt. Die Kombination von *S. purpurea* mit *S. daphnoides* ergibt die Hybride *S. x calliantha*. Es ist zu vermuten, dass sich Leistungsklone, die aus der Kreuzung dieser Arten selektiert wurden, für einen Anbau an landwirtschaftlichen Grenzstandorten hervorragend eignen werden.

2.4 Trockene Standorte

Die wohl auf den trockensten Standorten wachsende eurasische Weidenart ist die Salweide (*S. caprea*). Zwar auf mittelfrischen Böden typisch, wächst sie an wasserfernen Standorten zu bis 10 m hohen Bäumen heran. Man findet diese Art häufig auch fern von Gewässern als Vorwaldgehölz auf Kahlschlägen, auf und entlang von Bahndämmen, auf Halden und Steinbrüchen sowie in der natürlichen Waldrandstruktur naturnaher Wälder. Die reine Art ist schwer klonal vermehrbar und

für den effektiven Anbau in einer Kurzumtriebsplantage (KUP) aus diesem Grund ungeeignet. *Salix caprea* ist aber eingekreuzt in zahlreichen Hybriden, die vor allem für den Leistungsanbau gezüchtet wurden. In den Hybriden *S. x smithiana* (*S. viminalis* x *S. caprea*) und *S. x dasyclados* (*S. viminalis* x *S. caprea* x *S. cinerea*) wurden die geringeren Ansprüche der Salweide an die Wasserversorgung zu der klonal guten Vermehrbarkeit der anderen Arten hinzugefügt. Durch die Bereitstellung neuer Hybriden wie *S. x wimmeriana* (*S. caprea* x *S. purpurea*) sowie *S. x erdingeri* (*S. caprea* x *S. daphnoides*) können weitere Sorten die Auswahl an Klonen für trockenere Standorte im Ertragsanbau erheblich erweitern.

2.5 Rotationsmodus

Ihre Vielgestaltigkeit zeigen die Weiden auch in Bezug auf ihre Wuchsform. Je nachdem ob die Art in einen acrotonen (baumförmig, spitzenbetont) oder basitonen (strauchförmig, flächenbetont) Wuchs investiert, kommt es zum Heranwachsen zu Bäumen, Sträuchern oder allen Übergangsformen. Die Tradition, Weiden jährlich zurückschneiden zu können, machte schon in den 1970er Jahren durch professionelle Zucht aus einer Korbweide einen schnell nachwachsenden Rohstoff, der im 1-3-jährigen Rotationsmodus (Mini-Rotation) genutzt werden kann. Die für diesen Rotationsmodus zahlreich zur Verfügung stehenden Strauchweiden (*S. viminalis* und *S. purpurea*), auch als Hybriden mit *S. caprea* und *S. cinerea* in (*S. x aquatica* und *S. x dasyclados*), konnten in verschiedenen Züchtungsprogrammen, schon allein wegen ihrer nach einem Jahr stattfindenden Vernalisierung, züchterisch bearbeitet werden. Für eine Mini-Rotation mit jährlichem Rückschnitt gibt es bisher kein produktiveres Gehölz. Die Strauchweiden haben ihre höchste Zuwachsrate in den ersten drei Jahren nach ihrer Absteckung. Danach verlieren sie ihre Konkurrenzkraft. Um den Rotationsmodus auf bis zu 6 Jahre (Midi-Rotation) zu erhöhen bieten sich dennoch weitere Weidenarten an. Die baumförmigen Weiden der UG Amerina (*S. alba*, *S. fragilis* und *S. pentandra*), deren Wuchs auch schon in den ersten Jahren unterschiedlich stark aber eindeutig höhenbetont ist, bieten eine weitere Möglichkeit der Verwendung von Weiden im Leistungsanbau. Innerhalb der UG Amerina sind die Arten gut kreuzbar. Entlang vieler mitteleuropäischer Flüsse ist die Fahlweide *S. x rubens* (*S. alba* x *S. fragilis*) ein dominantes Gehölz der Weichholzaunen. Innerhalb der UG Caprisalix sind es die Arten *S. caprea* und *S. daphnoides*, die zu kleinen Bäumen heranwachsen können.

2.6 Ploidiegrad

Unterschiedliche Ploidieniveaus sind ein wichtiger Faktor für die Artbildung, wenn sich die natürlichen Areale nah verwandter Arten überschneiden. Die durch getrennte Areale wirkenden exogenen Kreuzungsbarrieren sorgen dafür, dass zwischen diesen Arten nur wenige endogene Kreuzungsbarrieren aufgebaut wurden. Dieses Potenzial zur Hybridisierung führt zu umfangreichen Kreuzungs-

möglichkeiten, auch über die Sektionsgrenzen hinaus, und zeigt die züchterische Plastizität dieser Spezies. Häufig können Hybriden zwischen Arten derselben UG an Naturstandorten nachgewiesen werden - konnten aber gleichzeitig auch im hier dargestellten Weidenprojekt bereitgestellt werden (s. Abb. 1). Ihre Leistungsfähigkeit für den Kurzumtrieb wird gegenwärtig in umfangreichen Feld- und Invitroversuchen geprüft. Auch die Hybridisierung zwischen Weiden verschiedener UG mit unterschiedlichen Ploidiegraden ist grundsätzlich möglich. Zum Beispiel ergibt die Kreuzung von *S. alba* (UG Amerina $2n = 76$) mit *S. viminalis* (UG Caprisalix $2n = 38$) die triploide Weide („*S. x vimalba*“) mit $2n = 57$ ($3x$). Die Nachkommen dieser Kreuzungen sind, wie in diesem Fall oft, von Blatt- und Sprossanomalien sowie von vermindertem Wuchs gegenüber ihren Elternarten gekennzeichnet. Die Selektion von Plusvarianten ist deshalb nur zu einem deutlich geringeren Anteil gegenüber Kreuzungen derselben Ploidiestufe möglich. Dennoch könnten für die Züchtung interessante Eigenschaften der Nachkommen wie Rostresistenz, die potenzielle Eignung für die Midi-Rotation, verbesserte Holzqualität sowie die eingebaute Reproduktionsbarriere durch Triploidie einen züchterischen Erfolg gewährleisten.

3 Analyse von Leistungsparametern

Die Analyse der hier dargestellten Wachstumsparameter dient der Entwicklung von Methoden, deren Anwendung eine frühzeitige Diagnose der Leistungsfähigkeit des züchterischen Ausgangsmaterials sowie der daraus entstandenen Selektionen erlauben. Die im Vergleich zwischen Klonen, Arten, Sektionen und Untergattungen durchgeführten Messungen wurden auf der Testfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“ für das Weidenprojekt (Förderkennzeichen 22012409) vorgenommen. Die auf dieser Versuchsfläche abgesteckten Klone dienten dem Projekt gleichzeitig als Ausgangsmaterial für zahlreiche Kreuzungen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über Klon-spezifische Eigenschaften finden sich in den Kreuzungsprodukten wieder und dienen einer noch gezielteren Ausrichtung der Züchtungsbemühungen. Folgende Parameter wurden aufgenommen oder berechnet:

- Rost
Der Rostbefall wurde durch ein vierstufiges Punktesystem, durch welches der Anteil infizierter Blätter an der Gesamtpflanze bewertet wurde, kategorisiert:
0= 0 % 1=> 0 % < 10 % 2= >10 % <50 % 3= >50 %
- Höhe
Es wurde die Länge der Pflanze vom Boden bis zur Spitze des Terminaltriebs gemessen. Für alle 50 cm wurde ein Punkt für eine Höhenklasse vergeben.
- Verzweigungstrend
Alle Seitentriebe die innerhalb des ersten Höhenmeters mindestens einen Meter lang waren wurden bewertet.

- Raumdominanz
Aus den Punkten für die Höhenklassen sowie des Verzweigungstrends wurde die Summe gebildet und somit ein Parameter berechnet, der relative Aussagen über die Biomasseproduktion macht.
- Einzel-Blattflächenindex
Es wurde die Blattlänge mit der Blattbreite multipliziert.
- Blattanzahl
Innerhalb eines 15 cm langen Terminalbereiches, in dem auch drei Blätter für den Blattflächenindex vermessen wurden, wurde die Anzahl aller Blätter entlang des Sprosses ermittelt.
- Relative Blattfläche
Aus dem mittleren Blattflächenindex wurde durch Multiplikation mit der Anzahl der Blätter die relative Blattfläche berechnet.
- Aktuelle Blattfläche
Durch Multiplikation der relativen Blattfläche mit der Raumdominanz wurde die Blattfläche auf die Gesamtpflanze projiziert.

