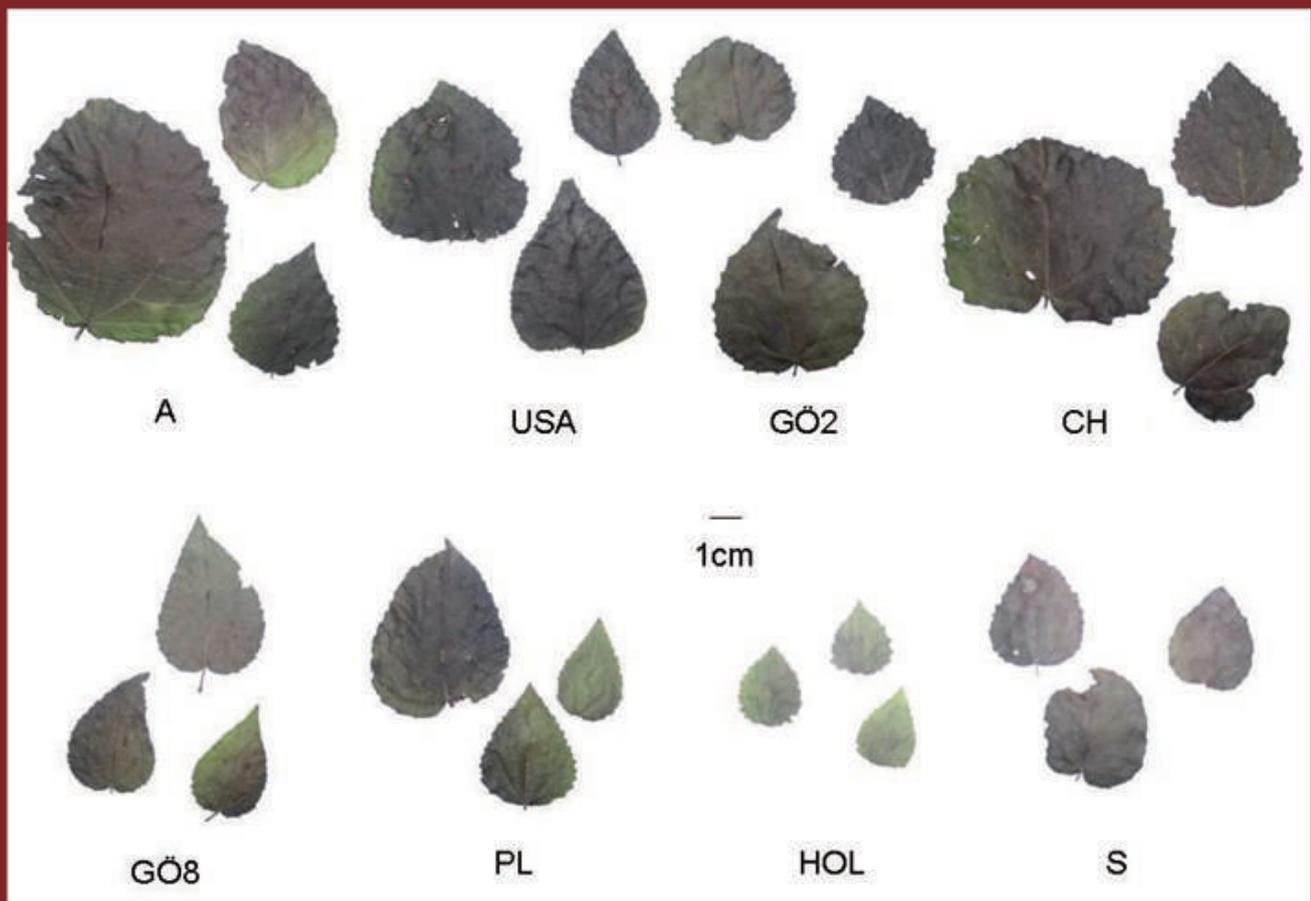

Bedeutung von intraspezifischer Diversität für Ökophysiologie und organismische Interaktionen bei der Pappel



