

Anpassungsfähigkeit verschiedener Herkünfte von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* an Trocken- und Froststress unter definierten Bedingungen

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger

Leibniz Universität Hannover
Institut für Gehölz- und Vermehrungsphysiologie
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hannover

Forschungsvorhaben Nr.

Förderkennzeichen 2810BM003
Projektnummer 60420796

Laufzeit

5.7.2010 – 31.8.2015

Berichtszeitraum

2011-2014

Bearbeitung

Prof. Dr. Heike Bohne

M.Sc. James Wanjiku

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

MuD-Projekt:

Etablierung einer Standardmethode zur Untersuchung genetischer und spezifischer adaptiver Differenzierung von Herkünften
am Beispiel der Straucharten *Prunus spinosa* und *Corylus avellana*

Inhaltsverzeichnis

1.	Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens.....	1
1.1	Planung und Ablauf des Vorhabens	1
1.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	3
2.	Material und Methoden	4
2.1	Standorte.....	4
2.2.	Methoden und Auswertungsschema	6
2.2.1.	Charakterisierung der Populationen von <i>Corylus avellana</i> und <i>Prunus spinosa</i> im Verlauf der Vegetationsperiode.....	8
2.2.1.1	Triebabschluss und Austrieb	8
2.2.1.2	Wachstum, Konzentration von N, P, K, Stärke, Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin ...	9
2.2.2	Frostversuche: Durchführung, Messungen, Probenahmen für Analysen	9
2.2.3	Trockenstressversuche: Durchführung, Messungen, Probenahmen für Analysen.....	10
2.2.4.	Analysen	12
2.2.4.1	Relativer Elektrolytverlust (REL).....	12
2.2.4.2	Saccharose, Fructose, Glucose, Stärke	12
2.2.4.3	Prolin	13
2.2.4.4	Ermittlung der Frisch- und Trockensubstanz.....	13
2.2.4.5	N, P, K in der Trockensubstanz	13
2.3	Statistische Auswertung.....	13
3.	Ergebnisse und Diskussion	13
3.1	<i>Corylus avellana</i> : Charakterisierung der Pflanzen aus den untersuchten Vorkommen	14
3.2.	<i>Corylus avellana</i> : Ergebnisse der Früh- und Spätfrostversuche.....	17
3.2.1	Frühfrostversuche	17
3.2.2	Spätfrostversuche.....	21
3.3	Trockenstressversuche.....	26
3.4	<i>Prunus spinosa</i> : Charakterisierung der Pflanzen aus den untersuchten Vorkommen.....	34
3.5	<i>Prunus spinosa</i> : Ergebnisse der Spätfrostversuche.....	36
3.6	<i>Prunus spinosa</i> : Ergebnisse der Trockenstressversuche	40
3.7	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	45
4	Zusammenfassung.....	46
5	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, Stellungnahme zur Übertragbarkeit der Ergebnisse, Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	47
6	Literaturverzeichnis.....	48

**Projekt: Anpassungsfähigkeit verschiedener Herkünfte von *Corylus avellana* und
Prunus spinosa an Trocken- und Froststress unter definierten Bedingungen**

Schlussbericht

Förderkennzeichen 2810BM003, Projektnummer 60420796

1. Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Nach § 40 des Bundesnaturschutzgesetzes (BUNDESNATURSCHUTZGESETZ 2009) ist bei der Verwendung von Gehölzen in der freien Natur Vermehrungsmaterial von gebietseigenen Vorkommen einzusetzen. Es gilt eine Übergangsfrist bis zum 1. März 2020, in der dieses vorzugsweise geschehen soll. Damit soll verhindert werden, dass es durch Einkreuzungen mit gebietsfremden Vorkommen zu einem Verlust der Besonderheiten einzelner Populationen und einer Verschlechterung der Standortanpassung kommt (BMU 2012).

Die Zusammenhänge zwischen Vorkommen und Anpassungsfähigkeit sind aber bisher wissenschaftlich nicht ausreichend untersucht. Eine Bewertung der wenigen bisher in der Literatur zitierten Ergebnisse über das Verhalten verschiedener Vorkommen ist schwierig, da unter sehr unterschiedlichen Bedingungen gearbeitet wurde.

In dem Vorhaben sollten Kenntnisse über das Anpassungspotenzial verschiedener Vorkommen von *Prunus spinosa* und *Corylus avellana* an Frost- und Trockenstress gewonnen werden. Dazu wurden ihre physiologischen und biochemischen Reaktionen bei Frühfrost, Spätfrost und Trockenheit in Versuchen unter definierten und kontrollierten Bedingungen ermittelt. Ferner sollten die Pflanzen der Vorkommen bezüglich ihrer Morphologie, Phänologie, N-, P- und K-Gehalte, ausgewählter Zucker, Stärke, und Prolin zu verschiedenen Zeiten in der Vegetationsperiode charakterisiert werden. Das Ziel des Projektes war es, zu klären, ob sich die untersuchten Vorkommen in den analysierten Parametern sowie in ihrem Anpassungspotenzial unter abiotischem Stress unterscheiden.

In diesem Bericht wird in Anlehnung an die Definition „Vorkommensgebiet“ (BMU 2012) anstelle des Begriffs „Herkunft“ der Begriff „Vorkommen“ verwendet, um die Abgrenzung von der forstlichen Terminologie deutlich zu machen.

1.1 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben hatte eine Laufzeit vom 5.7.2010 bis 31.8.2015 (einschließlich einer kostenneutralen Verlängerung). Die Versuche wurden im Zusammenhang und in Abstimmung mit dem bereits laufenden Modell- und Demonstrationsvorhaben (MuD) „Etablierung einer Standardmethode zur Untersuchung genetischer und spezifischer adaptiver Differenzierung von Herkünften am Beispiel der Straucharten *Prunus spinosa* und *Corylus avellana*“ durchgeführt. Die in diesem Abschlussbericht untersuchten Vorkommen sind Teil der Vorkommen, die in dem Modell- und Demonstrationsvorhaben verwendet wurden.

Einen Überblick über den Ablauf der Versuche gibt Tabelle 1.

Stecklinge der Vorkommen von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* wurden von einem Projektteilnehmer des MuD gewonnen und im Kompetenzzentrum Ellerhoop-Thiensen der LWK Schleswig-Holstein bewurzelt. Da sich die Bewurzelung schwierig erwies und nicht genug Material für die geplanten Versuche lieferte, wurde die Stecklingswerbung für *Corylus avellana* 2011 durch die Firma Isogen erneut durchgeführt. Diese Stecklinge wurden in der Abteilung Gehölz- und Vermehrungsphysiologie der Leibniz Universität Hannover (LUH) erfolgreich bewurzelt, überwintert und zwischen Ende März und Anfang April 2012 in 5 L Container getopft und mit einem Langzeitdünger gedüngt (Osmocote Exact Standard, 15% N, 9% P₂O₅, 11% K₂O, 2% MgO, 8-9 M, bezogen auf Stickstoff mit 1 g N L⁻¹ Substrat). Die Versuche mit diesen Pflanzen begannen 2012. Ende März 2011 wurden bereits 2009 bewurzelte *Corylus avellana*-Stecklinge von einem Projekt-

partner des MuD-Vorhabens nach Hannover geholt und in 5 L Container getopft und gedüngt (siehe oben). Die Versuche mit diesen Pflanzen begannen 2011.

Die unterschiedliche Anzahl der untersuchten Vorkommen und Anzahl an Wiederholungen der Absteckungen 2009 und 2011 bei *Corylus avellana* ist die Folge einer Diskussion bei einem PAG-Treffen des MuD-Vorhabens und des hier dargestellten Vorhabens. Bei diesem Treffen wurde auch angeregt, Regenerationspflanzen nach der Stressbehandlung weiter zu kultivieren und zu beobachten. Dieses war aufgrund der begrenzten Pflanzenanzahl nicht immer möglich.

Schwierig war auch die Bewurzelung von *Prunus spinosa*. Um genug Material zu haben, mussten in zwei Jahren Stecklinge erworben und bewurzelt werden. Dieses geschah durch einen Projektpartner des MuD-Vorhabens. Ende März 2012 wurden bewurzelte Stecklinge der Absteckjahre 2009 bis 2011 an die LUH geholt und in 5 L Container getopft und gedüngt (siehe oben). Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl bewurzelter Stecklinge und weiterer Ausfälle von schwachen Pflanzen konnte mit *Prunus spinosa* nur ein Teil der geplanten Versuche durchgeführt werden (siehe Tab. 1).

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf der durchgeführten Versuche.

Art / Absteckung / Vorkommen	Versuche			
	Frühfrost	Spätfrost	Trockenstress	Regenerationspflanzen*
				*wurden nach dem Stressversuch weiter kultiviert, je nach Verfügbarkeit von Pflanzen
<i>Corylus avellana</i> / 2009 / NDS, BB, NRW, RPF	2011	2012	2012	Früh- und Spätfrost
Anzahl Wiederholungen	8 (BB 6)	8 (BB 6)	8 (BB 6)	
<i>Corylus avellana</i> / 2011/ BB, NRW, RPF (nur Spätfrost)	2012	2013	2013	ja
Anzahl Wiederholungen	14 (BB 13)	14	14	ja
<i>Prunus spinosa</i> / 2009/ BB, RPF		2013		ja (BB)
Anzahl Wiederholungen		12 bzw. 8 (RPF)		
<i>Prunus spinosa</i> / 2010/ BB, RPF			2012	ja
Anzahl Wiederholungen			9	
<i>Prunus spinosa</i> / 2011/ BB, ITA		2014	2013	ja
Anzahl Wiederholungen		9	9	

BB: Brandenburg, NDS: Niedersachsen, NRW Nordrhein-Westfalen, RPF: Rheinland-Pfalz, ITA: Italien

Die Kultivierung der Pflanzen fand in einer randomisierten Blockanlage auf der Containerstellfläche der LUH auf dem Campus Herrenhausen statt. Die Bewässerung wurde mit einer computer-gesteuerten Tropfbewässerung (2 Tropfer/Container) durchgeführt und mit Tensiometern kontrolliert. Die Pflanzen wurden in

einem Folienhaus überwintert. Zum Ende des Winters wurden in frostfreien Perioden die Türen des Folienhauses geöffnet. Mit den Pflanzen wurden die in Tabelle 1 angegebenen Versuche durchgeführt. Ferner wurden die Pflanzen im Frühjahr, Sommer und Herbst morphologisch und physiologisch charakterisiert.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Untersuchungen zu Stressreaktionen von Gehölzen werden – besonders im Zusammenhang mit dem Klimawandel – seit langem durchgeführt. Für die Beschreibung der Stressantwort werden auf biochemischer und physiologischer Ebene verschiedene Biomarker eingesetzt. Dazu zählen u. a. verschiedene Zucker, die Aminosäure Prolin, die Chlorophyllfluoreszenz, der Relative Elektrolytverlust.

Kohlenhydrate spielen im Zusammenhang mit Stresstoleranz eine große Rolle. Gehölze speichern relativ große Mengen an Kohlenhydraten in den Zellen von Holz, Rinde und Wurzeln. Dieser Speicher wird genutzt, um die Erhaltungsaerobic in Zeiten geringer Photosynthese aufrechtzuerhalten, zum Beispiel bei Stomatenschluss durch Trockenstress. Stressbedingte Abwehrreaktion verbrauchen Energie für die Regeneration und Neusynthese von Antioxidantien und „Reparatur-Verbindungen“. Bei chronischem Stress können Kohlenhydratreserven abnehmen, wenn der Verbrauch größer ist als die Neubildung. Kohlenhydratreserven sind daher wichtig. In milden Wintern mit hohen Verlusten durch Veratmung haben Kohlenhydratreserven eine große Bedeutung als Stressantwort bei eventuell auftretenden Spätfrostschäden (z. B. ÖGREN 1997).

Die Analyse der löslichen Kohlenhydrate wie Stärke, Saccharose, Glucose, Fructose in den verschiedenen Pflanzenorganen kann auch Aufschlüsse über durch Stress veränderte Source-Sink-Beziehungen und eventuell gestörte Transportmechanismen im Phloem geben (LUX et al. 1997).

Neben dieser allgemeinen Bedeutung von Kohlenhydraten haben sie eine besondere Funktion im Zusammenhang mit Frost- und Trockenstress. Toleranz gegenüber Frost- und Trockenstress beruht auf der Möglichkeit, der Dehydrierung von Zellen entgegenzuwirken, die Integrität und Funktionsfähigkeit von Membranen zu erhalten und Proteine zu stabilisieren. Diese Funktionen können von sogen. „kompatiblen gelösten organischen Substanzen“ übernommen werden. Dazu gehören aus der Gruppe der Kohlenhydrate unter anderem Saccharose, Glucose, Fructose, Raffinose, aus der Gruppe der Aminosäuren Prolin.

RENAUT et al. (2005) zeigten für *Populus tremula* x *Populus tremuloides* cv. Muhs 1, dass der Gehalt an löslichen Kohlenhydraten während einer Abhärtungsphase an niedrige Temperaturen zunahm. In anderen Arbeiten wird von ähnlichen Ergebnissen berichtet, z. B. ÖGREN (2001) für *Picea abies*, *Pinus sylvestris* und *Pinus contorta*. Aber nicht nur die Gesamtzuckeranteile spielen eine Rolle, sondern auch einzelne Zucker. Schon 1973 fand SANTARIUS, dass die einzelnen Zucker unterschiedliche Wirkungen haben. Das Trisaccharid Raffinose ist auf molarer Basis effektiver als das Disaccharid Saccharose und das Monosaccharid Glucose.

Auch in Trockenstressversuchen verhielten sich die einzelnen Zucker unterschiedlich.

In Eichensämlingen mit Trockenstress stellten ÉPRON und DREYER (1996) im Vergleich zu nicht gestressten Pflanzen eine Abnahme der Saccharosekonzentration und eine Zunahme der Glucose- und Fructosekonzentration fest. PEUKE et al. (2002) fanden für Herkünfte von *Fagus sylvatica* unterschiedliche durch Trockenstress bedingte Veränderungen der Saccharose-, Glucose- und Fructose-Gehalte. Sie stellten auch eine gegenläufige Verteilung der Zucker in den einzelnen Herkünften fest, d.h. Herkünfte mit hohen Gehalten an Glucose und Fructose hatten niedrige Gehalte an Saccharose und umgekehrt. Für *Prunus persica* stellten ARNDT et al. (2000) am Ende einer 100 tägigen Trockenphase eine Akkumulation von Monosacchariden in den Blättern fest, während der Gehalt an Saccharose abnahm. Auch für *Pinus pinaster* fanden PICONCOCHARD und GUEHL (1999) unterschiedliche Reaktionen für Saccharose und Monosaccharide. Die Konzentration an Saccharose blieb als Folge von Trockenstress unverändert, die Konzentration an Hexosen nahm zu.

Die Chlorophyllfluoreszenz ist schon seit langem eine geeignete Methode, um stressbedingte Beeinträchtigungen der Photosynthese zu erfassen (z. B. KRAUSE und WEIS 1984, MAXWELL und JOHNSON 2000, ROHÁČEK

2002). Auch im Zusammenhang mit Stressbelastungen bei Gehölzen wird diese Messung eingesetzt (ÖGREN 1990, SÁNCHEZ-RODRIGUEZ et al. 1999, PERCIVAL und SHERIFFS 2002, OGAYA und PENUELAS 2003, MENA-PETITE et al. 2003, RENAUT et al. 2005), ebenso in Untersuchungen mit verschiedenen Herkünften (LEMOS FILHO et al. 2004). Häufig werden Chlorophyllfluoreszenzmessungen mit der Analyse biochemischer Stressantworten wie Kohlenhydraten und Aminosäuren kombiniert und erweitern die Interpretationsgrundlage dieser Analysen (z. B. SÁNCHEZ-RODRIGUEZ et al. 1999, RENAUT et al. 2005).

Eine weitere Möglichkeit, stressbedingte Schäden quantitativ zu erfassen, besteht in der Ermittlung des Relativen Elektrolytverlusts. Im Zusammenhang mit der Erfassung stressbedingter Schäden an Gehölzen ist sie seit langem eine häufig eingesetzte Methode (z. B. MARTIN et al. 1987, FAN und BLAKE 1994, MCKAY und WHITE 1997, THOMAS und AHLERS 1999, MENA-PETITE et al. 2003).

Auf Pflanzen einwirkende Stressfaktoren können zur Schädigung von Zellmembranen und Zellwänden führen. Dadurch können die Zellinhaltsstoffe in eine ionenfreie Lösung diffundieren und als Veränderung ihrer elektrischen Leitfähigkeit gemessen werden. In einem weiteren Schritt werden die Zellmembranen und Zellwände vollständig zerstört, um die gesamte Ionenmenge zu erfassen. Die Werte der ersten und zweiten Messung werden aufeinander bezogen; der eingetretene Schaden wird als Relativer Elektrolytverlust ausgedrückt (MCKAY 1992, SCHÜTE und SARVAS 1999). Die Messung des Relativen Elektrolytverlusts kann an allen Pflanzenteilen, an denen eine Schädigung vermutet wird, durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden häufig mit anderen Analysen zur Ermittlung stressbedingter Reaktionen kombiniert und können mögliche Ursachen für diese Reaktionen aufzeigen (MENA-PETITE et al. 2003). Für Eichensämlinge wurde gezeigt, dass die Ergebnisse in einer Beziehung zum Verhalten nach dem Auspendeln stehen (SCHÜTE und SARVAS 1999).

Die meisten Untersuchungen zu Stressreaktionen von Gehölzen wurden mit baumartigen Gehölzen durchgeführt und nur selten mit definierten Herkünften (PEUKE et al. 2002, AREND et al. 2011, KUSTER et al. 2013, YILDIZ et al. 2014). Vorkommen von strauchartigen Gehölzen wurden bisher nur selten bezüglich ihrer morphologischen, physiologischen und biochemischen Eigenschaften untersucht (JONES et al. 2001, RUMPF 2002, FRONIA 2008, BOHNE et al. 2011). Das Anpassungspotenzial von strauchartigen Gehölzen verschiedener Vorkommen an abiotischen Stress wurde bisher nur von RUMPF (2002) bei *Corylus avellana* und *Viburnum opulus* für Tieffroststress untersucht.

Die Analysen der verwendeten Zucker, von Stärke und von Prolin sowie die Messung der Chlorophyllfluoreszenz und des Relativen Elektrolytverlusts sind gut etabliert (BATES 1973, MCKAY 1992, MAXWELL und JOHNSON 2000, VERSLUES et al. 2006, ZHAO et al. 2010). Die Methoden wurden zum Teil an die Eigenschaften des Probenmaterials in diesem Vorhaben angepasst (siehe Material und Methoden).

2. Material und Methoden

2.1 Standorte

Die Versuche wurden mit vegetativ vermehrten Pflanzen unterschiedlicher Standorte durchgeführt (Abb. 1, 2).

Bei *Corylus avellana* handelt es sich um folgende Standorte: Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW), Rheinland-Pfalz (RPF). Bei *Prunus spinosa* wurden Pflanzen aus Brandenburg (BB), Rheinland-Pfalz (RPF) und Italien (ITA) verwendet. Aufgrund der geringen Menge an zur Verfügung stehenden Pflanzen aus deutschen Vorkommensgebieten wurde bei *Prunus spinosa* ein italienisches Vorkommensgebiet in die Versuche einbezogen. Abbildung 1 zeigt die Lage der verwendeten Vorkommen für *Corylus avellana*, Abbildung 2 für *Prunus spinosa*.

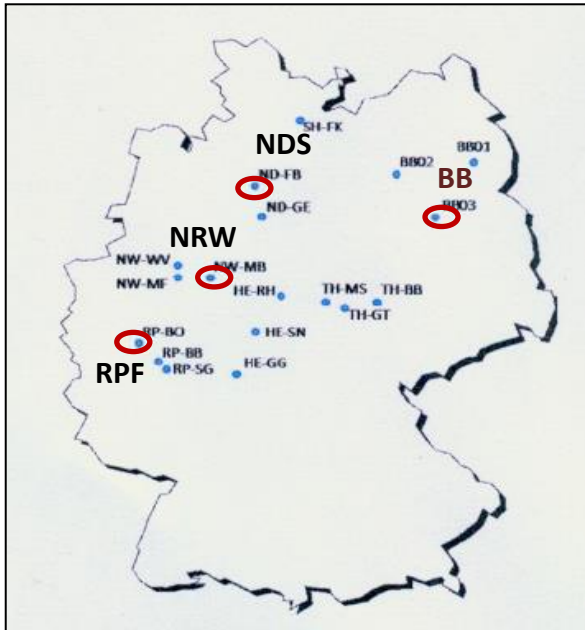


Abbildung 1: Standorte (rote Markierung) der verwendeten Populationen von *Corylus avellana*:
 BB: Brandenburg, NDS: Niedersachsen, NRW: Nordrhein-Westfalen, RPF: Rheinland-Pfalz.
 Blaue Markierung: Standorte der im MuD-Projekt genetisch analysierten Populationen.



Abbildung 2: Standorte der verwendeten Populationen von *Prunus spinosa*:
 BB: Brandenburg, RPF: Rheinland-Pfalz, ITA: Italien.

Die Tabellen 2 und 3 geben einige Eigenschaften der Standorte der Vorkommen von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* an.

Tabelle 2: Geografische Daten der Standorte der untersuchten Vorkommen von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* sowie des Versuchsstandorts Hannover. * *Prunus spinosa*

Kürzel	Höhe über NN (m)	Breitengrad	Längengrad
BB	38, 44*	52°38'07.2"	12°58'08.3"
NDS	63	52°23'27.1"	9°31'45.2"
NRW	115	51°45'20.5"	9°22'05.4"
RPF	464	50°17'22.5"	7°00'15.8"
ITA	330-920	45°43'	10°52'
Hannover	55	52°23'	9°73'

Tabelle 3: Klimadaten der Standorte der untersuchten Vorkommen von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* sowie des Versuchsstandorts Hannover.

Temperatur und Niederschlag: Durchschnittswerte von 1961-1990, Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland (www.dwd.de), für ITA: <http://www.worldweatheronline.com/Drena-Veneto-weather-averages/Veneto/IT.aspx> und <http://www.worldweatheronline.com/Avio-weather-verages/Veneto/IT.aspx>

Kürzel	Niederschlag (mm)				Temperatur (°C)			
	Frühjahr	Sommer	Herbst	Jahr (Summe)	Frühjahr	Sommer	Herbst	Jahr (Durchschnitt)
BB	120 - 140	160 - 180	100 - 120	475 - 550	8 - 9	17 - 18	9 - 10	8,5 - 9
NDS	120 - 160	200 - 240	100 - 120	600 - 700	8 - 9	16 - 17	9 - 10	8 - 9
NRW	160 - 240	180 - 240	100 - 240	700 - 900	5 - 8	16 - 17	8 - 10	7 - 9
RPF	120 - 240	180 - 240	100 - 240	700 - 1000	5 - 9	14 - 17	7 - 9	7 - 9
ITA	120 - 237	268 - 278	150-280	607-1008	7-19	16 - 29	8 - 18	7- 18
Hannover	140 -160	200 - 240	140 - 160	661	8 - 9	16 - 17	9 - 10	8,7

Aufgrund der oft kleinräumigen Veränderung der Klimadaten (besonders in Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen) und der Größe der geografischen Ausdehnung des Gebietes, in dem Stecklinge gewonnen wurden, wurden die Klimadaten nicht für eine einzelne, nahe gelegenen Wetterstation, sondern als Durchschnittswerte der an die Standortdaten angrenzenden Gebiete angegeben. Um einheitlich vorzugehen, wurde das auch für die Vorkommen aus Niedersachsen und Brandenburg gemacht.

2.2. Methoden und Auswertungsschema

Die folgende Beschreibung für die Charakterisierung der Pflanzen und die Durchführung der Stressversuche stellt aufgrund der Standardisierung des Vorgehens in den verschiedenen Arbeitsabschnitten eine Annäherung an eine optimale, anzustrebende Vorgehensweise dar. Die Standardisierung bezieht sich insbesondere auf die Etablierung der Stressfaktoren sowie die Messungen und Probenahmen im Zusammenhang mit den Stressversuchen (Einzelheiten siehe dort). Tabelle 4 zeigt ein Gesamtauswertungsschema für die ermittelten Parameter.

Tabelle 4: Auswertungsschema für die in dem Projekt ermittelten Parameter

	Charakterisierung Frühjahr, Herbst	Früh- und Spät- frostversuche	Trockenstress- versuche	Regenerationspflanzen
Parameter				
Frisch- und Trockenmasse (Spross, Wurzeln)	x	x	x	
Trieblänge, An- zahl Triebe, Wurzelhalsdurch- messer				x
Triebabschluss, Austrieb	x			
N, P, K in Neu- trieben, Blättern, Wurzeln	x	x	x	
Glucose, Fructo- se, Saccharose, Stärke, Prolin (Neutriebe, Blät- ter, Wurzeln)	x	x	x	
Relativer Elektro- lytverlust		x		
Chlorophyll- fluoreszenz			x	
Stomatäre Leit- fähigkeit			x	
Predawn Blatt- wasserpotenzial			x	
Relativer Was- sergehalt			x	

Bei den Trockenstressversuchen (Sommer) wurden N, P, K sowie Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke, Prolin nur in Blättern und Wurzeln analysiert. Bei den Neutrieben sind im Frühjahr und bei den Spätfrostversuchen dem Austriebsstadium entsprechende Blätter vorhanden.

2.2.1. Charakterisierung der Populationen von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* im Verlauf der Vegetationsperiode

2.2.1.1 Triebabschluss und Austrieb

Von den Pflanzen der verschiedenen Vorkommen wurden in jedem Jahr Austrieb und Triebabschluss bonitiert. Dabei wurde an den längsten Trieben die am weitesten entwickelte Boniturstufe erfasst.