3.1 Rost

Im September 2010 wurde, nach 2-jähriger Kultivierung, für die hier zu diskutierenden Prüfglieder der Rostbefall durch ein vierstufiges System aufgenommen. Es wurden dabei nicht die Rostarten und Pathotypen berücksichtigt. Der Rostbefall widerspiegelt das in der Prüfregion übliche Spektrum der Rostarten. In Abbildung 2 wurde der prozentuale Rostbefall, sortiert nach Sektionen und Untergattungen, dargestellt. Es gab keinen Klon, der einen Befall von mehr als 50 % der Gesamtpflanzen-Blattfläche aufwies. Die Untergattung Amerina (Baumweiden), hier vertreten durch die Arten *S. alba*, *S. fragilis*, *S. x rubens* (*S. alba* x *S. fragilis*), *S. x alopecuroides* (*S. fragilis* x *S. triandra*) und *S. x erhartiana* (*S. alba* x *S. pentandra*), fällt durch sehr geringen Rostbefall auf. Rost scheint in den Sektionen Salix, Salicaster und Amygdalinae insgesamt eine geringere Pathogenität zu haben. Wesentlich höherer Rostbefall ist in der Sektion Caprisalix und da besonders bei allen Korbweiden-Hybriden mit *S. cinerea* (Grauweide) sowie *S. caprea* (Salweide) zu finden. Besonders hoch ist deshalb der Befall der Klone 22_55 (*S. x dasyclados*, *S. viminalis* x *S. caprea* x *S. cinerea*), 57_57 (*S. x aquatica* „Gigantea 56C“, *S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. daphnoides*) sowie 56_90 (*S. x smithiana* „Regensburg II“, *S. viminalis* x *S. caprea*). Es ist zu vermuten, dass die hohe Anfälligkeit dieser Klone gegenüber Rost aus der hohen Empfindlichkeit der Kreuzungseltern entstand und in einer Addition verschiedener Pathotypen-Empfindlichkeiten in der entstandenen Hybride führte, welche somit den entstandenen Kreuzungsprodukten kumulativ hinzugefügt wurde. Gerade bei den hier verwendeten Ausgangsarten *S. cinerea* und *S. caprea* wurde bisher wenig züchterische Arbeit, vor allem in rostresistentere Klone investiert. In der Gruppe der Hanfweiden oder Korbweiden (*S. viminalis*) wurde histo-

risch schon wertvolle Züchtungsarbeit geleistet. Aber vor allem die Bereitstellung neuer Sorten für den Energieholzanbau sorgte dafür, dass rostresistentere Sorten den Markt eroberten. In unserem Versuchsdesign wurden deshalb Weiden der zweiten Generation aus der Svalöf Weibull – Züchtung (Lantmännen, Schweden), hier vertreten durch die Sorten „Tordis“ und „Inger“, integriert. Der schwedische Klon „Tordis“ fällt auf durch seine absolute Rostresistenz und zeigte diese Eigenschaft auch hier in der Feldprüfung. Bemerkenswert niedrig ist aber auch der Rostbefall bei Klon 722_51 („Zieverich“), der durch wenige Rostinfektionen auffiel und eine weitaus größere Rostresistenz zeigte als die schwedische Sorte „Inger“. Die Klone 6_87 (Blaue Fränkische Hanfweide), 84_55 (Ingeborg) und 85_55 (Carmen) waren besonders stark durch Rostbefall betroffen.

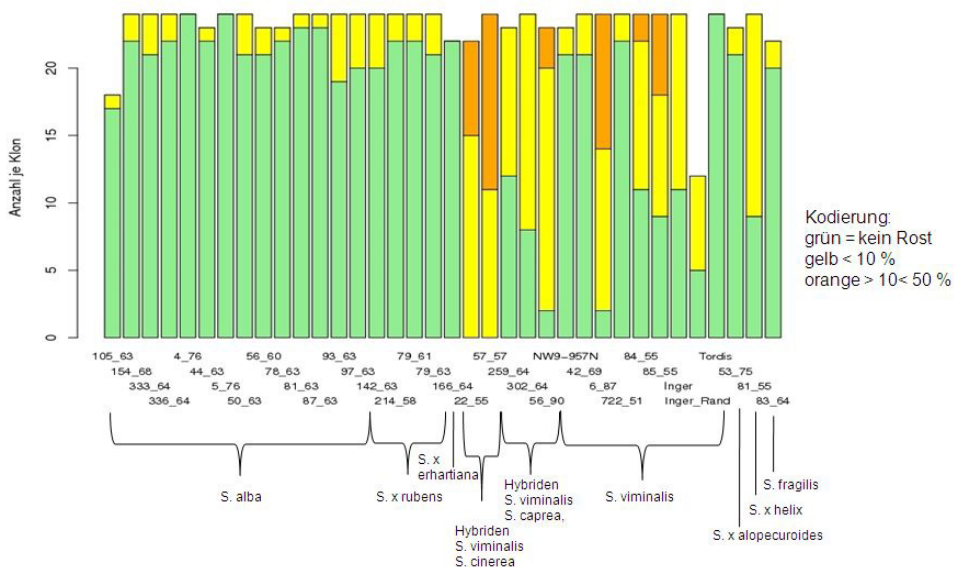


Abbildung 2: Rostbefall in Stufen von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

3.2 Höhe

Der Trend zum Höhenwachstum ist bei verschiedenen Weidenarten unterschiedlich ausgeprägt. Es wird sichtbar, dass vor allem die Baumweiden ein akrotones Verzweigungsmuster entwerfen. Dies muss, im Vergleich zu den Strauchweiden, aber nicht gezwungenermaßen mit einem größeren Höhenwachstum in den ersten Jahren der Etablierung einhergehen. Wahrscheinlich ist, dass gerade baumförmige Pflanzen zunächst mehr in die Wurzelbildung investieren, um dann später die mächtigeren oberirdischen Organe ausreichend versorgen zu können. Erste Feldversuche zeigen ein kulminieren der Höhenzuwachsrate von Baumweiden erst ab dem 5. Etablierungsjahr. Dementsprechend sollte auch beachtet werden, dass

Baum- und Strauchweiden in den entsprechenden Rotationsmodi eingesetzt werden. Die Ergebnisse im Feldversuch zeigen in den ersten Jahren ein deutlich größeres Höhenwachstum der Korbweide *S. viminalis* gegenüber baumförmigen Weidenarten. Hier erzielte der Klon „Tordis“ zusammen mit der extra aufgenommenen Randreihe, bestehend aus dem Klon „Inger“, nach 2 Jahren teilweise Höhen bis 4 m. Dicht gefolgt von Klon 722_51 „Zieverich“ erreichten die Korbweiden auch im Durchschnitt von allen Weiden die größten Höhen (s. Abb. 3).

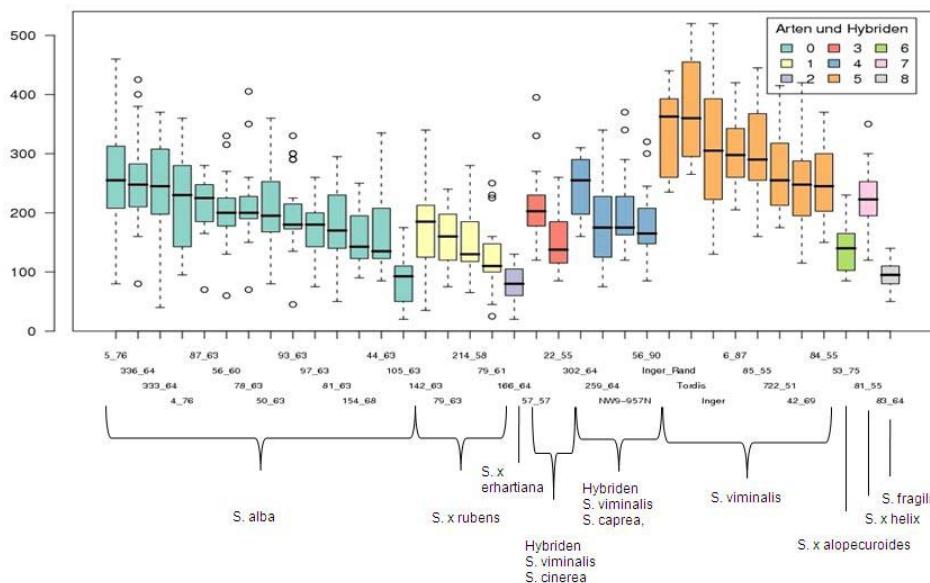


Abbildung 3: Höhe in Höhenklassen zu je 50 cm von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

