

Abschlussbericht zum Kurzprojekt klifW015

Mikroklimatische Bedingungen in handelsüblichen und biologisch abbaubaren Wuchshüllen

BAYERISCHE
FORSTVERWALTUNG 



Impressum

Projektleitung

Prof. Dr. Bernhard Schuldt
Universität Würzburg,
Julius-von-Sachs-Institut für Biowissenschaften
Lehrstuhl für Ökophysiologie und Vegetationsökologie

Herausgeber

Bayerische Landesanstalt
für Wald und Forstwirtschaft
Abteilung
Controlling, Forschungsförderung, Großrauminventuren
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1
85354 Freising

Freising, Juli 2023

Inhalt

1 Zusammenfassung	1
2 Darstellung des derzeitigen Kenntnisstandes	2
3 Darstellung des Forschungsansatzes und Methodik	3
4 Wissenschaftliche Ergebnisse des Vorhabens	5
5 Diskussion der Ergebnisse mit Schlussfolgerungen	11
6 Verwertungsmöglichkeiten der Ergebnisse	13
7. Erfolgsaussichten nach Projektende – Umsetzung in die Praxis	13
8 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte	13
9 Literaturliste	13

Abschlussbericht zum Kurzprojekt klifW015, Mikroklimatische Bedingungen in handelsüblichen und biologisch abbaubaren Wuchshüllen (KLIMAHÜLLE)

1. Zusammenfassung

In einem replizierten Feldversuch wurde die tatsächliche Reduktion der photosynthetisch aktiven Strahlung in verschiedenen handelsüblichen Plastikwuchshüllen und innovativen biologisch abbaubaren Varianten ermittelt sowie mögliche negative Gewächshauseffekte erhoben, da es bei Überschreitung von artspezifischen Grenzwerten zur Dehydrierung des Gewebes kommen kann. Hierfür wurden die Lufttemperatur und die Verdunstungsbeanspruchung innerhalb der Wuchshüllen kontinuierlich aufgezeichnet. Bei vier der sechs Wuchshüllentypen wurden im inneren eine Reduktion der photosynthetisch aktiven Strahlung von im Mittel 27% festgestellt, wobei bei den Papier-Wuchshüllen lediglich 5% und bei den transparenten Ventex Clear Plastikhüllen 78% der Strahlung der Kontrolle festgestellt wurde. Bei der Temperatur und dem Sättigungsdefizit der Luft (VPD, kPa) konnten im Mittel über die Vegetationsperiode hinweg zwei Gruppen festgestellt werden. Die biologisch abbaubaren Papier- und Holzwuchshüllen ähnelten der Kontrolle während in sämtlichen Plastikwuchshüllen deutlich höhere Werte erzielt wurden. Die tägliche Maximaltemperatur in den Plastikwuchshüllen lag im Mittel 5.63 °C und das tägliche maximale Sättigungsdefizit der Luft 1.63 kPa über den Bedingungen der Kontrolle und in den Papier- und Holzwuchshüllen.

Zusätzlich sollte der Anwuchserfolg während der Etablierungsphase von einer klimatoleranten Licht- (Traubeneiche) und einer Schattenbaumart (Elsbeere) innerhalb der unterschiedlichen Wuchshüllentypen ermittelt und in Bezug zu den mikroklimatischen Bedingungen im inneren der Wuchshüllen gesetzt werden. Nach Abschluss der ersten Vegetationsperiode wiesen die Jungbäume der Traubeneiche einen durchschnittlichen Zuwachs im Wurzelhalsdurchmesser von 32% und einen durchschnittlichen Höhezuwachs von 47% auf, wobei signifikante Unterschiede zwischen den Wuchshüllentypen festgestellt wurden. Die Jungbäume der Elsbeere wiesen ebenfalls einen durchschnittlichen Zuwachs im Wurzelhalsdurchmesser von 30% und einen durchschnittlichen Höhezuwachs von 58% auf. Bei beiden Baumarten mit unterschiedlicher Schattentoleranz wurden signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Wuchshüllentypen festgestellt. Der größte Längenzuwachs wurde in Plastikwuchshüllen festgestellt.

Trotz der teilweise extremen Verdunstungsbeanspruchung in den Plastikwuchshüllen kam es zu keinen erhöhten Ausfällen, die festgestellten Mortalitätsraten waren mit Ausnahme der Papierwuchshüllen überall vergleichbar. Aufgrund des sehr geringen Lichtgenusses in den Papierwuchshüllen um 5% der Kontrolle wurden hier jedoch Ausfallraten zwischen 50-70% je nach Baumart festgestellt, eine Verwendung dieser biologisch abbaubaren Alternative kann daher nicht empfohlen werden. Eine finale Evaluierung der verschiedenen Wuchshüllentypen wird nach frühestens drei Vegetationsperioden erfolgen. Zum jetzigen Zeitpunkt nach lediglich einer Vegetationsperiode muss festgestellt werden, dass der von den Herstellern angepriesene „Gewächshauseffekt“ vor allem in der Etablierungsphase das Längenwachstum innerhalb von Plastikwuchshüllen begünstigt. Demgegenüber wird es als vielversprechend erachtet, dass die mikroklimatischen Bedingungen und die Zuwachsraten in den vollständig und rückstandslos biologisch abbaubaren Holzwuchshüllen der Kontrolle am ähnlichsten sind.

2. Darstellung des derzeitigen Kenntnisstandes (Literatur)

Im Zuge des Waldumbaus sowie als Folge von großflächigen Schadereignissen nach Sturm, Hitze oder Trockenheit (Senf et al. 2020, 2021) ergibt sich ein erhöhter Bedarf zur Begründung und Aufforstung von standorts- und klimagerechten Mischwäldern. Aufgrund der hohen Schalenwildichte muss dabei in der Etablierungsphase der Pflanzungen ein Verbissschutz in Form eines Zaunes oder Einzelschutzes durch Wuchshüllen etabliert werden (Hammer 2013). In Bayern konnte für private und Körperschaftswälder eine finanzielle Förderung in Anspruch genommen werden. Im Zuge des Waldumbaus kamen daher vermehrt Plastikwuchshüllen zum Einsatz. Insgesamt wurden in den Jahren 2014 bis 2018 1,8 Mio. Wuchshilfen nach dem waldbaulichen Förderprogramm (WALDFÖPR) des Freistaates Bayern im Privat- und Körperschaftswald ausgebracht und mit 2 Mio. € bezuschusst (Bayerischer Landtag, Drucksache 17/3887).

Die Notwendigkeit für den Einsatz von Wuchshüllen wurde mit dem Bedarf für eine rasche Begründung von klimagerechten Mischwäldern sowie dem gezielten Einbringen von Edellaubhölzern begründet. Aufgrund des benötigten Arbeitsaufwandes für den Rückbau werden Wuchshüllen jedoch häufig nicht als Abfall aus dem Wald entfernt, wodurch es zum Eintrag von Mikroplastik in das Waldökosystem kommt. Dies hat unter anderem weitreichende Konsequenzen für das Mikrobiom des Bodens und damit verbundene Nahrungsketten (De Souza Machado et al. 2018; Ng et al. 2021). Für Baden-Württemberg haben Hein et al. (2019) hochgerechnet, dass von jährlich 400.000 ausgebrachten handelsüblichen Wuchshüllen aus Polypropylen oder vergleichbaren Werkstoffen bis zu 80% je nach Waldbesitzart nicht zurückgebaut werden. Die Autoren geben an, dass in den letzten 20 Jahren dementsprechend bis zu 4,5 Mio. Wuchshüllen in Wäldern dieses Bundeslandes verbleiben. Gerade in den letzten Jahren wird die Förderung von Wuchshüllen daher kontrovers betrachtet.