**Bedeutung von intraspezifischer Diversität
für Ökophysiologie und organismische
Interaktionen bei der Pappel**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Frauke Kleemann
geboren in Halle (Saale)

Göttingen 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2010

Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2010

978-3-86955-390-0

1. Gutachterin: Prof. Dr. Andrea Polle

2. Gutachter: Prof. Dr. Reiner Finkeldey

Tag der mündlichen Prüfung: 31.05.2010

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2010

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2010

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-390-0

Für
Manfred

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| <i>Abkürzungen</i> | <i>IV</i> |
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Die Schwarzpappel | 1 |
| 1.2 Die Aspen | 3 |
| 1.3 Mykorrhiza | 4 |
| 1.4 Endophyten | 4 |
| 1.5 Ziele der Arbeit | 5 |
| 1.6 Literatur | 6 |
| 2. Auswirkungen von Inokulierung mit <i>Paxillus involutus</i> MAJ und Fungizidbehandlung auf das Wachstum und den Schädlingsbefall von Schwarzpappelklonen | 8 |
| 2.1 Einleitung | 8 |
| 2.2 Material und Methoden | 9 |
| 2.2.1 Pflanzenmaterial und Wachstumsbedingungen..... | 9 |
| 2.2.2 Biometrische Aufnahmen | 10 |
| 2.2.3 Biochemische Analysen | 11 |
| 2.2.4 Elementanalysen..... | 13 |
| 2.2.5 Fraßversuch und Toxizitätstest..... | 13 |
| 2.2.6 Untersuchung der Mykorrhizierung | 14 |
| 2.2.7 Statistische Auswertung | 14 |
| 2.3 Ergebnisse | 15 |
| 2.3.1 Wachstum und Biomasse | 16 |
| 2.3.2 Mykorrhizierung..... | 20 |
| 2.3.3 Blatinhaltsstoffe..... | 21 |
| 2.3.3 Fraßversuch und Toxizitätstest mit <i>Helicoverpa amigera</i> | 23 |
| 2.3.5 Ähnlichkeiten und Unterschiede der <i>P. nigra</i> Klone | 27 |
| 2.4 Diskussion | 30 |
| 2.4.1 Allgemeine Charakteristika der Schwarzpappelklone..... | 30 |
| 2.4.2 Interaktionen der Schwarzpappelklone | 31 |
| 2.5 Literatur | 34 |
| Anhang I..... | 39 |
| Anhang II..... | 40 |
| Anhang III | 41 |
| 3. Ökologisch bedeutsame Merkmale in Vollgeschwisterfamilien der Aspe (<i>Populus tremula</i>) unter dem Einfluss eines Fungizides | 46 |
| 3.1 Einleitung | 46 |
| 3.2 Material und Methoden | 47 |
| 3.2.1 Pflanzenmaterial und Wachstumsbedingungen..... | 47 |
| 3.2.2 Genetische Untersuchungen | 50 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| 3.2.3 Biometrische Aufnahmen | 51 |
| 3.2.4 Bestimmung des Endophytenbewuchses..... | 52 |
| 3.2.5 Biochemische Analysen | 54 |
| 3.2.6 Elementanalysen..... | 57 |
| 3.2.7 Statistische Auswertung | 57 |
| 3.3 Ergebnisse | 58 |
| 3.3.1 Wachstum und Biomasse | 58 |
| 3.3.2 Blatinhaltsstoffe..... | 61 |
| 3.3.3 Charakterisierung des Ernährungszustandes | 63 |
| 3.3.4 Interaktion von Aspen mit Mikroorganismen | 65 |
| 3.3.4 Ähnlichkeiten und Unterschiede der Kreuzungen..... | 66 |
| 3.3.4 Untersuchungen zu den Verwandtschaftsbeziehungen | 68 |
| 3.4 Diskussion..... | 71 |
| 3.4.1 Austriebsverhalten | 71 |
| 3.4.2 Interaktionen mit Symbionten | 71 |
| 3.4.3 Blatinhaltsstoffe..... | 72 |
| 3.4.4 Ähnlichkeiten und Unterschiede der Vollgeschwisterfamilien | 73 |
| 3.5 Literatur | 75 |
| 4. Einfluss von Biodiversität auf das Wachstum und die Produktivität von Aspen: Freilandversuch auf einer historischen Dauergrünlandfläche..... | 81 |
| 4.1 Einleitung | 81 |
| 4.2 Material und Methoden | 83 |
| 4.2.1 Standortcharakteristika | 83 |
| 4.2.1 Pflanzenmaterial | 85 |
| 4.2.3 Pflanzplan | 89 |
| 4.2.4 Biometrische Aufnahmen..... | 91 |
| 4.2.5 Blatt- und Bodenproben | 91 |
| 4.2.6 Knospenbonitur | 92 |
| 4.2.7 Mikrometeorologische Messungen | 92 |
| 4.2.8 Datenauswertung | 92 |
| 4.3 Ergebnisse | 94 |
| 4.3.1 Mikrometeorologische Daten | 94 |
| 4.3.2 Vegetationsende und Vegetationsdauer | 96 |
| 4.3.2 Boden..... | 98 |
| 4.3.3 Herkunftsspezifisches Anwuchsverhalten, Ausfallquoten | 100 |
| 4.3.4 Herkunftsspezifische Einflüsse auf Wachstum und Biomasse..... | 100 |
| 4.3.6 Blattgrößen, Kohlenstoff und Stickstoffgehalt der Blätter..... | 107 |
| 4.3.7 Einfluss der Biodiversität auf das Wachstum der Aspen | 110 |
| 4.3.8 Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Aspenherkünften | 119 |
| 4.4 Diskussion..... | 122 |
| 4.4.1 Wachstum der Aspenherkünfte | 122 |
| 4.4.2 Knospenschluss und Vegetationsdauer | 123 |
| 4.4.3 Bodenparameter..... | 123 |
| 4.4.4 Einfluss der Diversität | 124 |