3.3 Raumdominanz

In der Formel für die Raumdominanz (s. Abb. 4) wird neben der Höhe auch der Verzweigungstrend berücksichtigt. Es wurden alle Seitentriebe entlang des höchsten Triebes bewertet, die eine Mindestlänge von 1 m aufwiesen und innerhalb des ersten Höhenmeters ansetzten. Mit der Raumdominanz soll ein Maß der „Strauchförmigkeit“ formuliert werden. Der Trend zur Strauchförmigkeit entscheidet maßgeblich über den Einsatz im entsprechenden Rotationsmodus und auch des passenden Pflanzverbandes. In der Mini-Rotation werden Klone benötigt, die schon im jährlichen Rückschnitt durch hohes Austriebsvermögen und starke Investition in zahlreiche Stockausschläge auffallen. Dieses alte Prinzip wurde schon bei der Besiedlung Mitteleuropas durch den Menschen über die Selektion zahlreicher Weiden für die Korbflechterei und deren Verbreitung mit den Siedlungsräumen bewahrt. Aus diesem Grund verwundert es nicht, dass die alte Sorte „Ulbrichweide“ (*S. x helix*) eine Kreuzung aus *S. viminalis* mit *S. purpurea* im Trend

der Seitenverzweigung im vorderen Bereich liegt. Die hier eingekreuzte Purpurweide gewährleistet durch ihre elastischen und zahlreichen Triebe eine gute Voraussetzung für die Korbflechtei und wird sich wahrscheinlich sehr für eine Mini-Rotation im jährlichen Rückschnitt eignen. Sie besitzt von allen Weiden die höchste Rate der klonalen Vermehrbarkeit im Freiland. Auffallend ist weiterhin, dass es sich bei der Korbweiden-Hybride „Tordis“ um eine vor allem auf Höhenzuwachs gezüchtete Sorte handelt, die im Parameter der Strauchförmigkeit ihre Dominanz gegenüber den anderen Korbweiden verliert.

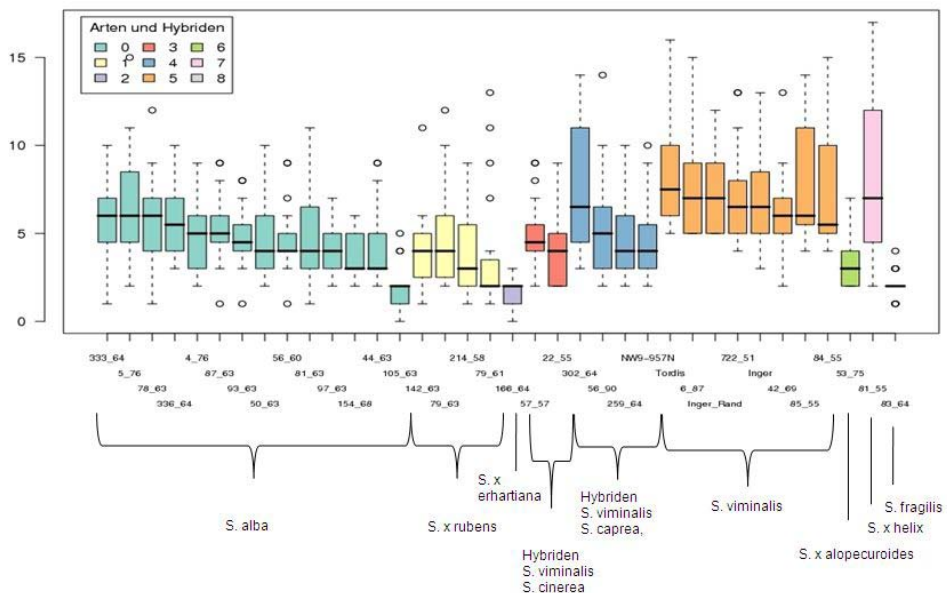


Abbildung 4: Raumdominanz (Höhenklasse + Anzahl der Seitentriebe) als Ausdruck der Strauchförmigkeit von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidenarten für den Kurzumtrieb“

3.4 Einzel-Blattflächenindex

Schon länger wird in Züchtungsprogrammen angestrebt, ein Mittel zu finden, welches ein Kriterium zur frühen Selektion von Genotypen bietet, deren physiologische Merkmale mit der Biomasseausbeute korrelieren. Ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der Wuchsleistung und der für das Einfangen von Licht zuständigen Blattfläche wurde in TAYLOR et al. 2003 für ausgewählte Weidenklone dargestellt. In der hier ausgewählten Prüffläche wurden für 34 Weiden-Klone zu je 24 Ramets die relativen Blattflächen ermittelt. Je Prüfglied wurden im oberen Drittel der Pflanze drei Blätter durch ihre Länge x Breite („Einzel-Blattflächenindex“) typisiert. Der Einzel-Blattflächenindex gibt nicht die wahre Fläche des Einzelblattes wieder. Er ist vielmehr eine einheitenlose relative Größe zur Dimension einer Stichprobe von Blättern, mit dessen Hilfe nur symmetrische Blätter mit

wenigstens einer Spiegelfläche definiert werden können. Die ersten fünf vollentwickelten Blätter des Terminaltriebs wurden nicht in die Berechnung einbezogen. Typisch (s. Abb. 5) sind die deutlich kleineren Blätter der Silberweiden (*S. alba*). Die Hybridisierung von *S. alba* mit *S. fragilis* führt zu größeren, durch Einkreuzen von *S. pentandra* (*S. x erhartiana*) zu noch größeren Blättern. Die in dieser Untersuchung im Durchschnitt größten Einzelblätter wurden von (57_57) *S. x aquatica* ausgebildet.

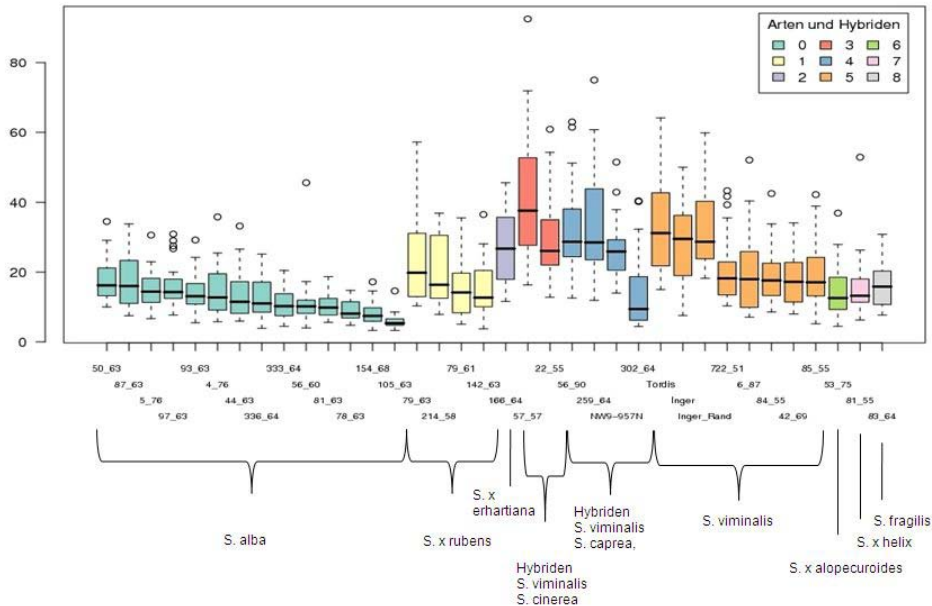


Abbildung 5: Einzel-Blattflächenindex (Länge $\times$ Breite von drei Blättern des oberen Drittels) von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

3.5 Relative Blattfläche

Zur Berechnung der relativen Blattfläche wurde erweiternd die Anzahl der Blätter im selben Abschnitt der Einzelblattmessungen auf einer Länge von 15 cm ermittelt. Aus der Multiplikation des Einzel-Blattflächenindex mit der Blattzahl je 15 cm Trieb länge wurde die „Relative Blattfläche“ je Klon projiziert. Hiermit wurde ein Wert berechnet, der eine noch höhere Aussagekraft über die dem jeweiligen Klon zur Verfügung stehende fotosynthetisch wirksame Gesamtfläche gegenüber der Einzelblattmessung erlaubt. Durch die Einbeziehung der Anzahl der Blätter je Trieb wird in Abbildung 6 deutlich, dass die Gesamtblattfläche der Korbweiden (*S. viminalis*), gegenüber der Einzelblattmessung (s. Abb. 5), im Vergleich zu den großen Blättern der Viminalis-Hybriden mit *S. cinerea* oder *S. caprea*, deutlich zunimmt. Es wird weiterhin deutlich, dass sich in diesem Parameter die Ränge

innerhalb der Baumweiden (UG Amerina) gegenüber den Einzelblattmessungen nicht verschieben. Es gibt bei diesen Weiden auch insgesamt keine Rangverschiebung gegenüber den anderen Weidentaxa. Die reinen Korbweiden-Arten verfügen über die größte relative Blattfläche der gemessenen Prüfglieder. Die Randreihe, bestehend aus der Sorte Inger und die Sorte „Tordis“ verfügen über die größten hier gemessenen relativen Blattflächen. Von den Hybridweiden kann auch (*S. x aquatica* (Gigantea, Klon 56C) auf hohe Werte in Bezug auf seine relative Blattfläche verweisen.