Die inzwischen eingestellte Förderung wurde weiter damit begründet, dass Wuchshüllen bei ausreichendem Lichtangebot den Anwuchserfolg erhöhen können (Bayerischer Landtag, Drucksache 17/3887). Dies geht jedoch teilweise zulasten der Stabilität aufgrund des erhöhten Längenwachstums (Bergez & Dupraz 2009; Jäger et al. 2018; Hein et al. 2020). Aufgrund der festgestellten Reduktion der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) um bis zu 70% (Bergez & Dupraz 2009; De Castro et al. 2014) wird eine Verwendung vor allem auf Freiflächen empfohlen. Hier kommt es jedoch ebenfalls zu einem „Gewächshauseffekt“, welches den Zuwachs in der Etablierungsphase begünstigen soll. In Anbetracht der Temperaturzunahme der vergangenen Jahrzehnte (Schuldt et al. 2020) bleibt es jedoch fraglich, ob dieser angepriesene positive Mikroklimateffekte innerhalb der Wuchshülle den Zuwachs tatsächlich begünstigt oder stattdessen zu einer Schädigung der Kulturen aufgrund von Hitzestress führt. Dabei gilt zu bedenken, dass vor allem Schattenbaumarten, welche zwar mit dem reduzierten Lichtgenuss gut zurechtkommen, von den höheren Temperaturen und somit höherer Verdunstungsbeanspruchung negativ betroffen sein könnten. Vor allem bei Lufttemperaturen über 40°C kommt es zu einem sprunghaften Anstieg des residualen Wasserverlustes trotz geschlossener Spaltöffnungen (Bueno et al. 2019), welcher zur Dehydrierung des Gewebes und letztendlich zum trockenstress-induziertem Absterben der Kultur führen kann. Dementsprechend ist es nicht verwunderlich, dass Oliet & Jacobs (2018) eine artspezifische Konfiguration der Wuchshüllen empfehlen aufgrund der erhöhten Verdunstungsbeanspruchung innerhalb der Hüllen.

Bisher lagen lediglich zwei wissenschaftliche Studien aus Südeuropa vor, welche im kleinen Rahmen das Mikroklima inklusive der Lichtreduktion innerhalb von jeweils einem Plastikwuchshüllentyp untersucht haben (Bergez & Dupraz 2009; De Castro et al. 2014). Für das Klima der kühlgemäßigten sommergrünen Laubwälder wurden bis zu unserer Untersuchung meines Wissens nach keine vergleichbaren Studien durchgeführt, auch nicht inwieweit sich unterschiedliche Materialien negativ auf den Lichtgenuss und die Verdunstungsbeanspruchung innerhalb der Wuchshüllen auswirken. Es ist anzunehmen, dass hier vor allem Naturmaterialien wie Holz einen deutlichen Vorteil gegenüber Varianten aus Polypropylen, trotz Lüftungsöffnungen, haben sollten. Gerade in Anbetracht der Zunahme an Hitzeperioden sowie der Vermeidung von Mikroplastikeintrag in Waldökosysteme wäre dies ein wichtiges Argument für ihren Einsatz.

3. Darstellung des Forschungsansatzes und Methodik

Im Rahmen des Kurzprojekts klifW015 wurden die mikroklimatischen Wuchsbedingungen sowie das Wuchsverhalten von zwei heimischen Baumarten innerhalb drei handelsüblicher Plastikvarianten mit denen von drei biologisch abbaubaren Produkten verglichen (Tabelle 1).

Folgende Teilziele wurden bearbeitet:

- Charakterisierung des Lichtbedarfs von Haupt- und Nebenbaumarten in der Etablierungsphase anhand von Licht-Antwort-Kurven, erhoben mit einem transportablen Photosynthesemessgerät am Julius-von-Sachs-Institut der Universität Würzburg.
- Quantifizierung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) sowie der maximalen Lufttemperatur und dementsprechend der Verdunstungsbeanspruchung in sechs verschiedenen Wuchshüllenvarianten.
- Überprüfung des Wuchsverhaltens von einer Licht- und einer Schattenbaumart in der Etablierungsphase in sechs unterschiedlichen Wuchshüllenvarianten, repliziert auf drei Störungsflächen.

Tab. 1: Auflistung der zu untersuchenden Wuchshüllen und Hersteller, den verwendeten Ausgangsmaterialien, der Dimensionen sowie Anschaffungskosten.

Wuchshülle	Hersteller	Material	Länge (cm)	Durchmesser (cm)	Kosten (€)
Microvent	PlantaGard	Polypropylen	120	10	1.55
Wuchshülle SG	Die Wuchshülle SG	Polypropylen	120	9.5	1.90
Ventex Clear	Tubex	Polypropylen	120	8-12	3.25
Dendron	Walthermeyer	Holz	120	8-12	3.70
BioWit Classic	Witasek	Biokunststoff	120	14	4.95
BioWit NT Natur	Witasek	Papier	120	11-12	2.05

Auf drei kleineren Störungsflächen (jeweils 0.25 ha) im Universitätswald Sailershausen, Universität Würzburg, wurden insgesamt 63 Sensorsysteme (3 Flächen x 6 Wuchshüllentypen + Kontrolle x 3 Replikate) zur Bestimmung der photosynthetisch aktiven Strahlung sowie der Lufttemperatur und Luftfeuchte (CS310 und HygroVUE5, Campbell Scientific, Bremen, Deutschland) im Inneren der Hüllen auf 40 cm Höhe installiert. Zusätzlich wurde das Wuchsverhalten von über 2.000 Jungbäumen zweier Baumarten mit unterschiedlichem Lichtbedarf auf den drei Störungsflächen im Universitätswald Sailershausen in der Etablierungsphase untersucht.



Abb. 1: Installation der 21 Messsysteme auf einer der drei Störungsflächen im Universitätswald Sailershausen sowie Vorbereitung der Pflanzung nach einem randomisierten Blockdesign.

Hierfür wurden je Wuchshüllentyp und Standort 48 Individuen der Baumarten Traubeneiche (*Quercus petraea*, Lichtbaumart) und Elsbeere (*Sorbus torminalis*, Schattenbaumart) im Untersuchungsjahr nach einem randomisierten Blockdesign ausgebracht, sowie 48 Kontrollpflanzungen ohne Wuchshülle (Pflanzabstand 2 x 1.5 m). Insgesamt ergeben sich hierdurch (6 Wuchshüllentypen + 1 Kontrolle) x 16 Individuen x 3 Blocks x 3 Flächen x 2 Arten = 2.016 Individuen. Nach Niinemets & Valladares (2006) liegt die Schattentoleranz der Traubeneiche bei 2,45 und die der Elsbeere bei 3,74 (Werteskala von 1 (geringe Toleranz) bis 5 (hohe Toleranz)). Zum Zeitpunkt der Pflanzung hatten die Jungbäume der Traubeneiche einen Wurzelhalsdurchmesser von $5,27 \pm 0,04$ mm und eine Höhe von $31,46 \pm 0,29$ cm (Mittelwert \pm Standardfehler), Jungbäume der Elsbeere wiesen einen vergleichbaren Wurzelhalsdurchmesser von $5,66 \pm 0,03$ mm und eine Höhe von $32,74 \pm 0,44$ cm auf. Zur Vermeidung von Störungen der Kontrolle durch Schalenwildverbiss wurden die drei Flächen zusätzlich eingezäunt. Die Pflanzung aller Individuen fand im Zeitraum von 12/2021 bis 01/2022 statt, die Installation der Sensorsysteme und der Wuchshüllen war zu Beginn der Vegetationsperiode 2022 abgeschlossen. Seit der Pflanzung Anfang 2022 wurden bisher zwei Inventuren durchgeführt (02/2022 und 09/2022), bei welcher jeweils Höhe und Wurzelhalsdurchmesser aufgenommen wurden.



Abb. 2: Übersichtaufnahme der finalen Installation auf einer der Störungsflächen.

4. Wissenschaftliche Ergebnisse des Vorhabens

Charakterisierung des Lichtbedarfs von Haupt- und Nebenbaumarten in der Etablierungsphase anhand von Licht-Antwort-Kurven

An 10 temperaten Laubbaumarten mit unterschiedlicher Schattentoleranz (siehe Tab. 1) wurden Licht-Antwortkurven erstellt zur Abschätzung der CO₂-Assimilationsrate bei einer gegebenen Lichtintensität. Es wurde ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen der angegebenen Schattentoleranz nach Niinemets & Valladares (2006) und der CO₂-Assimilationsrate bei den unterschiedlichen photosynthetisch aktiven Photonendichte (PPFD) festgestellt (A_{200} : $r^2 = 0,36$, $P > 0,05$; A_{300} : $r^2 = 0,32$, $P > 0,05$; A_{600} : $r^2 = 0,39$, $P > 0,05$; A_{900} : $r^2 = 0,31$, $P > 0,05$). Über die 10 Laubbaumarten hinweg ergab sich der Zusammenhang, dass je höher die Schattentoleranz umso geringer die CO₂-Assimilationsrate bei einer gegebenen Lichtintensität ausfällt (Abb. 1, Tab. 2).