Abbildungen 3 und 4 geben für *Corylus avellana*, Abbildungen 5 und 6 für *Prunus spinosa* das Boniturschema für Triebabschluss und Austrieb an.



Abbildung 3: Triebabschluss von *Corylus avellana*: Boniturstufen 1-5 (Beschreibung verändert nach RUMPF 2002).

- 1: Keine Knospenbildung zu erkennen. An Triebspitzen und in Blattachseln entwickeln sich neue Blätter.
- 2: Erste Knospenbildung zu erkennen. An Triebspitzen entwickeln sich teilweise neue Blätter. Knospen in Blattachseln ca. 3-6 mm lang.
- 3: Knospen an Triebspitzen beginnen sich rötlich zu färben, Knospenschuppen deutlich erkennbar. Knospen in Blattachseln ca. 3-6 mm lang.
- 4: Knospen an Triebspitzen und Blattachseln voll ausgebildet, ca. 4-6 mm lang. Knospenfarbe grün bis rötlich, Knospenschuppenränder noch nicht deutlich rötlich. Knospe noch weich (mit Finger eindrückbar).
- 5: Knospe und Knospenschuppenränder rötlich. Knospe fest (mit Finger nicht eindrückbar).



Abbildung 4: Austrieb von *Corylus avellana*: Boniturstufen 1-6 (Beschreibung verändert nach RUMPF 2002).

- 1: Knospen in Winterruhe, Knospen bräunlich gefärbt. Terminalknospe 4-7 mm lang, subterminale Knospen etwas kürzer.
- 2: Knospen deutlich geschwollen, häufig grün gefärbt.
- 3: Knospen brechen auf, Blattspitzen teilweise erkennbar.
- 4: Erste kleine Blätter schieben sich aus der Knospe heraus.
- 5: Die ersten Blätter sind voll ausgebildet. Triebstreckung beginnt.
- 6: Fast alle Blätter voll entfaltet.

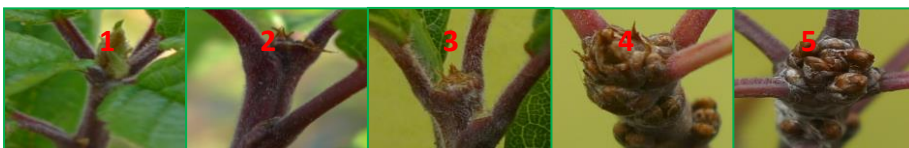


Abbildung 5: Triebabschluss von *Prunus spinosa*: Boniturstufen 1-5 (Beschreibung verändert nach SCHMITT 2003).

- 1: Keine Terminal- und Seitenknospen zu erkennen, Neubildung von Blättern.
- 2: Subterminal und an den Seitenzweigen sind grün-braune Knospen zu sehen. Terminalknospe ist als kleine Wölbung erkennbar.

- 3: Terminalknospe und Seitenknospen ca. gleich groß und rötlich.
- 4: Terminalknospe ist größer als die Seitenknospen, rot-braun, fransig.
- 5: Terminalknospe hat kleinere anliegende Knospen, die Knospen sind braun.

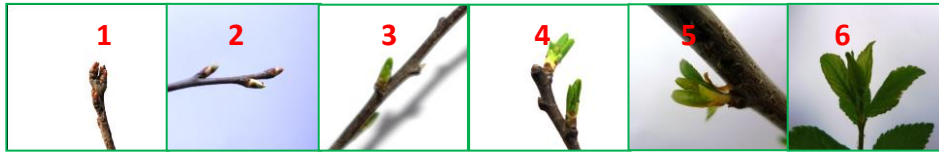


Abbildung 6: Austrieb von *Prunus spinosa*: Boniturstufen 1-6 (Beschreibung verändert nach SCHMITT 2003).

- 1: Alle Knospen in Winterruhe, bräunlich.
- 2: Knospen deutlich geschwollen, grünlich.
- 3: Knospen aufgebrochen, Blattspitzen schieben sich heraus.
- 4: Blattspitzen vereinzeln sich.
- 5: Einzelne, kleine Blätter zu erkennen.
- 6: Blätter voll entfaltet.

2.2.1.2 Wachstum, Konzentration von N, P, K, Stärke, Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin

Im Frühjahr, Sommer und Herbst wurde das Wachstum der Pflanzen in Form ihrer gebildeten Frisch- und Trockenmasse ermittelt (Spross, Blätter (nur Sommer), Wurzeln), ferner N-, P- K-Konzentrationen sowie Stärke, Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin im Neutrieb und in den Wurzeln. Da nicht immer eine ausreichende Pflanzenanzahl zur Verfügung stand, wurden für die Charakterisierung zum Teil Kontrollpflanzen der Frühfrost-, Spätfrost- und Trockenstressversuche verwendet. Die Analysemethoden sind unter 2.2.4 beschrieben.

2.2.2 Frostversuche: Durchführung, Messungen, Probenahmen für Analysen

Die Frostversuche wurden in Klimakammern unter definierten Bedingungen durchgeführt. Die Frühfrostversuche fanden Ende November bis Anfang Dezember statt, die Spätfrostversuche Mitte März bis Ende April. Die Frostversuche wurden mit 25-30 cm langen Triebspitzen der Pflanzen durchgeführt, die Frühfrostversuche außerdem mit Wurzeln. Triebspitzen und Wurzeln wurden in locker verschlossene Plastikbeutel gelegt, um eine Austrocknung während des Frostvorgangs zu verhindern. Die Wiederholungen wurden vollständig randomisiert in den Klimakammern angeordnet. Da nicht alle Wiederholungen bei einem Frostvorgang behandelt werden konnten, wurde ein Versuch jeweils auf 2 Tage verteilt. Die Temperaturvarianten waren an diesen beiden Tagen randomisiert den Klimakammern zugeordnet. Bei jedem Frostversuch wurden die phänologischen Stadien für Triebabschluss und Austrieb erfasst. Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Temperaturvarianten und den Ablauf in den Frostversuchen. Je nach Verfügbarkeit von Pflanzen wurden diese als Regenerationspflanzen mit Wurzelschutz als gesamte Pflanzen den Temperaturvarianten ausgesetzt und danach aufgeschult (bei Frühfrostversuchen nach Überwinterung im Folientunnel). Das Wachstum dieser Pflanzen wurde in der folgenden Vegetationsperiode bonitiert.

Tabelle 5: Temperaturvarianten in den Frostversuchen mit *Corylus avellana* und *Prunus spinosa*.

	Frühfrost		Spätfrost
	Triebspitzen	Wurzeln	Triebspitzen
Temperaturvarianten	5 °C / -17 °C / -27 °C	5 °C / -6 °C	5 °C / -6 °C / -12 °C
Temperaturabsenkung und -anstieg	5 °C pro Stunde		
Dauer Zieltemperatur	8 Stunden		

Direkt nach einem Frostvorgang und dem Erreichen von 5 °C wurden Proben für die Analyse folgender Parameter genommen:

- Relativer Elektrolytverlust als Maß für den frostbedingt eingetretenen Schaden. Im Frühfrostversuch an den oberen 3 cm der Triebspitzen und an Wurzeln mit definierten Durchmessern (3-7 mm), im Spätfrostversuch an den Triebspitzen mit Blättern der oberen 3 cm der Triebspitzen.
- Saccharose, Glucose, Fructose, Stärke, Prolin sowie
- N, P, K in den unterhalb von 3 cm liegenden 25-30 cm langen Triebabschnitten und in Wurzeln mit definierten Durchmessern (s.o.).

Von den verbleibenden Teilen der Pflanzen (restlicher Neutrieb, Alttrieb, Wurzeln) wurden ebenfalls N, P, K sowie Stärke, Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin ermittelt. Diese Daten dienen der Charakterisierung der Pflanzen im Herbst und im Frühjahr. Die Analysemethoden sind unter 2.2.4 beschrieben.

2.2.3 Trockenstressversuche: Durchführung, Messungen, Probenahmen für Analysen

Die Trockenstressversuche wurden mit den in Containern wachsenden Pflanzen jeweils in den Monaten Mitte Juni bis Mitte August in einem Gewächshaus durchgeführt. Die Solltemperatur betrug von 8.-20.00 Uhr 26 °C, außerhalb dieser Zeitspanne 16 °C, schattiert wurde ab 25 klux. Bei hohen Außentemperaturen wurde die Solltemperatur überschritten; sie betrug teilweise 35 °C. Die Versuche hatten die in Tabelle 6 angegebenen Stressvarianten. Die Varianten waren in einer vollständig randomisierten Anordnung auf 4 Gewächshausstischen verteilt (siehe Abb. 7).

Tabelle 6: Varianten in den Trockenstressversuchen mit *Corylus avellana* und *Prunus spinosa*.

Stressvarianten	Kontrolle	Schneller Aufbau von Trockenstress (Variante 25 %)	Langsamer Aufbau von Trockenstress (Variante 50 %)
	Anstaubewässerung 2x täglich für 15 Minuten	Pflanzenspezifische Bewässerung alle 2 Tage in Höhe von 25 % der seit der letzten Bewässerung abgegebenen Wassermenge	Pflanzenspezifische Bewässerung alle 2 Tage in Höhe von 50 % der seit der letzten Bewässerung abgegebenen Wassermenge

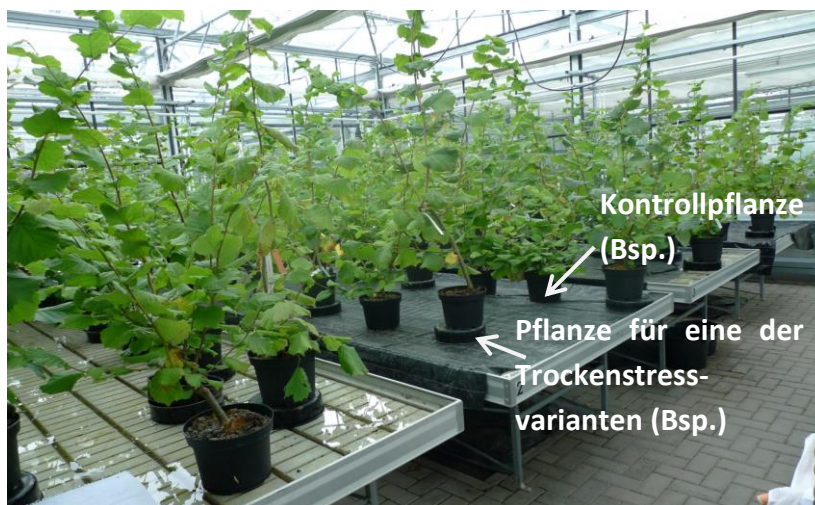


Abbildung 7: Aufbau eines Trockenstressversuchs am Beispiel *Corylus avellana*.

Während der Trockenstressversuche wurden folgende Parameter ermittelt:

- Gewichtsverlust der Container mit Pflanze,
- Wasserspannung in den Containern,
- Welkesymptome,
- Chlorophyllfluoreszenz,
- Stomatäre Leitfähigkeit,
- Predawn Blattwasserpotenzial (vor Sonnenaufgang),
- Relativer Wassergehalt (vor Sonnenaufgang).

Der Gewichtsverlust wurde je Container durch Wägung ermittelt und für die Berechnung der jeden zweiten Tag zu gebenden Wassermenge bei den beiden Stressvarianten (siehe Tab. 5) und der insgesamt verbrauchten Wassermenge verwendet.

Die Wasserspannung wurde mit Einstichtensiometern gemessen.

Die Ermittlung der Welkesymptome und die Messungen der Wasserspannung in den Containern, der Chlorophyllfluoreszenz und der stomatären Leitfähigkeit fanden jeweils in der Zeit zwischen 9.00 und 11.00 Uhr statt. Die genannten Pflanzenparameter wurden an voll ausgebildeten Blättern am Ende des oberen Drittels der längsten Triebe der Pflanze gemessen.

Für die Beschreibung der Welkesymptome wurde ein Boniturschema für *Corylus avellana* (Abb. 8) und *Prunus spinosa* (Abb. 9) entwickelt.

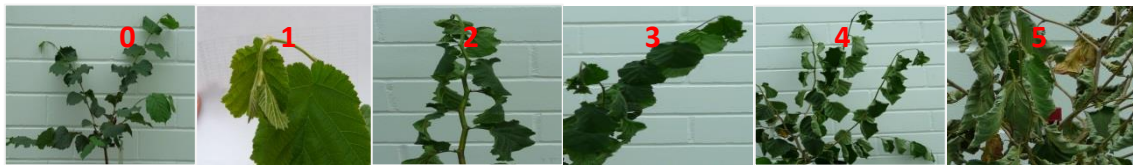


Abbildung 8: Trockenstresssymptome bei *Corylus avellana*: Boniturstufen 0-5.

- 0: keine Stresssymptome
- 1: alle Triebspitzen hängen
- 2: erste Blätter hängen
- 3: alle Blätter hängen
- 4: erste eingerollte Blätter
- 5: viele eingerollte Blätter, einzelne Blätter vertrocknet



Abbildung 9: Trockenstresssymptome bei *Prunus spinosa*: Boniturstufen 0-5 (* im Versuch nicht eingetreten).

- 0: keine Stresssymptome
- 1: alle Triebspitzen hängen
- 2: erste Blätter hängen, beginnendes Einrollen einzelner Blätter
- 3: viele Blätter hängen, verstärktes Einrollen einzelner Blätter
- 4: alle Blätter hängen, alle Blätter eingerollt
- 5: alle Blätter eingerollt, einzelne Blätter vertrocknet

Die Chlorophyllfluoreszenz wurde mit dem Handy PEA (Hansatech Instruments) nach einer Dunkeladaption von 15 Minuten gemessen. Die Dunkeladaption wurde nach den Hinweisen des Geräteherstellers ermittelt. Für die Messung der stomatären Leitfähigkeit wurde ein Porometer (Delta-T Device) verwendet.

Das Predawn Blattwasserpotenzial wurde mit einer Scholander Bombe (Model 3115, UMS) gemessen.

Die Blätter, an denen das Blattwasserpotenzial ermittelt wurde, wurden direkt nach dieser Messung für die Bestimmung des Relativen Blattwassergehalts (RWC, relative water content) verwendet. Dafür wurden das Frischgewicht der Blätter (FG) bei den Probenahmen, das gesättigte Frischgewicht ($FG_{sätt}$) nach 24 Stunden und das Trockengewicht (TG) nach Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank bestimmt. Der Relative Blattwassergehalt errechnet sich nach folgender Formel:

$$RWC (\%) = (FG - TG / FG_{sätt} - TG) \times 100$$

Die Versuche wurden beendet, wenn 50 % der Pflanzen irreversible Welkesymptome (Boniturnote 4) zeigten oder die Messgrenze der Scholander Bombe für das Blattwasserpotenzial erreicht war (-4 MPa). Am Ende des Versuchs wurden Proben für die Analyse folgender Parameter in vollausgebildeten Blättern im oberen Drittel der längsten Triebe der Pflanzen und in Wurzeln mit definierten Durchmessern (3-7 mm) genommen:

- Saccharose, Glucose, Fructose, Stärke, Prolin,
- N, P, K.

Bei den Probenahmen wurde darauf geachtet, Blätter aus Positionen zu entnehmen, die möglichst nah an den Messpositionen für das Predawn Blattwasserpotenzial, die stomatäre Leitfähigkeit und für die Chlorophyllfluoreszenz lagen. Die Analysemethoden sind unter 2.5 beschrieben.

Außerdem wurden Frisch- und Trockengewichte der Neutriebe, Blätter, Alttriebe und Wurzeln der Pflanzen ermittelt.

2.2.4. Analysen

2.2.4.1 Relativer Elektrolytverlust (REL)

Die Proben für die Messung des Relativen Elektrolytverlusts wurden direkt am Ende der Frostversuche genommen. Sie wurden vorsichtig mit destilliertem Wasser abgespült und mit einer Pinzette in Rollrandgläser gegeben, die mit 30 ml destilliertem Wasser aufgefüllt wurden. Sie wurden bei Raumtemperatur aufbewahrt. Nach 24 Stunden erfolgte die erste Messung der elektrischen Leitfähigkeit mit einem Konduktometer (LF 197-S, WTW). Diese Messung zeigt die durch den Frostschaden ausgetretenen Elektrolyte an. Anschließend wurden die Proben für weitere 24 Stunden in einen Trockenschrank bei 70 °C gestellt. Durch diesen Vorgang wurden die Zellmembranen vollständig zerstört. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wurde wieder die elektrische Leitfähigkeit gemessen; sie ist jetzt ein Maß für die insgesamt in der Zelle vorhandene Menge an Elektrolyten. Der Relative Elektrolytverlust (REL) errechnet sich nach folgender Formel:

$$REL (\%) = (1. \text{ Messwert } (\mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}) / 2. \text{ Messwert } (\mu\text{S} \times \text{cm}^{-1})) \times 100$$

2.2.4.2 Saccharose, Fructose, Glucose, Stärke

Die Analyse von Saccharose, Fructose, Glucose, Stärke beruht auf einer modifizierten Methode von ZHAO et al. (2010). Sprosse und vorsichtig gereinigte Wurzeln wurden zügig in kleine Stücke geschnitten und in der Mikrowelle für 2 Minuten bei 800 Watt behandelt, um schnell die enzymatischen Reaktionen zu stoppen (HOCH et al. 2002). Danach erfolgte eine Trocknung bei 70 °C für 3 Tage. Die getrockneten Proben wurden fein vermahlen (< 3 mm). 20-30 mg des gemahlene Materials wurden in Eppendorf-Gefäße eingewogen, mit 1,5 ml 80 % Ethanol versetzt, für 15 Minuten bei 80 °C in ein Wasserbad gestellt und weiter wie bei ZHAO et al. (2010) beschrieben behandelt. Das durch Zentrifugieren bei der Zuckerextraktion entstehende

Pellet wurde für die Stärkeanalyse verwendet. Die Stärke wurde enzymatisch zu Glucose umgewandelt und als solche gemessen. Die Messungen erfolgten photometrisch (Dr. Lange, Cadas 30) bei 340 nm.

Im Unterschied zu ZHAO et al. (2010) wurden anstelle von KOH und des TRIS-Puffers NaOH und ein Triethanolamin-Puffer (14 g Triethanolamin + 0,25 g $MgSO_4$ in 100 ml H_2O , pH 7.6) verwendet. Außerdem arbeiteten ZHAO et al. mit einer größeren Einwaage (70 mg). Die Umstellung auf die geringere Einwaage war im Zusammenhang mit der Bestimmung in einem Spektralphotometer mit Mikrotiterplatten (Microplatereader) erforderlich. Sie ermöglichte ferner die Verarbeitung einer kleinen Probenmenge und damit die Entnahme von Blattproben aus definierten Positionen (siehe oben). Die Umstellung erfolgte nach einer Überprüfung der Ergebnisse beider Einwaagen.

2.2.4.3 Prolin

Die Prolinanalyse wurde nach BATES (1973) durchgeführt. Die Vorbehandlung der Proben erfolgte wie bei 2.5.2. beschrieben. Die Extrakte wurden photometrisch (Dr. Lange Cadas 30) bei 520 nm gemessen. Im Unterschied zu BATES (1973) wurde nicht mit einer Einwaage von 500 mg, sondern von ca. 50 mg gearbeitet. Die Gründe dafür sind unter 2.5.2 erläutert.

2.2.4.4 Ermittlung der Frisch- und Trockensubstanz

Die Frisch- und Trockensubstanz der Pflanzen wurde getrennt für Blätter (wenn vorhanden), Neutriebe, Alttriebe und Wurzeln ermittelt. Die Frischsubstanz wurde jeweils direkt an den verschiedenen Auswertungsterminen mit einer Waage gemessen, die Trockensubstanz nach Trocknung bei 70 °C für 7 Tage.

2.2.4.5 N, P, K in der Trockensubstanz

Die im Trockenschrank bei 70 °C getrockneten Pflanzenteile wurden mit einer Rotormühle fein gemahlen. Die Bestimmung des N-Gehaltes wurde mit dem Vario MAX CN (Elementaranalyse GmbH) durchgeführt. Dieser arbeitet nach dem Prinzip der katalytischen Rohrverbrennung unter Sauerstoffzufuhr und hohen Temperaturen.

Für die Analyse von P und K wurde das Probenmaterial über Nacht bei 480 °C verascht. Am nächsten Tag wurde die Aschelösung durch Zugabe von 0,5 n HCl hergestellt, aus welcher die K- und P-Konzentrationen nach weiteren Schritten gemessen wurden. Für die K-Analyse wurde die Messlösung unter Zugabe einer CsCl-Lösung (100 µl Aschelösung und 9,9 ml CsCl-Lösung ($126,7 \text{ mg CsCl L}^{-1}$) und kurzem Schütteln hergestellt und am Atomabsorptionsspektrometer bei 766,5 nm gemessen. Für die P-Analyse wurden aus der Aschelösung 800 µl in ein Reagenzglas pipettiert und mit 5 ml Mischreagenz ($260 \text{ ml } 65 \% \text{ige HNO}_3 \text{ L}^{-1} + 1,25 \text{ g NH}_4\text{VO}_3 \text{ L}^{-1} + 25 \text{ g (NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \text{ L}^{-1}$) versetzt. Die Messlösung wurde kurz geschüttelt und 20 Minuten ruhen lassen, damit sich die Farbe voll ausbilden kann. Gemessen wurde die P-Konzentration photometrisch bei 470 nm.

2.3 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in einem ersten Schritt mit einer multiplen Varianzanalyse (MANOVA) mit dem Programm R 3.0.3 (2014) nach PIPPER et al. (2012) statistisch verarbeitet. Aufbauend auf den Ergebnissen der MANOVA wurde für verschiedene Parameter eine ANOVA durchgeführt. Die Ergebnisse wurden für $p \leq 0.05$ auf ihre Signifikanz geprüft. Im Spätfrostversuch mit *Corylus avellana* wurde zusätzlich eine Korrelationsanalyse (Pearson Korrelationskoeffizienten) durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden getrennt für *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* die wichtigsten Ergebnisse der Charakterisierung der Pflanzen aus den untersuchten Vorkommen und der Frost- und Trockenstressversuche dargestellt.

3.1 *Corylus avellana*: Charakterisierung der Pflanzen aus den untersuchten Vorkommen

In Tabelle 7 wird das Wachstum der Pflanzen der Absteckung 2009 und 2011 als gebildete Trockenmasse angegeben. Tabelle 8 gibt die Konzentrationen an Saccharose, Glucose, Fructose, Stärke, Prolin, N, P und K in den Pflanzen dieser Absteckungen an.

Tabelle 7: Sprosstrockenmasse (Alttrieb, Neutrieb, im Sommer Alttrieb, Neutrieb, Blätter) und Wurzeltrockenmasse (g Pflanze⁻¹) von *Corylus avellana* der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF). Mittelwerte \pm Stabw; Absteckung 2009: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF). Absteckung 2011: NRW: n = 14, BB: n = 13 (Spross, Wurzel Herbst 2012), n = 14 (Spross, Wurzel Frühjahr, Sommer 2013), RPF: n = 7 (Spross, Wurzel 2012), n = 14 (Spross, Wurzel Frühjahr 2013).

Vorkommen/Absteckung	Herbst (2011/2012)		Frühjahr (2012/2013)		Sommer (2012/2013)	
	Spross	Wurzeln	Spross	Wurzeln	Spross	Wurzeln
g Trockensubstanz je Pflanze						
BB/2009	58 \pm 17	28 \pm 13	63 \pm 17	19 \pm 5	177 \pm 32	131 \pm 28
NDS/2009	48 \pm 16	19 \pm 10	78 \pm 16	16 \pm 5	132 \pm 46	109 \pm 51
NRW/2009	58 \pm 15	18 \pm 10	71 \pm 12	19 \pm 6	136 \pm 28	112 \pm 26
RPF/2009	56 \pm 14	16 \pm 8	74 \pm 8	19 \pm 10	152 \pm 28	107 \pm 30
BB/2011	74 \pm 24	132 \pm 21	75 \pm 17	108 \pm 46	75 \pm 21	57 \pm 18
NRW/2011	81 \pm 22	126 \pm 21	100 \pm 16	105 \pm 42	117 \pm 19	77 \pm 15
RPF/2011	99 \pm 23	80 \pm 23	62 \pm 21	67 \pm 21		

Die Pflanzen aus den verschiedenen Vorkommensgebieten unterschieden sich weder in der Spross- noch in der Wurzeltrockenmasse untereinander. Auch bei den N-, P- und K-Konzentrationen sowie bei den analysierten Zuckern, Stärke und Prolin traten vor dem Hintergrund einer hohen Standardabweichung keine Unterschiede zwischen den Vorkommen auf (Tab. 8).

Tabelle 8: Konzentration an Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke, Prolin, N, P und K von *Corylus avellana* der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF). Mittelwerte \pm Stabw.; Absteckung 2009: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF). Absteckung 2011: NRW: n = 14, BB: n = 13 (Spross, Wurzel Herbst 2012), n = 14 (Spross, Wurzel Frühjahr, Sommer 2013), RPF: n = 7 (Spross, Wurzel 2012), n = 14 (Spross, Wurzel Frühjahr 2013).