| | |
|--|------------|
| 4.5 Literatur | 126 |
| Anhang I | 131 |
| Anhang II | 132 |
| Anhang III | 135 |
| Anhang IV | 136 |
| 5. <i>Synopse</i>..... | 137 |
| 5.1 Bedeutung der Diversität für die Ökosystemfunktionen..... | 137 |
| 5.2 Bedeutung der Symbionten | 138 |
| 5.3 Literatur | 139 |
| 6. <i>Zusammenfassung</i>..... | 141 |
| 7. <i>Publikationen</i>..... | 144 |
| 8. <i>Danksagung</i>..... | 145 |

Abkürzungen

| | |
|---------------------------------|--|
| A | Österreich |
| AM | arbuskuläre Mykorrhiza |
| ANOVA | Varianzanalyse (Analyse of Variance) |
| BCA | Bicinchoninsäure |
| BSA | Bovines Serumalbumin |
| °C | Grad Celsius |
| C | Kohlenstoff |
| Ca | Kalzium |
| CH | Schweiz |
| CaCl ₂ | Kalziumchlorid |
| cm | Zentimeter |
| d | Tag |
| d. h. | das heißt |
| DMSO | Dimethylsulfoxid |
| dpi | dots per inch (Punkte pro Zoll) |
| EM | Ektomykorrhiza |
| EPPO | European and Mediterranean Plant Protection Organization |
| <i>et al.</i> | <i>et alii</i> (und andere) |
| Fe | Eisen |
| FeCl ₃ | Eisen- (III) Chlorid |
| FG | Frischgewicht |
| g | Gramm |
| g | Erdbeschleunigung |
| GÖ | Göttingen |
| h | Stunde |
| ha | Hektar |
| HCl | Salzsäure |
| HNO ₃ | Salpetersäure |
| HOL | Holstein |
| H ₂ SO ₄ | Schwefelsäure |
| ICP | Elementanalyse (Inductively Coupled Plasma) |
| K | Kalium |
| K | Kreuzung |
| kg | Kilogramm |
| KH ₂ PO ₄ | Kaliumdihydrogenphosphat |
| KPP | Kaliumphosphatpuffer |
| l | Liter |
| LD | letale Dosis |
| m | Meter |
| M | Molar |
| MANOVA | multivariate Varianzanalyse (Multiple Analyse of Variance) |
| mg | Milligramm |
| Mg | Magnesium |
| MgSO ₄ | Magnesiumsulfat |
| mm | Millimeter |