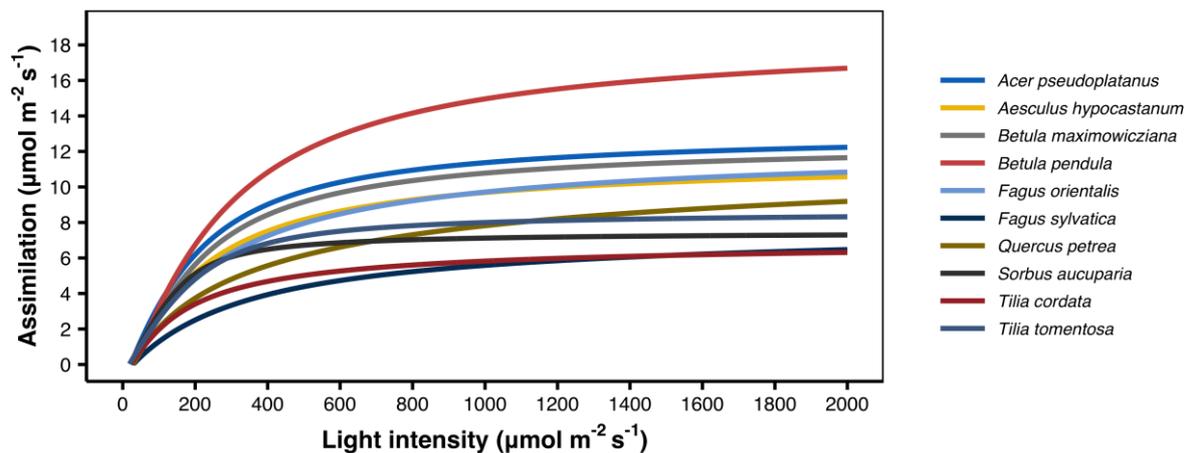


Abb. 1: Absolute CO₂-Assimilationsrate (A ; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bei unterschiedlicher photosynthetisch aktiver Photonenflussdichte (PPFD; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) der getesteten Baumarten; Durchschnitt aller gemessenen Individuen einer Baumart ($n = 3-7$ pro Art).

Tab. 1: Ergebnisse der Licht-Antwort-Kurven. Angegeben sind die zunehmende Schattentoleranz nach Niinemets & Valladares (2006), der Lichtkompensationspunkt (LCP, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), an welchem sich Blattatmung (CO₂-Abgabe) und Blattphotosynthese (CO₂-Aufnahme) gegenseitig aufheben, die sich ergebende Quantenausbeute und somit die Steigung der Licht-Antwort-Kurve vor dem Sättigungspunkt (AQY, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) und die CO₂-Assimilationraten bei einer Lichtintensität von jeweils 200, 300, 600 bzw. 900 PPFD (A_{200} , A_{300} , A_{600} , A_{900} ; $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Baumart	Schatten-toleranz	LCP	AQY	Amax	A_{200}	A_{300}	A_{600}	A_{900}
<i>Betula maximowicziana</i>	1.25	28.75	0.049	13.89	5.63 ± 0.19	7.34 ± 0.33	9.68 ± 0.69	10.59 ± 0.88
<i>Betula pendula</i>	2.00	33.50	0.061	22.65	7.05 ± 0.22	9.70 ± 0.30	14.01 ± 0.56	15.98 ± 0.72
<i>Quercus petraea</i>	2.73	28.25	0.063	13.38	3.74 ± 0.21	4.80 ± 0.24	6.61 ± 0.35	7.58 ± 0.49
<i>Sorbus aucuparia</i>	2.73	20.50	0.045	8.36	5.11 ± 0.42	6.06 ± 0.55	6.86 ± 0.65	7.08 ± 0.67
<i>Tilia tomentosa</i>	3.34	18.25	0.037	9.28	4.81 ± 0.37	6.11 ± 0.56	7.51 ± 0.75	7.92 ± 0.78
<i>Aesculus hippocastanum</i>	3.43	21.75	0.049	12.55	5.16 ± 0.27	6.58 ± 0.28	8.64 ± 0.28	9.50 ± 0.30
<i>Acer pseudoplatanus</i>	3.73	22.50	0.056	14.33	6.19 ± 0.15	7.92 ± 0.26	10.27 ± 0.46	11.18 ± 0.55
<i>Tilia cordata</i>	4.18	23.50	0.035	7.65	3.40 ± 0.32	4.19 ± 0.38	5.26 ± 0.62	5.72 ± 0.79
<i>Fagus orientalis</i>	4.20	24.75	0.050	13.33	4.84 ± 0.13	6.27 ± 0.21	8.48 ± 0.42	9.49 ± 0.55
<i>Fagus sylvatica</i>	4.56	31.29	0.028	8.66	2.50 ± 0.43	3.34 ± 0.53	4.73 ± 0.67	5.42 ± 0.73

Quantifizierung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) sowie der maximalen Lufttemperatur und dementsprechend der Verdunstungsbeanspruchung in sechs verschiedenen Wuchshüllenvarianten

In dem ausgewerteten Untersuchungszeitraum von April bis September 2022 unterschieden sich die mikroklimatischen Bedingungen in den unterschiedlichen Wuchshüllen teilweise deutlich von der Kontrolle (Abb. 2). Gemittelt über den gesamten Zeitraum für die Zeit von 6:00 bis 18:00 Uhr wurde in der Kontrolle eine photosynthetisch aktive Strahlung (PAR, $\mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$) von $728,62 \pm 18,06 \mu\text{m m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Mittelwert \pm Standardfehler) festgestellt. Bei vier der sechs Wuchshüllentypen kamen hiervon im inneren im Mittel 27% der Strahlung an, wobei bei den Papier-Wuchshüllen lediglich 5% und bei den transparenten Ventex Clear Plastikhüllen im Mittel 78% der Strahlung der Kontrolle festgestellt wurden (Abb. 3). Beim mittleren Tagesmaximum der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) erreichten die Dendron Holzwuchshüllen 81%, die Ventex Clear Plastikhüllen 74%, die Wuchshülle SG und Microvent Polypropylenwuchshüllen 51%,

die BioWit Classic Bioplastikwuchshülle 24% und BioWit NT Natur Papierwuchshülle 19% der Kontrolle (Abb. A1). Wenn nur die 10% der wärmsten Tage des Sommers 2022 berücksichtigt wurden lag die erreichte photosynthetisch aktive Strahlung (PAR) im Tagesmittel bei den Ventex Clear Plastikhüllen bei 80%, bei den Dendron Holzwuchshüllen bei 30%, bei den Polypropylenwuchshüllen SG und Microvent bei 26%, bei der BioWit Classic Bioplastikwuchshülle bei 25% und bei der BioWit NT Natur Papierwuchshülle bei gerade mal 5% verglichen mit der Kontrolle (Abb. A2).