Vorkommen/Absteckung	Herbst (2011/2012)		Frühjahr (2012/2013)		Sommer (2012/2013)	
	Neutriebe	Wurzeln	Neutriebe	Wurzeln	Blätter	Wurzeln
Glucose	0,63 \pm 0,14	0,75 \pm 0,14	0,62 \pm 0,11	0,68 \pm 0,16	0,97 \pm 0,12	0,83 \pm 0,33
(% in TS)	0,49 \pm 0,16	0,77 \pm 0,09	0,59 \pm 0,16	0,66 \pm 0,28	1,15 \pm 0,43	0,74 \pm 0,24
	0,47 \pm 0,18	0,8 \pm 0,11	0,84 \pm 0,21	0,63 \pm 0,25	1,02 \pm 0,23	0,67 \pm 0,12
	0,43 \pm 0,04	0,69 \pm 0,04	0,88 \pm 0,21	0,59 \pm 0,20	1,08 \pm 0,15	0,67 \pm 0,12

Fructose	BB/2009	0,89 ± 0,07	0,36 ± 0,07	0,57 ± 0,10	± 0,82	± 0,88	± 1,26	± 0,72	±
(% in TS)	NDS/2009	0,82 ± 0,19	0,35 ± 0,12	0,61 ± 0,20	± 0,78	± 0,87	± 0,96	± 0,37	±
	NRW/2009	0,59 ± 0,17	0,36 ± 0,17	0,70 ± 0,25	± 0,59	± 0,82	± 0,85	± 0,25	±
	RPF/2009	0,45 ± 0,15	0,40 ± 0,17	0,63 ± 0,24	± 0,65	± 0,98	± 1,02	± 0,40	±
Sacharose	BB/2009	4,18 ± 0,42	1,6 ± 0,12	0,78 ± 0,20	± 1,33	± 4,43	± 1,72	± 0,67	±
(% in TS)	NDS/2009	4,19 ± 0,19	1,74 ± 0,49	1,05 ± 0,31	± 1,44	± 4,33	± 1,93	± 0,52	±
	NRW/2009	3,53 ± 0,20	1,8 ± 0,48	0,96 ± 0,14	± 1,50	± 4,04	± 2,25	± 0,29	±
	RPF/2009	2,73 ± 0,24	1,96 ± 0,71	0,81 ± 0,18	± 1,38	± 4,01	± 1,75	± 0,61	±
Stärke	BB/2009	1,24 ± 0,69	1,17 ± 0,48	2,43 ± 2,16	± 4,07	± 0,63	± 8,2 ± 0,75		±
(% in TS)	NDS/2009	2,27 ± 0,37	1,20 ± 0,51	2,96 ± 1,79	± 3,28 ± 1,1	0,49	± 8,76 ± 0,92		±
	NRW/2009	1,80 ± 0,49	1,63 ± 0,61	3,74 ± 1,60	± 3,45	± 0,40	± 7,84 ± 1,49		±
	RPF/2009	2,13 ± 0,70	1,09 ± 0,34	2,71 ± 2,04	± 4,40	± 0,65	± 6,92 ± 1,56		±
Prolin	BB/2009	100 ± 47	633 ± 153	465 ± 96		42 ± 20	48 ± 21		
(µg g TS ⁻¹)	NDS/2009	198 ± 93	541 ± 295	615 ± 100		38 ± 13	30 ± 9		
	NRW/2009	184 ± 43	605 ± 224	585 ± 250		38 ± 18	29 ± 12		
	RPF/2009	190 ± 125	670 ± 354	614 ± 190		52 ± 14	41 ± 15		
N	BB/2009	1,42 ± 0,13	1,46 ± 0,10	± 1,51 ± 0,22	± 1,75	± 1,96	± 0,34 ± 0,03		±
(% in TS)	NDS/2009	1,77 ± 0,36	1,56 ± 0,24	± 1,82 ± 0,17	± 1,86	± 1,70	± 0,34 ± 0,06		±
	NRW/2009	1,45 ± 0,39	1,56 ± 0,30	± 1,63 ± 0,32	± 1,94	± 1,82	± 0,34 ± 0,03		±
	RPF/2009	1,69 ± 0,42	1,68 ± 0,23	± 1,77 ± 0,53	± 1,80	± 1,69	± 0,35 ± 0,05		±
P	BB/2009	0,23 ± 0,02	0,26 ± 0,04	± 0,25 ± 0,03	± 0,30	± 0,22	± 0,15 ± 0,02		±
(% in TS)	NDS/2009	0,22 ± 0,05	0,29 ± 0,03	± 0,26 ± 0,04	± 0,34	± 0,23	± 0,22 ± 0,03		±
	NRW/2009	0,24 ± 0,04	0,25 ± 0,03	± 0,23 ± 0,03	± 0,35	± 0,23	± 0,17 ± 0,04		±
	RPF/2009	0,24 ± 0,05	0,28 ± 0,04	± 0,26 ± 0,06	± 0,35	± 0,23	± 0,17 ± 0,04		±
K	BB/2009	0,51 ± 0,11	0,34 ± 0,06	± 0,50 ± 0,16	± 0,39	± 0,91	± 0,30 ± 0,05		±
(% in TS)	NDS/2009	0,36 ± 0,05	0,36 ± 0,06	± 0,47 ± 0,06	± 0,35	± 0,86	± 0,27 ± 0,06		±
	NRW/2009	0,45 ± 0,09	0,39 ± 0,06	± 0,42 ± 0,07	± 0,34	± 0,75	± 0,27 ± 0,04		±
	RPF/2009	0,48 ± 0,05	0,41 ± 0,13	± 0,45 ± 0,08	± 0,33	± 0,76	± 0,30 ± 0,03		±

Glucose	BB/2011	1,02 ± 0,15	0,73	± 0,64	± 1,04	± 0,57	± 0,84	±
			0,17	0,14	0,72	0,28	0,22	
(% in TS)	NRW/2011	0,73 ± 0,23	0,60	± 0,62	± 1,04	± 0,74	± 0,90	±
			0,10	0,13	0,73	0,14	0,15	
	RPF/2011	0,86 ± 0,24	1,24	± 0,54	± 1,19	±		
			0,17	0,07	0,75			
Fructose	BB/2011	1,02 ± 0,16	0,47	± 0,44	± 0,55	± 0,39	± 0,56	±
			0,16	0,15	0,17	0,19	0,22	
(% in TS)	NRW/2011	0,72 ± 0,26	0,39	± 0,44	± 0,50	± 0,52	± 0,58	±
			0,11	0,12	0,21	0,12	0,17	
	RPF/2011	0,73 ± 0,21	1,18	± 0,35	± 0,43	±		
			0,19	0,11	0,21			
Sacharose	BB/2011	1,79 ± 0,78	2,36	± 0,63	± 1,65	± 2,50	± 0,78	±
			0,78	0,25	0,42	0,50	0,46	
(% in TS)	NRW/2011	1,95 ± 0,66	2,63	± 0,47	± 1,36	± 2,23	± 1,56	±
			0,50	0,27	0,36	0,24	0,63	
	RPF/2011	1,74±0,96	2,02	± 0,47	± 1,41	±		
			0,48	0,28	0,44			
Stärke	BB/2011	3,93 ± 0,64	5,19	± 1,61	± 2,71	± 0,07	± 2,02	±
			0,57	0,66	0,93	0,03	1,42	
(% in TS)	NRW/2011	2,87 ± 0,76	5,18	± 1,26	± 2,79	± 0,08	± 2,73	±
			0,41	0,78	1,35	0,03	1,53	
	RPF/2011	2,81 ± 0,88	10,36	± 0,60	± 1,98	±		
			2,38	0,42	0,86			
Prolin	BB/2011	209 ± 113	511	± 299	± 1215	± 105	± 439	±
			177	90	375	58	404	
(µg g TS ⁻¹)	NRW/2011	72 ± 64	529	± 320	± 1199	± 49	± 187	±
			184	80	262	34	275	
	RPF/2011	64 ± 17	369	± 725	± 1693	±		
			151	398	469			
N	BB/2011	1,28 ± 0,33	0,91	± 0,94	± 1,38	± 3,86	± 0,89	±
			0,19	0,12	0,24	1,17	0,46	
(% in TS)	NRW/2011	0,74 ± 0,13	0,98	± 1,04	± 1,35	± 2,84	± 0,53	±
			0,18	0,25	0,20	0,43	0,20	
	RPF/2011	0,79± 0,10	1,44	± 1,34	± 1,87	±		
			0,39	0,25	0,26			
P	BB/2011	0,17 ± 0,04	0,23	± 0,21	± 0,30	± 0,47	± 0,30 ±	
			0,03	0,04	0,04	0,11	0,03	
(% in TS)	NRW/2011	0,16 ± 0,02	0,25	± 0,24	± 0,31	± 0,33 ±	0,30 ±	
			0,03	0,07	0,04	0,06	0,04	
	RPF/2011	0,15 ± 0,02	0,26	± 0,23	± 0,31	±		
			0,02	0,06	0,05			
K	BB/2011	0,38 ± 0,05	0,36	± 0,70	± 0,35	± 1,98 ±	0,41 ±	
			0,04	0,10	0,08	0,31	0,16	
(% in TS)	NRW/2011	0,42 ± 0,07	0,39	± 0,80	± 0,32	± 1,45 ±	0,48 ±	
			0,05	0,16	0,07	0,17	0,08	
	RPF/2011	0,47 ± 0,08	0,25	± 0,67	± 0,28	±		
			0,07	0,13	0,06			

3.2. *Corylus avellana*: Ergebnisse der Früh- und Spätfrostversuche

Die Ergebnisse der Frühfrostversuche sind in WANJIKU und BOHNE (2015) dargestellt. Die Ergebnisse der Spätfrostversuche sind als Manuskript für die Zeitschrift European Journal of Horticultural Science eingereicht. Es ist mit einigen durchzuführenden Veränderungen angenommen. Es folgen die Teile „Ergebnisse und Diskussion“ der Manuskripte. Die Nummerierung der Tabellen und Abbildungen ist der fortlaufenden Nummerierung des Schlussberichts angepasst. Die Angaben zu Material und Methoden sind wie unter 2. beschrieben und werden daher hier nicht wiederholt.

3.2.1 Frühfrostversuche

Die Frühfrostversuche mit *Corylus avellana* wurden in zwei aufeinander folgenden Jahren durchgeführt. 2011 wurden die Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW), Rheinland-Pfalz (RPF) verwendet, 2012 mit einer größeren Anzahl an Wiederholungen die Vorkommen Brandenburg (BB) und Nordrhein-Westfalen (NRW) (siehe auch Tabelle 1).

Ergebnisse

Der durch den Frost hervorgerufene Schaden (Relativer Elektrolytverlust) nahm mit abnehmender Temperatur zu und zeigte innerhalb der Vorkommen hohe Standardabweichungen (Tabelle 9). 2011 traten im Spross der Pflanzen aus Rheinland-Pfalz tendenziell höhere REL-Werte auf; ein signifikanter Unterschied bestand jedoch nur bei der Kontrolle und bei -17 °C zu dem Vorkommen aus Brandenburg. Die Wiederholung des Versuchs im Jahr 2012 mit den Vorkommen aus Brandenburg und Nordrhein-Westfalen bestätigte die Ergebnisse von 2011. Der Relative Elektrolytverlust der Wurzeln war größer als im Spross; signifikante Unterschiede zwischen den Vorkommen traten nicht auf.

Tabelle 9: Relativer Elektrolytverlust der Triebspitzen von *Corylus avellana* der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF) in Frühfrostversuchen (November 2011, November 2012). Mittelwerte \pm Stabw.; 2011: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF), 2012: n = 13 (BB), n = 14 (NRW). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Year/Population	Triebspitzen			Wurzeln	
	REL (%)			REL (%)	
	Varianten			5 °C	- 6 °C
	5 °C	- 17 °C	- 27 °C	5 °C	- 6 °C
2011					
BB	11 \pm 1,7 Aa	16 \pm 3,6 Ba	28 \pm 6,4 Ca	44 \pm 11 Aa	58 \pm 6,3 Ba
NDS	14 \pm 1,9 Aab	18 \pm 3,6 Bab	29 \pm 7,2 Ca	38 \pm 5,3 Aa	56 \pm 11 Ba
NRW	13 \pm 2,9 Aab	18 \pm 2,9 Bab	30 \pm 8,6 Ca	42 \pm 8,9 Aa	60 \pm 7,0 Ba
RPF	14 \pm 1,8 Ab	22 \pm 4,0 Bb	32 \pm 7,3 Ca	36 \pm 7,4 Aa	55 \pm 6,2 Ba
2012					
BB	11 \pm 1,7 Aa	17 \pm 2,7 Ba	26 \pm 4,1 Ca	42 \pm 8,7 Aa	54 \pm 7,1 Ba
NRW	11 \pm 1,5 Aa	15 \pm 2,3 Ba	27 \pm 3,5 Ca	44 \pm 9,8 Aa	56 \pm 6,4 Ba

Vor der Einwirkung von Frost (Kontrolle) unterschieden sich die Pflanzen der verschiedenen Vorkommen im Spross nicht signifikant in ihrer Konzentration an Glucose (Abb. 10), Prolin (Abb. 11) und Stärke (Tabelle 10). Signifikante Unterschiede zwischen den Vorkommen gab es für Fructose und Saccharose (Abb. 10).

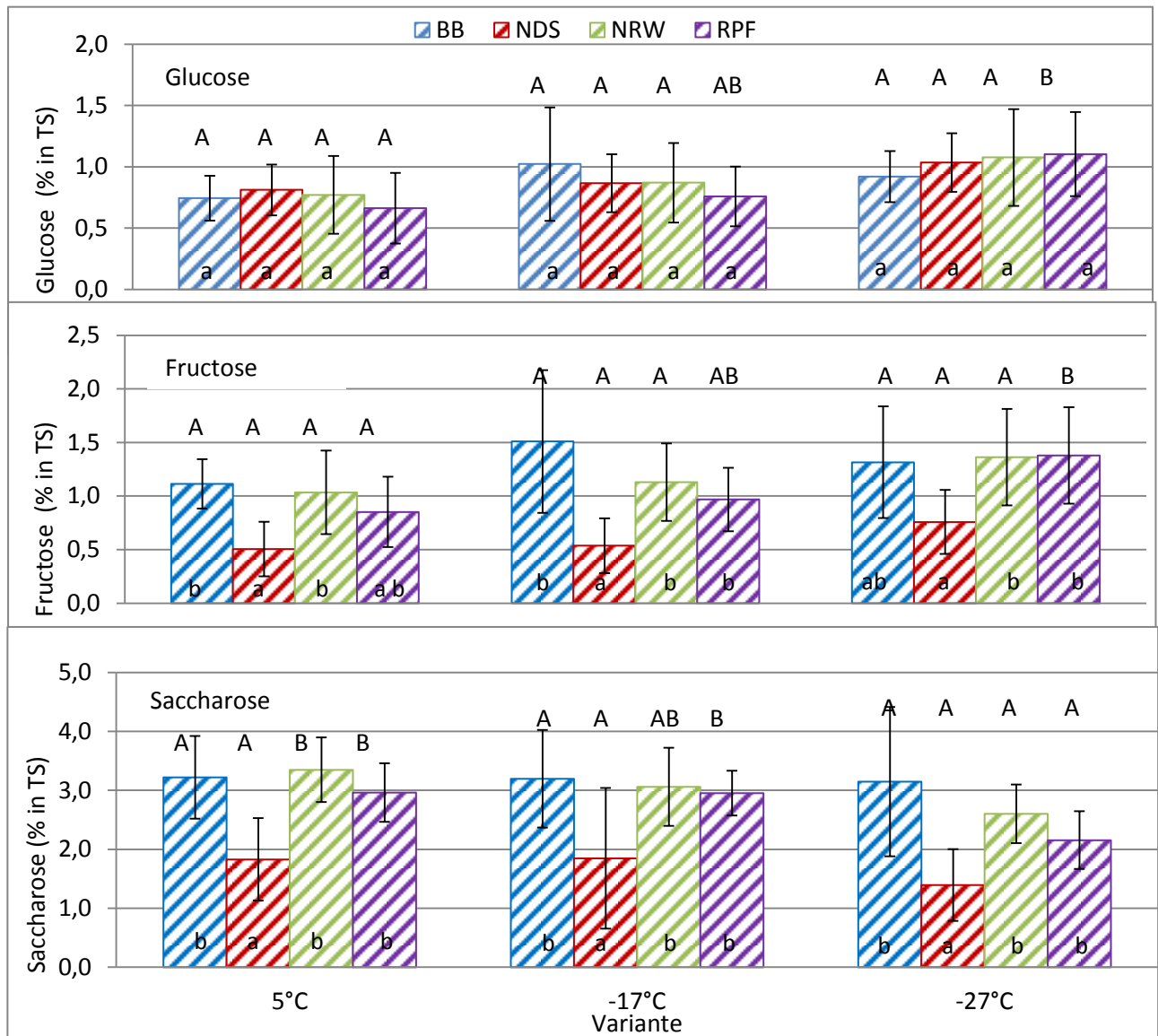


Abbildung 10: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose in Trieben der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF) von *Corylus avellana* im Frühfrostversuch November 2011. Mittelwerte \pm Stabw.; n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW und RPF). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten je Vorkommen; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Generell zeigten die Konzentrationen der Biomarker Glucose, Fructose, Saccharose, Prolin unter Frosteinwirkung für die verschiedenen Vorkommen ein ähnliches Muster wie im ungestressten Zustand. Nur für Glucose und Fructose war bei den Pflanzen des Vorkommens aus Rheinland-Pfalz ein signifikanter Anstieg zu der Variante -27 °C zu verzeichnen. Die Konzentration an Saccharose nahm bei -27 °C im Vergleich zu der Kontrolle bei den Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz signifikant ab. Die Prolinkonzentration veränderte sich unter Frosteinwirkung nicht (Abb. 11). Nur in einem Fall – Vergleich NDS und BB bei -17 °C 2011 – trat ein signifikanter Unterschied zwischen den Vorkommen auf.

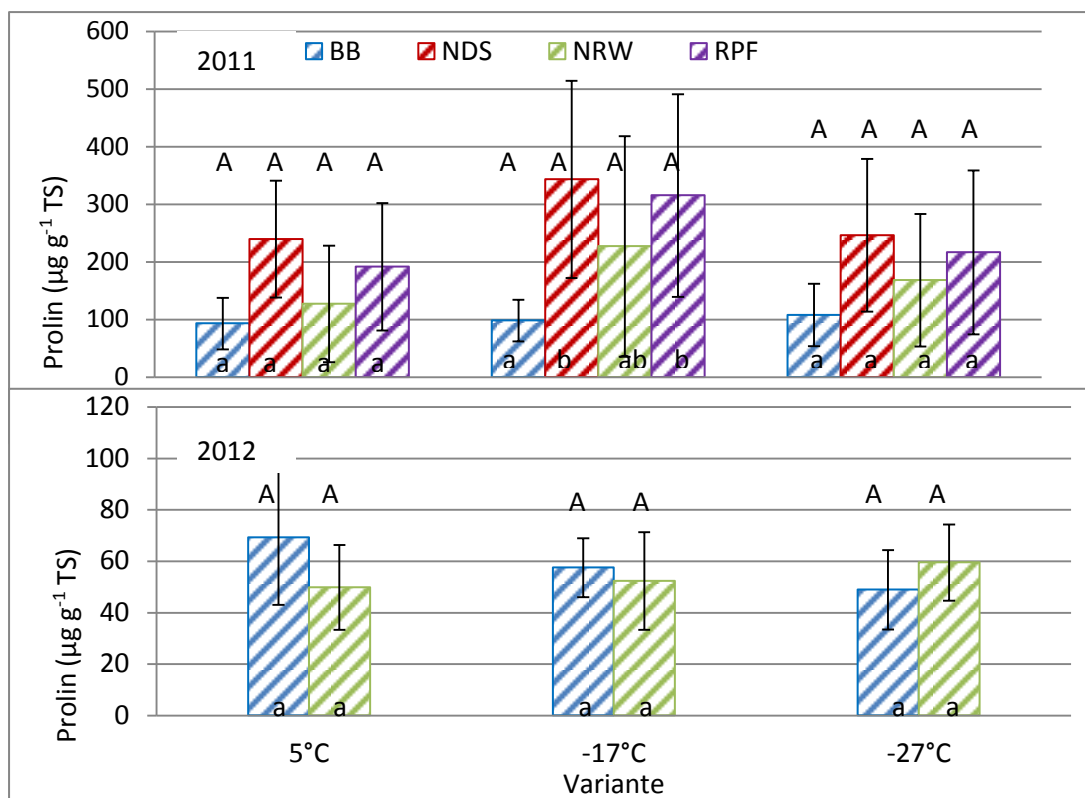


Abbildung 11: Konzentration von Prolin in Trieben der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF) von *Corylus avellana* in Frühfrostversuchen (November 2011, November 2012). Mittelwerte \pm Stabw.; 2011: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW und RPF), 2012: n = 13 (BB), n = 14 (NRW). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten je Vorkommen; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Tabelle 10: Konzentration von Stärke (% in TS) in Trieben der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF) von *Corylus avellana* in Frühfrostversuchen (November 2011, November 2012). Mittelwerte \pm Stabw.; 2011: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF), 2012: n = 13 (BB), n = 14 (NRW). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten je Vorkommen; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Jahr/Vorkommen	Stärke (% in TS)		
	Varianten		
	5 °C	- 17 °C	- 27 °C
2011			
BB	1,63 \pm 0,4 Aa	0,99 \pm 0,4 Aa	0,92 \pm 0,3 Aa
NDS	1,63 \pm 0,8 Aa	0,65 \pm 0,3 Aa	0,78 \pm 0,3 Aa
NRW	1,90 \pm 0,7 Aa	0,97 \pm 0,4 Aa	1,0 \pm 0,3 Aa
RPF	1,98 \pm 0,8 Aa	0,98 \pm 0,3 Aa	0,82 \pm 0,2 Aa
2012			
BB	2,65 \pm 0,7 Aa	2,44 \pm 0,6 Aa	2,33 \pm 0,5 Aa
NRW	2,28 \pm 0,6 Aa	2,37 \pm 0,7 Aa	2,44 \pm 0,6 Aa

Die Konzentration an Stärke veränderte sich unter Frosteinwirkung nicht; zwischen den Vorkommen traten keine Unterschiede auf (Tab. 10).

In den Wurzeln gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorkommen, der Frost hatte keinen Einfluss auf die Konzentration der Biomarker (Daten hier nicht gezeigt).

Auch bei einer Wiederholung des Frühfrostversuchs 2012 mit den Vorkommen Brandenburg und Nordrhein-Westfalen traten – mit einer Ausnahme bei Fructose unter Frosteinwirkung – keine Unterschiede in der Konzentration der analysierten Biomarker auf. Allerdings unterschieden sich die beiden Jahre in Bezug auf das absolute Niveau einiger Biomarker. 2011 wiesen die Pflanzen der Vorkommen Brandenburg und Nordrhein-Westfalen eine deutlich höhere Prolin- und eine niedrigere Stärkekonzentration auf als 2012. (Abb. 11 and Tab. 10). Im Gegensatz zu 2011 unterschieden sich die beiden Vorkommen 2012 in den Wurzeln in ihrer Konzentration an Glucose, Saccharose und Stärke; das Vorkommen aus Brandenburg wies eine höhere Glucosekonzentration auf, in dem Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen waren die Konzentrationen an Saccharose und Stärke höher (Daten hier nicht gezeigt).

In beiden Jahren haben alle Pflanzen alle Frostbehandlungen überlebt. Allerdings war die apikale Dominanz durch die frostbedingte Schädigung der Triebspitzen oft aufgehoben; die Pflanzen trieben verstärkt aus Seitenknospen und basal aus. Dieses Verhalten war nach der Frostbehandlung von -27 °C stärker ausgeprägt als nach -17 °C . Das Höhenwachstum war am größten bei den Kontrollpflanzen, gefolgt von den Pflanzen der Variante -17 °C , am geringsten bei den Pflanzen der Variante -27 °C .

Diskussion

Der Transfer der mehr südlichen Vorkommen Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen nach Hannover hat den Triebabschluss nicht beeinflusst, denn zum Zeitpunkt der Frostversuche war bei allen Vorkommen die höchste Stufe des Triebabschlusses erreicht (Daten hier nicht gezeigt). Dementsprechend war das Niveau des Relativen Elektrolytverlustes – ein Indikator für den frostbedingten Schaden (YILDIZ et al. 2014) – niedrig, und die Vorkommen unterschieden sich mit der Ausnahme von Rheinland-Pfalz nicht untereinander. Das Vorkommen aus Rheinland-Pfalz hatte bei der Kontrolle und bei -17 °C einen signifikant höheren REL-Wert hatte als die anderen Vorkommen. Dieses Verhalten war unerwartet, da die Pflanzen dieses Vorkommens aus einer größeren Höhe stammen als bei den anderen Vorkommen. Meist wird davon ausgegangen, dass die Toleranz gegenüber Frost mit der Höhenlage zunimmt (GANSERT et al. 1999, RUMPF 2002). Die Pflanzen des Vorkommens aus Rheinland-Pfalz kommen aus einer topografisch sehr heterogenen Umgebung. Das lokale Kleinklima könnte daher die Anpassung der Pflanzen beeinflusst haben. Insgesamt haben die Pflanzen aller Vorkommen alle Frostbehandlungen überlebt; das heißt, sie zeigten unabhängig von ihrer geografischen Herkunft eine gute Anpassung auch an einen strengen Frost von -27 °C .