Abkürzungen

| | |
|---|--|
| mM | Millimolar |
| min | Minute |
| ml | Milliliter |
| Mn | Mangan |
| MW | Mittelwert |
| µl | Mikroliter |
| N | Stickstoff |
| Na ₂ CO ₃ | Natriumcarbonat |
| NaCl | Natriumchlorid |
| NaOH | Natronlauge |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | Ammoniumsulfat |
| nm | Nanometer |
| P | Phosphor |
| PL | Polen |
| RFLP | Restriktionsfragmentlängenpolymorphismus |
| s | Sekunde |
| S | Schwefel |
| S | Schweden |
| SD | Standardabweichung |
| SE | Standardfehler |
| St | Stück |
| TG | Trockengewicht |
| u. a. | unter anderem |
| U/min | Umdrehungen pro Minute |
| ü. NN | über Normal Null |
| USA | United Staates of America |
| V | Volumen |
| vgl. | vergleiche |
| WHD | Wurzelhalsdurchmesser |
| z. B. | zum Beispiel |
| z. T. | zum Teil |
| % | Prozent |

1. Einleitung

Die Pappel (*Populus spp.*), die zur Familie der *Salicaceae* gehört, ist eine seit Jahrhunderten in Mitteleuropa wirtschaftlich genutzte Gattung. Ihre Nutzung war und ist dabei Schwankungen unterworfen. Wurde das Holz von Pappeln früher häufig für Haushaltsgegenstände wie Schüsseln und Löffel gebraucht, dient es heute vorwiegend der Zellstoff- und Papierindustrie. Die Weiterentwicklung moderner Verbrennungsanlagen, aber auch die Entstehung bzw. Wiederentdeckung von Kurzumtriebsanbausystemen (früher Niederwaldbetrieb) trugen dazu bei, dass seit einigen Jahren die energetische Nutzung dieser raschwüchsigen Hölzer immer interessanter wird.