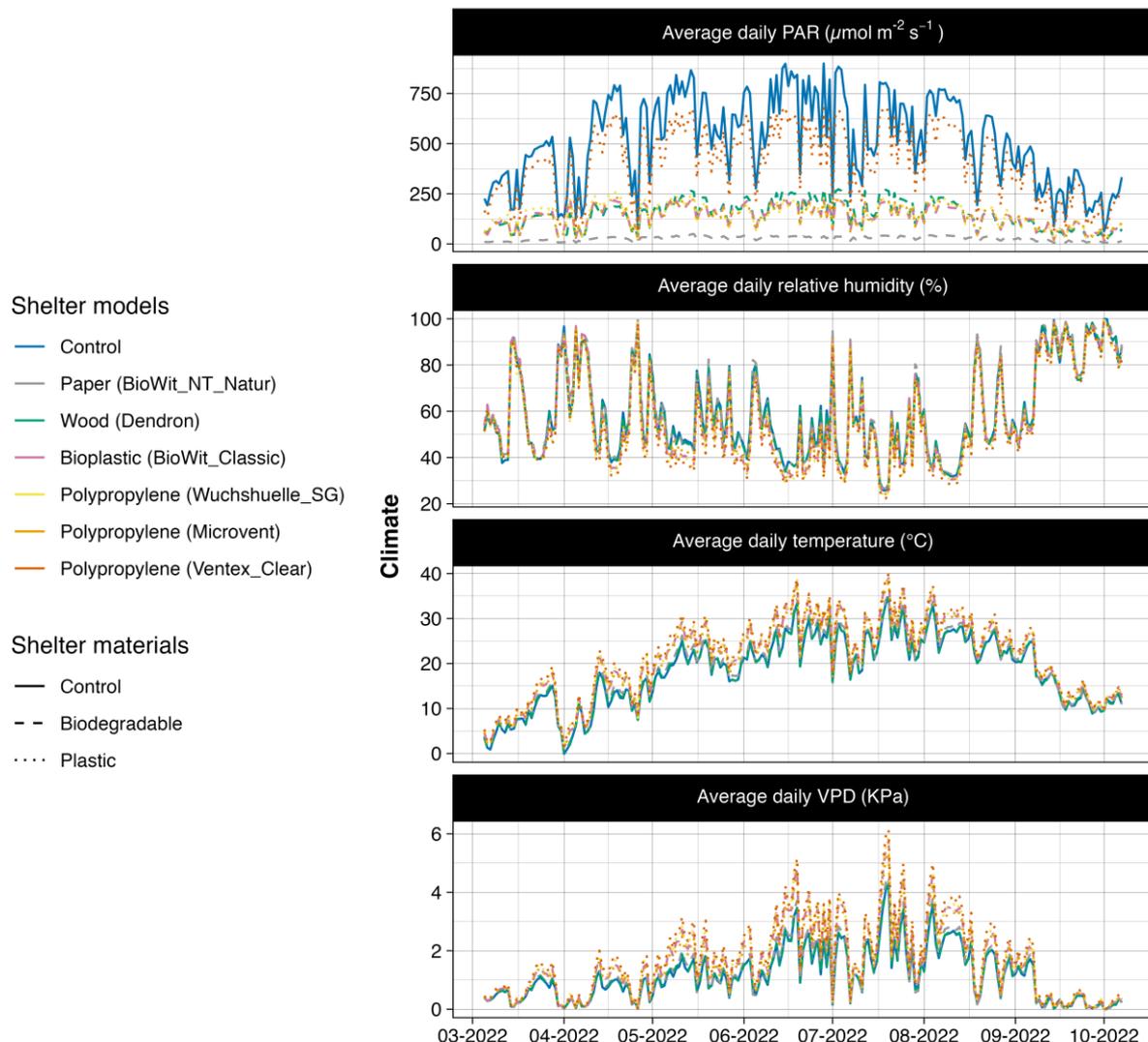


Abb. 2: Tagesmittelwerte von jeweils 06:00 bis 18:00 Uhr der (a) photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR), (b) relativen Luftfeuchtigkeit, (c) Lufttemperatur und (d) Sättigungsdefizit der Luft (VPD). Die Werte wurden mit einer Auflösung von 10 min aufgenommen. Unterschiedliche Formen kennzeichnen den Wuchshüllentyp (biologisch abbaubar bzw. Polypropylen) und die Kontrolle und verschiedene Farben den jeweiligen Wuchshüllentyp.

Bei der festgestellten Temperatur und dem Sättigungsdefizit der Luft (VPD, kPa) konnten im Mittel über die Vegetationsperiode hinweg zwei Gruppen festgestellt werden. Die biologisch abbaubaren Papier- und Holzwuchshüllen ähnelten der Kontrolle (Durchschnittswerte dieser Gruppe 1: $24,50 \pm 0,26$ $^{\circ}\text{C}$ und $1,81 \pm 0,04$ kPa) während in den Plastikhüllen deutlich höhere Werte erzielt wurden (Durchschnittswerte dieser Gruppe 2: $28,38 \pm 0,40$ $^{\circ}\text{C}$ und $2,56 \pm 0,10$ kPa) (Abb. 3). Diese Unterschiede fielen noch extremer aus, wenn nur das Tagesmaximum für den gleichen

Untersuchungszeitraum berücksichtigt wurde. Hier lag die tägliche Maximaltemperatur in den Plastikwuchshüllen (Gruppe 2) im Mittel 5.63 °C und das tägliche maximale Sättigungsdefizit der Luft 1.63 kPa über den Bedingungen der Kontrolle und der Papier- und Holzwuchshüllen (Gruppe 1) (Abb. A1).