Die Konzentration an Biomarkern zeigte weder bei den Kontrollpflanzen noch bei denen die dem Frost ausgesetzt waren einen Zusammenhang mit dem geografischen Ursprung. Die Vorkommen Brandenburg und Niedersachsen, die aus einer ähnlichen geografischen Situation kommen, unterschieden sich in den Konzentrationen an Fructose und Saccharose, die Vorkommen aus Brandenburg und Rheinland-Pfalz – mit sehr unterschiedlicher geografischer Herkunft (siehe auch Tabelle 2) – unterschieden sich nicht. In Bezug auf die Höhenlage wird in der Literatur zum Teil von einem Anstieg an löslichen Kohlenhydrate mit zunehmender Höhe berichtet (HOCH et al. 2002, SHI et al. 2006). Demgegenüber fanden POIRIER et al. (2010) für verschiedenen Walnuss-Sorten keine Unterschiede in den Konzentrationen von Glucose, Fructose und Saccharose in Abhängigkeit von der Höhenlage. Auch YILDIZ et al. (2014) schlossen aus ihren Versuchen, dass der Zusammenhang zwischen Höhenlage und Konzentration an löslichen Zuckern nicht eindeutig ist. In der Frostbehandlung zeigten nur die Pflanzen aus dem Vorkommen Rheinland-Pfalz einen Anstieg der Glucose- und Fructose-Konzentration. Diese cryoprotektiven Verbindungen konnten zwar den Anstieg des REL-Wertes im Vergleich zu den anderen Vorkommen nicht verhindern, stellen jedoch einen Anpassungsmechanismus an

Frost dar. Parallel zu dem Anstieg der Glucose- und Fructosekonzentration in dem Vorkommen aus Rheinland-Pfalz nahm die Konzentration an Saccharose ab. Eine Abnahme der Saccharosekonzentration war auch bei dem Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen zu verzeichnen, allerdings ohne einen entsprechenden Anstieg der Glucose- und Fructosekonzentration. Dieses Vorkommen stammt aus einer geringeren Höhenlage als das Vorkommen aus Rheinland-Pfalz, aber aus einer höheren Lage als die anderen beiden Vorkommen. Eine Abnahme der Saccharosekonzentration bei Frosteinwirkung kann auch mit einer Umwandlung in andere cryoprotektive Zucker wie Raffinose und Stachyose zusammenhängen (GUY et al., 2008; YUANYUAN et al., 2009).

Die Wiederholung des Frühfrostversuchs im Jahr 2012 mit den Vorkommen Brandenburg und Nordrhein-Westfalen bestätigte die REL-Werte von 2011. Allerdings waren die Konzentrationen an Fructose (Daten hier nicht gezeigt) und Stärke in den Trieben deutlich höher als 2011, die Konzentration von Prolin niedriger. Die in den beiden Jahren verwendeten Pflanzen wurden aus Stecklingen angezogen, die in unterschiedlichen Jahren und vermutlich von unterschiedlichen Mutterpflanzen gewonnen wurden. SAUTER und VAN CLEVE (1994) zeigten in dreijährigen Versuchen mit Pappeln, dass Zucker- und Stärkekonzentrationen von den jeweils herrschenden Wetterbedingungen beeinflusst wurden.

Biomarker wie lösliche Zucker und Prolin werden oft als cryoprotektive Substanzen bewertet (GÉNÉRÉ et al., 2004; SAUTER and VAN CLEVE, 1994; YUANYUAN et al., 2009). In den dargestellten Ergebnissen der Frühfrostversuche wirkten sich die Biomarker nicht auf die REL-Werte, d.h. auf die Toleranz gegenüber Frost aus. Ähnliche Ergebnisse zeigten Versuche von YILDIZ et al. (2014) mit Herkünften aus verschiedenen Höhenlagen. POIRIER et al. (2010) fanden, dass lösliche Zucker keine hohe Korrelation mit Frosthärte hatten.

Eine weitere Diskussion der Ergebnisse ist bei Wanjiku et al. (2015) zu finden.

3.2.2 Spätfrostversuche

Die Spätfrostversuche mit *Corylus avellana* wurden in zwei aufeinander folgenden Jahren durchgeführt. 2012 wurden die Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW), Rheinland-Pfalz (RPF) verwendet, 2013 mit einer größeren Anzahl an Wiederholungen die Vorkommen Brandenburg (BB) und Nordrhein-Westfalen (NRW) (siehe Tabelle 1). 2013 wurden die Versuche wegen der größeren Anzahl an Wiederholungen aus organisatorischen Gründen in zwei aufeinander folgenden Wochen durchgeführt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse des Austriebs der vegetativen Knospen sind in Abbildung 12 dargestellt. 2012 verlief der Austrieb langsam. Zum Zeitpunkt des Spätfrostversuchs lagen die Pflanzen im Mittel zwischen den Austriebssadien 4 und 5 (4: erste kleine Blätter schieben sich aus der Knospe heraus; 5: die ersten Blätter sind voll ausgebildet). Zwischen den Vorkommen traten keine signifikanten Unterschiede auf.

2013 begann der Austrieb später als 2012, die Knospen entwickelten sich dann aber schneller (Abb. 12). Zum Zeitpunkt des Spätfrostversuchs hatten die Pflanzen die Austriebssadien 5 und 6 erreicht (6: fast alle Blätter voll entfaltet). 2013 traten signifikante Unterschiede zwischen den Vorkommen auf; bis Kalenderwoche (KW) 16 entwickelten sich die Pflanzen des Vorkommens aus Brandenburg langsamer als die der Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. In KW 17 unterschieden sie sich nicht mehr von den anderen beiden Vorkommen; allerdings waren jetzt die Pflanzen des Vorkommens aus Rheinland-Pfalz signifikant weiter entwickelt als diejenigen aus Nordrhein-Westfalen.

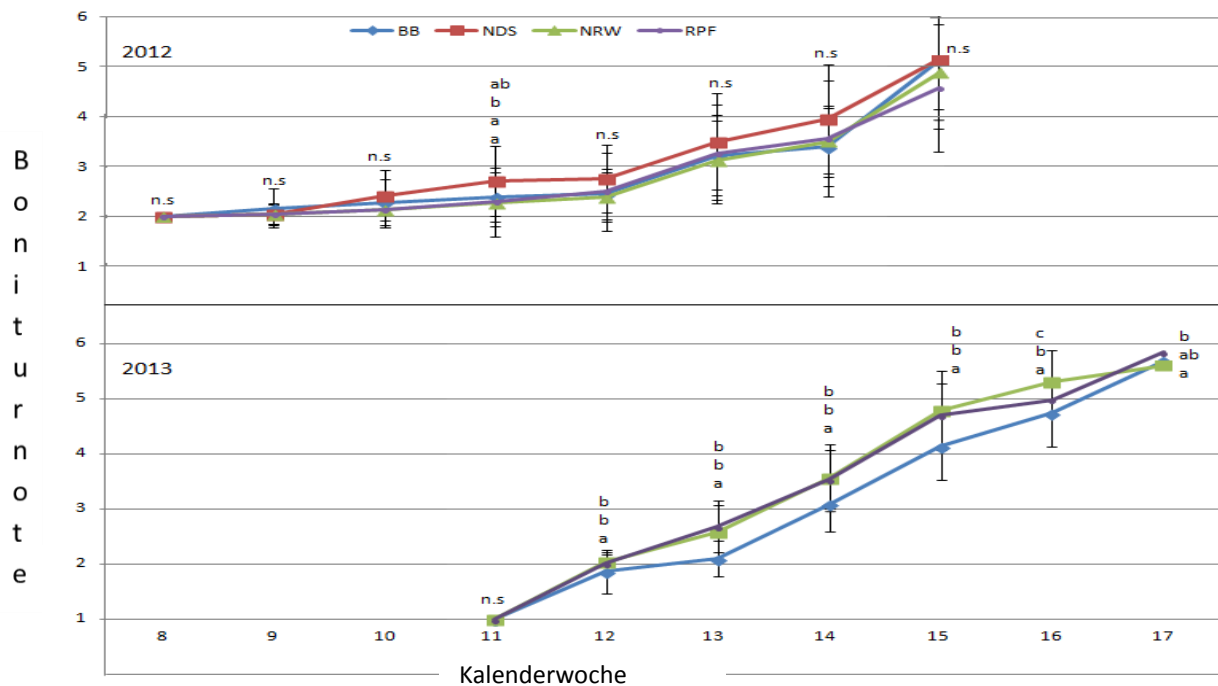


Abbildung 12: Austrieb von *Corylus avellana* der Vorkommen aus Brandenburg (BB), Niedersachsen, (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF) 2012 und 2013. Mittelwerte \pm Stabw.; 2012: n = 24 (BB = 18); 2013: n = 67 (BB), 101 (NRW), 90 (RPF). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Vorkommen; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Die Spätfrostversuche wurden 2012 in Kalenderwoche 15 durchgeführt, 2013 in den Kalenderwochen 16 (-12 °C) und 17 (-6 °C). Die Ergebnisse zeigt Tabelle 11.

Tabelle 11: Relativer Elektrolytverlust der Triebspitzen von *Corylus avellana* der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF) in Spätfrostversuchen (2012, 2013). Mittelwerte \pm Stabw.; 2012: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF), 2013: n = 14, Kontrolle n = 7. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Jahr	Kalenderwoche	Vorkommen	REL %		
			5 °C	- 6 °C	- 12 °C
2012	15	BB	27 \pm 11 Aa	38 \pm 15 ABa	53 \pm 18 Ba
		NDS	26 \pm 16 Aa	35 \pm 13 ABa	49 \pm 17 Ba
		NRW	19 \pm 7 Aa	26 \pm 10 ABa	38 \pm 11 Ba
		RPF	28 \pm 15 Aa	39 \pm 22 Aa	47 \pm 20 Aa
2013	16	BB	27 \pm 10 Aa		55 \pm 9 Ba
		NRW	30 \pm 14 Aa		59 \pm 11 Ba
		RPF	26 \pm 5 Aa		55 \pm 10 Ba
	17	BB	50 \pm 12 Aa	63 \pm 12 Ba	
		NRW	57 \pm 11 Aa	74 \pm 6 Bb	
		RPF	53 \pm 9 Aa	69 \pm 9 Bab	

Der Relative Elektrolytverlust nahm mit abnehmender Temperatur zu. Er unterschied sich – mit der Ausnahme von NRW 2013 bei -6 °C - nicht signifikant zwischen den Vorkommen und zeigte eine hohe Standardabweichung innerhalb der Vorkommen (Tab. 11). 2013 fand innerhalb einer Woche eine Weiterentwicklung der Pflanzen statt, so dass diese bei dem Versuch in KW 17 mit einem weiter fortgeschrittenen Austriebsstadium verwendet wurden. Tabelle 11 zeigt, dass sich das Austriebsstadium auch bei den nicht gefrosteten Kontrollpflanzen deutlich auf die Werte des Relativen Elektrolytverlusts ausgewirkt hat. Dementsprechend zeigen die Pearsons Korrelationskoeffizienten (Tab. 12) sowohl für die Pflanzen mit Frostbehandlung als auch für die nicht gefrosteten Kontrollpflanzen hohe und signifikante Werte zwischen dem Relativen Elektrolytverlust und dem Austriebsstadium.

Tabelle 12: Pearsons Korrelationskoeffizienten zwischen Austriebsstadien und REL sowie ausgewählten Biomarkern bei den Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW), Rheinland-Pfalz (RPF) von *Corylus avellana* in Spätfrostversuchen 2012 und 2013. Signifikante Korrelationen ($p \leq 0,05$) sind fett gedruckt. 2012: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF), 2013: n = 14, Kontrolle n = 7.

Jahr	Kalender- woche	Vor- kommen	Vari- ante (°C)	REL	Pro- lin	Glu- cose	Fruc- tose	Saccha- rose	Stärke
2012	15	BB	5	0,85	0,50	-0,76	-0,93	-0,85	-0,94
			-6	0,76	0,63	-0,76	-0,82	-0,54	-0,73
			-12	0,95	0,61	-0,96	-0,95	-0,12	-0,94
		NDS	5	0,68	0,18	-0,73	-0,70	-0,75	-0,50
			-6	0,45	0,36	-0,73	-0,49	-0,53	-0,47
			-12	0,69	0,68	0,12	0,17	-0,65	-0,63
	NRW	5	0,68	0,01	-0,59	0,23	-0,42	0,14	
		-6	0,90	0,22	-0,45	-0,26	-0,65	0,42	
		-12	0,51	0,39	-0,66	-0,52	0,30	-0,10	
	RPF	5	0,86	0,63	-0,55	-0,48	-0,78	-0,67	
		-6	0,87	0,78	-0,69	-0,83	-0,48	-0,48	
		-12	0,62	0,89	-0,40	-0,53	-0,83	-0,71	
2013	16	BB	5	0,90	-0,02	-0,42	-0,11	-0,51	-0,77
			-12	0,84	-0,09	-0,21	-0,06	-0,73	-0,67
		NRW	5	0,75	-0,20	-0,38	0,58	-0,55	-0,91
			-12	0,77	0,14	0,37	0,04	-0,80	-0,76
		RPF	5	0,06	-0,20	-0,01	0,40	0,10	0,42
			-12	0,91	0,20	-0,23	-0,40	-0,81	-0,54
	17	BB	5	0,93	0,76	-0,16	-0,31	-0,41	-0,56
			-6	0,88	0,58	-0,10	-0,24	-0,48	-0,64
		NRW	5	0,47	0,69	-0,37	-0,06	-0,01	-0,72
			-6	0,51	0,09	-0,27	-0,23	0,10	0,07
		RPF	5	0,68	0,51	0,06	-0,05	-0,32	-0,52
			-6	0,75	0,36	-0,62	-0,15	-0,39	-0,31

Die Konzentrationen von Glucose, Fructose, Saccharose und Stärke nahmen mit zunehmendem Austriebsstadium ab (mit wenigen Ausnahmen negative Korrelationskoeffizienten in Tab. 12). Die Vorkommen unterschieden sich 2012 in den meisten Fällen weder bei den ungefrosten Kontrollpflanzen noch nach der Frostbehandlung in den analysierten Zuckern. Die Frostbehandlung veränderte die Konzentration der Zucker mit einer Ausnahme bei Saccharose nicht (Abb. 13).

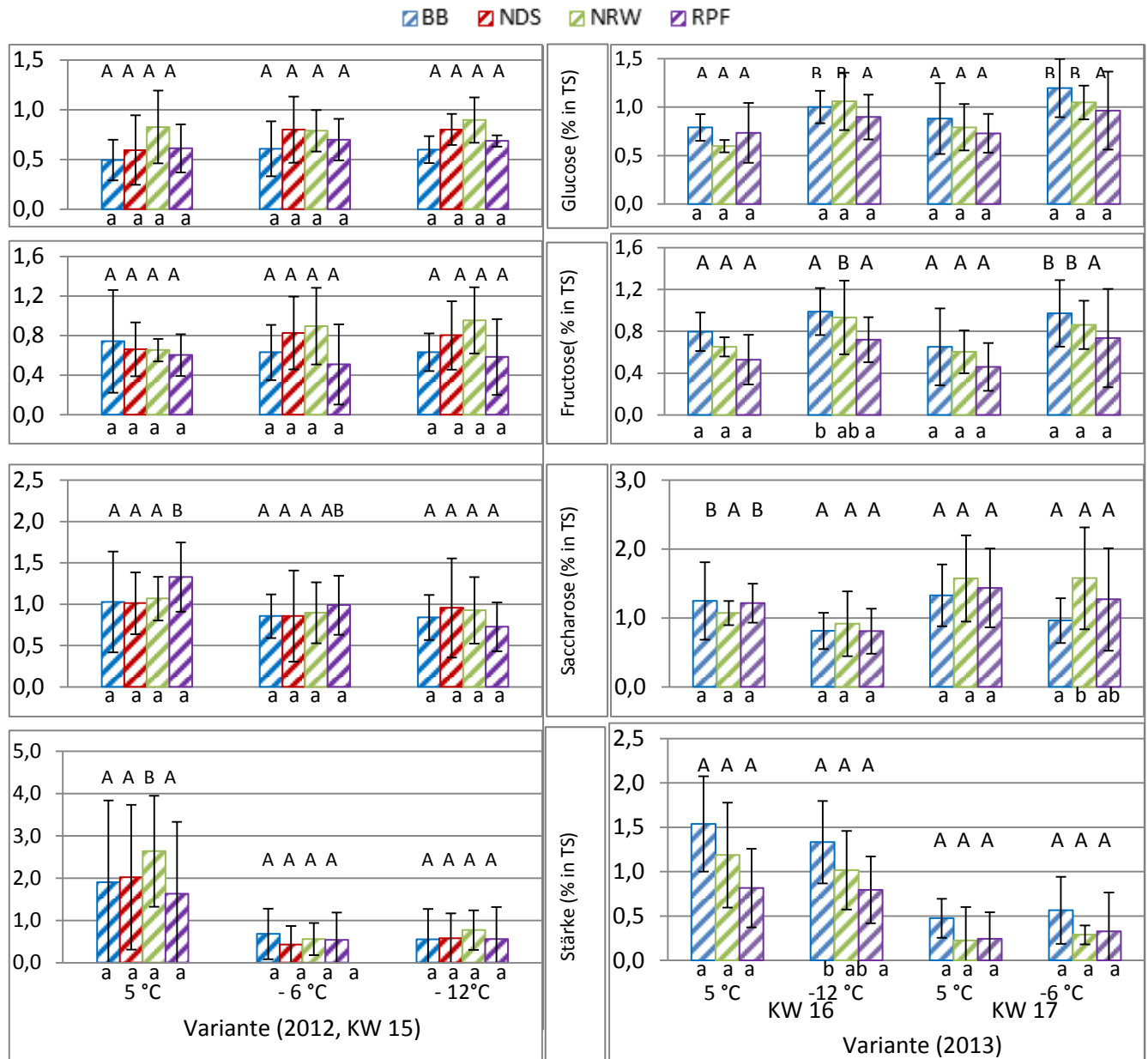


Abbildung 13: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose in Trieben der Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW) und Rheinland-Pfalz (RPF) von *Corylus avellana* (BB, NDS, NRW, RPF) in Spätrostversuchen 2012 und 2013. Mittelwerte \pm Stabw.; 2012: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF), 2013: n = 14, Kontrolle n = 7. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Auch 2013 unterschieden sich die Vorkommen der Kontrollen weder in KW 16 noch 17 in ihren Zucker- und Stärkekonzentrationen (Abb. 13). Allerdings erhöhte jetzt die Frostbehandlung die Konzentration von Glucose und Fructose bei den Vorkommen aus Brandenburg und Nordrhein-Westfalen. Die Höhe der Konzentrationen an Glucose und Fructose unterschied sich bei -6 °C nicht signifikant, bei -12 °C wies das Vorkommen aus Brandenburg eine höhere Fructosekonzentration auf als die anderen Vorkommen (Abb. 13). Die Prolinkonzentration nahm mit zunehmendem Entwicklungsstadium der Knospen zu (Tab. 12). Die Frostbehandlungen wirkten sich in beiden Jahren nicht auf die Prolinkonzentration aus (Abb. 14). In beiden Jahren gab es signifikante Unterschiede zwischen den Vorkommen. 2012 wiesen sowohl die Vorkommen aus Niedersachsen als auch aus Rheinland-Pfalz höhere Konzentrationen auf als das Vorkommen aus Brandenburg. Die Pflanzen des Vorkommens aus Nordrhein-Westfalen unterschieden sich von keinem der Vorkommen. Das Vorkommen aus Rheinland-Pfalz hatte auch 2013 höhere Prolinkonzentrationen als das Vorkommen aus Brandenburg, jetzt auch im Vergleich zu dem Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen.

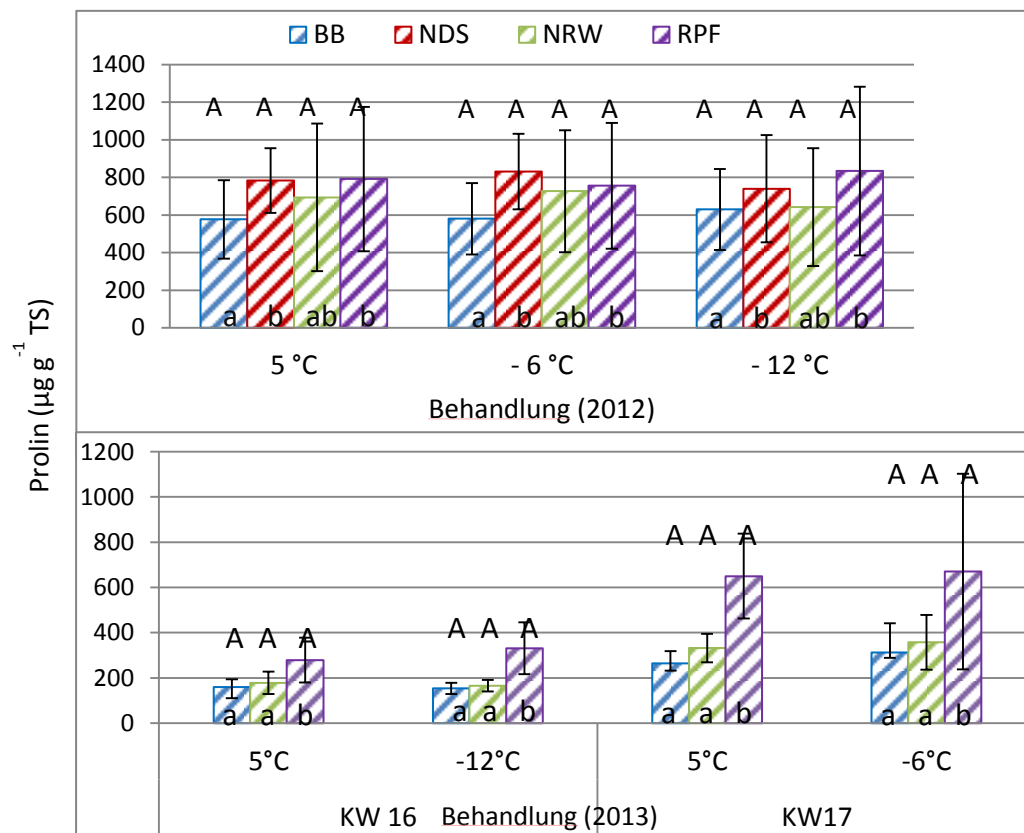


Abbildung 14: Konzentration von Prolin ($\mu\text{g g}^{-1}$ TS) in Trieben von vier Vorkommen von *Corylus avellana* (BB, NDS, NRW, RPF) in Spätrostversuchen 2012 und 2013. Mittelwerte \pm Stabw.; 2012: n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW, RPF), 2013: n = 14, Kontrolle n = 7. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Die austreibenden Knospen wurden durch die Frostbehandlung sichtbar geschädigt. Bei den Regenerationspflanzen starben besonders bei der Variante -12 °C die Triebspitzen ab. Diese Pflanzen trieben aus tiefer liegenden Knospen und basal verstärkt aus. Das Höhenwachstum dieser Pflanzen war im Vergleich zu der Variante -6 °C geringer, am größten waren die Pflanzen ohne Frostbehandlung. Alle Pflanzen haben alle Frostbehandlungen überlebt. Die Vorkommen unterschieden sich in ihrem Regenerationsverhalten nicht untereinander (Daten hier nicht gezeigt).

Diskussion

Die Spätfrostversuche zeigten, dass das Austriebsstadium den größten Einfluss auf den frostbedingten Schaden hatte. Das Austriebsverhalten der untersuchten Vorkommen war in den beiden Jahren unterschiedlich. 2012 traten keine signifikante Unterschiede zwischen den Vorkommen auf; tendenziell entwickelten sich die Pflanzen aus Rheinland-Pfalz langsamer als die der anderen Vorkommen. 2013 unterschieden sich die Vorkommen zu Beginn des Austriebs signifikant voneinander, das Vorkommen aus Rheinland-Pfalz zeigte jetzt die langsamste Entwicklung. Zum Ende des Austriebs unterscheiden sich die Vorkommen nicht mehr voneinander. In anderen Untersuchungen werden oft Unterschiede im Austriebsverhalten von Herkünften aus unterschiedlichen Breitengraden und Höhenlagen gefunden (CHMURA and ROŻKOWSKI, 2002; OVASKA et al., 2005). Die Herkünfte deckten aber größere geografische Unterschiede bezüglich Breitengrad und Höhenlage ab als in diesem Projekt. Das unterschiedliche Verhalten der Vorkommen in den Jahren 2012 und 2013 könnte mit unterschiedlichen Mutterpflanzen zusammenhängen, da die Stecklinge für die Anzucht der Pflanzen in zwei Jahren gewonnen und vermutlich nicht dieselben Mutterpflanzen beerntet wurden. Die beernteten Vorkommen enthielten verschiedene Genotypen. VITASSE et al. (2010) weisen auf eine hohe Variation phenologischer Merkmale innerhalb von Herkünften hin. Ferner reagieren Arten späterer Sukzessionsstadien wie z. B. Buche, Eiche, in ihrem Austriebsverhalten sensitiver auf unterschiedliche photoperiodische Bedingungen als Arten früher Sukzessionsstadien wie Hasel (KÖRNER und BASLER, 2010).

Die Konzentration der untersuchten Zucker und von Stärke wurde von wenigen Ausnahmen im Jahr 2013 abgesehen nicht durch die Frostbehandlungen beeinflusst. Sie nahm aber tendenziell mit zunehmendem Austriebsstadium ab. Kohlenhydrate werden als Energiequelle für den Austrieb verbraucht (LEE et al., 2012). Die Vorkommen unterschieden sich 2012 gar nicht und 2013 nur in wenigen Fällen in der Konzentration an Biomarkern. Dieses entspricht den Ergebnissen des Austriebs für die beiden Jahre. Die Prolinkonzentration zeigte einen positiven Zusammenhang mit dem Austriebsstadium. Prolin wird eine Funktion bei Entwicklungsprozessen zugeschrieben (WALTON et al., 1998). BANO et al. (2009) fanden für krautige Pflanzen höhere Konzentrationen in Pflanzen aus größerer Höhenlage. In diesem Projekt zeigten die Pflanzen aus Rheinland-Pfalz (größte Höhenlage innerhalb der untersuchten Vorkommen) die höchsten Konzentrationen, unterschieden sich allerdings nicht von denen aus Niedersachsen mit einer deutlich geringeren Höhenlage (siehe auch Tab. 2).

Die Wiederholung des Frostversuches im Jahr 2013 mit der Aufteilung in zwei aufeinanderfolgende Wochen machte den Einfluss des Austriebsstadiums auch innerhalb kurzer Zeit auf alle untersuchten Kennwerte besonders deutlich. Die zwar später einsetzende, dann aber schneller ablaufende Entwicklung im Vergleich zu 2012 führte schon bei den nicht gefrosteten Kontrollpflanzen zu einem hohen Relativen Elektrolyteverlust. Die schnelle Blattentwicklung und -entfaltung macht die Pflanzen aufgrund erst gering lignifizierter Zellwände (BOUDET et al., 1995) besonders empfindlich (TASCHLER et al., 2004). Die Ergebnisse der Frostversuche in den Jahren 2012 und 2013 zeigen, dass einzelne Frostversuche nur sehr eingeschränkt verallgemeinernde Aussagen zulassen.