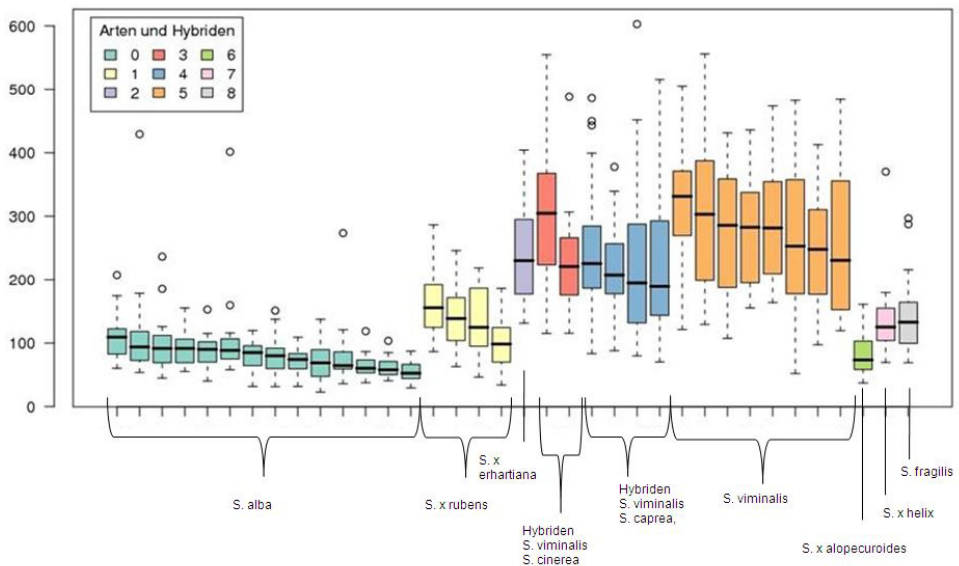
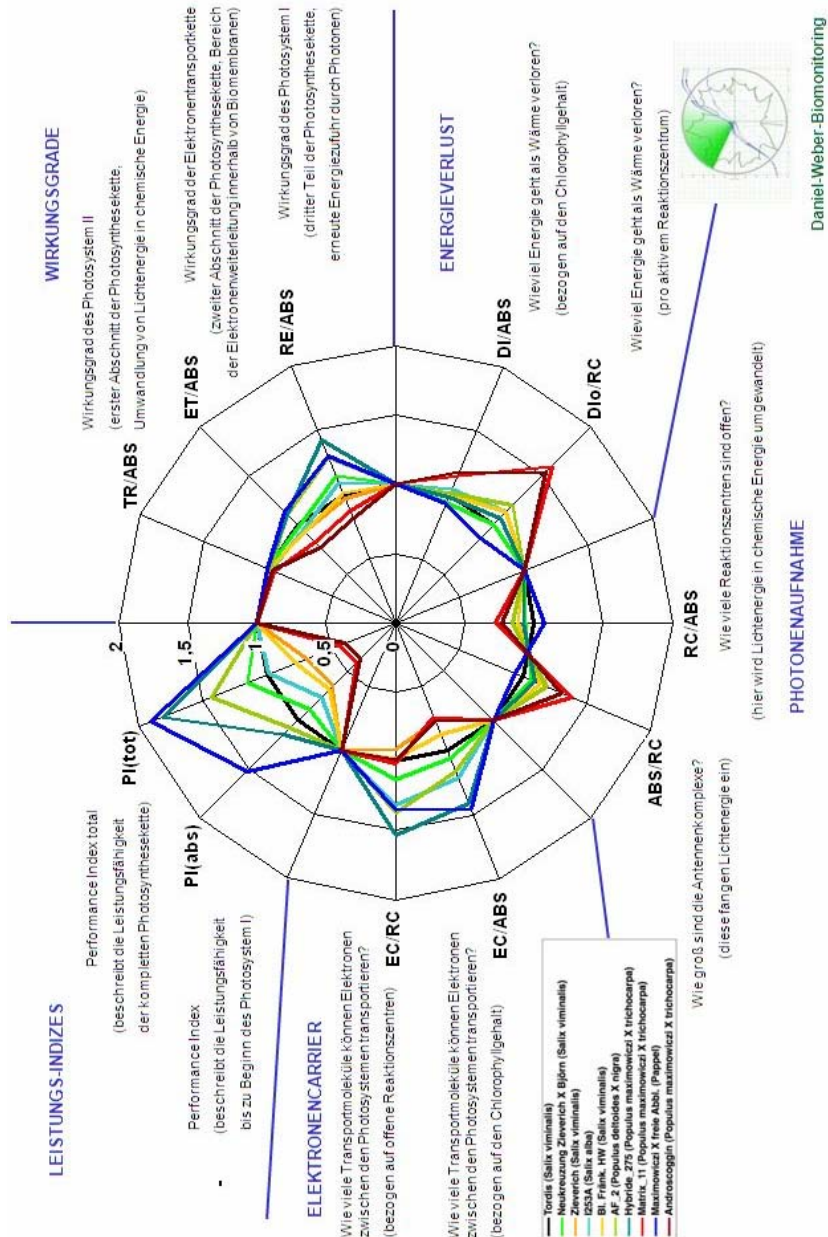


Abbildung 6: Relative Blattfläche (Einzel-Blattflächenindex x Anzahl der Blätter je 15 cm) von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

4 Leistungsparameter der Fotosynthese über Messung der Chlorophyllfluoreszenz

Mit herkömmlichen Methoden lassen sich physiologische und anatomische Eigenschaften, die für die Biomasseproduktion von Gehölzen wie *Salix* und *Populus* im Kurzumtrieb wichtig sind, erst nach mehrjährigen Feldprüfungen ermitteln. Die Neuzüchtung von auf ihre Wuchseistung optimierten Gehölzsor ten erfordert dagegen effiziente Bewertungsmethoden, in denen frühzeitig auch neu entstandene Züchtungsprodukte auf ihr Verwertungspotenzial überprüft werden können. Mit einer modernen nichtdestruktiven Methode ist es möglich, das physiologische Potenzial anhand der Effizienz der Fotosynthesesysteme zu ermitteln. Die Detektion der von den fotosynthetischen Reaktionszentren emittierten Chlorophyll-

fluoreszenz erlaubt einen sehr fundierten Einblick in die Leistungsfähigkeit der für den Aufbau von Biomasse notwendigen Kohlenstofffixierung durch Fotosynthese, ohne dabei die Blätter während der Messung zu zerstören. Dabei können auch durch Nährstoff- oder Wassermangel entstandene Störstellen in der Fotosynthesekette sowie die Kompensationsmaßnahmen der Pflanze identifiziert und quantifiziert werden. Eine Überarbeitung des Messprinzips ermöglicht es seit wenigen Jahren, durch eine einsekündige Messung etwa 30 verschiedene Parameter zu erfassen. Diese verbesserte Methodik wurde bereits erfolgreich in Feldstudien zur Ermittlung von Stressparametern und fotosynthetischen Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden eingesetzt (POLLASTRINI et al. 2010, BUSSOTTI et al. 2007, ALBERT et al. 2011). In Abbildung 7 wurden wichtige Fotosyntheseparameter von 10 Weiden- und Pappelklonen in einem Radarplot gegenübergestellt. Die aus 20 Einzelmessungen je Klon gewonnenen Ergebnisse belegen, dass mit Hilfe dieser Messmethode das Leistungspotenzial der einzelnen Sorten quantifiziert werden kann. Es konnten bereits potenzielle Leistungsträger anhand von Leistungsparametern, wie z. B. dem erst seit etwa einem Jahr berechenbaren Performance Index $PI_{(TOT)}$ (STRASSER et al. 2010) identifiziert werden. In die Berechnung des Performance Index $PI_{(TOT)}$ (s. Abb. 7, Leistungsindizes) wird die Effizienz und Leistung der meisten Schaltstellen des Fotosyntheseapparates in einem Parameter integriert. Es konnte eindeutig gezeigt werden, weshalb einige Sorten eine höhere Performance als andere aufweisen. So konnte z. B. bei schwächer wachsenden Sorten ein deutlich höherer Energieverlust durch Wärmeabstrahlung detektiert werden ($DI_{(ABS)}$) (Dissipation-Index = Abstrahlungs-Index, ABS = Absolut, bezogen auf den Chlorophyllgehalt) und $DI_{(RC)}$ (RC = Reaction Center, bezogen auf ein aktives Reaktionszentrum), Energien die dadurch nicht für die CO_2 -Fixierung und dem Biomasseaufbau zur Verfügung steht. In dieser grundlegenden Untersuchung wurden jeweils 5 Weiden und 5 Pappeln, die durch ihre Wuchsleistung auffielen ausgewählt. Im Radarplot in Abbildung 7 wurde der Klon „Tordis“ als Größenstandard auf den Wert 1 gesetzt. Alle weiteren 9 Klone wurden in dem jeweiligen Leistungsparameter mit ihrem Verhältniswert zum Standard aufgetragen. Es ist erkennbar, dass die hier dargestellten Einzelparameter in den zusammenfassenden Leistungsindizes $PI_{(ABS)}$ und $PI_{(TOT)}$ wiedergespiegelt werden (s. Abb. 7) und somit die Aussagekraft der Einzelparameter aufnehmen.