1.1 Die Schwarzpappel

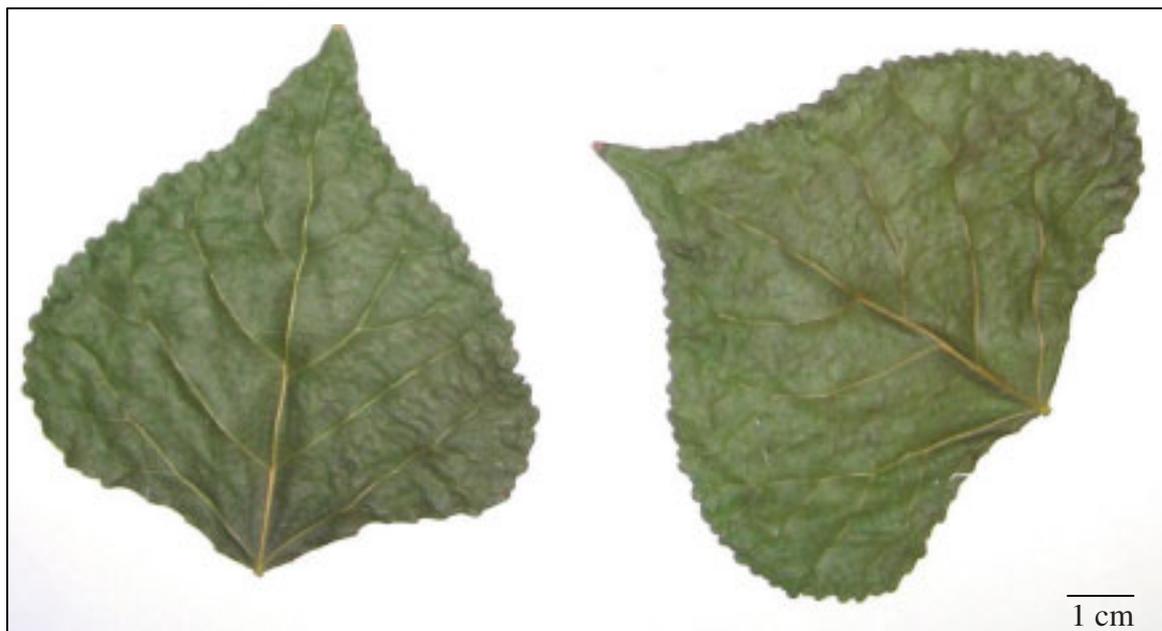


Abbildung 1: Blätter der Schwarzpappel (*Populus nigra*)

Die Schwarzpappel (*Populus nigra*), Baum des Jahres 2006, ist eine in Deutschland selten gewordene Art der Gattung *Populus*. Ihre wirtschaftliche Bedeutung war im Verlauf der Jahrhunderte starken Schwankungen unterworfen und reicht von der Produktion von Prothesen nach den Weltkriegen über die Zündholzproduktion bis hin zur Papier- und Sperrholzproduktion (Roloff 2006). Technische Eigenschaften wie ein hoher Abnutzungswiderstand, Elastizität und Splitterfestigkeit, aber auch Eigenschaften wie Geruchs- und Geschmacksneutralität machen das Holz der Pappel

Einleitung

zu einem vielseitig einsetzbaren Rohstoff (Grosser 2006). Besonders Schwarzpappelhybride haben wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Einer der ersten Schwarzpappelhybride, *P. x canadensis*, wurde bereits im 17. Jahrhundert aus der europäischen und der kanadischen Schwarzpappel (*P. deltoides*) gekreuzt. In jüngster Zeit werden vor allem Hybriden aus Balsampappeln, z. B. *P. maximowiczii*, und Schwarzpappel (*P. nigra*) als schnellwachsende Baumarten in Kurzumtriebsplantagen zur Gewinnung erneuerbarer Energien eingesetzt (Hofmann 2002).

Das ursprünglich natürliche Verbreitungsgebiet der Schwarzpappel erstreckt sich von Nordafrika bis Skandinavien, im Osten reicht die Verbreitungsgrenze bis ans Kaspische Meer (Roloff 2006).

Als Charakterart der Weichholzaue bevorzugt die Schwarzpappel sandige Flusskehren, die für ein Auflaufen der Naturverjüngung unerlässlich sind. Die europäische Schwarzpappel ist in der Lage, Überschwemmungen und Übersandungen zu tolerieren, auch kann der Baum selbst größere Verletzungen überwallen. Das Regenerationspotential kann zur Vermehrung über Steckhölzer genutzt werden, um so aus einem Individuum zahlreiche Klone zu gewinnen (Weisgerber 2006). Als Pionierbaumart verfügt die Schwarzpappel über ein hohes Anpassungspotential an Änderungen der Standortbedingungen, welche durch die Auedynamik bedingt werden (Immert und Lefèvre 2003).

Heute werden mittels genetischer Analysen (z. B. Isoenzymanalyse, RFLP Marker) viele natürliche Standorte von Schwarzpappel- (Relikt-) Populationen erfasst und unter besonderen Schutz gestellt. Diese Maßnahmen sollen dazu beitragen, die Schwarzpappel als eine der gefährdeten Baumarten Deutschlands zu erhalten (Töber *et al.* 2006, Holderegger *et al.* 2005). Neben der Lebensraumzerstörung durch Gewässerbegradigung (Volk 2006) und Auwaldvernichtung stellt besonders die Genintrogression zwischen Schwarz- und Hybridpappeln, welche zur schleichenden Vermischung des Erbmaterials führt, eine existenzielle Bedrohung für die Schwarzpappel dar (Csencsics *et al.* 2009, Smulders *et al.* 2008, Heinze 2008, Ziegenhagen *et al.* 2008).