Eine weitere Diskussion der Ergebnisse ist bei WANJIKU et al. (zur Veröffentlichung angenommen) zu finden.

3.3 Trockenstressversuche

Die Trockenstressversuche mit *Corylus avellana* wurden in zwei aufeinander folgenden Jahren durchgeführt. 2012 wurden die Vorkommen Brandenburg (BB), Niedersachsen (NDS), Nordrhein-Westfalen (NRW), Rheinland-Pfalz (RPF) verwendet, 2013 mit einer größeren Anzahl an Wiederholungen die Vorkommen Brandenburg (BB) und Nordrhein-Westfalen (NRW) (siehe Tabelle 1).

Ergebnisse

Trockenstressversuch 2012 (Vergleich Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz)

Die Abbildungen 15 bis 17 stellen die Reaktionen der stomatären Leitfähigkeit, des Predawn Blattwasserpotenzials und des Relativen Wassergehalts dar.

Da die stomatäre Leitfähigkeit der Kontrollpflanzen starken Veränderungen unterlag, wurden die Daten der dem Trockenstress ausgesetzten Pflanzen als prozentualer Anteil der bewässerten Kontrollpflanzen dargestellt. Die statistische Auswertung wurde mit den gemessenen Originalwerten durchgeführt. Bei langsamem Stressaufbau (Variante 50 %) reagierten die Vorkommen aus Brandenburg und Niedersachsen tendenziell zunächst mit einem geringen Stomatenschluss im Vergleich zu den Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Die Unterschiede zwischen den Vorkommen waren aber nicht signifikant.

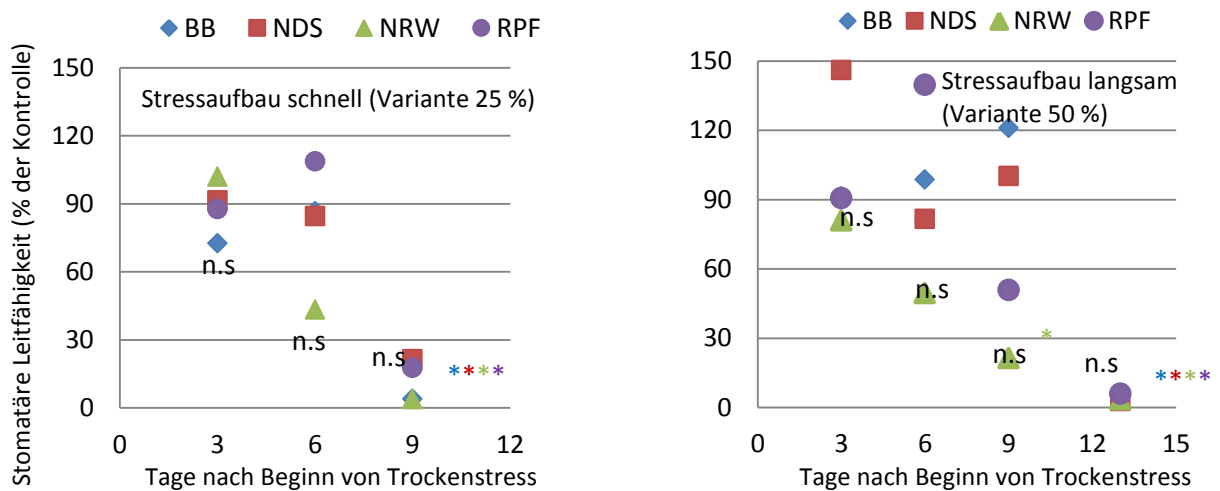


Abbildung 15: Stomatäre Leitfähigkeit (% der Kontrolle) von vier Vorkommen von *Corylus avellana* bei schnell und langsam entstehendem Trockenstress (2012), Mittelwerte; $n = 3$ während der Stressperiode, $n = 6$ (BB), $n = 8$ (NDS, NRW und RPF) am Ende der Stressperiode. * * * * zeigt signifikante Unterschiede je Vorkommen zwischen der Kontrolle und der Stressvariante an; n.s. = keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorkommen (BB, NDS, NRW, und RPF); Tukey Test, $p \leq 0,05$. Berechnet mit den gemessenen Werten.

Der relative Wassergehalt (Abb. 16) nahm während des Trockenstress nur langsam ab; zwischen den Vorkommen traten keine signifikanten Unterschiede auf. Das traf auch für das Predawn Blattwasserpotenzial zu (Abb. 17).

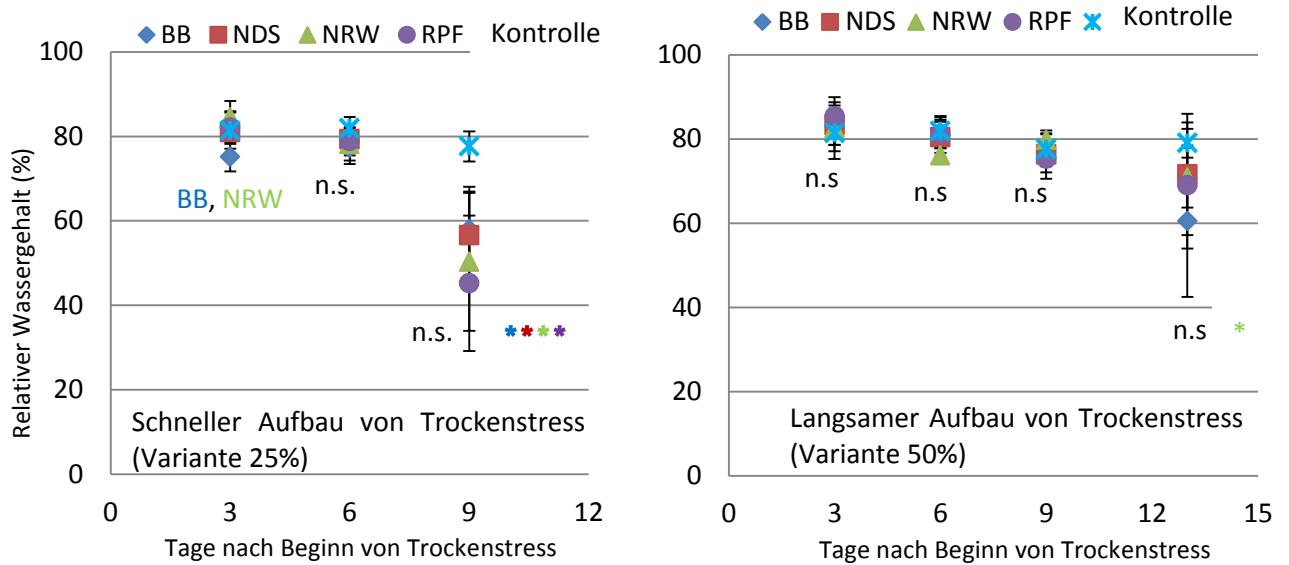


Abbildung 16: Relativer Wassergehalt von vier Vorkommen von *Corylus avellana* bei schnell und langsam entstehendem Trockenstress (2012), Mittelwerte \pm Stabw.; $n = 3$ während der Stressperiode, $n = 6$ (BB), $n = 8$ (NDS, NRW und RPF) am Ende der Stressperiode. **** zeigt signifikante Unterschiede je Vorkommen zwischen der Kontrolle und der Stressvariante an; n.s. = keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorkommen (BB, NDS, NRW, und RPF), BB, NRW: signifikante Unterschiede zwischen den Vorkommen, Tukey Test, $p \leq 0,05$.

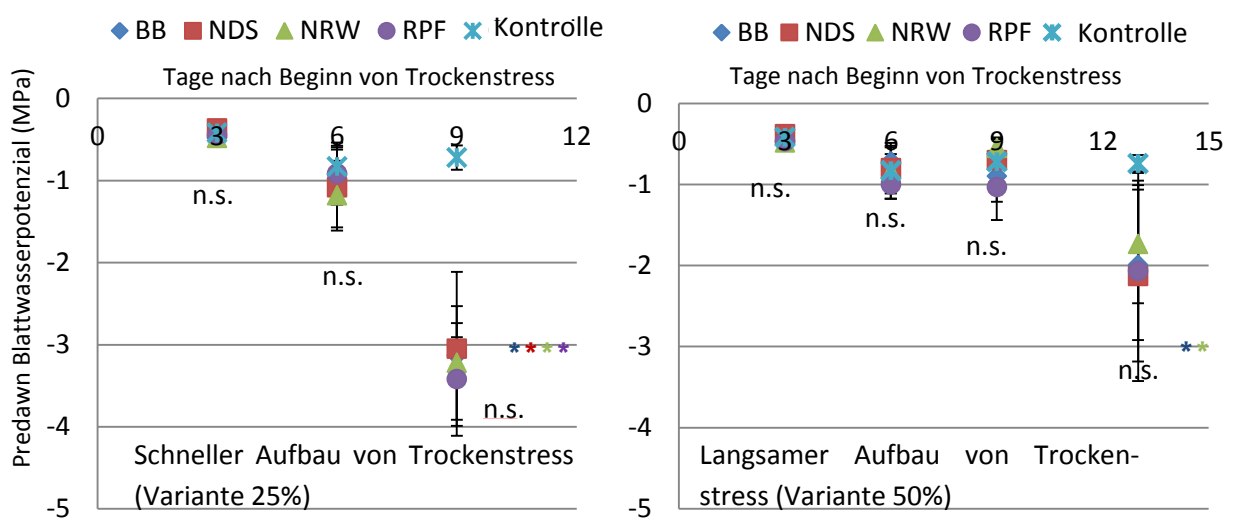


Abbildung 17: Predawn Blattwasserpotenzial von vier Vorkommen von *Corylus avellana* bei schnell und langsam entstehendem Trockenstress (2012), Mittelwerte \pm Stabw.; $n = 3$ während der Stressperiode, $n = 6$ (BB), $n = 8$ (NDS, NRW und RPF) am Ende der Stressperiode. **** zeigt signifikante Unterschiede je Vorkommen zwischen der Kontrolle und der Stressvariante an; n.s. = keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorkommen (BB, NDS, NRW, und RPF); Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Die Chlorophyllfluoreszenz (Tab. 13) zeigte nur in einem Fall – bei dem Vorkommen aus Niedersachsen und langsamer Stressentwicklung – eine Veränderung im Vergleich zu den Kontrollpflanzen. Unterschiede zwischen den Vorkommen traten nicht auf.

Tabelle 13: Chlorophyllfluoreszenz (Fv/Fm) von vier Vorkommen von *Corylus avellana* zu Beginn (alle Varianten) und am Ende von schnell und langsam entstehendem Trockenstress (2012), Mittelwerte \pm Stabw.; n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW und RPF) am Ende der Stressperiode; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Tage seit Trocken- stress	Variante	Vorkommen			
		BB	NDS	NRW	RPF
Fv/Fm					
3	Stressaufbau langsam	0,838 \pm 0,013 Aa	0,824 \pm 0,007 Aa	0,838 \pm 0,005 Aa	0,826 \pm 0,003 Aa
	Stressaufbau schnell	0,843 \pm 0,002 Aa	0,827 \pm 0,02 Aa	0,840 \pm 0,004 Aa	0,840 \pm 0,009 Aa
	Kontrolle	0,837 \pm 0,01 Aa	0,835 \pm 0,01 Aa	0,836 \pm 0,006 Aa	0,848 \pm 0,008 Aa
9	Stressaufbau schnell	0,743 \pm 0,073 Aa	0,752 \pm 0,078 Aa	0,739 \pm 0,131 Aa	0,762 \pm 0,067 Aa
	Kontrolle	0,825 \pm 0,015 Aa	0,828 \pm 0,003 Aa	0,827 \pm 0,011 Aa	0,834 \pm 0,004 Aa
13	Stressaufbau langsam	0,724 \pm 0,072 Aab	0,625 \pm 0,124 Bb	0,751 \pm 0,086 Aa	0,758 \pm 0,034 Aa
	Kontrolle	0,791 \pm 0,019 Aa	0,810 \pm 0,013 Aa	0,810 \pm 0,014 Aa	0,802 \pm 0,022 Aa

Die Tabellen 14 und 15 zeigen die Konzentrationen der Biomarker Glucose, Fructose, Saccharose sowie Prolin in den Blättern und Wurzeln der bewässerten und gestressten Pflanzen zu Versuchsende an. Versuchsende war bei dem schnellen Stressaufbau nach 9 Tagen, bei dem langsamen Stressaufbau nach 13 Tagen.

Tabelle 14: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Blättern von vier Vorkommen von *Corylus avellana* am Ende des Trockenstressversuchs (2012), Mittelwerte \pm Stabw.; n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW und RPF). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker Blätter	Variante	Vorkommen			
		Branden- burg	Niedersachsen	Nordrhein- Westfalen	Rheinland- Pfalz
Glucose (% in TS)	Kontrolle	0,97 \pm 0,12 Aa	1,15 \pm 0,42 Aa	1,02 \pm 0,23 Aa	1,08 \pm 0,22 Aa
	Stressaufbau langsam	1,27 \pm 0,15 Aa	1,44 \pm 0,16 ABa	1,25 \pm 0,18 Aa	1,34 \pm 0,37 ABa
	Stressaufbau schnell	1,30 \pm 0,52 Aa	1,59 \pm 0,51 Ba	1,81 \pm 0,60 Ba	1,63 \pm 0,14 Ba
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,88 \pm 0,13 Aa	0,87 \pm 0,27 Aa	0,82 \pm 0,36 Aa	0,98 \pm 0,25 Aa
	Stressaufbau langsam	1,19 \pm 0,13 Aa	1,43 \pm 0,18 Ba	1,30 \pm 0,18 Ba	1,22 \pm 0,23 ABa
	Stressaufbau schnell	1,26 \pm 0,49 Aa	1,52 \pm 0,61 Ba	1,39 \pm 0,56 Ba	1,34 \pm 0,24 Ba
Saccharose	Kontrolle	4,43 \pm 0,27	4,33 \pm 0,58	4,04 \pm 0,78	4,01 \pm 0,63

(% in TS)		Ba	Ba		ABa		ABa
	Stressaufbau langsam	3,00 ± 0,47 Aa	3,34 ± 0,43 Aab		3,18 ± 0,31 Aab		3,73 ± 0,51 Ab
	Stressaufbau schnell	3,70 ± 0,63 ABa	4,49 ± 0,68 Ba		4,66 ± 1,50 Ba		4,85 ± 0,89 Ba
Prolin (µg gTS ⁻¹)	Kontrolle	42 ± 19 Aa	38 ± 13 Aa		38 ± 24 Aa		51 ± 13 Aa
	Stressaufbau langsam	144 ± 34 Bab	159 ± 46 Bb		142 ± 48 Bab		93 ± 26 Ba
	Stressaufbau schnell	162 ± 33 Ba	184 ± 64 Ba		168 ± 42 Ba		193 ± 115 Ba

Tabelle 15: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Wurzeln von vier Vorkommen von *Corylus avellana* am Ende des Trockenstressversuchs (2012), Mittelwerte ± Stabw.; n = 6 (BB), n = 8 (NDS, NRW und RPF). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, p ≤ 0,05.

Biomarker Wurzeln	Variante	Vorkommen			
		Brandenburg	Nieder- sachsen	Nordrhein- Westfalen	Rheinland- Pfalz
Glucose (% in TS)	Kontrolle	0,83 ± 0,30 Aa	0,74 ± 0,26 Aa	0,67 ± 0,12 Aa	0,67 ± 0,13 Aa
	Stressaufbau langsam	1,77 ± 0,55 Ba	1,26 ± 0,53 Ba	1,40 ± 0,47 Ba	1,13 ± 0,27 Ba
	Stressaufbau schnell	2,06 ± 0,30 Ca	1,96 ± 0,42 Ca	2,03 ± 0,26 Ca	2,03 ± 0,32 Ca
Fructose (% in TS)	Kontrolle	1,26 ± 0,59 Aa	0,96 ± 0,61 Aa	0,85 ± 0,44 Aa	1,02 ± 0,23 Aa
	Stressaufbau langsam	2,07 ± 0,29 Bb	1,36 ± 0,41 Aa	1,65 ± 0,33 Bab	1,25 ± 0,25 ABab
	Stressaufbau schnell	1,52 ± 0,66 ABa	1,38 ± 0,39 Aa	1,34 ± 0,25 Ba	1,51 ± 0,37 Ba
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	1,72 ± 0,63 Aa	1,93 ± 0,55 Aa	2,25 ± 0,38 Aa	1,75 ± 0,62 Aa
	Stressaufbau langsam	3,95 ± 0,45 Ba	3,62 ± 0,48 Ba	3,34 ± 0,73 Ba	3,03 ± 1,07 Ba
	Stressaufbau schnell	4,29 ± 0,53 Ba	3,73 ± 0,84 Ba	3,54 ± 1,12 Ba	3,73 ± 0,92 Ba
Prolin (µg g TS ⁻¹)	Kontrolle	48 ± 19 Aa	30 ± 9 Aa	29 ± 11 Aa	41 ± 14 Aa
	Stressaufbau langsam	112 ± 44 Bab	154 ± 73 Bb	148 ± 78 Bab	73 ± 25 ABa
	Stressaufbau schnell	155 ± 63 Ba	133 ± 80 Ba	171 ± 130 Ba	131 ± 86 Ba

Der Trockenstress führte in den Blättern bei den Vorkommen Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz bei sich schnell entwickelndem Stress zu einem Anstieg der Glucose- und Fructosekonzentration. Bei dem Vorkommen aus Brandenburg war das nicht der Fall. Bei langsam entstehendem Stress traten – wieder abgesehen von dem Vorkommen aus Brandenburg – tendenziell erhöhte Glucose- und Fructosekonzentration auf. Die Saccharosekonzentration nahm bei langsamem Stressaufbau bei allen Vor-

kommen ab, bei schnellem Stressaufbau blieb sie unverändert. In den Wurzeln nahmen die Glucose-, Fructose- und Saccharosekonzentration mit wenigen Ausnahmen (Fructose bei Niedersachsen, Rheinland-Pfalz) bei allen Vorkommen zu. Innerhalb einer Stressvariante unterschieden sich die Vorkommen von zwei Ausnahmen abgesehen (Saccharose in Blättern, Fructose in Wurzeln bei langsamer Stressentwicklung) nicht in der Höhe der gebildeten hier analysierten Zucker.

Der Trockenstress hatte in Blättern und Wurzeln bei allen Vorkommen einen Anstieg der Prolinkonzentration zur Folge. Bei schneller Stressentwicklung unterschieden sich die Vorkommen in der Höhe der Prolinkonzentration nicht voneinander, bei langsamer Stressentwicklung wies das Vorkommen aus Niedersachsen die höchste Prolinkonzentration auf, dasjenige aus Rheinland-Pfalz die niedrigste Konzentration. Die Vorkommen aus Brandenburg und Nordrhein-Westfalen unterschieden sich weder voneinander noch von den anderen beiden Vorkommen.

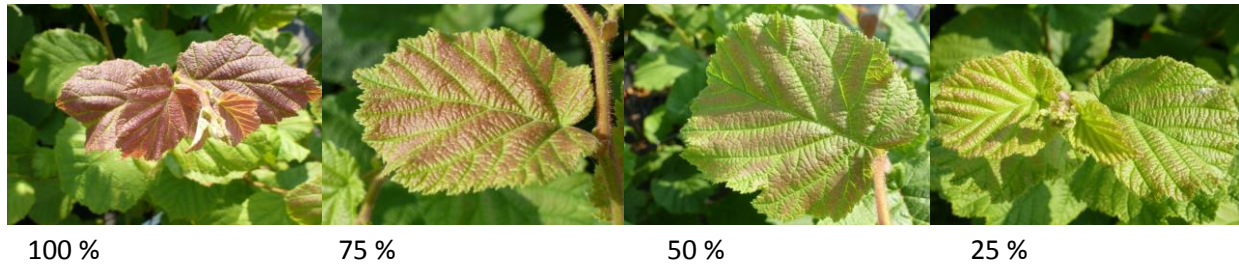
In den bewässerten Pflanzen lag die Stärkekonzentration der Blätter zwischen 0,25 – 0,4 % in der TS, in den Wurzeln zwischen 6,5 – 8 % in der TS. In Blättern und Wurzeln der untersuchten Vorkommen hatte am Ende des Trockenstressversuchs die Stärkekonzentration der gestressten im Vergleich zu den bewässerten Pflanzen abgenommen (Daten hier nicht dargestellt). Unterschiede zwischen den Vorkommen traten mit einer Ausnahme bei den Wurzeln der Kontrollpflanzen nicht auf. Hier hatten die Wurzeln des Vorkommens aus Niedersachsen die höchste Stärkekonzentration, diejenigen aus dem Vorkommen Rheinland-Pfalz die niedrigste; die Vorkommen aus Brandenburg und Nordrhein-Westfalen unterschieden sich wieder weder voneinander noch von den anderen beiden Vorkommen.

Trockenstressversuch 2013 (Vergleich Brandenburg, Rheinland-Pfalz)

Eine Wiederholung des Trockenstressversuchs im folgenden Jahre (2013) mit Pflanzen der Vorkommen aus Brandenburg und Nordrhein-Westfalen und einer größeren Anzahl an Wiederholungen zeigte bei der stomatären Leitfähigkeit für diese beiden Vorkommen das gleiche Verhalten wie 2012 (Daten hier nicht dargestellt). Die Chlorophyllfluoreszenz der gestressten Pflanzen veränderte sich im Vergleich zu den bewässerten Pflanzen nicht; Unterschiede zwischen den Vorkommen traten nicht auf. Allerdings traten irreversible Welkesymptome bereits nach 6 (Stressaufbau schnell) und nach 7 (Stressaufbau langsam) Tagen ein. 2012 dauerten die Versuche für die beiden Stressvarianten 9 (Stressaufbau schnell) bzw. 13 Tage (Stressaufbau langsam). 2013 waren die Ergebnisse des Trockenstressversuchs möglicherweise durch eine Vorschädigung und eine gleichzeitig auftretende Belastung durch Ozon überlagert. Es herrschten in der Zeit vor dem Trockenstressversuch und auch während des Versuchs eine Ozonkonzentration von 100-150 $\mu\text{g m}^{-3}$ L. Eine Bonitur der als Ozonschädigung eingestuften Symptome (Abb. 18) von Pflanzen auf der Containerstellfläche zeigte, dass die Pflanzen der Absteckung 2011 (35 % aller Pflanzen in Stufe 75 % und 100 %) stärker von den Symptomen betroffen waren als diejenigen der Absteckung 2009 (22 % aller Pflanzen in Stufe 75 und 100 %; Daten hier nicht dargestellt). Mitkultivierte Pflanzen des Vorkommens Schleswig-Holstein wiesen nur einen Anteil von 10 % in den beiden Kategorien auf. Leider waren die Pflanzen anderer Vorkommen zu diesem Zeitpunkt verbraucht.

Im Trockenstressversuch trat 2013 ein untypischer Verlauf der Welke auf, bei dem die Boniturstufen 1-3 nicht durchlaufen wurden, sondern gleich Welkesymptome der Boniturstufen 4 und 5 (siehe Abb. 8) auftraten. Um eine Probenahme zu ermöglichen, wurde daher der Versuch beendet, als noch ausreichend nicht vollständig vertrocknete Blätter vorhanden waren. Allerdings war das Probenmaterial sehr heterogen. Tabelle 16 zeigt die Konzentration an Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Blättern der Pflanzen am Ende des Trockenstressversuchs 2013, Tabelle 17 gibt die Werte für die Wurzeln an. Der Trockenstressversuch wurde mit Pflanzen der Vorkommen Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein (Pflanzen aus Brandenburg standen nicht mehr zur Verfügung) eine Woche später wiederholt. Hier wurde nur die stomatäre Leitfähigkeit ausgewertet. Er bestätigte für die Pflanzen aus Nordrhein-Westfalen die Ergebnisse des

vorherigen Versuchs. Die Pflanzen aus Schleswig-Holstein verhielten sich ähnlich wie die aus Brandenburg des vorherigen Versuchs.



100 % 75 % 50 % 25 %
 Roter Blattanteil, 0 % nicht vorhanden
 Abbildung 18: Bonitur von möglichen Ozonschäden von *Corylus avellana*, Juni 2013.