Daniel-Weber-Biomonitoring

Abbildung 7: Wichtige Fotosyntheseparameter, die durch eine nichtdestruktive Messung von je 20 Ramets ausgewählter Weiden- und Pappelklone an 2-jährigen Absteckungen im August 2011 an den Versuchsflächen für Kurzumtrieb in Stölzlingen (Pappel) und Ballertasche (Weiden) gewonnen wurden. Als Standard wurde für diese Abbildung der Klon „Tordis“ (*Salix viminalis*) auf 1 gesetzt.

Wenn man nur den, in den weiteren Untersuchungen verwendeten, „modernen“ $PI_{(TOT)}$ (STRASSER et al. 2010) betrachtet, dann fällt auf, dass die hier untersuchten Pappeln in ihren Werten eine viel höhere Variabilität als die Weiden aufweisen. Die Spitzenpositionen werden durch die bekannten Sorten „Hybride 275“ (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) und „AF2“ (*P. deltoides* x *P. nigra*) aber auch durch eine Selektion der NW-FVA von „*P. maximowiczii* x freie Abblüte“ besetzt. Das Mittelfeld wird von der nicht so starken, aber typischen Differenzierung der Weiden geprägt. Hier ist besonders die Neukreuzung „Zieverich x Björn“ (*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*)) der NW-FVA noch vor der schwedischen Hochleistungssorte der dritten Generation „Tordis“ und einer Silberweide (*S. alba*) „I253A“ (Klon 333_64 in Abb. 2-6) hervorzuheben. Die darauf folgenden Weiden der ersten Generation „Blaue Fränkische Hanfweide“ (Klon 6_87 in Abb. 2-6) und „Zieverich“ (Klon 722_51 in Abb. 2-6) ordnen sich noch deutlich vor den Pappelsorten „Matrix 11“ sowie „Androscoggin“ ein. Diese starke Differenzierung der Leistungsindizes des Fotosyntheseapparates zwischen Klonen, aber auch Gattungen, deutet auf die Entwicklung von gattungstypischen Messprotokollen und der spezifischen Interpretation der Ergebnisse hin.

5 Strukturanalyse des Zusammenhangs zwischen aktueller Blattfläche, Fotoeffizienz, Höhe und Raumdominanz

Im August 2011 wurden umfangreiche Messreihen auf der Weidenprüffläche „Nichtregistrierte Weidensorten für den Kurzumtrieb“ (Ballertasche, s. Abb. 2-6) durchgeführt. Es wurde wenigstens eine Messung des CF- $PI_{(TOT)}$ (Chlorophyll-Fluoreszenz-Performance-Index nach STRASSER et al. 2010, s. Kapitel 4) je Prüfling im terminalen Sprossbereich durchgeführt. Als weiterer Parameter wurde die „Relative Blattfläche“ (BF, s. Abb. 5) verwendet und mit der Raumdominanz zur „aktuellen Blattfläche“ (BF x RD) verrechnet. Die aktuelle Blattfläche soll durch die Einbeziehung der Seitentriebe ein noch besseres Maß der zur Verfügung stehenden fotosynthetisch nutzbaren Fläche je Pflanze sein und floss in die neu berechneten Parameter „Blattflächenleistung“ ($PI_{(TOT)} \times [BF \times RD]$) und „Blattflächeneffizienz“ ($PI_{(TOT)} / [BF \times RD]$) ein. Als Bezugsgröße für eine Korrelationsanalyse wurden die Höhe und die Raumdominanz derselben Pflanze verwendet. Die in Tabelle 1 dargestellten Daten haben den Anspruch einer Strukturanalyse. Da sich die Korrelationskoeffizienten zwischen den verschiedenen Taxa innerhalb eines untersuchten Zusammenhangs im extremsten Fall ($PI_{(TOT)}$ vs. Höhe) zwischen + 0,71 und - 0,42 bewegten, wurde auf die Darstellung des Bestimmtheitsmaßes verzichtet. Es wären dadurch wichtige Teilzusammenhänge verloren gegangen. Es wurden weiterhin die Durchschnittswerte der Leistungsparameter miteinander verglichen. Um die Verschiedenartigkeit der phänotypischen Trends des Gesamtdatensatzes zu erfassen, erfolgte eine Gruppierung in die Weidentaxa *S. alba*, *S. x rubens* (*S. alba* x *S. fragilis*), *S. x erhartiana* (*S. alba* x *S. pentandra*), *S. fragilis*,

S. viminalis, *S. x alopecuroides* (*S. fragilis* x *S. triandra*), *S. x smithiana* (*S. viminalis* x *S. caprea*), *S. x dasyclados* (*S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. caprea*), *S. x aquatica* (*S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. daphnoides*), „Tordis“ (*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*)), *S. x stipularis* (*S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. aurita*) sowie *S. x helix* (*S. viminalis* x *S. purpurea*).

Tabelle 1: Leistungsparameter im Vergleich und deren Korrelationskoeffizienten von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“, zur Veranschaulichung wurden hohe und niedrige Werte farblich gekennzeichnet (rot = besonders hohe Werte, grün = besonders niedrige Werte)

Leistungsparameter (Mittelwerte)																
		aktuelle Blatt- fläche	Blatt- flächen- leistung		Blatt- flächen- effizienz	Foto- effizienz	Höhe	Raum- dominanz								
			(BFxRD)	PI(tot)												
x																
/ 100																
x100																
PI(tot)																
(BFxRD)																
RD																
Höhe																
PI(tot)																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																
RD																
Höhe																

5.1 Baumförmigkeit und Lichtkonkurrenz innerhalb der Krone

Die höchste durchschnittliche „Fotoeffizienz“ (PI_{TOT}) (s. Tab. 1) wird von den Silberweiden (*S. alba*) und der schwedischen Sorte „Tordis“ (*S. viminalis* x *S. schwerinii*) erreicht. Diese Studie zeigt, dass Silberweiden über eine deutlich höhere Fotoeffizienz gegenüber den anderen hier geprüften Weidentaxa verfügen. Gleichzeitig besitzen die Baumweiden (UG Amerina) aber auch die geringsten aktuellen Blattflächen. Die geringere Blattfläche der Baumweiden gegenüber den anderen Taxa ist ein Resultat der Anpassung an die Lichtverhältnisse in einer vielschichtigen Krone, wie sie typisch ist für baumförmige und lichtadaptierte Spezies. Die „lichteren“ Kronen der UG Amerina lassen durch ihre geringere Blattfläche auch in die unteren und inneren Blattebenen der Krone so viel Licht, dass auch sie den Licht-Kompensationspunkt erreichen und ein positiver Nettogewinn aus der Fotosynthese erzielt werden kann (GIVNISH 1988). Damit wird die Pflanze dazu befähigt den gesamten Kronenraum effizienter als lichteinfangende Fläche zu nutzen (GREEN et al. 2001). Es verwundert deswegen nicht, dass die Weiden der Untergattung (UG) Amerina (Baumweiden) bei geringster Blattflächenleistung ($PI_{TOT} \times [BF \times RD]$) die höchste Blattflächeneffizienz ($PI_{TOT} / [BF \times RD]$) besitzen.

5.2 Leistungsträger

Die Sorte „Tordis“, eine schwedische Weidenzüchtung der dritten Generation, zeigt auch in dieser Studie die höchsten Zuwachslleistungen. Diese Leistungsfähigkeit ist auf ein sehr effizientes Fotosystem zurückzuführen. Somit verwundert nicht, dass die höchsten Werte der Fotoeffizienz bei der gleichzeitig höchsten aktuellen Blattfläche zu einer doppelt so hohen Blattflächenleistung gegenüber allen anderen Taxa führen und in den höchsten Werten bei Höhe und Raumdominanz resultieren.