1.2 Die Aspe

Die Aspe, Espe oder auch Zitterpappel (*Populus tremula*), die zur Sektion *Populus* gehört, wird als anpassungsfähige Primärbaumart beschrieben, die in der Lage ist, auch Extremstandorte zu besiedeln. Sie verkraftet kurzfristige Trocken- wie Nassphasen ebenso wie Nährstoffmangel (Dimpfelmeier 1963). In den Alpen sowie in den Pyrenäen, im Kaukasus und im Altai besiedelt sie Standorte bis zu 2000m ü. NN (Stettler *et al.* 1996). Ihr helles Holz wurde seit dem Mittelalter für Brennholz, Prothesen und später für die Zündholzproduktion genutzt. In der heutigen Zeit findet es vornehmlich in der Papierindustrie, in der Sperrholzproduktion, zur Herstellung von Spankörben und Holzlöffeln sowie im Energiesektor Abnehmer. Fossilfunde belegen, dass die Aspe bereits in der frühen Kreidezeit in Grönland vorkam (Tamm 2006). Der Namen Zitterpappel ist entstanden, da die langstieligen adulten Blätter des Baumes schon bei schwachem Wind aneinander schlagen und so ein klapperndes Geräusch erzeugen, sie „zittern wie Espenlaub“ (Tamm 2006).