Tabelle 16: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Blättern von zwei Vorkommen von *Corylus avellana* am Ende des Trockenstressversuchs 2013, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 14. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker Blätter	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Nordrhein-Westfalen
Glucose (% in TS)	Kontrolle	0,57 \pm 0,28 Ba	0,74 \pm 0,14 Ab
	Stressaufbau langsam	0,37 \pm 0,18 ABa	0,67 \pm 0,27 Ab
	Stressaufbau schnell	0,34 \pm 0,12 Aa	0,81 \pm 0,36 Ab
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,39 \pm 0,19 Aa	0,52 \pm 0,12 Ab
	Stressaufbau langsam	0,52 \pm 0,26 Aa	0,75 \pm 0,29 Bb
	Stressaufbau schnell	0,40 \pm 0,11 Aa	0,92 \pm 0,37 Bb
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	2,50 \pm 0,50 Aa	2,23 \pm 0,24 Aa
	Stressaufbau langsam	2,63 \pm 0,81 Aa	3,61 \pm 0,96 Bb
	Stressaufbau schnell	3,58 \pm 0,71 Ba	3,52 \pm 0,60 Ba
Prolin ($\mu\text{g gTS}^{-1}$)	Kontrolle	105 \pm 58 Ab	49 \pm 34 Aa
	Stressaufbau langsam	148 \pm 85 Aa	141 \pm 57 Ba
	Stressaufbau schnell	105 \pm 34 Aa	141 \pm 36 Bb

Tabelle 17: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Wurzeln von zwei Vorkommen von *Corylus avellana* am Ende des Trockenstressversuchs 2013, Mittelwerte \pm Stabw.; , n = 14. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker Wurzeln	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Nordrhein-Westfalen
Glucose (% in TS)	Kontrolle	0,84 \pm 0,22 Aa	0,90 \pm 0,15 Aa
	Stressaufbau langsam	0,76 \pm 0,28 Aa	1,04 \pm 0,24 Ab
	Stressaufbau schnell	0,67 \pm 0,38 Aa	1,42 \pm 0,44 Bb
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,56 \pm 0,22 Aa	0,58 \pm 0,17 Aa
	Stressaufbau langsam	0,69 \pm 0,33 Aa	1,02 \pm 0,25 Bb
	Stressaufbau schnell	0,61 \pm 0,41 Aa	1,34 \pm 0,47 Bb
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	0,78 \pm 0,46 Aa	1,56 \pm 0,63 Ab
	Stressaufbau langsam	1,34 \pm 0,56 Ba	2,10 \pm 0,80 ABb
	Stressaufbau schnell	1,13 \pm 0,51 ABa	2,33 \pm 0,81 Bb
Prolin	Kontrolle	439 \pm 404 Aa	187 \pm 275 Ab

($\mu\text{g gTS}^{-1}$)	Stressaufbau langsam	389 \pm 250 Aa	368 \pm 230 Ba
	Stressaufbau schnell	337 \pm 173 Aa	185 \pm 153 ABb

Im Vergleich zu 2012 waren 2013 in beiden Vorkommen in Blättern und Wurzeln die Konzentrationen an Glucose, Fructose, Saccharose (Tab. 16, 17) und Stärke (Daten hier nicht dargestellt) niedriger, die Konzentration an Prolin hatte sich in den Blättern nicht verändert, in den Wurzeln war sie 2013 höher als 2012. Der Trockenstress hatte 2013 in dem Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen häufiger zu einer Zunahme der analysierten Biomarker geführt als bei dem Vorkommen aus Brandenburg. Die beiden Vorkommen unterschieden sich 2013 in der Mehrzahl der ermittelten Biomarker; das war 2012 nicht der Fall.

Regenerationspflanzen

Alle Pflanzen haben die Trockenstressbehandlungen überlebt. Allerdings waren zum Teil ganze Triebabscnitte abgestorben. In diesen Fällen kam es zu einem verstärkten Austrieb von darunter liegenden Knospen (Abb. 19).



Abbildung 19: *Corylus avellana*, Vorkommen Nordrhein-Westfalen nach Trockenstress (Variante 25 %) und Wiederbewässerung. Die rot markierten Bereiche zeigen einen Neuaustrieb an.

Diskussion

Aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen für die Trockenstressversuche in den Jahren 2012 und 2013 werden die Ergebnisse für diese Jahre getrennt diskutiert.

Im Trockenstressversuch 2012 traten bei der Veränderung der stomatären Leitfähigkeit, im Predawn Blattwasserpotenzial, im Relativen Wassergehalt und bei der Chlorophyllfluoreszenz (hier eine Ausnahme: Pflanzen des Vorkommens aus Niedersachsen zeigten bei langsamen Stressaufbau niedrigere Werte) keine Unterschiede zwischen den untersuchten Vorkommen auf.

Bei den biochemischen Biomarkern sind bei Fructose und Glucose in den Blättern Unterschiede festzustellen. Bei schnellem Stressaufbau stiegen die Fructose- und Glucosekonzentrationen bei den Vorkommen aus Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz an, bei den Pflanzen aus Brandenburg nicht. Das war auch für Glucose bei langsamer Stressentwicklung der Fall, bei Fructose war bei den Vorkommen aus Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen ein Anstieg zu verzeichnen. Die Saccharosekonzentration nahm bei langsamer Stressentwicklung bei allem Vorkommen ab, bei schneller Stressentwicklung blieb die Konzentration unverändert. In den Wurzeln führten beide Trockenstressvarianten zu einem Anstieg der Saccharose- und Glucosekonzentration, für Fructose war das nicht immer der Fall. Die Prolinkonzentrationen hatten bei beiden Stressvarianten bei allen Vorkommen in Blättern und Wurzeln zugenommen.

Die Höhe der gebildeten Biomarker unterschied sich (bei drei Ausnahmen von 96 Vergleichen) weder bei den bewässerten Pflanzen noch bei denen, die dem Trockenstress ausgesetzt waren zwischen den Vorkommen. Das heißt, in den Fällen, wo trockenstressbedingt Anstiege zu verzeichnen waren, blieben die Konzentrationen auf einem Niveau, das sich nicht von den Vorkommen unterschied, wo ein stressbedingter Anstieg ausblieb.

Die durch den Trockenstress ausgelösten hier dargestellten Veränderungen der Biomarker entsprechen Angaben aus der Literatur (siehe auch 1.2). Bisher wurden keine unterschiedlichen Vorkommen (freie Natur) und nur selten Herkünfte (Forst) bezüglich ihrer Trockenstressreaktionen untersucht. PEUKE et al. (2002) zeigten für Buchensämlinge aus Gebieten mit unterschiedlichen Jahresniederschlägen, dass das Verhalten bei Trockenstress für einige Herkünfte, aber nicht immer, mit dem Niederschlag am Standort erklärt werden konnte. Bei den untersuchten Vorkommen von *Corylus avellana* zeigten die Pflanzen aus Brandenburg keinen Anstieg der untersuchten Biomarker. Das Gebiet, aus dem die Stecklinge geworben wurden, hat sowohl den geringsten Jahresniederschlag als auch den geringsten Niederschlag im Sommer im Vergleich zu den Gebieten in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. In diesen Gebieten unterschieden sich die Jahres- und Sommerniederschläge nur geringfügig (Tab. 3). Die Pflanzen aus diesen Vorkommensgebieten reagierten insbesondere bei schnellem Trockenstressaufbau, d.h. bei einem starken Stressreiz, mit einer Synthese von osmotisch wirksamen Biomarkern. Allerdings unterschieden sich die Konzentrationen nicht von denen in den Pflanzen aus dem Vorkommen in Brandenburg. Die Höhe der Konzentration war also bei dem hier ausgeübten Trockenstress nicht ausreichend, um ein Welken der Blätter zu verhindern oder zu verzögern. Eine Verzögerung könnte im Freiland unter anderen Bedingungen möglich sein, wenn z. B. zwischenzeitlicher Niederschlag zu einer Erholung führt und Wasseraufnahme aus tieferen Bodenbereichen möglich ist.

2013 wurde der Trockenstressversuch mit großer Wahrscheinlichkeit von einer Ozonvorschädigung und -belastung überlagert. Bezüglich der Veränderung der stomatären Leitfähigkeit verhielten sich die Vorkommen Brandenburg und Nordrhein-Westfalen wie im vorherigen Jahr. Die Biomarker und Stärke lagen bei den Kontroll- und bei den Stresspflanzen insgesamt auf einem niedrigeren Niveau als 2012. Die trockenstressbedingten Veränderungen der Biomarker waren für die Pflanzen aus Nordrhein-Westfalen 2013 überwiegend wie im Jahr 2012, bei den Pflanzen aus Brandenburg traten 2013 als Folge von Trockenstress eine Abnahme der Glucosekonzentration (2012 keine Veränderung) und keine Zunahme der Prolinkonzentration (2012 Zunahme) ein; bei Saccharose war das Verhalten uneinheitlich. Im Unterschied zu 2012 unterschieden sich 2013 die Vorkommen in der Höhe der Konzentration in Blättern und Wurzeln bei allen untersuchten Biomarkern (6 Ausnahmen bei 24 Vergleichen) signifikant. Die Konzentrationen waren in den Pflanzen aus Nordrhein-Westfalen bei den analysierten Zuckern höher, bei Prolin meist niedriger als in den Pflanzen aus Brandenburg. Insgesamt hat sich für die Pflanzen des Vorkommens aus Nordrhein-Westfalen das Verhalten bei Trockenstress – auch in Kombination mit einer vermuteten Ozonbelastung – im Vergleich zu den Pflanzen des Vorkommens aus Brandenburg 2013 bestätigt.

3.4 *Prunus spinosa*: Charakterisierung der Pflanzen aus den untersuchten Vorkommen

Tabelle 17 zeigt die Trockensubstanzen von Spross und Wurzeln der Pflanzen aus den Vorkommen Brandenburg (BB), Rheinland-Pfalz (RPF) und Italien (ITA). Aufgrund des Mangels an Pflanzen (siehe 1.1) konnten die Pflanzen der verschiedenen Abstammungsjahre nicht an allen Terminen analysiert werden.

Die Trockensubstanzbildung der Pflanzen aus dem italienischen Vorkommen war größer als die der deutschen Vorkommen, die sich nicht unterschieden (Tab. 18). Auch die analysierten Zucker Glucose, Fructose, Saccharose, sowie Stärke, Prolin, N, P und K unterschieden sich zwischen den Pflanzen aus Rheinland-Pfalz und Brandenburg nicht (Daten hier nicht dargestellt). Demgegenüber wiesen die Pflanzen aus dem italieni-

schen Vorkommen im Frühjahr niedrigere Konzentrationen der analysierten Zucker, an Stärke und N auf (Tab. 19).

Tabelle 18: Sprosstrockenmasse (Alttrieb, Neutrieb, im Sommer Alttrieb, Neutrieb, Blätter; Sommer 2013 auch Früchte) und Wurzeltrockenmasse (g Pflanze⁻¹) von *Prunus spinosa* der Vorkommen Brandenburg (BB), Rheinland-Pfalz (RPF) und Italien (ITA), Mittelwerte \pm Stabw.; n = 4-12, in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Pflanzen.

Vorkommen/ Absteckung	Sommer (2012)		Herbst (2012)		Frühjahr (2013)		Sommer (2013)		Frühjahr (2014)	
	Spross	Wurzeln	Spross	Wurzeln	Spross	Wurzeln	Spross	Wurzeln	Spross	Wurzeln
g Trockensubstanz je Pflanze										
BB/2009			112 \pm 27	113 \pm 46	94 \pm 21	112 \pm 42				
RPF/2009					109 \pm 36	108 \pm 45				
BB/2010	107 \pm 9	69 \pm 3	73 \pm 16	56 \pm 31						
RPF/2010	101 \pm 7	72 \pm 4	63 \pm 28	51 \pm 38						
BB/2011							117 \pm 46	48 \pm 31	141 \pm 45	200 \pm 70
ITA/2011			132 \pm 17	83 \pm 24			176 \pm 32	62 \pm 31	282 \pm 64	232 \pm 69

Tabelle 19: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke, Prolin, N, P und K von *Prunus spinosa* der Vorkommen Brandenburg (BB), und Italien (ITA) der Absteckung 2011, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 9.

	Vorkommen	Sommer (2013)		Frühjahr (2014)	
		Blätter	Wurzeln	Neutrieb	Wurzeln
Glucose (% in TS)	BB	1,00 \pm 0,24	1,04 \pm 0,35	0,25 \pm 0,12	0,34 \pm 0,08
	ITA	1,00 \pm 0,43	1,04 \pm 0,28	0,12 \pm 0,10	0,43 \pm 0,15
Fructose (% in TS)	BB	0,16 \pm 0,07	0,94 \pm 0,38	1,48 \pm 0,42	0,19 \pm 0,09
	ITA	0,23 \pm 0,17	0,83 \pm 0,4	0,13 \pm 0,07	0,47 \pm 0,27
Saccharose (% in TS)	BB	2,42 \pm 0,56	0,77 \pm 0,32	0,99 \pm 0,37	1,14 \pm 0,5
	ITA	2,08 \pm 0,64	0,6 \pm 0,25	0,22 \pm 0,12	0,51 \pm 0,32
Stärke (% in TS)	BB	0,55 \pm 0,19	2,53 \pm 2,38	0,88 \pm 0,31	4,08 \pm 2,45
	ITA	0,26 \pm 0,03	1,16 \pm 1,68	0,68 \pm 0,07	2,45 \pm 1,09
Prolin (μ g g TS ⁻¹)	BB	383 \pm 217	66 \pm 47	284 \pm 108	145 \pm 40
	ITA	203 \pm 141	38 \pm 15	234 \pm 59	103 \pm 12
N (% in TS)	BB	4,21 \pm 0,58	1,07 \pm 0,33	1,39 \pm 0,33	1,73 \pm 0,39
	ITA	4,02 \pm 0,58	0,70 \pm 0,15	0,99 \pm 0,14	0,96 \pm 0,17
P (% in TS)	BB	0,53 \pm 0,11	0,25 \pm 0,06	0,17 \pm 0,04	0,26 \pm 0,06
	ITA	0,56 \pm 0,10	0,16 \pm 0,03	0,13 \pm 0,02	0,18 \pm 0,03
K (% in TS)	BB	2,76 \pm 0,49	0,32 \pm 0,11	0,33 \pm 0,06	0,33 \pm 0,08
	ITA	2,66 \pm 0,49	0,29 \pm 0,13	0,46 \pm 0,10	0,44 \pm 0,08

Aus Abbildung 20 geht hervor, dass die Pflanzen aus dem italienischen Vorkommen einen schnelleren Austrieb hatten als die der deutschen Vorkommen Rheinland-Pfalz und Brandenburg. Die Pflanzen dieser Vorkommen, wie auch derjenigen aus Niedersachsen und Hessen (Daten hier nicht dargestellt), unterschieden sich in ihrem Austriebsverhalten nicht.

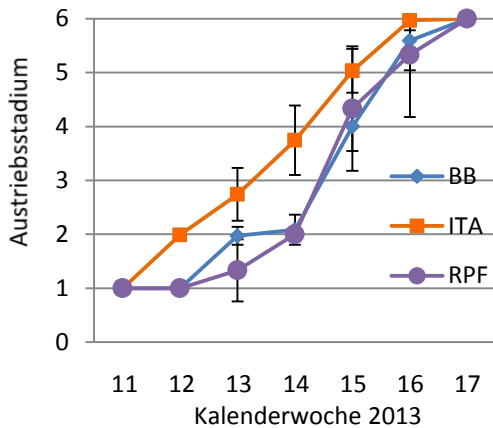


Abbildung 20: Austrieb von *Prunus spinosa* der Vorkommen aus Brandenburg (BB), Rheinland-Pfalz (RPF) und Italien (ITA); Absteckjahr 2011. Mittelwerte \pm Stabw.; n = 71, 90, 3 für BB, ITA, RPF.

3.5 *Prunus spinosa*: Ergebnisse der Spätfrostversuche

Aus Mangel an Pflanzen (siehe 1.1) wurden mit *Prunus spinosa* nur Spätfrostversuche durchgeführt. Außerdem konnten Pflanzen des Vorkommens aus Rheinland-Pfalz nur 2013 untersucht werden. Im folgenden Jahr wurde daher ein Vorkommen aus Italien einbezogen.

Spätfrostversuch 2013 (Vergleich Brandenburg, Rheinland-Pfalz)

Zur Zeit des Spätfrostversuchs (KW 18) befanden sich die Pflanzen überwiegend im Austriebsstadium 6 (Abb. 21). In diesem Entwicklungsstadium wiesen die Triebspitzen auch bei den nicht gefrosteten Trieben einen Relativen Elektrolytverlust von ca. 30 % auf. Durch die Frosteinwirkung stieg der Relative Elektrolytverlust an, die beiden Vorkommen unterschieden sich nicht (Tab. 20).

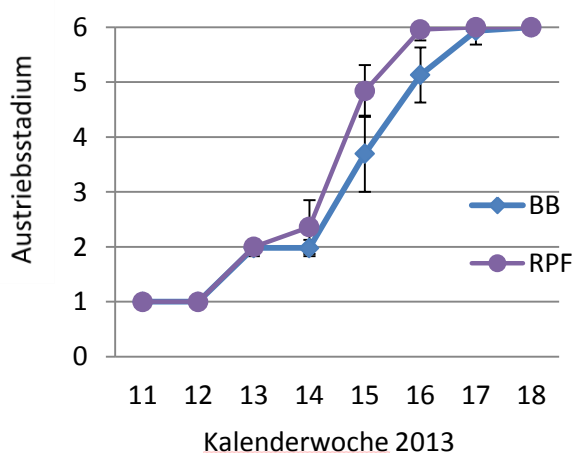


Abbildung 21: Austrieb von *Prunus spinosa* der Vorkommen aus Brandenburg (BB) und Rheinland-Pfalz (RPF); Absteckjahr 2009. Mittelwerte \pm Stabw.; n = 44, 25 für BB, RPF

Tabelle 20: Relativer Elektrolytverlust der Triebspitzen von *Prunus spinosa* der Vorkommen Brandenburg (BB) und Rheinland-Pfalz (RPF) im Spätfrostversuch (KW 18) 2013, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 12, 8 für BB, RPF. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Vorkommen	Variante		
	5° C	-6° C	-12° C
	REL (%)		
Brandenburg	30 \pm 6 Aa	65 \pm 10 Ba	84 \pm 3 Ca
Rheinland-Pfalz	31 \pm 5 Aa	56 \pm 12 Ba	85 \pm 3 Ca

Der Spätfrost führte bei dem Vorkommen aus Rheinland-Pfalz zu einem Anstieg der Glucose- und Fructosekonzentration, die Saccharosekonzentration veränderte sich nicht. In den Frostvarianten hatten die Pflanzen dieses Vorkommens signifikant höhere Glucose- und Saccharosekonzentration als die des Vorkommens aus Brandenburg. In den Pflanzen aus Brandenburg veränderten sich unter Frosteinwirkung die Glucose- und Fructosekonzentration nicht, die Saccharosekonzentration nahm ab. Die Prolinkonzentration unterschied sich zwischen den Vorkommen nicht. Sie nahm für die Pflanzen aus Brandenburg unter Frosteinwirkung zu, für die Pflanzen aus Rheinland-Pfalz war kein Trend zu erkennen (Tab. 21). Die Konzentration an Stärke blieb unter Frosteinwirkung unverändert und zeigte keine Unterschiede zwischen den Vorkommen (Daten hier nicht dargestellt).

Tabelle 21: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin von *Prunus spinosa* der Vorkommen Brandenburg (BB) und Rheinland-Pfalz (RPF) im Spätfrostversuch 2013, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 12, 8 für BB, RPF. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Rheinland-Pfalz
Glucose (% in TS)	Kontrolle	0,44 \pm 0,13 Aa	0,39 \pm 0,10 Aa
	-6 °C	0,40 \pm 0,08 Aa	0,60 \pm 0,16 Bb
	-12 °C	0,48 \pm 0,07 Aa	0,66 \pm 0,12 Bb
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,41 \pm 0,13 Aa	0,39 \pm 0,21 Aa
	-6 °C	0,38 \pm 0,11 Aa	0,47 \pm 0,12 ABa
	-12 °C	0,39 \pm 0,20 Aa	0,60 \pm 0,09 Ba
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	0,82 \pm 0,31 Ba	0,90 \pm 0,41 Aa
	-6 °C	0,72 \pm 0,23 ABa	1,25 \pm 0,30 Ab
	-12 °C	0,56 \pm 0,35 Aa	0,92 \pm 0,25 Ab
Prolin $\mu\text{g g TS}^{-1}$	Kontrolle	371 \pm 143 Aa	331 \pm 90 ABa
	-6 °C	442 \pm 334 Aa	572 \pm 263 Ba
	-12 °C	659 \pm 177 Ba	267 \pm 143 Ab

Spätfrostversuch 2014 (Vergleich Brandenburg, Italien)

Wie in Abbildung 20 für das Jahr 2013 gezeigt, trieben auch 2014 die Pflanzen des italienischen Vorkommens früher aus als die des Vorkommens aus Brandenburg. 62 % der Pflanzen hatten zum Zeitpunkt des Frostversuchs bereits die Boniturstufe 6 erreicht, der Rest hatte die Boniturstufe 5. Bei den Pflanzen aus

Brandenburg wiesen 66 % der Pflanzen die Boniturstufe 4 auf, bei den restlichen Pflanzen traten die Boniturstufen 3 und 5 auf (Daten hier nicht gezeigt).

Als Folge der Frostbehandlung stieg der Relative Elektrolytverlust an; die beiden Vorkommen unterschieden sich bei allen Varianten signifikant (Tab. 22).

Tabelle 22: Relativer Elektrolytverlust der Triebspitzen von *Prunus spinosa* der Vorkommen Brandenburg und Italien im Spätfrostversuch (KW 14) 2014, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 9. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Vorkommen	Variante		
	5 °C	-6 °C	-12 °C
	REL (%)		
Brandenburg	51 \pm 12 Aa	66 \pm 6 Ba	69 \pm 11 Ba
Italien	63 \pm 9 Ab	77 \pm 3 Bb	85 \pm 3 Bb

Bei -6 °C veränderten sich die Konzentrationen an Glucose, Fructose und Saccharose nicht im Vergleich zur Kontrolle, bei -12 °C stiegen sie mit einer Ausnahme an. Bei -12 °C wiesen die Pflanzen des italienischen Vorkommens höhere Fructose- und Saccharosekonzentrationen auf als die Pflanzen aus Brandenburg. Die Prolinkonzentrationen änderten sich stressbedingt nicht; bei -6 °C hatte das Vorkommen aus Brandenburg höhere Konzentrationen als das aus Italien (Tab. 23). Auch die Stärkekonzentrationen änderten sich bei Froststress nicht (Daten hier nicht gezeigt).

Tabelle 23: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin von *Prunus spinosa* der Vorkommen Brandenburg und Italien im Spätfrostversuch 2014, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 9. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Italien
Glucose (% in TS)	5 °C	0,14 \pm 0,10 Aa	0,16 \pm 0,10 Aa
	-6 °C	0,14 \pm 0,06 Aa	0,19 \pm 0,09 ABa
	-12 °C	0,26 \pm 0,07 Ba	0,33 \pm 0,21 Ba
Fructose (% in TS)	5 °C	0,11 \pm 0,04 Aa	0,10 \pm 0,07 Aa
	-6 °C	0,14 \pm 0,05 ABa	0,11 \pm 0,06 Aa
	-12 °C	0,19 \pm 0,05 Ba	1,22 \pm 0,79 Bb
Saccharose (% in TS)	5 °C	0,20 \pm 0,10 Aa	0,21 \pm 0,11 Aa
	-6 °C	0,22 \pm 0,09 Aa	0,18 \pm 0,09 Aa
	-12 °C	0,21 \pm 0,09 Aa	0,91 \pm 0,57 Bb
Prolin ($\mu\text{g g TS}^{-1}$)	5 °C	312 \pm 155 Aa	260 \pm 85 Aa
	-6 °C	352 \pm 68 Ab	283 \pm 65 Aa
	-12 °C	369 \pm 124 Aa	335 \pm 74 Aa

Regenerationspflanzen

Alle Pflanzen haben die Spätfrostbehandlungen überlebt. Eine im Spätfrostversuch stark geschädigte Pflanze mit zum Teil abgestorbenen Trieben zeigt Abbildung 22 als Beispiel. Aber auch hier kam es zu einem Neuaustrieb.



Abbildung 22: *Prunus spinosa*, Vorkommen Italien nach Spätfrost (Variante -12° C) und Weiterkultur. Die rot markierten Bereiche zeigen einen Neuaustrieb an.

Diskussion

Im Spätfrostversuch 2013 unterschieden sich die Vorkommen Brandenburg und Rheinland-Pfalz nicht im frostbedingten Schaden. Bei Frost wiesen die Pflanzen aus Rheinland-Pfalz in 25 % der untersuchten Biomarker signifikant höhere Konzentrationen auf. Diese potenziell cryoprotektiven Substanzen haben sich nicht positiv auf die Spätfrosttoleranz ausgewirkt. Das Gebiet in Rheinland-Pfalz, in dem die Stecklinge gewonnen wurden, hat eine durchschnittliche niedrigere Temperatur im Frühjahr als das Gebiet in Brandenburg. Allerdings muss aufgrund der Topographie in Rheinland-Pfalz mit großen, kleinräumigen Unterschieden gerechnet werden, daher wurde hier die Spannweite von 5-9 °C im Vergleich zu 8-9 °C für das homogenere Gebiet in Brandenburg angegeben (siehe Tab. 3). Tendenziell reagierten die Pflanzen des Vorkommens aus Rheinland-Pfalz aber mit einem frostbedingten Anstieg der Biomarker.

2014 wurde aus Mangel an Pflanzen aus Rheinland-Pfalz ein Vorkommen aus Norditalien (ca. 90 km südlich von Bozen, in der Nähe des Garda-Sees) einbezogen. Die Pflanzen dieses Vorkommens waren zum Zeitpunkt des Spätfrostversuchs deutlich weiter ausgetrieben als die Pflanzen aus Brandenburg und zeigten einen signifikant höheren frostbedingten Schaden. Die Konzentration an Biomarkern unterschied sich (zwei Ausnahmen) zwischen den Vorkommen nicht. Der höhere Frostschaden kann auf das weiter entwickelte Austriebsstadium zurückgeführt werden.

In beiden Jahren wiesen auch die Kontrollvarianten hohe Werte für den Relativen Elektrolytverlust auf. Es stellt sich die Frage, ob diese Werte bereits auf einen Schaden hinweisen. TASCHLER et al. (2004) zeigte für fünf Gehölzarten, dass die Phase der Blattentfaltung bei Frost am empfindlichsten ist. Temperaturen, bei denen ein erster Schaden auftrat, lagen zwischen ca. -3 °C und -6 °C. Mit fortschreitender Blattentwicklung nahm die Frostempfindlichkeit wieder ab. In den im Projekt durchgeführten Versuchen befanden sich die Pflanzen überwiegend und für das Vorkommen aus Italien vollständig in der Phase der Blattentfaltung. Die Kontrollvariante hatte 5 °C; eine Schädigung dieser Pflanzen erscheint daher unwahrscheinlich. Temperaturen, bei denen 100 % der Pflanzen abstarben, lagen bei TASCHLER et al. (2004) zwischen ca. -4 °C und -11 °C (abhängig von der Art).