5.3 Strauchförmigkeit und Lichtkonkurrenz am Boden

Die geringsten Werte der Fotoeffizienz werden durch die „strauchförmigsten“ Weidentaxa (s. Abb. 4) *S. x stipularis* und *S. x belix* erbracht. Strauchförmigkeit heißt aber gleichzeitig ein erhöhter Verzweigungsgrad durch basitonen Wuchs. Aus diesem Grund erhöhen sich mit der größeren Anzahl von Seitentrieben auch die zum Einfangen von Licht zur Verfügung stehende Grundfläche und das schon in jungen Jahren bestehende Potenzial zu einer erhöhten Lichtkonkurrenz gegenüber krautigen Pflanzen. Die erhöhte Anzahl von Seitenverzweigungen steht aber durch eine Bilanz der inneren Ressourcenverteilung in direkter Konkurrenz mit den Investitionen in die Struktur der Fotosysteme. Hocheffiziente Fotosysteme würden deshalb einen nicht geringfügigen Betrag der Ressourcen abzweigen, die aber bei Strauchweiden in schnell regenerierende flächige Verzweigungsmuster investiert werden müssen. Dennoch verfügen die beiden hier untersuchten „strauchförmig-

sten“ Weidentaxa über eher durchschnittliche aktuelle Blattflächen (s. Abb. 5 u. Tab. 1). Es ist zu vermuten, dass diese Werte nicht unbedingt die richtige Relation der Blattfläche darstellen, denn es wurde über die Raumdominanz (Höhenklasse + Anzahl Seitentriebe wenigstens 1 m Länge) und der zugrunde liegenden Projektion der Blattfläche eines 15 cm Triebabschnitts auf die gesamte Pflanze, nicht das vollständige Verzweigungsmuster eingefangen. Zahlreiche sylleptische Triebe (Bereicherungszweige) verändern bei den strauchförmigen Weiden wahrscheinlich noch deutlich die Kapazität der zur Verfügung stehenden Blattfläche.

5.4 Blattfläche versus Biomasse – Inter- und Intra-Individuale Licht-Konkurrenz

Für die Analyse der Zusammenhänge wurden alle Leistungsparameter eingeteilt in die tatsächlichen überirdischen Biomasse-Parameter (Höhe und Raumdominanz) und in die die Wuchsleistung indizierenden Parameter (Blattflächenleistung sowie Foto- und Blattflächeneffizienz). Somit wurden die Biomasse-Parameter jeweils den Leistung indizierenden Parametern gegenüber gestellt und in Tabelle 1 durch die Korrelations-Koeffizienten (r) der jeweiligen Beziehung dargestellt. Der am besten gestützte Gesamtzusammenhang betrifft die Beziehung zwischen Aktueller Blattfläche und den Wuchsparametern Höhe sowie Raumdominanz. Es werden Korrelationskoeffizienten je taxonomischer Gruppe zwischen 0,19 und 0,88 und somit im Gesamtdatensatz von 0,57 erreicht. Der in Abbildung 8 dargestellte Zusammenhang für *Salix alba* zeigt ein Bestimmtheitsmaß (r^2) von 0,538 ($n = 136$) und ist bei der im Datensatz festgestellten sehr hohen Schwankungsbreite sehr aussagekräftig. Insgesamt den stärksten Zusammenhang zwischen Blattfläche und Biomasse erzielte mit $r = 0,9$ die Sorte „Tordis“. Es kann also ein großer Teil der überirdischen Biomasse dieser Sorte über die Zunahme der Blattfläche erklärt werden. Weiterhin bemerkenswert ist die unterschiedliche Ausprägung dieses Zusammenhangs in Bezug auf Höhe und RD. Bei den Strauchweiden der UG *Caprisalix* werden die höheren Werte in der Beziehung Blattfläche und Raumdominanz (Höhenklasse + Anzahl Seitentriebe über 1 m Länge) erzielt. Am deutlichsten wird dies bei der „strauchförmigsten“ Weide *Salix x helix*. Somit besteht bei den strauchförmigen Weiden auch ein größerer Zusammenhang zwischen der Blattfläche und der „Strauchförmigkeit“ als gegenüber der Höhe. Zusammenfassend für alle hier untersuchten Taxa kann festgestellt werden, dass die überirdische Biomasse eindeutig mit der Ausprägung der aktuellen Blattfläche gekoppelt ist.

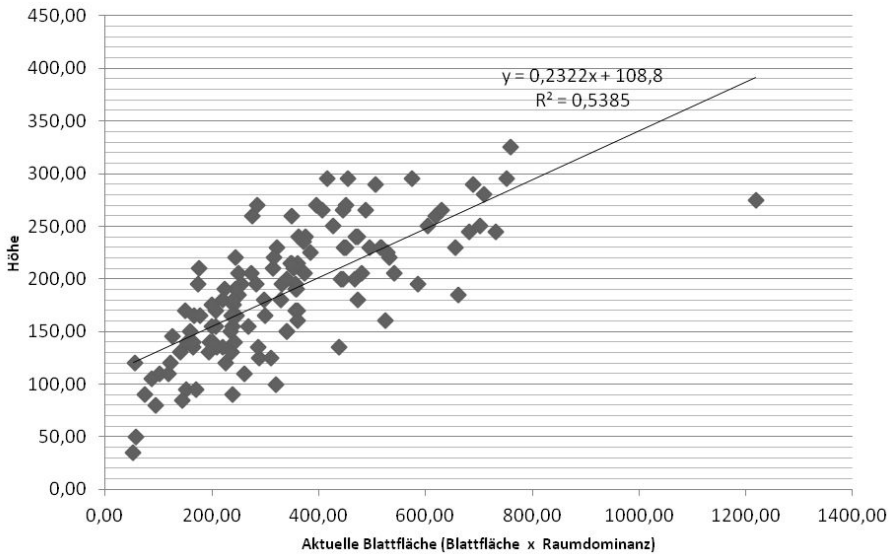


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen „aktueller Blattfläche“ ($BF \times RD$) und Höhe zwischen 136 Prüfliegern bestehend aus 14 verschiedenen Klonen der Art *Salix alba* (Silberweide)

5.5 Fotoeffizienz versus Biomasse sowie Fotoeffizienz versus Blattfläche – Anpassungen an die Wasserversorgung

Besonders stark gegenläufige Trends wurden innerhalb des Zusammenhangs Fotoeffizienz (PI_{TOT}) vs. Biomasse (Höhe und RD) festgestellt. So wurde in der Beziehung PI_{TOT} vs. RD eine Ausprägung von r von 0,8 bis -0,39 nachgewiesen. Dementsprechend ist im Gesamtdatensatz ein Trend nur sehr gering ausgeprägt. Dies deutet darauf hin, dass es sich bei der Fotoeffizienz um eine eher statische und vor allem auch art- oder klontypische Konstante handelt, welche bei den meisten Taxa dieser Untersuchung nur genotypisch schwingt und einen geringen Bezug zur aktuellen phänotypischen Plastizität erlaubt. Dennoch weisen die polyploiden Hybriden *S. x rubens*, *S. x lispolados*, *S. x dasyclados* und *S. x aquatica* einen positiven Zusammenhang zwischen Fotoeffizienz und Biomasse auf. Auffallend ist, dass es sich bei allen vier Taxa um Hybriden handelt, die an wassernahe Standorte gebunden sind. Da eine Zunahme der Fotoeffizienz auch an die Zunahme des Wasserumsatzes gekoppelt und an den typischen Standorten dieser Arten Wasser kein limitierender Faktor ist, könnte eine Zunahme der Biomasse durch eine höhere Fotosyntheseleistung erklärt werden. Das heißt demnach, dass bei diesen Spezies, gut versorgte, effiziente Blätter der jeweiligen Pflanze einen nicht unerheblichen modifikativen Beitrag zum Biomassezuwachs leisten.

Ein negativer Zusammenhang zwischen Fotoeffizienz und den Biomasse-Parametern wurde bei den diploiden Hybriden *S. x smithiana* und *S. x helix* festgestellt.