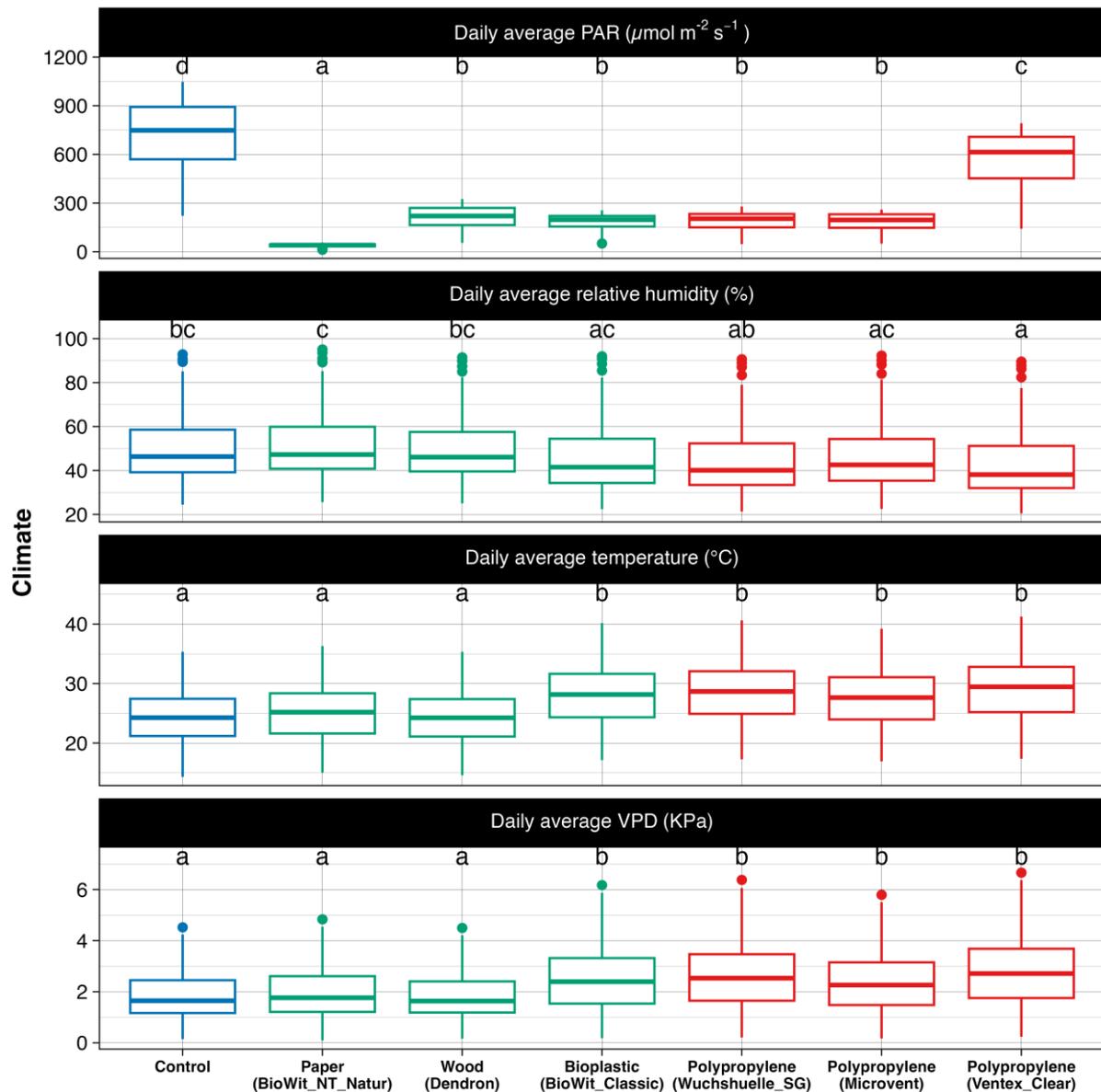


Abb. 3: Boxplots der täglichen (06:00 bis 18:00 Uhr) durchschnittlichen (a) photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR), (b) relativen Luftfeuchtigkeit, (c) Lufttemperatur und (d) Sättigungsdefizit der Luft (VPD). Unterschiedliche Farben kennzeichnen die Kontrolle (blau) oder den Wuchshüllentyp (grün: biologisch abbaubar; rot: Polypropylen). Für jede Klimavariablen wurden die verschiedenen Wuchshüllentypen mittels einseitiger ANOVA verglichen und anschließend mit Tukey's Honest Significant Difference post-hoc-Analysen auf Unterschiede zwischen den Behandlungsmitteln geprüft. Die Ergebnisse der Analysen sind als Signifikanzbuchstaben über jedem Boxplot dargestellt.

Vergleichbare Unterschiede wurden festgestellt, wenn lediglich 10% wärmsten Tage des Untersuchungszeitraums ausgewertet wurden (Abb. A2). Hier wurden im Mittel in den Polypropylenwuchshüllen VPD-Werte um $5,27 \pm 0,17$ kPa festgestellt, welches eine enorme

Verdunstungsbeanspruchung darstellt. Zum Vergleich liegen die Werte der Kontrolle und der Papier- und Holzwuchshüllen bei $3,64 \pm 0,14$ kPa.

Überprüfung des Wuchsverhaltens von einer Licht- und einer Schattenbaumart in der Etablierungsphase in sechs unterschiedlichen Wuchshüllenvarianten, repliziert auf drei Störungsflächen

Nach Abschluss der ersten Vegetationsperiode wiesen die Jungbäume der Traubeneiche einen durchschnittlichen Zuwachs im Wurzelhalsdurchmesser von 32% ($7,75 \pm 0,07$ mm) und einen durchschnittlichen Höhezuwachs von 47% ($59,76 \pm 0,87$ cm; Mittelwert \pm Standardfehler) auf, wobei signifikante Unterschiede zwischen den Wuchshüllentypen festgestellt wurden.

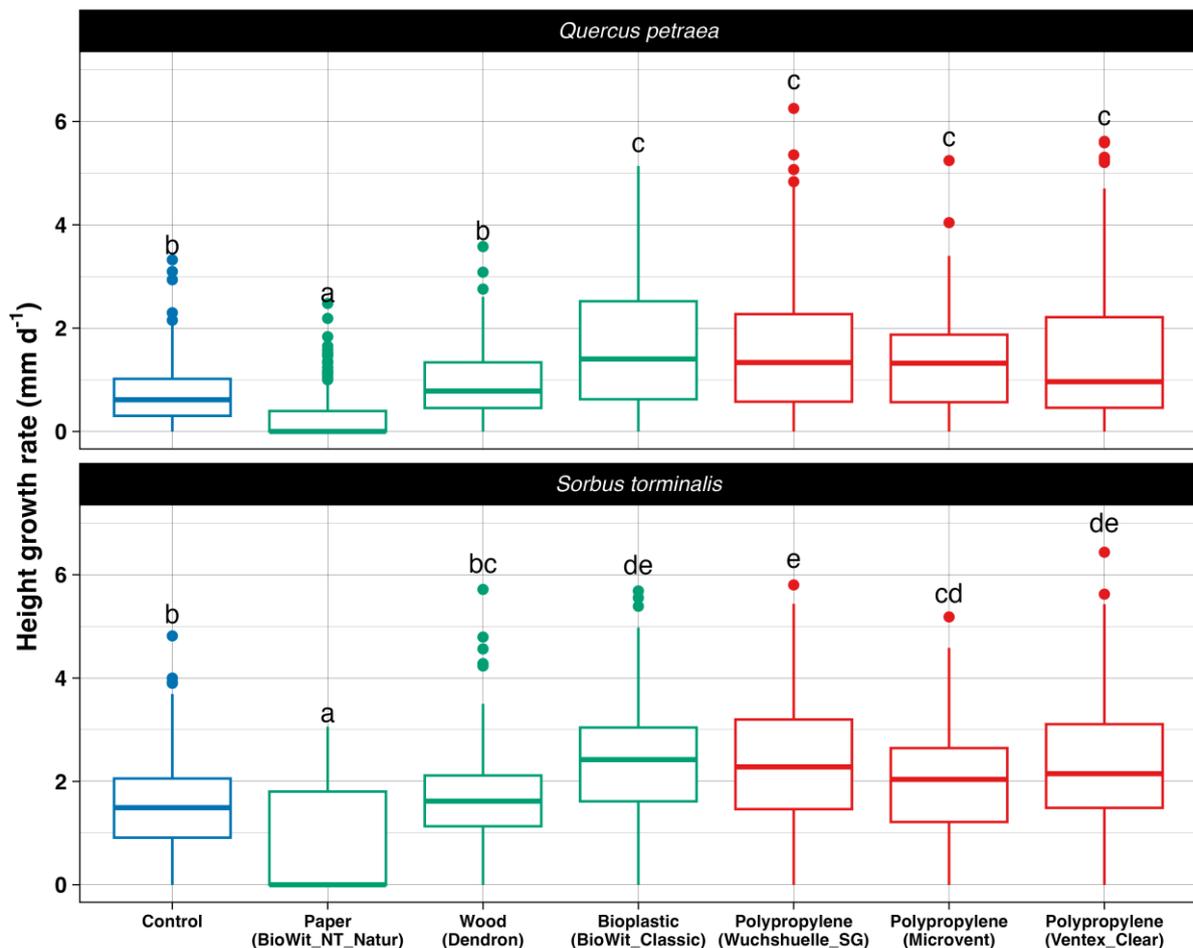


Abb. 4: Boxplots der täglichen Höhenwachstumsrate (mm d^{-1}) von Jungbäumen der Arten (a) *Quercus petraea* und (b) *Sorbus torminalis* von Februar bis September 2022 in verschiedenen Wuchshüllentypen. Unterschiedliche Farben kennzeichnen die Kontrolle (blau) oder den Wuchshüllentyp (grün: biologisch abbaubar; rot: Polypropylen). Für jede Baumart wurden die verschiedenen Wuchshüllentypen mittels einseitiger ANOVA verglichen und anschließend mit Tukey's Honest Significant Difference post-hoc-Analysen auf Unterschiede zwischen den Behandlungsmitteln geprüft. Die Ergebnisse der Analysen sind als Signifikanzbuchstaben über jedem Boxplot dargestellt.

Die Jungbäume der Elsbeere wiesen einen durchschnittlichen Zuwachs im Wurzelhalsdurchmesser von 30% ($8,13 \pm 0,05$ mm) und einen durchschnittlichen Höhezuwachs von 58% ($77,80 \pm 0,82$ cm) auf. Auch bei der Elsbeere konnten im ersten Jahr nach Pflanzung signifikante Unterschiede zwischen den Wuchshüllentypen festgestellt werden. Dabei wurde bei beiden Baumarten mit

unterschiedlicher Schattentoleranz vergleichbare Unterschiede zwischen den Wuchshüllentypen festgestellt (Abb. 4). Im Mittel lag der Höhenzuwachs bei der Traubeneiche in den vier Plastikwuchshüllen 205% über dem der Kontrolle ($1,53 \pm 0,10 \text{ mm d}^{-1}$ versus $0,75 \pm 0,05 \text{ mm d}^{-1}$), bei der Dendron Holzwuchshülle ($0,94 \pm 0,06 \text{ mm d}^{-1}$) bei 125% der Kontrolle und bei der Papierwuchshülle ($0,28 \pm 0,04 \text{ mm d}^{-1}$) lediglich bei 37% der Kontrolle. Bei der Elsbeere lag der mittlere Höhenzuwachs in den vier Plastikwuchshüllen bei 147% ($2,26 \pm 0,10 \text{ mm d}^{-1}$), bei der Dendron Holzwuchshülle bei 109% ($1,68 \pm 0,08 \text{ mm d}^{-1}$) und bei der Papierwuchshülle bei 55% ($0,84 \pm 0,08 \text{ mm d}^{-1}$) der Kontrolle ($1,53 \pm 0,08 \text{ mm d}^{-1}$).