In den Versuchen des Projekts überlebten alle Pflanzen, allerdings traten zum Teil abgestorbene Triebe auf.

3.6 *Prunus spinosa*: Ergebnisse der Trockenstressversuche

Trockenstressversuche wurden 2012 mit Pflanzen der Vorkommen aus Brandenburg und Rheinland-Pfalz durchgeführt, 2013 mit Pflanzen der Vorkommen aus Italien und Brandenburg; es standen keine Pflanzen aus Rheinland-Pfalz und anderen Vorkommen aus Deutschland mehr zur Verfügung. Bei den Pflanzen aus Brandenburg handelte es sich um Stecklinge aus den Jahren 2010 bzw. 2011.

Trockenstressversuch 2012 (Vergleich Brandenburg, Rheinland-Pfalz)

Die Pflanzen der Vorkommen aus Brandenburg und Rheinland-Pfalz unterschieden sich bei Trockenstress nicht in der Veränderung des Predawn Blattwasserpotenzials (Abb. 23), der stomatären Leitfähigkeit und der Chlorophyllfluoreszenz (Daten hier nicht gezeigt).

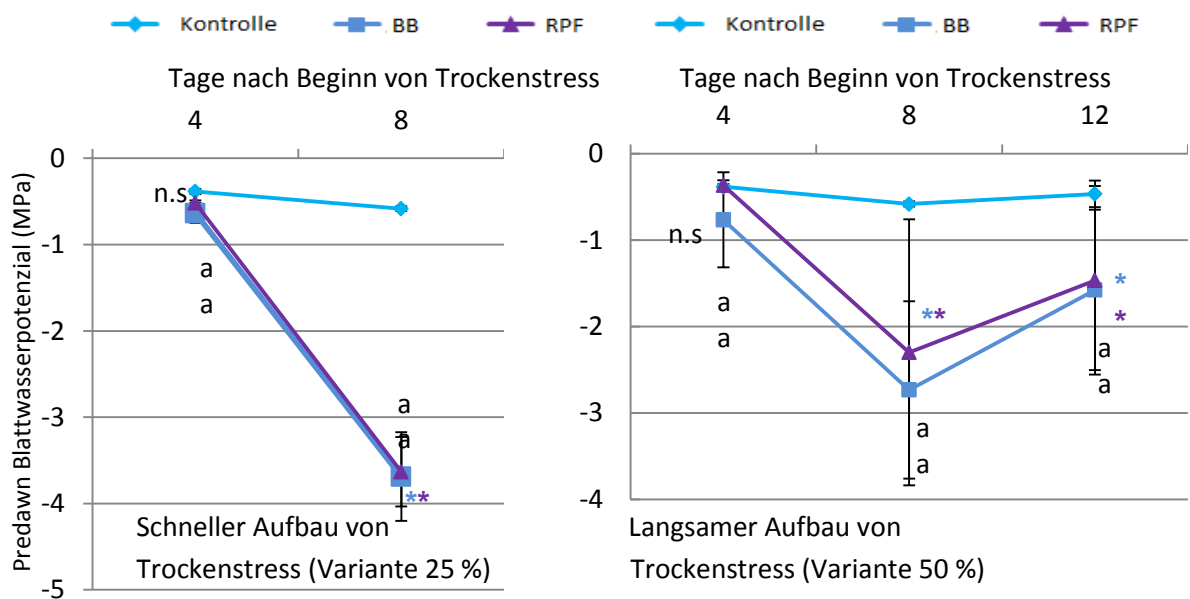


Abbildung 23: Predawn Blattwasserpotenzial der Vorkommen Brandenburg (BB) und Rheinland-Pfalz (RPF) von *Prunus spinosa* bei schnell und langsam entstehendem Trockenstress (2012), Mittelwerte \pm Stabw.; n = 3 während der Stressperiode, n = 9 am Ende der Stressperiode, **, n.s. zeigt signifikante bzw. keine signifikanten Unterschiede je Vorkommen zwischen der Kontrolle und der Stressvariante an; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

In den Blättern hatte am Ende des Trockenstress nur die Fructosekonzentration zugenommen, in den Wurzeln stiegen Glucose, Fructose und Saccharose an (Tab. 24, 25). Die Stärkekonzentration nahm in den Wurzeln ab. In den Blättern war bei Stärke sowohl bezogen auf den Trockenstress als auch auf die beiden Vorkommen kein einheitlicher Trend zu erkennen (Zunahmen und Abnahmen, Daten hier nicht gezeigt). Prolin stieg sowohl in den Blättern als auch in den Wurzeln an (Tab. 24, 25). Bei den genannten Biomarkern traten keine Unterschiede zwischen den Pflanzen aus Brandenburg und Rheinland-Pfalz auf (Tab. 24, 25).

Tabelle 24: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Blättern der Vorkommen Brandenburg (BB), Rheinland-Pfalz (RPF) von *Prunus spinosa* im Trockenstressversuch 2012, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 9. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker Blätter	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Rheinland-Pfalz
Glucose (% in TS)	Kontrolle	0,68 \pm 0,27 Aa	0,76 \pm 0,13 Aa
	Stressaufbau langsam	0,96 \pm 0,33 Aa	0,94 \pm 0,25 Aa
	Stressaufbau schnell	0,92 \pm 0,24 Aa	0,80 \pm 0,21 Aa
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,30 \pm 0,09 Aa	0,26 \pm 0,14 Aa
	Stressaufbau langsam	0,70 \pm 0,18 Ba	0,51 \pm 0,11 Ba
	Stressaufbau schnell	0,70 \pm 0,22 Ba	0,59 \pm 0,09 Ba
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	2,83 \pm 0,35 Aa	2,43 \pm 0,56 Aa
	Stressaufbau langsam	2,72 \pm 0,73 Aa	2,47 \pm 0,43 Aa
	Stressaufbau schnell	2,30 \pm 0,88 Aa	2,29 \pm 0,42 Aa
Prolin ($\mu\text{g g TS}^{-1}$)	Kontrolle	130 \pm 46 Aa	114 \pm 52 Aa
	Stressaufbau langsam	1213 \pm 495 Ba	907 \pm 396 Ba
	Stressaufbau schnell	1707 \pm 717 Ba	1713 \pm 493 Ba

Tabelle 25: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Wurzeln der Vorkommen Brandenburg und Rheinland-Pfalz von *Prunus spinosa* im Trockenstressversuch 2012, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 9. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker Wurzeln	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Rheinland-Pfalz
Glucose (% in TS)	Kontrolle	0,05 \pm 0,05 Aa	0,09 \pm 0,22 Aa
	Stressaufbau langsam	0,55 \pm 0,20 Ba	0,26 \pm 0,04 Ba
	Stressaufbau schnell	0,65 \pm 0,18 Ba	0,55 \pm 0,17 Ba
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,70 \pm 0,10 Aa	0,62 \pm 0,36 Aa
	Stressaufbau langsam	0,92 \pm 0,25 Ba	0,99 \pm 0,21 Ba
	Stressaufbau schnell	1,06 \pm 0,20 Ba	0,97 \pm 0,17 Ba
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	0,63 \pm 0,16 Aa	0,69 \pm 0,60 Aa
	Stressaufbau langsam	2,66 \pm 1,01 Ba	2,43 \pm 0,29 Ba
	Stressaufbau schnell	3,39 \pm 1,24 Ba	2,85 \pm 0,61 Ba
Prolin ($\mu\text{g g TS}^{-1}$)	Kontrolle	86 \pm 41 Aa	83 \pm 26 Aa
	Stressaufbau langsam	438 \pm 259 Ba	351 \pm 199 Ba
	Stressaufbau schnell	420 \pm 190 Ba	375 \pm 185 Ba

Trockenstressversuch 2013 (Vergleich Brandenburg, Italien)

Die Pflanzen im Trockenstressversuch 2013 trugen unreife Früchte. Der Fruchtbesatz der Pflanzen aus dem italienischen Vorkommen war stärker als bei denen des Vorkommens aus Brandenburg.

Bis zum Tag 3 des Trockenstresses zeigten die Pflanzen aus dem italienischen Vorkommen eine schnellere Abnahme der stomatären Leitfähigkeit als die Pflanzen aus Brandenburg. Dieses war bei schnellem Stressaufbau auch signifikant. Im weiteren Verlauf des Trockenstresses waren die Unterschiede zwischen den beiden Vorkommen nicht mehr signifikant (Abb. 24).

Trotz des schnellen Schließens der Stomata nahm der Relative Wassergehalt der Pflanzen aus dem italienischen Vorkommen schneller und stärker ab als bei den Pflanzen aus Brandenburg. Mit fortschreitendem Trockenstress unterschieden sich die Vorkommen nicht mehr voneinander (Tab. 26).

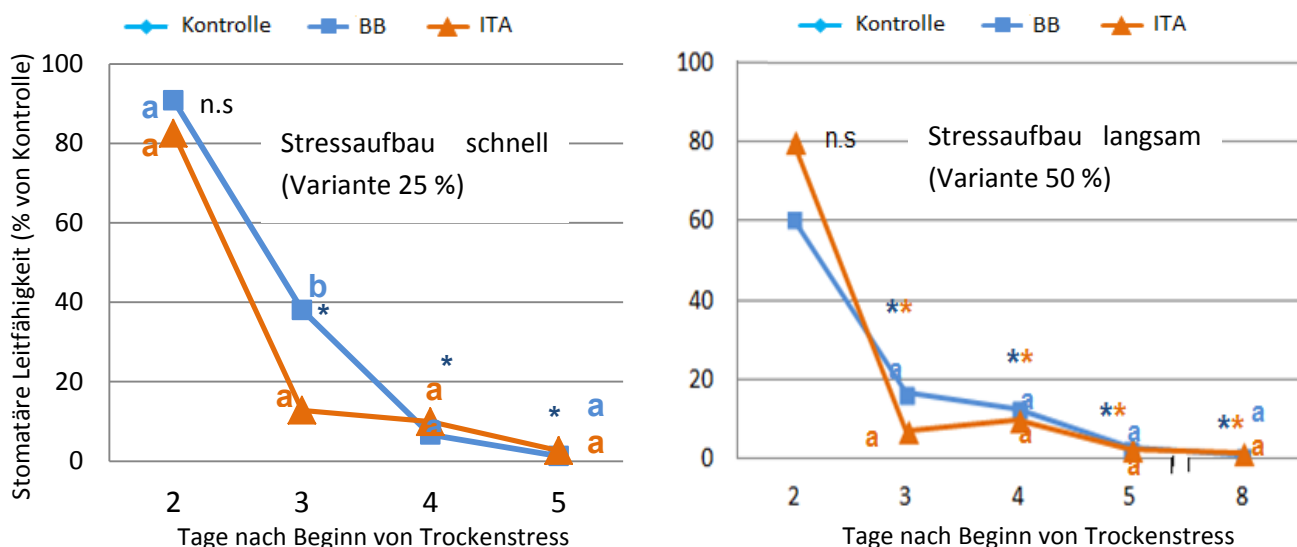


Abbildung 24: Stomatäre Leitfähigkeit (% der Kontrolle) der Vorkommen Brandenburg (BB) und Italien (ITA) von *Prunus spinosa* bei schnell und langsam entstehendem Trockenstress 2013, Mittelwerte; n = 3 während der Stressperiode, n = 9 am Ende der Stressperiode. ** zeigt signifikante Unterschiede je Vorkommen zwischen der Kontrolle und der Stressvariante an; n.s. = keine signifikanten Unterschiede zwischen Stressvariante und Kontrolle, unterschiedliche Buchstaben geben Unterschiede zwischen den Vorkommen (BB, ITA) an; Tukey Test, $p \leq 0,05$. Berechnet mit den gemessenen Werten.

Tabelle 26: Relativer Wassergehalt der Vorkommen Brandenburg (BB) und Italien (ITA) von *Prunus spinosa* bei schnell und langsam entstehendem Trockenstress (2013), Mittelwerte \pm Stabw.; n = 3 während der Stressperiode, n = 9 am Ende der Stressperiode. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Vorkommen	Variante	Tage nach Beginn von Trockenstress		
		3	5	8
		Relativer Wassergehalt (%)		
BB	Kontrolle	87,8 \pm 5,4 Aa	95,7 \pm 2,2 Aa	94,0 \pm 4,1 Aa
ITA	Kontrolle	92,7 \pm 3,6 Aa	93,8 \pm 3,5 Aa	89,5 \pm 2,4 Ab
BB	Stressaufbau langsam	85,3 \pm 7,2 Aa	73,0 \pm 7,8 Ba	63,4 \pm 12,0 Ba
ITA	Stressaufbau langsam	76,7 \pm 5,1 Bb	70,5 \pm 8,3 Ba	54,3 \pm 15,5 Ba
BB	Stressaufbau schnell	87,0 \pm 6,7 Aa	64,2 \pm 9,8 Ba	
ITA	Stressaufbau schnell	75,5 \pm 10,5 Bb	55,9 \pm 5,6 Ca	

Auch das Predawn Blattwasserpotenzial nahm zu Beginn des Trockenstresses bei den Pflanzen des italienischen Vorkommens schneller ab als bei denen aus Brandenburg. Die Unterschiede waren bei dem langsamen und schnellen Stressaufbau signifikant. Zum Ende der Trockenstressperiode unterschieden sich die beiden Vorkommen nicht (Daten hier nicht gezeigt).

Die Konzentration an Glucose und Fructose stieg in den Blättern als Folge des Trockenstresses an, die Vorkommen unterschieden sich nicht. Saccharose nahm nur in dem Vorkommen aus Brandenburg stressbedingt zu, die Pflanzen wiesen eine signifikant höhere Konzentration auf als die des Vorkommens aus Italien. Die Konzentration an Prolin stieg in beiden Vorkommen bei Trockenstress an. Bei schnellem Stressaufbau zeigten die Pflanzen des italienischen Vorkommens eine signifikant höhere Konzentration als die des Vorkommens aus Brandenburg (Tab. 27). In den Wurzeln war in dem Vorkommen aus Brandenburg eine Zunahme der Konzentration an Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin zu verzeichnen; in den Pflanzen des italienischen Vorkommens nahm nur die Saccharosekonzentration zu. Die Vorkommen unterschieden sich in der Höhe dieser gebildeten Biomarker nicht (Tab. 28). Der Trockenstress führte zu einer Abnahme der Stärkekonzentration in den Blättern, in den Wurzeln blieb sie unverändert. Die Vorkommen unterschieden sich mit einer Ausnahme nicht (das Vorkommen aus Brandenburg wies bei langsamem Stressaufbau eine signifikant höhere Stärkekonzentration in den Blättern auf als das Vorkommen aus Italien; Daten hier nicht gezeigt).

Tabelle 27: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Blättern der Vorkommen Brandenburg und Italien von *Prunus spinosa* im Trockenstressversuch 2013, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 9. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker Blätter	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Italien
Glucose (% in TS)	Kontrolle	1,00 \pm 0,24 Aa	1,01 \pm 0,41 Aa
	Stressaufbau langsam	1,97 \pm 0,54 Ba	2,50 \pm 1,00 ABa
	Stressaufbau schnell	1,56 \pm 0,23 Ba	1,55 \pm 0,62 Ba
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,15 \pm 0,08 Aa	0,23 \pm 0,19 Aa
	Stressaufbau langsam	0,77 \pm 0,27 Ba	1,03 \pm 0,42 Ba
	Stressaufbau schnell	0,84 \pm 0,13 Ba	0,77 \pm 0,29 Ba
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	2,41 \pm 0,54 Aa	2,07 \pm 0,63 Aa
	Stressaufbau langsam	3,67 \pm 0,53 Bb	2,12 \pm 0,91 Aa
	Stressaufbau schnell	3,52 \pm 0,66 Bb	2,90 \pm 0,55 Aa
Prolin ($\mu\text{g g TS}^{-1}$)	Kontrolle	383 \pm 217 Aa	203 \pm 141 Aa
	Stressaufbau langsam	1404 \pm 635 Ba	1357 \pm 465 Ba
	Stressaufbau schnell	2081 \pm 374 Ba	3389 \pm 981 Cb

Tabelle 28: Konzentration von Glucose, Fructose, Saccharose und Prolin in den Wurzeln der Vorkommen Brandenburg und Italien von *Prunus spinosa* im Trockenstressversuch 2013, Mittelwerte \pm Stabw.; n = 9. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an; kleine Buchstaben zwischen den Vorkommen, große Buchstaben zwischen den Varianten; Tukey Test, $p \leq 0,05$.

Biomarker Wurzeln	Variante	Vorkommen	
		Brandenburg	Italien
Glucose (% in TS)	Kontrolle	1,05 \pm 0,36 Aa	1,06 \pm 0,28 Aa
	Stressaufbau langsam	1,67 \pm 0,33 Ba	1,49 \pm 0,57 Aa
	Stressaufbau schnell	1,45 \pm 0,22 Ba	1,16 \pm 0,41 Aa
Fructose (% in TS)	Kontrolle	0,94 \pm 0,40 Aa	0,83 \pm 0,38 Aa
	Stressaufbau langsam	1,71 \pm 0,31 Ba	1,37 \pm 0,69 Aa
	Stressaufbau schnell	1,27 \pm 0,25 Ba	0,95 \pm 0,44 Aa
Saccharose (% in TS)	Kontrolle	0,77 \pm 0,31 Aa	0,61 \pm 0,27 Aa
	Stressaufbau langsam	4,21 \pm 0,46 Ba	4,19 \pm 1,19 Ba
	Stressaufbau schnell	3,28 \pm 1,08 Ba	2,82 \pm 1,18 Ba
Prolin ($\mu\text{g g TS}^{-1}$)	Kontrolle	66 \pm 47 Aa	38 \pm 15 Aa
	Stressaufbau langsam	743 \pm 260 Ba	823 \pm 497 Ba
	Stressaufbau schnell	476 \pm 237 Ba	862 \pm 700 Ba

Regenerationspflanzen

Alle Pflanzen haben die Trockenstressversuche überlebt. Abbildung 25 zeigt als Beispiel für eine starke Schädigung eine Pflanze, an der zum Teil ganze Triebabschnitte abgestorben sind. Allerdings kam es auch dann in den darunter liegenden Bereichen nach Wiederbewässerung zu einem Neuaustrieb.



Abbildung 25: *Prunus spinosa*, Vorkommen Italien nach Trockenstress (Variante 25 %) und Wiederbewässerung. Die rot markierten Bereiche zeigen einen Neuaustrieb an.

Diskussion

Trotz der unterschiedlich hohen Niederschläge in den Gebieten Brandenburg und Rheinland-Pfalz (siehe Tab. 3) unterschieden sich die Pflanzen im Versuchsjahr 2012 nicht in ihren physiologischen und biochemischen Stressreaktionen. Der Vergleich der Pflanzen aus dem Vorkommen in Brandenburg mit denen aus dem Vorkommen in Italien im Versuchsjahr 2013 zeigte in den frühen Stadien des Trockenstresses Unterschiede. Das Vorkommen aus Italien kommt aus einem Gebiet mit deutlich höheren Niederschlägen als in Rheinland-Pfalz (Tab. 3). Die Pflanzen aus diesem Gebiet reagierten bei Trockenstress mit einer schnelleren Abnahme der stomatären Leitfähigkeit als die Pflanzen aus Brandenburg (Abb. 24). Dennoch nahmen der Relative Wassergehalt (Tab. 25) und das Predawn Blattwasserpotenzial (ohne Abb.) bei diesen Pflanzen

stärker ab als bei denen aus Brandenburg. Zum Ende des Trockenstressversuchs unterschieden sich die Vorkommen nicht mehr. Das schnellere Schließen der Stomata der Pflanzen des italienischen Vorkommens konnte das Welken also nicht verzögern. Die Pflanzen aus Italien waren größer als die aus Brandenburg. Dieses wurde bei der Bewässerung berücksichtigt, konnte aber vermutlich nicht vollständig ausgeglichen werden. Eine weitere mögliche Ursache ist der größere Besatz mit unreifen Früchten dieser Pflanzen (ca. 30 % mehr Frischmasse an Früchten, Daten hier nicht gezeigt) im Vergleich zu denen aus Brandenburg zum Zeitpunkt des Versuchs. Für *Vitis vinifera* L. wurde gezeigt, dass unreife Früchte – im Gegensatz zu reifen – einen hohen, nicht kontrollierbaren Wasserverlust bei Trockenheit haben (BONDADA und SHUTTHANANDAN 2012). Die typische Vermeidungsstrategie bei Trockenstress – Schließen der Stomata – blieb bei fortschreitendem Wassermangel daher bei den Pflanzen des italienischen Vorkommens unwirksam. Bei den analysierten Zuckern und Prolin traten in Blättern und Wurzeln bei dem Vorkommen aus Brandenburg immer stressbedingte Zunahmen ein, bei dem Vorkommen aus Italien weniger häufig. Die Höhe der analysierten Biomarker unterschied sich – abgesehen von Saccharose in den Blättern - zwischen den beiden Vorkommen nicht. Die Pflanzen des italienischen Vorkommens hatten eine niedrigere Saccharosekonzentration als die aus Brandenburg.

3.7 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die in dem Projekt ermittelten Daten charakterisieren erstmalig Pflanzen verschiedener Vorkommen von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* in Deutschland in Bezug auf Wachstum (Spross- und Wurzelmasse), ausgewählte physiologische Eigenschaften und Phänologie unter optimalen Wachstumsbedingungen. Die Daten stellen eine umfangreiche Grundlage für weitere Vergleiche dar.

Auch die Ergebnisse der Frühfrost-, Spätfrost- und Trockenstressversuche geben erstmalig einen Einblick in die Anpassungsfähigkeit der beiden untersuchten Arten an die zum Teil extremen Stressbedingungen in den Versuchen und liefern damit wertvolle Hinweise für die Baumschulwirtschaft und für die weitere Verwendung der Pflanzen in der freien Natur.

Für die untersuchten Vorkommen konnte – mit einer Ausnahme der Pflanzen aus Brandenburg bei Trockenstress - keine unterschiedliche Anpassungsfähigkeit an Trocken- und Froststress unter definierten Bedingungen festgestellt werden. Bezogen auf die Anpassungsfähigkeit und ohne Berücksichtigung genetischer Aspekte könnten Pflanzen innerhalb der in dem Projekt berücksichtigten geografischen und ökologischen Bedingungen - abgesehen von Brandenburg - auch außerhalb ihrer Vorkommensgebiete verwendet werden. Die geringen Niederschläge in Brandenburg legen im Zusammenhang mit Trockenstresstoleranz eine bevorzugte Verwendung von gebietsheimischen Pflanzen in diesem Vorkommensgebiet nahe. Vor dem Hintergrund von § 40 des Bundesnaturschutzgesetzes könnten bei *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* bei Mangel an gesicherter heimischer Ware Pflanzen aus Vorkommen mit ähnlichen Wachstumsbedingungen verwendet werden. Die große Streuung aller in den Untersuchungen dieses Projekts ermittelten Kennwerte weist auf eine große Plastizität der Reaktionen hin und unterstreicht die Möglichkeit der Verwendung von Pflanzen aus geografisch und klimatisch ähnlichen Vorkommensgebieten.

Außerdem stellt sich die Frage nach der Anzahl der zurzeit gültigen Vorkommensgebiete. Im Rahmen der in diesem Projekt untersuchten Vorkommen scheinen die geografischen und ökologischen Unterschiede nicht groß genug zu sein, um eine unterschiedliche Anpassungsfähigkeit der Pflanzen hervorzurufen. Diese Vermutung wird durch das bei Trockenstress von den anderen Vorkommen abweichende Verhalten der Pflanzen aus Brandenburg mit deutlich geringeren Niederschlägen im Vergleich zu den anderen Vorkommen bestätigt. Auch die Ergebnisse für *Prunus spinosa* und das Einbeziehen des Vorkommens aus Italien mit deutlich unterschiedlichen klimatischen Bedingungen weist in diese Richtung. In der Literatur wird für baumartig wachsende Gehölze dann von Herkunftsunterschieden berichtet, wenn die geografischen (Breitengrad, Höhe über NN) und klimatischen Bedingungen große Unterschiede aufweisen (z. B. LI et al. 2000,

TAULAVUORI et al. 2004, LI et al. 2005, LEI et al. 2006). Es bleibt allerdings zu klären (siehe 5.), ab wann geografische und klimatische Unterschiede groß genug sind, um unterschiedliche Anpassungen hervorzurufen.

4 Zusammenfassung

Die Versuche wurden mit vegetativ vermehrten Pflanzen im Alter von 1-4 Jahren verschiedener Vorkommen durchgeführt. Bei *Corylus avellana* wurden die Stecklinge von Mutterpflanzen in Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz genommen, bei *Prunus spinosa* von Mutterpflanzen in Brandenburg, Rheinland-Pfalz und Norditalien (Nähe Garda-See). Die Pflanzen wurden unter optimalen Bedingungen im Freiland in Containern kultiviert und in einem Folienhaus überwintert.

Mit den Pflanzen wurden Frühfrost-, Spätfrost- und Trockenstressversuche unter kontrollierten Bedingungen (Klimakammern, Gewächshaus) in zwei aufeinander folgenden Jahren durchgeführt. Die Anzahl an Wiederholungen in den Stressversuchen lag zwischen 6 und 14.