Die Kreuzungspartner dieser Hybriden haben entweder eine hohe Amplitude was die Wasseransprüche betrifft, wie bei *Salix purpurea*, oder sind häufig auch an wasserfernen Standorten zu finden wie *Salix caprea*. Da die Zunahme der oberirdischen Biomasse aber auch gleichzeitig mit einer Zunahme der Blattfläche und Gesamtwasserversorgung verbunden ist könnte die Zunahme der Fotoeffizienz gedeckelt oder sogar gegenläufig sein um eine Wasserversorgung nicht zu stark zu limitieren. Somit wäre also die Abnahme der Fotoeffizienz bei Zunahme der Biomasse nichts anderes, als eine Adaption an trockenere Standorte. Weiter verdeutlicht wird diese Hypothese, wenn man den Zusammenhang zwischen Fotoeffizienz und Blattfläche ($PI_{(TOT)}$ vs. $(BF \times RD)$) betrachtet (s. Tab. 1). Hier bilden die wassernahen Hybriden mit *S. cinerea* (*S. x dasyclados* und *S. x aquatica*) den Gegenpol mit $r = 0,52$ zu den wasserfernen Hybriden mit *S. caprea* (*S. x smithiana*) mit $r = -0,41$. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass bei Pflanzen, die an trockenere Standorte angepasst sind, eine Erhöhung der Blattfläche, welche mit der Erhöhung der Verdunstung gekoppelt ist, gleichzeitig mit der Absenkung der Fotoeffizienz einhergehen muss, um die Wasserbilanz aufrecht zu erhalten.

5.6 Blattflächenleistung versus Biomasse – Bilanzierung der Wasserversorgung

Die Parameter Blattfläche (BF), Raumdominanz (RD) und Fotoeffizienz ($PI_{(TOT)}$) sind die Eckpfeiler eines Wasserbilanz-Modells (s. Kap. 5.5). Es beinhaltet die gegenseitige Beeinflussung durch die jeweilige Ausprägung dieser Einzelparameter. Es sollte davon ausgegangen werden, dass die meisten Phanerophyten der gemäßigten Breiten kaum anatomische und physiologische Anpassungen an trockene Standorte vorweisen können. Da Wasser an den meisten Standorten, an denen auch Weiden vorkommen, kein begrenzender Faktor ist, können die wasserverbrauchenden Faktoren wie Transpiration und Fotosynthese meistens bis an ihre physiologischen Grenzen hochgefahren werden. Der Stoffumsatz der Assimilation dieser Pflanzen hängt dann neben den zur Verfügung stehenden Nährstoffen nur noch vom Temperatur- und Lichtangebot ab. Bei optimaler Versorgung mit diesen Faktoren, wäre der einzig limitierende Faktor für den Ertrag einer jeden Weide nur ihr Genotyp. Durch die Verwendung von Weiden als Energiepflanze, werden diese Pflanzen an Standorten kultiviert, die nicht immer ihrem natürlichen Optimum entsprechen würden. Zumindest zeitweilig ungünstige Situationen wie z. B. ausgeprägte sommerliche Trockenzeiten würden dann limitierend für die Kultivierung dieser Spezies sein. Die in der Züchtung schnellwachsender Baumarten notwendige Kronenoptimierung durch Erhöhung des Blattflächenindex (Verhältnis zwischen Gesamt-Blattfläche und Kronenfläche) ist gezwungenermaßen assoziiert mit einem Anstieg der Transpiration. Ebenfalls führt die Erhöhung und Effizienzsteigerung der Fotosyntheseleistung zu einem immer höheren Wasserverbrauch der jeweiligen Pflanze. Es wird also deutlich, dass bei der Entwicklung von Hochleistungspflanzen Wasser der hauptsächlich limitierende Faktor ist.

Durch das Zusammenfassen dieser drei Leistungsindikatoren zum Parameter Blattflächenleistung soll ein integrierendes Boniturmaß gefunden werden, welches frühzeitig eine potenzielle Leistungsfähigkeit des Prüfglieds in Bezug auf den zu erwartenden Ertrag anzeigt. Es soll indizieren welche Leistungsfähigkeit dem jeweiligen Genotyp unter den günstigsten Umweltbedingungen zur Verfügung steht. Der Zusammenhang Blattflächenleistung versus Höhe oder RD (s. Tab. 1) zeigt eine beachtliche Ausprägung vor allem bei den baumförmigen Weiden (s. Abb. 9) und der Sorte „Tordis“.

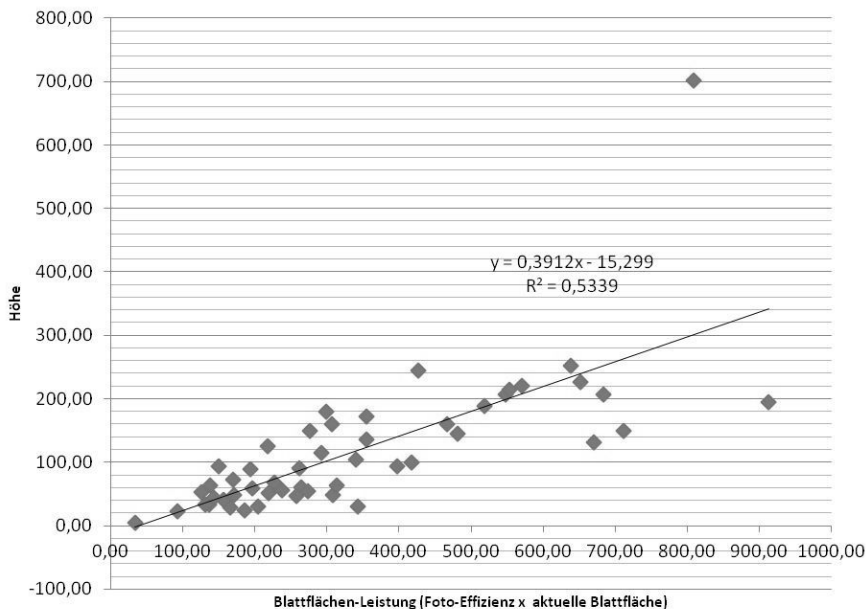


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen „Blattflächenleistung“ ($PI_{TOT} \propto [BF \times RD]$) und Höhe zwischen 30 Prüfgliedern bestehend aus 3 verschiedenen Klonen der Hybriden zwischen Silber-, Bruch- und Lorbeerweide vertreten durch *S. × rubens* (*S. alba* × *fragilis*) und *S. × lispoelados* (*S. alba* × *pentandra*)

5.7 Blattflächeneffizienz versus Biomasse – Je effizienter die Blätter umso höher der Ertrag?

Das Verhältnis zwischen der Fotoeffizienz zur Blattfläche ist vor allem ein Maß in welchem Umfang die jeweilige Pflanze im Verhältnis zu ihrer Blattmasse in die Fotosysteme investiert. Fotoeffizienz und Blattfläche stehen in einem balancierten Gleichgewicht. Der limitierende Faktor ist, wie in Kapitel 5.6 erwähnt, das zur Verfügung stehende Wasser. Zwei grundsätzliche Strategien sind somit fokussierbar. Pflanzen mit großen Blattflächen haben zusätzlich zu ihrem Grundumsatz auch noch eine erhöhte Transpiration. Dadurch kann es bei einem hohen Stoffumsatz (Temperatur und Licht im Optimum) zu Engpässen in der Wasserversorgung

kommen. Für diese Pflanzen ist ein permanenter Zugang zu Wasser unumgänglich. Pflanzen mit einer geringen Blattfläche können sich demgegenüber aber eine wesentlich höhere Fotoeffizienz leisten, da die Transpiration reduziert ist. Die Prüfglieder *S. alba* (UG Amerina) und „Tordis“ (*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*), UG Caprisalix) haben die mit Abstand höchsten Werte in der Fotoeffizienz. Trotz dessen bilden sie im Parameter Blattflächeneffizienz die Gegenpole (s. Tab. 1). Ursache sind die geringen Blattflächen von *S. alba* gegenüber den in dieser Untersuchung größten Blattflächen bei „Tordis“. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Fotoeffizienz nicht unbegrenzt hochgefahren werden kann, da durch die große Blattfläche von „Tordis“ auch eine erhöhte Transpiration stattfinden muss.

Im Zusammenhang Blattflächeneffizienz versus Ertrag zeigen sich durchweg Werte von 0 und <0. Besonders stark ausgeprägt ($R^2 = 0,515$, s. Abb. 10) ist dieser Zusammenhang bei den Weidenhybriden zwischen *S. viminalis* mit *S. cinerea*. *S. cinerea* ist typisch für wassernahe Standorte und in dieser Untersuchung ein gutes Beispiel für eine deutliche Deckelung des Wasserumsatzes durch Reduktion der Fotoeffizienz um ein entsprechendes Höhenwachstum zu gewährleisten.