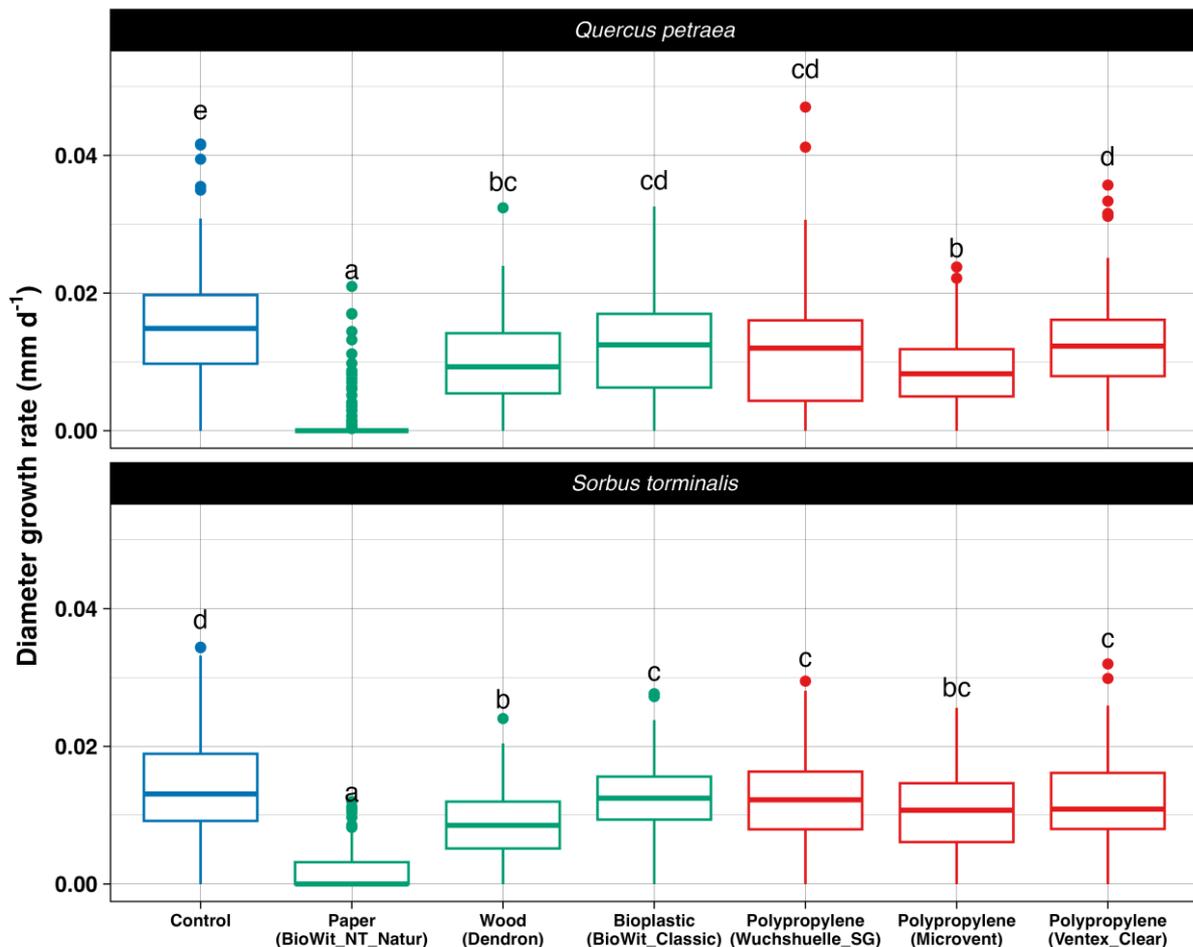


Abb. 5: Boxplots des täglichen Zuwachses im Wurzelhalsdurchmesser von Jungbäumen der Arten (a) *Quercus petraea* und (b) *Sorbus torminalis* von Februar bis September 2022 in verschiedenen Wuchshüllentypen. Unterschiedliche Farben kennzeichnen die Kontrolle (blau) oder den Wuchshüllentyp (grün: biologisch abbaubar; rot: Polypropylen). Für jede Baumart wurden die verschiedenen Wuchshüllentypen mittels einseitiger ANOVA verglichen und anschließend mit Tukey's Honest Significant Difference post-hoc-Analysen auf Unterschiede zwischen den Behandlungsmitteln geprüft. Die Ergebnisse der Analysen sind als Signifikanzbuchstaben über jedem Boxplot dargestellt.

Beim durchschnittlichen Zuwachs des Wurzelhalsdurchmessers dahingegen waren die Unterschiede weniger deutlich ausgeprägt. Sowohl bei der Traubeneiche und bei der Elsbeere fiel der Zuwachs in den Wuchshüllen geringer als in der Kontrolle aus, jedoch mit Unterschieden zwischen den Wuchshüllentypen. Bei der Traubeneiche lagen die Zuwächse bei Wuchshüllentypen mit Ausnahme der Papierwuchshülle um $0,011 \pm 0,001 \text{ mm d}^{-1}$, d.h. im Mittel 29% unter der Kontrolle ($0,015 \pm 0,001 \text{ mm d}^{-1}$). Ein extremer Ausreißer war hier der mittlere Zuwachs innerhalb

der Papierwuchshüllen, welcher mit $0,001 \text{ mm d}^{-1}$ an der Nachweisgrenze lag und gerade mal 9% der Kontrolle erreichte (Abb. 5).

Bei der Elsbeere verhielt es sich ähnlich. Die Zuwächse der vier Plastikwuchshüllentypen lagen um $0,012 \pm 0,001 \text{ mm d}^{-1}$, d.h. im Mittel wurden 81% der Kontrolle ($0,015 \pm 0,001 \text{ mm d}^{-1}$) erreicht. Ein extremer Ausreißer war hier ebenfalls der Papierwuchshüllentyp, welcher mit $0,002 \text{ mm d}^{-1}$ lediglich 13% der Kontrolle erreichte (Abb. 5). Der festgestellte mittlere Zuwachs innerhalb der Dendron Holzwachshüllen lag mit $0,009 \text{ mm d}^{-1}$ bei 60% der Kontrolle.

Mit Ausnahme der Papierwuchshülle (BioWit NT Natur) lag die festgestellte Mortalitätsrate im ersten Jahr nach Pflanzung einheitlich niedrig bei $1,52 \pm 0,33\%$ (Mittelwert \pm Standardfehler) bei der Traubeneiche und $1,28 \pm 0,52\%$ bei der Elsbeere, es konnten keine Unterschiede zwischen der Kontrolle und den unterschiedlichen Wuchshüllentypen festgestellt werden. Lediglich bei der Papierwuchshülle wurden aufgrund der mit 5% im Mittel sehr geringen ankommenden photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) im inneren der Hüllen eine Mortalitätsrate von 70,8% bei der Lichtbaumart Traubeneiche festgestellt und 52,4% bei der Schattenbaumart Elsbeere.