Die Temperaturvarianten in den Frühfrostversuchen waren -17 °C, -27 °C, bei Wurzeln -6 °C; in den Spätfrostversuchen -6 °C und -12 °C; die Kontrolle hatte in beiden Versuchen 5 °C. Die Stressvarianten in den Trockenstressversuchen waren „schneller Aufbau von Trockenstress“ (alle 2 Tage wurden je Pflanze 25 % der evapotranspirierten Wassermenge gegeben) und „langsamer Aufbau von Trockenstress“ (alle 2 Tage wurden je Pflanze 50 % der evapotranspirierten Wassermenge gegeben); die Kontrolle wurde zweimal täglich durch Anstaubewässerung optimal versorgt.

Im Frühjahr, Sommer und Herbst wurde das Wachstum der Pflanzen über die gebildete Frisch- und Trockensubstanz von Spross und Wurzeln ermittelt, ferner die N-, P- und K-Konzentration in der Trockensubstanz sowie Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke und Prolin. Austrieb der vegetativen Knospen und Triebabschluss wurden bonitiert.

Die Frostversuche wurden mit Pflanzenteilen (obere Abschnitte der Neutriebe, Wurzeln) durchgeführt, die Trockenstressversuche mit ganzen Pflanzen. In den Frost und Trockenstressversuchen wurden Glucose, Fructose, Saccharose, Stärke und Prolin als Biomarker analysiert. In den Trockenstressversuchen wurden außerdem das Predawn Blattwasserpotenzial, der Relative Wassergehalt, die stomatäre Leitfähigkeit und die Chlorophyllfluoreszenz gemessen. Ferner wurde eine Bonitur der Welkesymptome durchgeführt. In den Frostversuchen wurde der stressbedingte Schaden durch den Relativen Elektrolytverlust bestimmt. Je nach Verfügbarkeit wurden Pflanzen nach den Stressversuchen weiter kultiviert; ihr Wachstum wurde beschrieben.

Die Charakterisierung der Pflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode zeigte bei *Corylus avellana* keine Unterschiede zwischen den untersuchten Vorkommen. Auch Triebabschluss und Austrieb (vegetative Knospen) unterschieden sich nicht zwischen den Vorkommen.

In den Früh- und Spätfrostversuchen traten überwiegend keine Unterschiede im frostbedingten Schaden (Relativer Elektrolytverlust) und in den analysierten Biomarkern auf. In den wenigen Fällen, in denen Unterschiede ermittelt wurden, traten sie zwischen dem Vorkommen aus Brandenburg und dem aus Rheinland-Pfalz und – wo im Vergleich vorhanden – dem Vorkommen aus Nordrhein-Westfalen auf. Hier handelte es sich aber immer nur um einzelne Parameter der jeweiligen Vorkommen; die Vorkommen unterschieden sich nie in allen untersuchten Eigenschaften.

Auch in den Trockenstressversuchen traten keine Unterschiede im stressbedingten Schaden (Chlorophyllfluoreszenz) und in den physiologischen Reaktionen zwischen den untersuchten Vorkommen auf. Die Konzentration der analysierten Zucker und Prolin unterschied sich nicht zwischen den Vorkommen. Allerdings zeigte das Vorkommen aus Brandenburg im Gegensatz zu den anderen Vorkommen bei Trockenstress keinen Anstieg der Biomarker. Das Gebiet, aus dem die Stecklinge aus Brandenburg geworben wurden, hat

sowohl den geringsten Jahresniederschlag als auch den geringsten Niederschlag im Sommer im Vergleich zu den Gebieten der anderen Vorkommen.

Sowohl in den Frost- als auch in den Trockenstressversuchen haben die Regenerationspflanzen aller Stressvarianten überlebt. Aufgrund der Schädigung der Triebspitzen war oft die apikale Dominanz des längsten Triebes gebrochen und es kam zu einem verstärkten Austrieb der darunter liegenden Knospen.

Insgesamt zeigte sich für *Corylus avellana*, dass im Rahmen der untersuchten Vorkommen Unterschiede tendenziell zu den Pflanzen aus Brandenburg auftraten. Dieses war bei Trockenstress deutlicher ausgeprägt als bei Froststress.

Auch für *Prunus spinosa* ergab die Charakterisierung der Pflanzen im Verlauf der Vegetationsperiode keine Unterschiede zwischen den beiden deutschen untersuchten Vorkommen. Die Pflanzen aus dem italienischen Vorkommen wiesen ein stärkeres Wachstum und im Frühjahr niedrigere Konzentrationen der analysierten Zucker und Stärke auf als die Pflanzen des Vorkommens aus Brandenburg.

In den Spätfrostversuchen zeigte sich im Vergleich der beiden deutschen Vorkommen kein Unterschied im Austrieb und im Frostschaden (Relativer Elektrolytverlust). Die Konzentration der analysierten Zucker und von Prolin war in dem Vorkommen aus Rheinland-Pfalz oft höher als in dem Vorkommen aus Brandenburg. Bei dem Vergleich des deutschen Vorkommens aus Brandenburg und dem italienischen Vorkommen wiesen die Pflanzen aus Italien einen höheren Frostschaden (Relativer Elektrolytverlust) auf. Diese Pflanzen waren zum Zeitpunkt des Frostversuchs weiter ausgetrieben als die Pflanzen aus Brandenburg. Die beiden Vorkommen unterschieden sich überwiegend nicht in den analysierten Biomarkern.

Auch im Trockenstressversuch unterschieden sich die beiden untersuchten deutschen Vorkommen nicht. Der Vergleich der Vorkommen aus Brandenburg und Italien zeigte für die Pflanzen aus Italien zu Beginn des Trockenstresses eine schnellere Abnahme der stomatären Leitfähigkeit. In dem Gebiet des italienischen Vorkommens ist der Niederschlag deutlich höher als in Brandenburg. Das schnelle Schließen der Stomata der Pflanzen aus Italien ist eine typische Vermeidungsstrategie bei Trockenheit, an die diese Pflanzen nicht gut angepasst sind. Trotz der schnellen Abnahme der stomatären Leitfähigkeit bei den Pflanzen aus Italien unterschieden sich mit fortschreitendem Trockenstress die beiden Vorkommen nicht mehr. Dieses wird auf den nicht kontrollierbaren Wasserverlust der unreifen Früchte der Pflanzen aus Italien zurückgeführt, denn die Masse der Früchte war bei diesen Pflanzen größer als bei denen aus Brandenburg.

In allen Stressversuchen und bei allen Stressvarianten haben die Regenerationspflanzen überlebt. In Teilbereichen abgestorbene Triebe zeigten in den darunter liegenden Abschnitten einen neuen Austrieb.

Insgesamt zeigte sich für *Prunus spinosa*, dass zwischen den beiden untersuchten Vorkommen aus Rheinland-Pfalz und Brandenburg keine Unterschiede im Rahmen der durchgeführten Versuche auftraten. Die Ergebnisse für das Vorkommen aus Italien zeigten, dass mit unterschiedlichem Verhalten der Pflanzen bei Spätfrost und bei Trockenheit dann zu rechnen ist, wenn sich die klimatischen Bedingungen der Vorkommensgebiete stärker unterscheiden als es im Rahmen der in dem Projekt verwendeten deutschen Vorkommen der Fall ist.

5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, Stellungnahme zur Übertragbarkeit der Ergebnisse, Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Für *Corylus avellana* wurden die geplanten Ziele erreicht.

Für *Prunus spinosa* konnten aus Mangel an Pflanzen nicht alle vorgesehenen Versuche durchgeführt werden; die Vorkommen wurden nicht bei Frühfrost untersucht. Auch die Auswahl der Vorkommen richtete sich nach der Verfügbarkeit der Pflanzen. Vor diesem Hintergrund ist es allerdings als positiv zu bewerten, dass solche Vorkommen untersucht wurden, die sich – im Rahmen aller möglichen Vorkommen des Projekts - in ihren klimatischen Bedingungen relativ stark unterscheiden. Auch das Einbeziehen der Pflanzen des italienischen Vorkommens mit noch stärker abweichenden klimatischen Bedingungen konnte die Da-

ten- und Diskussionsgrundlage für die Beantwortung der Frage nach der Anpassungsfähigkeit von Vorkommen hilfreich erweitern.

Grundsätzliche Aussagen zur Anpassungsfähigkeit verschiedener Vorkommen von *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* können allerdings nicht gemacht werden. Die Wahl der durch das MuD-Projekt vorgegebenen Vorkommensgebiete deckte nur einen Teil der geografischen und klimatischen Bedingungen in Deutschland ab. Im Rahmen der untersuchten Vorkommen deutet sich an, dass dann mit Unterschieden gerechnet werden kann, wenn sich diese Bedingungen stark unterscheiden. Hier liegen auch Ansätze für weiter führende Untersuchungen. Um aufzuzeigen, wie groß geografische und klimatische Unterschiede sein müssen, um Veränderungen in der Anpassungsfähigkeit zu bewirken, sollten Vorkommen gezielt aus einer Abstufung unterschiedlicher geografischer und klimatischer Bedingungen untersucht werden.

Die Ergebnisse sind auch nicht auf andere Gehölzarten übertragbar. Schon im Rahmen dieses Projektes zeichnete sich ab, dass es bezüglich der Trockenstresstoleranz für *Corylus avellana* Unterschiede zwischen dem Vorkommen aus Brandenburg mit geringen Niederschlägen und anderen untersuchten Vorkommen mit höheren Niederschlägen gibt, für *Prunus spinosa* waren diese Trends nicht zu erkennen (Vergleich Brandenburg – Rheinland-Pfalz). Diese Unterschiede können mit der artspezifischen Trockentoleranz zusammenhängen, *Corylus avellana* ist nach ROLOFF (2008) bei der Kategorie „Trockentoleranz als problematisch eingestuft, *Prunus spinosa* wird demgegenüber von HIEKE (1989) als verträglich für trockene Standorte beschrieben. Unterschiedliche klimatische Bedingungen in den Vorkommensgebieten, hier am Beispiel der Niederschläge, können sich daher in Abhängigkeit von der Trockentoleranz der Gehölzarten unterschiedlich auf ihre Reaktionen bei Trockenheit auswirken. Bei einer Verwendung von Arten mit geringer Trockentoleranz in Vorkommensgebieten mit geringen Niederschlägen ist voraussichtlich mit Anpassungsschwierigkeiten zu rechnen, während dieses für Arten mit hoher Trockentoleranz weniger wahrscheinlich ist. Außerdem zeigte es sich bei *Prunus spinosa*, dass das Vorhandensein von unreifen Früchten zum Zeitpunkt des Trockenstresses Auswirkungen auf die Reaktionen bei Trockenheit hat. Auch in dieser Hinsicht sind die Ergebnisse nicht auf andere Gehölzarten übertragbar. Bezüglich der Winterhärte werden beide hier untersuchten Arten gleich eingestuft (HIEKE 1989, ROLOFF 2008). Allerdings wurde im Projekt nicht die Winterhärte (Tief frosthärte ca. Januar-Februar), sondern die Frühfrost- und Spätfrosttoleranz untersucht. Im Zusammenhang mit der für die weitere Entwicklung der Gehölze wichtigen Spätfrosttoleranz sind die für die einzelnen Gehölzarten unterschiedlichen Anforderungen an das Kältebedürfnis einerseits und die für den Austrieb erforderliche Wärmesumme andererseits zu berücksichtigen. Auch hier können die Ergebnisse für *Corylus avellana* und *Prunus spinosa* nicht auf andere Gehölzarten übertragen werden.

Die in diesem Projekt ermittelten Daten deuten im Zusammenhang mit dem MuD-Projekt an, dass es nicht immer einen Zusammenhang zwischen genetischen und physiologischen Unterschieden zwischen den untersuchten Vorkommen gibt (LEINEMANN et al. 2013a, b, 2014). Hier bietet sich eine weiter führende Auswertung der vorhandenen Daten an.

6 Literaturverzeichnis

- AREND, M., T. KUSTER, M.S. GÜNTHARDT-GOERG, M. DOBBERTIN (2011): Provenance-specific growth responses to drought and air-warming in three European oak species (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*). *Tree Physiol.* 31(3), 287-297.
- ARNDT, S.K., W. WANER, S. C. CLIFFORD, M. POPP (2000): Contrasting adaptations to drought stress in field-grown *Ziziphus mauritiana* and *Prunus persica* trees: water relations, osmotic adjustment and carbon isotope composition. *Australian Journal of Plant Physiology* 27(11), 985-996.
- BANO, A., A. REHMAN, M. WINIGER (2009): Altitudinal variation in the content of protein, proline, sugar and abscisic acid (ABA) in the alpine herbs from Hunza valley, Pakistan. *Pak. J. Bot.* 41(4), 1593-1602.
- BATES, L.S (1973): Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39, 205-207.

- BOHNE, H., L. SALOMON, D. GERHARD (2011): Influence of provenance and fertilization in the tree nursery on outplanting performance and N-, P-, and K-content of *Viburnum opulus* L. in shoots and roots. J. Environ. Hort. 29(3), 137-142.
- BONDADA, B., J. SHUTTHANANDAN (2012): Understanding differential responses of grapevine (*Vitis vinefera* L.) leaf and fruit to water stress and recovery following re-watering. Am. J. Plant Sci. 3, 1232-1240.
- BOUDET, A., C. LAPIERRE, J. GRIMA-PETTENATI (1995): Tansley review No. 80. Biochemistry and molecular biology of lignification. New Phytologist, 129(80), 203–236.
- BMU (Hrsg., 2012): Leitfaden zur Verwendung gebietseigener Gehölze. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Referat N I 3.
- BUNDESNATURSCHUTZGESETZ (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG).
- CHMURA, D.J., R. ROŻKOWSKI (2002): Variability of beech provenances in spring and autumn phenology. Silvae Genetica, 51(2-3), 123–127.
- ÉPRON, D., E. DREYER (1996): Starch and soluble carbohydrates in leaves of water-stressed oak saplings. Ann. Sci. For. 53, 263-268.
- FAN, S., T.J. BLAKE (1994): Abscisic acid induced electrolyte leakage in woody species with contrasting ecological requirements. Physiologia Plantarum 90(2), 414-419.
- FRONIA, R. (2008): Prüfung der Identität und Variabilität gebietsheimischer und gebietsfremder Herkünfte von *Prunus spinosa* L. und *Cornus sanguinea* L. zur Verwendung in der freien Landschaft. Dissertation. Humboldt-Universität zu Berlin.
- GANSERT, D., K. BACKES, Y. KAKUBARI (1999): Altitudinal seasonal variation of frost resistance of *Fagus crenata* and *Betula ermanii* along the Pacific slope of Mt. Fuji, Japan. J. of Eco. 87, 382–390.
- GÉNÉRÉ, B., D. GARRIOU, O. OMARZAD, J.P. GRIVET, D. HAGÈGE (2004): Effect of a strong cold storage induced desiccation on metabolic solutes, stock quality regrowth, in seedlings of two oak species. Trees 18(5), 559–565.
- GUY, C., F. KAPLAN, J. KOPKA, J. SELBIG, D.K. HINCHA (1998): Association of proteins with the stress 70 molecular chaperones at low temperature: evidence for the existence of cold labile proteins in spinach. Cryobio. 36(4), 301–314.
- HIEKE, K. (1989): Praktische Dendrologie. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin
- HOCH, G., M. POPP, C. KÖRNER (2002): Altitudinal increase of mobile carbon pools in *Pinus cembra* suggests sink limitation of growth at the Swiss treeline. Oikos 3, 361–374.
- JONES, A.T., M.J. HAYES, N.R. SACKVILLE HAMILTON (2001): The effect of provenance on the performance of *Crataegus monogyna* in hedges. J. App. Eco. 38(5), 952–962.
- KLIMAATLAS BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND: www.dwd.de
- KRAUSE, G.H., E. WEIS (1984): Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology. II. Interpretation of fluorescence signals. Photosynthesis Research 5, 139-157.
- KÖRNER, C., BASLER, D. (2010): Science 327, 1461. Phenology under global warming.
- KUSTER, T.M., M. AREND, M.S. GÜNTHARDT-GEORG, R. SCHULIN (2013): Root growth of different oak provenances in two soils under drought stress and air warming conditions. Plant Soil 369, 61-71.
- LEE, J.H., D.J. YU, S.J. KIM, D. CHOI, H.J. LEE (2012): Intraspecific differences in cold hardiness, carbohydrate content and β -amylase gene expression of *Vaccinium corymbosum* during cold acclimation and deacclimation. Tree Physiol., 32(12), 1533–1540.
- LEI, Y., C. YIN, C. LI (2006): Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. Physiologia Plantarum 127, 182-191.

- LEINEMANN, L., W. STEINER, B. HOSIUS (2013a): Vorkommensgebiete bei Hasel genetisch bestätigt. Deutsche Baumschule 65(2), 31–33.
- LEINEMANN, L., W. STEINER, B. HOSIUS, O. KUCHMA, W. ARENHÖVEL, B. FUSSI, R. FINKELDEY (2013b): Genetic variation of chloroplast nuclear markers in natural populations of hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Germany. Plant Syst. Evo. 299(2), 369–378.
- LEINEMANN, L., J. KLEINSCHMIT, B. FUSSI, B. HOSIUS, O. KUCHMA, W. ARENHÖVEL, P. LEMMEN, R. KÄTZEL, M. ROGGE, R. FINKELDEY (2014): Genetic composition and differentiation of sloe (*Prunus spinosa* L.) populations in Germany with respect to the tracing of reproductive plant material. Plant Syst. Evo. 300(4), 2115-2125.
- LEMONS FILHO, J.P., M. F. GOULART, M. B. LOVATO (2004): Chlorophyll fluorescence parameters in populations of two legume trees: *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (Mimosoideae) and *Cassia ferruginea* (Schrad.) Schrad. Ex DC. (Caesalpinoideae). Rev. Bras. Botany 27(3), 527-532.
- LI, C., F. BERNINGER, J. KOSKELA, E. SONNINEN (2000): Drought responses of *Eucalyptus microtheca* provenances depend on seasonality of rainfall in their place of origin. Aust. J. Plant Physiol. 27, 231-238.
- LI, C., A. WELLING, T. PUHAKAINEN, A. VIHÄRÄ-AARNIO, A. ERNSTSEN, O. JUNTILA, P. HEINO, E. TAPIO (2005): Differential responses of silver birch (*Betula pendula*) ecotypes to short-day period and low temperature. Tree Physiol. 25, 1563-1569.
- LUX, D., S. LEONARDI, J. MÜLLER, A. WIEMKEN, W. FLÜCKIGER (1997): Effects of ambient ozone concentrations on contents of non-structural carbohydrates in young *Picea abies* and *Fagus sylvatica*. New Phytol. 137, 399-409.
- MARTIN, U., S.G. PALLARDY, Z.A. BAHARI (1987): Dehydration tolerance of leaf tissues of six woody angiosperm species. Physiologia Plantarum 69(1), 182-186.
- MAXWELL, K., G.N. JOHNSON (2000): Chlorophyll fluorescence – a practical guide. Journal of Experimental Botany 51(345), 659-668.
- MCKAY, H.M. (1992): Electrolyte leakage from fine roots of conifer seedlings: a rapid index of plant vitality following cold storage. Can. J. For. Res. 22, 1371-1377.
- MCKAY, H.M., S. WHITE (1997): Fine root electrolyte leakage and moisture content: indices of Sitka spruce and Douglas-fir seedling performance after desiccation. New Forests 13(1-3), 139-162.
- MENA-PETITE, A., A. ROBREDO, S. ALCALDE, M.K. DUNABEITIA, M.B. GONZÁLES-MORO, M. LACUESTA, A. MUNOZ-RUEDA (2003): Gas exchange and chlorophyll fluorescence responses of *Pinus radiata* D. Don seedlings during and after several storage regimes and their effects on post-planting survival. Trees 17, 133-143.
- OGAYA, R., J. PENUÉLAS (2003): Comparative field study of *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*: photosynthetic response to experimental drought conditions. Environmental and Experimental Botany 50, 137-148.
- ÖGREN, E. (1990): Evaluation of chlorophyll fluorescence as a probe for drought stress in willow leaves. Plant Physiol. 93, 1280-1285.
- ÖGREN, E. (2001): Effects of climatic warming on cold hardiness of some northern woody plants assessed from simulation experiments. Physiologia Plantarum 112, 71-77.
- OVASKA, J.A., J. NILSEN, F.E. WIELGOLASKI, H. KAUKANEN, R. PARTANEN (2005): Phenology and performance of mountain birch provenances in transplant gardens : latitudinal, altitudinal and oceanity – continentality gradients. In: WIELGOLASKI, F.E., P.S. KARLSSON, S. NEUVONEN, D. THANNHEISER (ed.), Plant ecology, herbivory and human impact in Nordic mountain birch forests. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 180, 99–115.
- PERCIVAL, G.C., C. N. SHERIFFS (2002): Identification of drought tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence. Journal of Arboriculture 28(5), 215-223.
- PEUKE, A.D., C. SCHRAML, W. HARTUNG, H. RENNENBERG (2002): Identification of drought-sensitive beech ecotypes by physiological parameters. New Phytologist 154, 373-387.
- PICON-COCHARD, C., J.-M. GUEHL (1999): Leaf gas exchange and carbohydrate concentrations in *Pinus pinaster* plants subjected to elevated CO₂ and a soil drying cycle. Ann. For. Sci. 56, 71-76.

- PIPPER, C.B., C. RITZ, H. BISGAARD (2012): A versatile method for confirmatory evaluation of the effects of a covariate in multiple models. *J. Royal Stat. So. Series C (Applied Statistics)* 61, 315–326.
- POIRIER, M., A. LACOINTE, T. AMÉGLIO (2010): A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. *Tree Physiol.* 30(12), 1555–69.
- R. 3.0.3, RDEVELOPMENT CORE TEAM (2014): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria, URL <http://www.R-project.org/>.
- RENAUT, J., L. HOFFMANN, J.-F. HAUSMAN (2005): Biochemical and physiological mechanisms related to cold acclimation and enhanced freezing tolerance in poplar plantlets. *Physiologia Plantarum* 125, 82-94.
- ROHÁČEK, K. (2002): Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. *Photosynthetica* 40(1), 13-29.
- ROLOFF, A. (2008) in: *Klimawandel und Gehölze. Sonderheft Grün ist Leben.* Hrsg. Bund deutscher Baumschulen. Pinneberg.
- RUMPF, H. (2002): *Phänotypische, physiologische und genetische Variabilität bei verschiedenen Herkünften von *Viburnum opulus* L. und *Corylus avellana* L.* Dissertation. Universität Hannover.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, J., P. PÉREZ, R. MARTÍNEZ-CARRASCO (1999): Photosynthesis, carbohydrate levels and chlorophyll fluorescence-estimated intercellular CO₂ in water-stressed *Casuarina equisetifolia* Forst. & Forst. *Plant, Cell and Environment* 22, 867-873.
- SANTARIUS, K.A. (1973): The protective effect of sugars on chloroplast membranes during temperature and water stress and its relation to frost, desiccation and heat resistance. *Planta* 113, 105-114.
- SAUTER, J., B. CLEVE (1994): Storage, mobilization and interrelations of starch, sugars, protein and fat in the ray storage tissue of poplar trees. *Trees* 8(6), 297–304.
- SCHMITT, S. (2003): *Genetische Vielfalt und Vernetzung verschiedener Teilpopulationen von *Corylus avellana* L. und *Prunus spinosa* L. an Wald- und Wegrändern des Sollings.* Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.
- SCHÜTE, G., SARVAS, M. (1999): Elektrolytverlustmessung als Testmethode zur Vitalitätsbestimmung von Eichensämlingen. *Forstarchiv* 70, 133-138.
- SHI, P., C. KÖRNER, G. HOCH (2006): End of season carbon supply status of woody species near the treeline in western China. *Basic and Applied Eco.* 7(4), 370–377.
- TASCHLER, D., B. BEIKIRCHER, G. NEUNER (2004): Frost resistance and ice nucleation in leaves of five woody timberline species measured in situ during shoot expansion. *Tree Physiol.* 24(3), 331–337.
- TAULAVUORI, K.M.J., E.B. Taulavuori, O. SKRE, J. NILSEN, B. IGELANDT, K.M. LAINE (2004): Dehardening of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) ecotypes at elevated winter temperatures. *New Phytologist* 162, 427-436.
- THOMAS, F.M., AHLERS, U. (1999): Effects of excess nitrogen on frost hardiness and freezing injury of above-ground tissue in young oaks (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *New Phytologist* 144, 73-83.
- VERSLUES, P.E., M. AGARWAL, S. KATIYAR-AGARWAL, J. ZHU and J-K. ZHU (2006): Methods concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant J.* 45, 523–539.
- VITASSE, Y., BRESSON, C. C., KREMER, A., MICHALET, R., DELZON, S. (2010). Quantifying phenological plasticity to temperature in two temperate tree species. *Functional Ecology* 24 (6), 1211-1218.
- WALTON, E.F., E. PODIVINSKY, R.-M. WU, P.H.S. REYNOLDS, L.W. YOUNG (1998): Proline and bud break. *Physiologia Plantarum.*, 102, 171–178.
- WANJIKU, J., H. BOHNE (2015): Early frost reactions of different populations of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Europ. J. Hort. Sci.* 80(4), 162-169.
- WANJIKU, J., H. BOHNE (2015): Late frost reactions of different populations of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Europ. J. Hort. Sci.*, zur Veröffentlichung angenommen.

- YILDIZ, D., P. NZOKOU, A. DELIGOZ, I. KOC and M. GENÇ (2014): Chemical and physiological responses of four Turkish red pine (*Pinus brutia* Ten.) provenances to cold temperature treatments. *Europ. J. For. Res.* 1-10.
- YUANYUAN, M., Z. YALI, L. JIANG, S. HONGBO (2009): Roles of plant soluble sugars and their responses to plant cold stress. *Afri. J. Biot.* 8(10), 2004–2010.
- ZHAO, D., C.T. MACKOWN, P.J. STARKS, B.K. KINDIGER (2010): Rapid analysis of nonstructural carbohydrate components in grass forage using microplate enzymatic assays. *Crop Sci.* 50(4), 1537-1545.