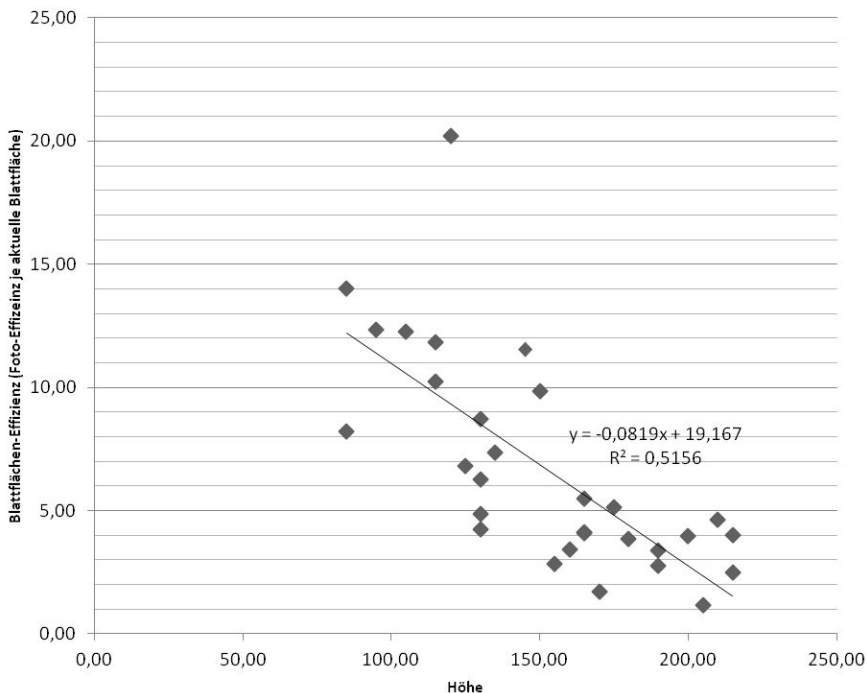


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen „Blattflächeneffizienz“ ($PI_{(TOT)}/[BF \times RD]$) und Höhe zwischen 30 Prüfgliedern bestehend aus 3 verschiedenen Klonen der Hybriden zwischen Korb- und Grauweide *Salix* x *dasyclados* (*S. viminalis* x *cinerea* x *caprea*) und *S. x aquatica* (*S. viminalis* x *cinerea* x *daphnoides*)

6 Strategien für die Züchtung neuer Ideotypen

Die Züchtung neuer Ideotypen für den Kurzumtrieb sollte zu Pflanzen führen mit einer geschichteten Krone, deren Blattflächen den Dichtstand im engen Verband vertragen. Zur Maximierung der Netto-Fotosyntheseleistung der Krone ist die Erhöhung der aktuellen Blattfläche nur bis zu dem Wert effektiv, an dem die am meisten beschatteten Blätter der Krone ihren Licht-Kompensationspunkt erreicht haben (GIVNISH 1998). Das heißt, dass auch für die eher vom Licht benachteiligten Blätter an optimalen Lichttagen die fotosynthetische CO₂-Bindung höher sein sollte als die CO₂-Abgabe durch Atmung.

Für schnellwachsende Baumarten wie den Weiden ist zur Optimierung der Kronenleistung ein hoher Blattflächenindex mit einem hohen Blattstickstoffgehalt (hohe Chlorophylldichte) sowie einer geringen vertikalen Abnahme dessen empfehlenswert (WEI u. RÖNNBERG-WASTLJUNG 2007, WU 1993). In THARAKHAN et al. 2005 werden für Weiden zwei Empfehlungen für eine Kronen-Optimierung entworfen. Weiden mit einer hohen Anzahl an Stockausschlägen (ca. 11 je Wurzelstock) benötigen einen eher geringen Blattflächenindex und geringere Einzel-Blattflächen. Im Gegensatz dazu sind bei Weidenklonen mit eher weniger starkem Stockausschlag (ca. 6 je Wurzelstock) ein hoher Blattflächenindex und auch große Einzelblattflächen von Vorteil.

Die Erhöhung der Lichtnutzungseffizienz muss im Einklang mit dem zur Verfügung stehenden Wasser stehen und richtet sich nach dem Standort, für den die Pflanze gezüchtet werden soll. Zur Auswahl des geeigneten Züchtungsmaterials ist die Kenntnis über die ökophysiologischen Konstitutionstypen der einzukreuzenden Arten und Kultivare eine elementare Voraussetzung. Da die meisten Weidenarten, die für den Kurzumtrieb geeignet sind, durch ihre Anpassung an Ruderal- und Pionierstandorte, mit ihrem erfolgreichen Wettbewerbsverhalten, zu den „Wettbewerbsstrategen“ (GRIME 1979) gehören, ist an gut versorgten Standorten mit dementsprechenden Höchstleistungen im Ertrag zu rechnen. Das bedeutet für Weidensorten, die diesen Anforderungen genügen und auf höchsten Ertrag gezüchtet wurden, dass sie ihr volles Potential nur bei bester und permanenter Versorgung mit Wasser, Licht und Nährstoffen ausschöpfen können. Dementsprechend ist aber mit großen Ertragseinbußen zu rechnen, wenn es zu starken Engpässen in der Versorgung innerhalb einer Vegetationsperiode kommt. Größtmögliche Blattflächen bei immer leistungsfähigeren Fotosystemen und demzufolge sehr hohem Wasserdurchsatz könnten dann durch Unterbrechung z. B. der Wasserversorgung in trockeneren Perioden zum Wasserkollaps und Absterben von Sprossteilen oder ganzer Triebe führen. Weidenarten wie *Salix caprea*, *S. daphnoides* und *S. purpurea*, die an trockeneren, kalten oder nährstoffarmen Standorten vorkommen, tendieren dazu, durch zeitweise geringere, aber über die Vegetationsperiode beständigere Zuwachsraten einen eher ausgewogenen und damit stresstoleranteren Kohlenstoff-, Mineralstoff- und Wasserhaushalt aufrechtzuerhalten. Durch die züchterische Bearbeitung dieser und anderer Arten und deren Einkreu-

zung in Weidenklone mit höchstem Stoffdurchsatz, die vor allem durch *Salix viminalis* zur Verfügung stehen, können diverse Ideotypen mit einem hohen Potential der Anpassung an marginale Standorte sowie jährliche Klimaschwankungen die Auswahl für den Energiebauern erleichtern.

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
- 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
- GIVNISH, J. T. (1988): Adaption to Sun and Shade: A Whole-plant Perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* 15, 63-92
- GREEN, D. S.; KRUGER, E. L.; STANOSZ, G. R. u. ISEBRANDS, J. G. (2001): Light-use efficiency of native and hybrid poplar genotypes at high levels of intracanopy competition. *Can. J. For. Res.* 31, 1030-1037
- GRIME, J. P. (1979): *PLANT STRATEGIES AND VEGETATION PROCESSES*. WILEY, CHICHESTER, 1979
- HAKULAINEN, J.; SORJONEN, S. u. JULKUNEN-TIITTO, R. (1999): Leaf phenolics of three willow clones differing in resistance to *Melampsora* rust infection. *Physiol. Plant.* 105, 662-669
- HÖRANDL, E.; FLORINETH, F. u. HADACEK, F. (2002): *Weiden in Österreich und angrenzenden Gebieten* : Eigenverlag des Arbeitsbereiches Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Institut für Landschaftsplanung u. Ingenieurbiologie, Univ. für Bodenkultur Wien
- LAUTENSCHLÄGER-FLEURY, D. (1994): *Die Weiden von Mittel- und Nordeuropa: Bestimmungsschlüssel und Artbeschreibung für die Gattung Salix L.* / Dagmar und Ernst Lautenschläger-Fleury. – Überarb. und erw. Neuaufl. – Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser
- 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
- RECHINGER, K. H. FIL. (1957): *Salix*. In: HEGI G. (Hrsg.): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa III/I*, 2. Aufl., pp. 44-135. Carl Hanser: München [unveränd. Nachdruck in der 3. Aufl. 1981]
- SCHIECHTL, H. M. (1992): *Weiden in der Praxis. Die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre Bestimmung*. Patzer Verlag: Berlin, Hannover
- SCHÜTT, P.; WEISGERBER, H.; SCHUCK, H. J.; LANG, U. u. ROLOFF, A. (1994): *Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie*. Landsberg am Lech. Ecomed-Verlag
- 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
- TAYLOR, G.; ROBINSON, K. u. KARP, A. (2003): *Identifying physiological traits for yield in biomass willow*. University of Southampton: FES B/W6/00599/REP/2 DTI/Pub URN 03/1301
- THARAKAN, P. J.; VOLK, T. A.; LINDSEY, C. A.; ABRAHAMSON, L. P. u. WHITE, E. H. (2005): Evaluating the impact of three incentive programs on the economics of cofiring willow biomass with coal in New York State: *Energy Policy* 33: 337-347
- WEIH, M. u. RÖNNBERG-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

Korrespondierender Autor:

Steffen Fehrenz
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: steffen.fehrenz@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de, www.fastwood.de

Daniel Weber
Daniel Weber Biomonitoring