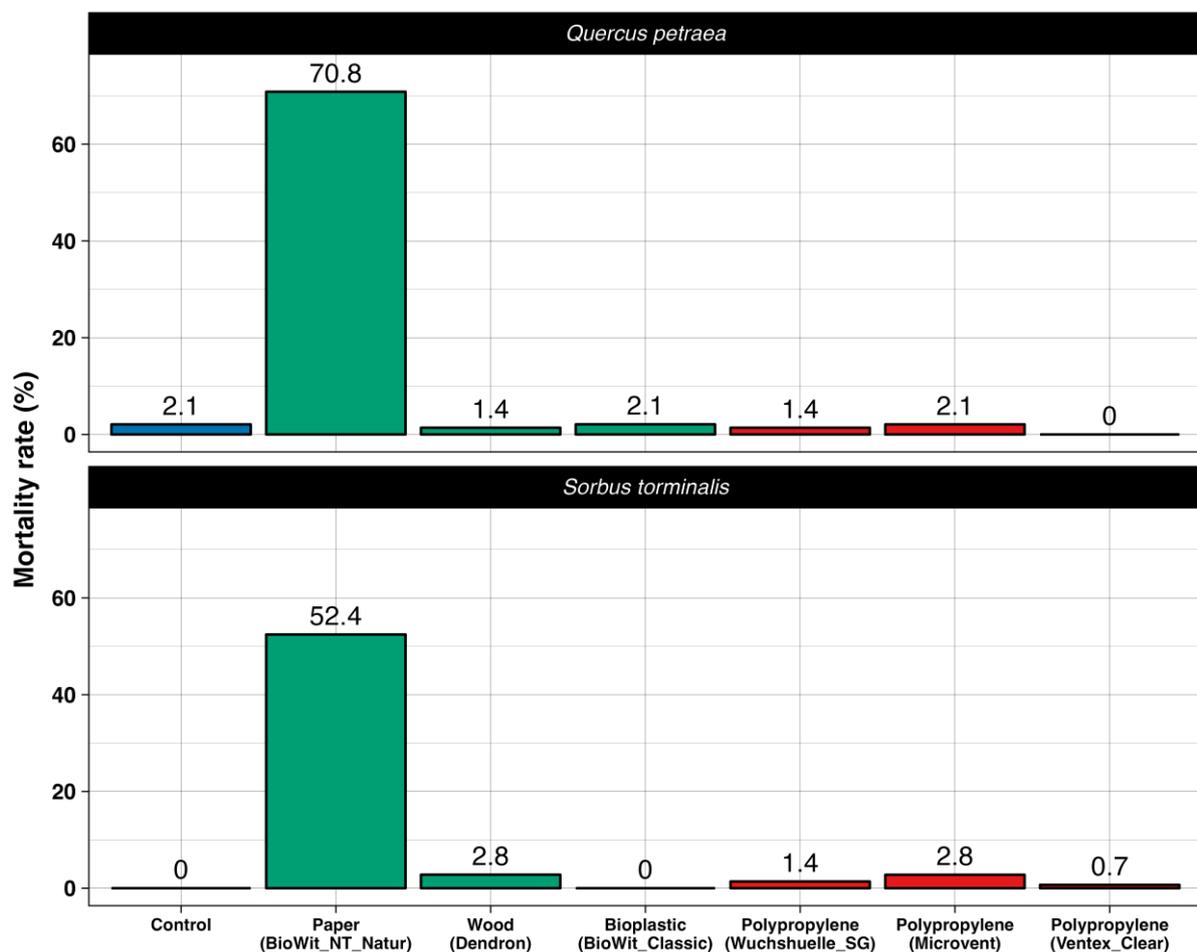


Abb. 6: Balkendiagramme zur Darstellung der prozentualen Sterblichkeitsraten im ersten Jahr nach der Pflanzung für den Zeitraum von 12/2021 bzw. 01/2022 bis 09/2022 von (a) *Quercus petraea* und (b) *Sorbus torminalis* aufgeschlüsselt nach Wuchshüllentyp.

5. Diskussion der Ergebnisse mit Schlussfolgerungen

Laut dem Deutschen Wetterdienst wurde das Jahr 2022 eines der zwei wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen mit einem neuen Sonnenscheinrekord (Pressemitteilung vom 31.12.2022). Im

Universitätswald Sailershausen wurden gemittelt über die Kontrollmessungen auf den drei Störungsflächen 93 „Sommertage“ (Anzahl an Tagen pro Jahr mit einer Tagesmaximumtemperatur von mehr als 25 °C) sowie 51 „heiße Tage“ (Anzahl an Tagen pro Jahr mit einer Tagesmaximumtemperatur (T_{\max}) von mehr als 30 °C) festgestellt. Die maximale Dauer von Hitzeperioden lag bei 7 Tagen (Anzahl an aufeinanderfolgenden Tagen mit T_{\max} über 30 °C). Hierdurch wurden an mehreren Tagen Lufttemperaturen >40 °C erreicht, ab wo es nachweislich vermehrt zu Schädigungen kommen kann falls ebenfalls die Blatttemperatur vergleichbare Werte erreicht (Bueno et al. 2019). Während in der Gruppe 1 (Kontrolle, Papier- und Holzwuchshülle) lediglich an $9,3 \pm 0,9$ Tagen Temperaturen >40 °C festgestellt wurden, kam es in der Gruppe 2 (Plastikwuchshüllen mit Ausnahme der Wuchshülle Ventex Clear) bereits an $43,0 \pm 3,0$ Tagen zu solch hohen Temperaturen. Bei der transparenten Plastikwuchshülle Ventex Clear wurden sogar an 60 Tagen Temperaturen >40 °C gemessen.

Aufgrund dieser extremen mikroklimatischen Bedingungen im ersten Versuchsjahr wurden deutlich höhere Ausfälle erwartet, vor allem in den Plastikwuchshüllen, welche jedoch ausblieben. Trotz der erzielten hohen Temperaturen und hohen Verdunstungsbeanspruchung (klimatische Aridität) in den Plastikwuchshüllen war hier das Höhenwachstum bei beiden Baumarten am höchsten, vermehrte Ausfallraten konnten nicht festgestellt werden. Lediglich der geringe Lichtgenuss von durchschnittlich 5% der Kontrolle im inneren der Papierwuchshüllen führte zu massiven Ausfällen im ersten Jahr. Diese biologisch abbaubare Alternative zu Wuchshüllen hergestellt aus Polypropylen kann daher nicht empfohlen werden. Die neuartigen Holzwuchshüllen der Firma Dendron waren in den meisten untersuchten Parametern der Kontrolle am ähnlichsten, welches langfristig ein Vorteil sein könnte. Aktuell haben die Jungbäume eine durchschnittliche Höhe von knapp 60 cm (Traubeneiche) bzw. 80 cm (Elsbeere) und dementsprechend noch eine geringe Gesamtblattfläche. Es kann daher vermutet werden, dass die Jungbäume erst in den Folgejahren empfindlicher gegenüber Trockenschäden sein könnten aufgrund der größeren Gesamtoberfläche, über welche residual nach Stomataschluss weiterhin Wasser verloren geht. Hierzu sollen physiologische Folgeuntersuchungen erfolgen, welche vor allem der weiteren Charakterisierung von Schlüsselparametern des Wasserhaushalts dienen werden.

Der jährliche Zuwachs soll noch mind. drei zwei Jahre beobachtet werden, wozu jeweils im September eine Vollinventur erfolgen wird. Nach finaler Entfernung der Wuchshüllen wird ebenfalls eine weitere Vollinventur erfolgen zur Überprüfung, ob das bisher festgestellte erhöhte Längenwachstum innerhalb der Plastikwuchshüllen sich negativ auf die mechanische Stabilität der Jungbäume auswirkt.

Zum jetzigen Zeitpunkt nach einer Vegetationsperiode muss festgestellt werden, dass der von den Herstellern angepriesene „Gewächshauseffekt“ vor allem in der Etablierungsphase das Längenwachstum innerhalb von Plastikwuchshüllen begünstigt. Demgegenüber wird es als vielversprechend erachtet, dass die festgestellten mikroklimatischen Bedingungen und die Zuwachsraten in den vollständig und rückstandslos biologisch abbaubaren Holzwuchshüllen der Kontrolle am ähnlichsten sind. Die kommenden Untersuchungsjahre werden zeigen, ob eine finale Empfehlung ausgesprochen werden kann.

6. Verwertungsmöglichkeiten der Ergebnisse

Die Ergebnisse der mikroklimatischen Bedingungen im inneren von Wuchshüllen unterschiedlicher Bauart sind direkt verwertbar. Eine finale Evaluierung des Wuchsverhaltens in der Etablierungsphase sollte frühestens nach drei Jahren erfolgen.