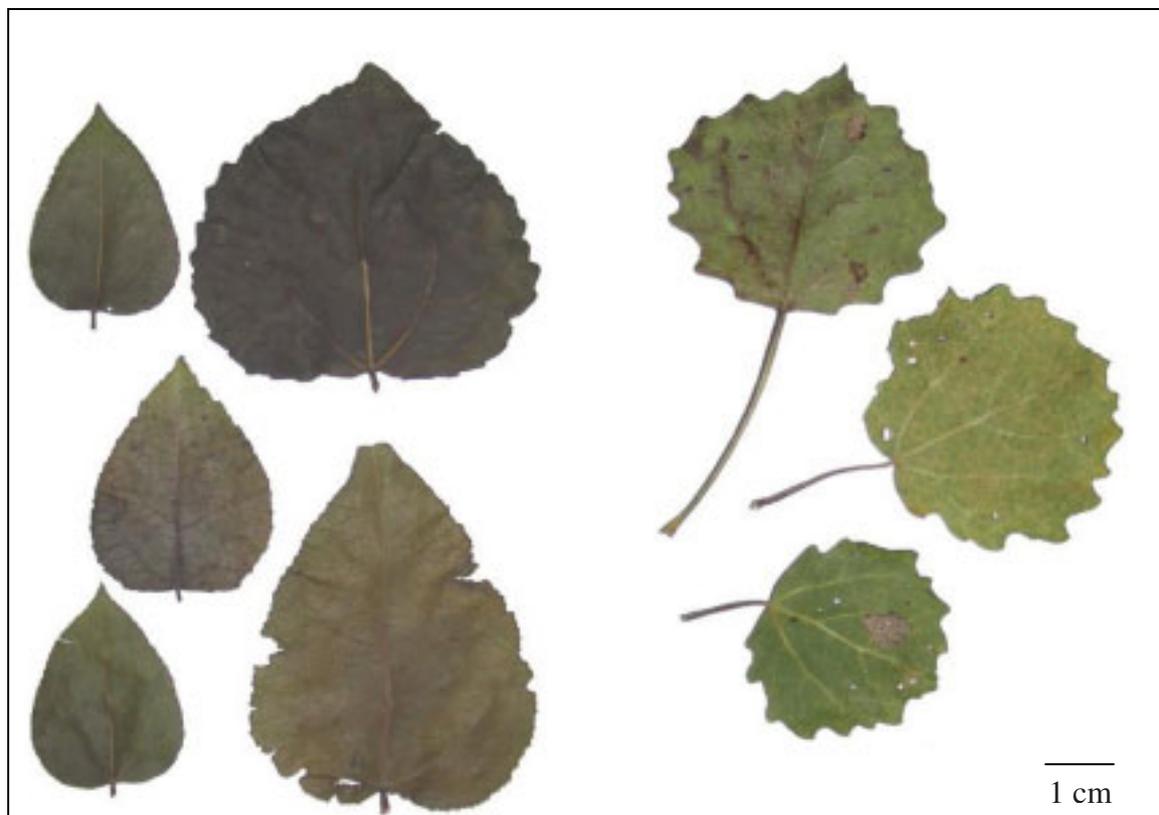


Abbildung 2: Blätter der Aspe (*Populus tremula*), juvenil - links, adult - rechts

1.3 Mykorrhiza

Als Mykorrhiza bezeichnet man eine symbiontische Lebensgemeinschaft, bei der Pilze mit dem Feinwurzelsystem von Pflanzen in Kontakt treten. Die Pilze liefern den Pflanzen dabei Nährstoffe und verbessern die Wasserversorgung durch die Oberflächenvergrößerung der Feinwurzeln und erhalten im Austausch Assimilate. Die symbiontische Beziehung geht in einigen Fällen soweit, dass die Pflanzen ohne den Pilz als Partner nicht überlebensfähig sind (Raven *et al.* 1985, Smith und Read 2008). 80% der heute lebenden Landpflanzen sind mykorrhiziert. Dabei unterscheidet man zwei Gruppen von Mykorrhiza: die arbuskuläre Mykorrhiza und die Ektomykorrhiza. Die arbuskuläre Mykorrhiza ist am häufigsten vertreten und gleichzeitig die Urform der Mykorrhiza. Ihre Hyphen wachsen in die Wurzelzellen und treten so mit der Wirtspflanze in Kontakt. Die Ektomykorrhiza hat sich parallel entwickelt. Ihre Hyphen wachsen als Mantel um die Wurzelzellen herum und in den Interzellularraum zwischen den Wurzelrindenzellen (Smith und Read 2008). Häufig ist eine Koevolution von Ektomykorrhiza und Wirtspflanze zu beobachten. Es gibt viele Pflanzen, die beide Formen der Mykorrhiza ausbilden (Wang und Qiu 2006). Für das Wachstum und die Entwicklung von Pappeln im Speziellen spielt das Vorhandensein von Mykorrhizapilzen eine wichtige Rolle: Die Symbiose von Baum und Pilz bringt Nährstoffvorteile, die an armen Primärstandorten die Pappeln bevorzugt besiedeln oder in Trockenperioden für das Überleben entscheidend sein können.

1.4 Endophyten

Endophytische Pilze kommen an Pflanzen sowohl als Symbionten als auch als Parasiten vor. Symbiontische Endophyten sind in vielen Pflanzenteilen wie Wurzeln, Blättern, Stängeln, Blüten oder Früchten gefunden worden. Es sind sowohl wirtsspezifische als auch Ubiquisten bekannt (Petrini *et al.* 1979). Endophyten verbessern die Überlebenschancen ihrer Wirtspflanzen bei Trockenheit und bilden giftige Sekundärmetabolite, die Insekten, Bakterien und andere Pilze abwehren können (Clay 1996, Krohn *et al.* 2006).

1.5 Ziele der Arbeit

Die Untersuchungen beschäftigten sich mit Fragestellungen zur Auswirkung steigender innerartlicher Diversität auf Wachstum und Produktivität von Pappeln. Neben der allgemeinen Charakterisierung der Wuchseigenschaften der untersuchten Schwarz- und Zitterpappeln sollten auch deren Interaktionen mit Symbionten und Insekten untersucht werden.

Die wesentlichen Fragestellungen waren:

- Welchen Einfluss hat die Inokulation mit einem Mykorrhizapilz und eine Fungizidbehandlung auf das Wachstum von Schwarzpappelklonen?
- Wie wirken sich die Inokulation und Fungizidbehandlung auf Insekten aus, die an den Schwarzpappelklonen fressen?
- Welche Auswirkungen hat die Diversität innerhalb und zwischen Vollgeschwisterfamilien der Aspe auf deren Wachstum?
- Welchen Einfluss haben Symbionten und eine Fungizidbehandlung auf das Wachstum und die Produktivität von Aspenvollgeschwisterfamilien?
- Wie wachsen verschiedene Herkünfte von Aspen auf einem Grenzertragsstandort?
- Welchen Einfluss hat die Diversität auf das Wachstum und die Biomasseproduktion von Aspenherkünften?

1.6 Literatur

Csencsics D., Angelone S., Paniga M., Rotach P., Rudow A., Sabiote, Shwab P., Wohlhauser P., Holderegger R. (2009): A large scale survey of *Populus nigra* presence and genetic introgression from non-native poplars in Switzerland based on molecular identification, *J. Nature Conserv.* 17, S. 142 – 149

Clay K. (1996): Interactions among Fungal Endophytes, Grasses and Herbivores, *Res. Pop. Ecol.* 38, S. 191 – 201

Grosser D. (2006): Das Holz der Pappel – Eigenschaften und Verwendung, Beiträge zur Schwarzpappel, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 52, S. 56 – 63

Heinze B. (2008): Molecular genetics: Trees' genes and traits link up, *Heredity* 101, S. 3 – 4

Hofmann M. (2002): Anbau von Pappeln auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen zur Erzeugung von Holzstoff für die Papierherstellung, Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten Hann. Münden, Merkblatt 12, 27 S.

Holderegger R., Angelone S., Brodbeck S., Csencsics D., Gugerli F., Hoebee S. E., Finkeldey R. (2005): Application of genetic markers to the discrimination of European Black Poplar (*Populus nigra*) from American Black Poplar (*P. deltoides*) and Hybrid Poplars (*P. x canadensis*) in Switzerland, *Trees* 19, S. 742 – 747

Imbert E., Lefèvre F. (2003): Disposal and gen flow of *Populus nigra* (Salicaceae) along a dynamic river system, *J. Ecol.* 91, S. 447 – 456

Krohn K., Dai J., Kock I., Flörke U. (2006): Diversität biologisch aktiver Naturstoffe aus endophytischen terrestrischen und marinen Pilzen, *Humboldt-Nachrichten; Berichte des Humboldt-Vereins Ungarn*, Nr. 27, S. 2 – 9

Petrini O., Müller E., Luginbühl M. (1979): Pilze als Endophyten von grünen Pflanzen, *Naturwissenschaften* 66, S. 262 – 263

Raven P.H., Evert R.F., Curtis H. (1985): *Biologie der Pflanzen*, Walter de Gruyter, Berlin, 764 S.

Roloff A. (2006): Der Baum des Jahres 2006: die Schwarz-Pappel (*Populus nigra* L.) – Biologie, Ökologie, Verwendung, Fachtagung zum Baum des Jahres 2006, Eberswalder Forstliche Schriftreihe Band XXVII, Eberswalde, S. 8 – 14

Smith S.E., Read D.J. (2008): *Mycorrhizal symbiosis*, Academic Press, London, 800 S.

Smulders M.J.M., Cottrell J.E., Lefèvre F., van der Schoot J., Arens P., Vosman B., Tabbener H.E., Grassi F., Fossati T., Castiglione S., Krystufek V., Fluch S., Burg K., Vornam B., Pohl A., Gebhardt K., Alba N., Agúndez D., Maestro C., Notivol E.,