7. Erfolgsaussichten nach Projektende – Umsetzung in die Praxis

Die finalen Ergebnisse werden direkt in einer Handlungsempfehlung resultieren.

8. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom federführenden Antragsteller oder vom am Vorhaben beteiligten Kooperationspartner gemacht oder in Anspruch genommen wurden

Nicht anwendbar.

9. Literaturliste

- Bergez JE, Dupraz C. 2009. Radiation and thermal microclimate in tree shelter. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 179–186.
- Bueno A, Alfarhan A, Arand K, Burghardt M, Deininger AC, Hedrich R, Leide J, Seufert P, Staiger S, Riederer M. 2019. Effects of temperature on the cuticular transpiration barrier of two desert plants with water-spender and water-saver strategies. *Journal of Experimental Botany* 70: 1627–1638.
- De Castro A V, Oliet JA, Puértolas J, Jacobs DF. 2014. Light transmissivity of tube shelters affects root growth and biomass allocation of *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* Mill. *Annals of Forest Science* 71: 91–99.
- De Souza Machado AA, Kloas W, Zarfl C, Hempel S, Rillig MC. 2018. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 24: 1405–1416.
- Hammer A. 2013. Entscheidungshilfen zu: Zaun oder Einzelschutz mit Wuchshüllen? *AFZ-Der Wald* 23/2013: 19-21.
- Hein S, Graf Y, Kindervater R, Schweizer M, Szegedi M. 2019. Umfrage zu Wuchshüllen in Baden-Württemberg: Kundenwünsche, Einsatz und Rückbau. *Holz-Zentralblatt* 145: 692-693.
- Hein S, Fran S, Kohnle U. 2020. Wachstum und Ausfall junger Douglasien: Effekte unterschiedlicher Wuchshüllen, Wasserhaushaltstufe, Zäunung und mechanischer Kultursicherung am Beispiel einer dezentralen Versuchsanlage in Südwest-Deutschland. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 190: 237-252.
- Jäger B, Wagner R, Stimm B. 2018. Wirkungen von Wuchshüllen auf Eichenpflanzen. *AFZ-Der Wald* 5/2018: 57-60.
- Ng EL, Lin SY, Dungan AM, Colwell JM, Ede S, Huerta Lwanga E, Meng K, Geissen V, Blackall LL, Chen D. 2021. Microplastic pollution alters forest soil microbiome. *Journal of Hazardous Materials* 409: 124606.
- Niinemets Ü, Valladares F. 2006. Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. *Ecological Monographs* 76: 521–547.
- Oliet JA, Jacobs DF. 2007. Microclimatic conditions and plant morpho-physiological development within a tree shelter environment during establishment of *Quercus ilex* seedlings. *Agricultural and Forest Meteorology* 144: 58–72.
- Schuldt B, Buras A, Arend M, Vitasse Y, Beierkuhnlein C, Damm A, Gharun M, Grams TEE, Hauck M, Hajek P, et al. 2020. A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology* 45: 86–103.
- Senf C, Buras A, Zang CS, Rammig A, Seidl R. 2020. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications* 11: 6200.
- Senf C, Seidl R. 2021. Mapping the forest disturbance regimes of Europe. *Nature Sustainability* 4: 63–70.

Tharandt, den 07.02.2023



Prof. Dr. Bernhard Schuldt

Appendix

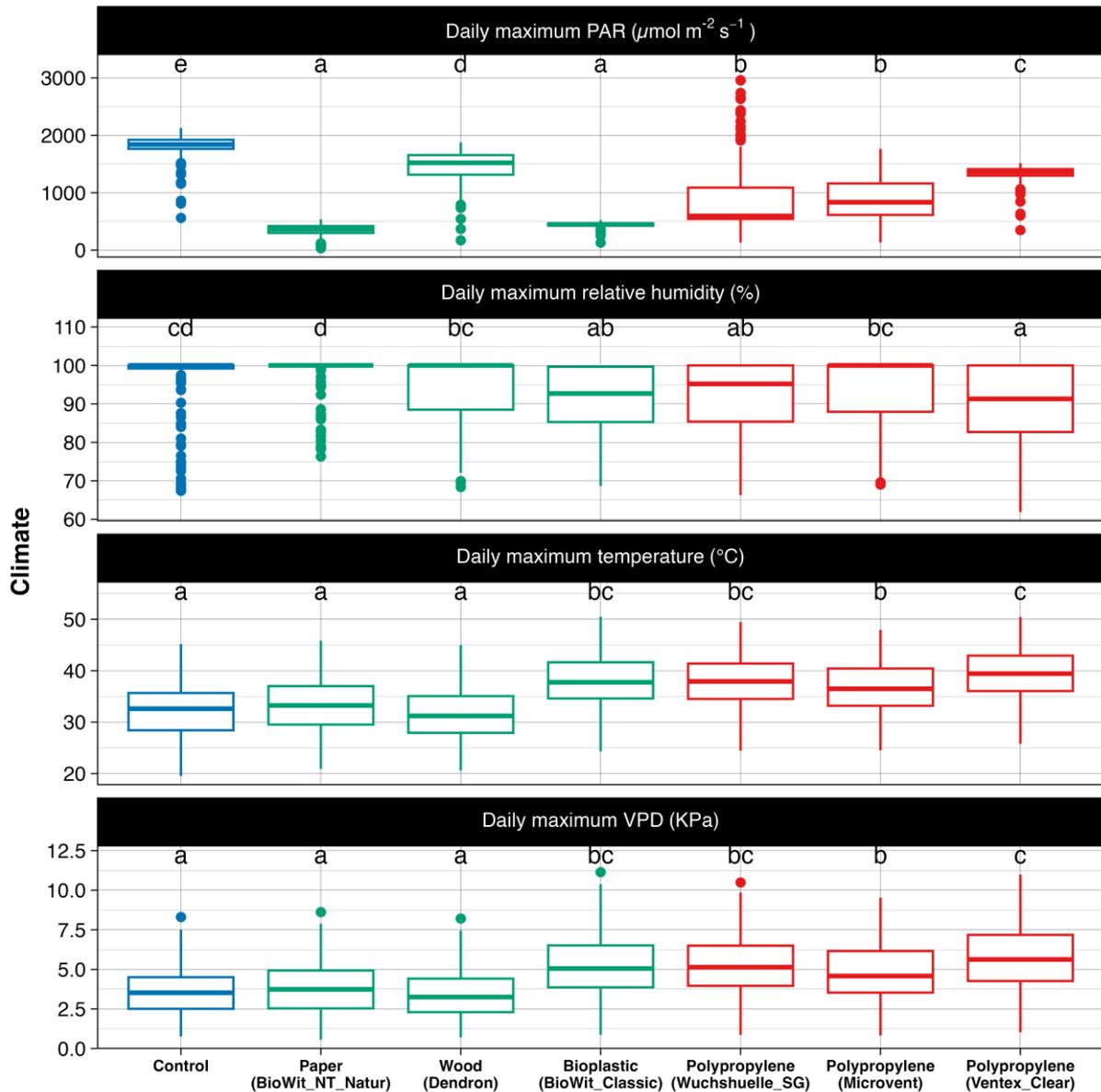


Abb. A1: Boxplots der mittleren täglichen (06:00 bis 18:00 Uhr) maximalen (a) photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR), (b) relativen Luftfeuchtigkeit, (c) Lufttemperatur und (d) Sättigungsdefizit der Luft (VPD). Unterschiedliche Farben kennzeichnen die Kontrolle (blau) oder den Wuchshüllentyp (grün: biologisch abbaubar; rot: Polypropylen). Für jede Klimavariablen wurden die verschiedenen Wuchshüllentypen mittels einseitiger ANOVA verglichen und anschließend mit Tukey's Honest Significant Difference post-hoc-Analysen auf Unterschiede zwischen den Behandlungsmitteln geprüft. Die Ergebnisse der Analysen sind als Signifikanzbuchstaben über jedem Boxplot dargestellt.

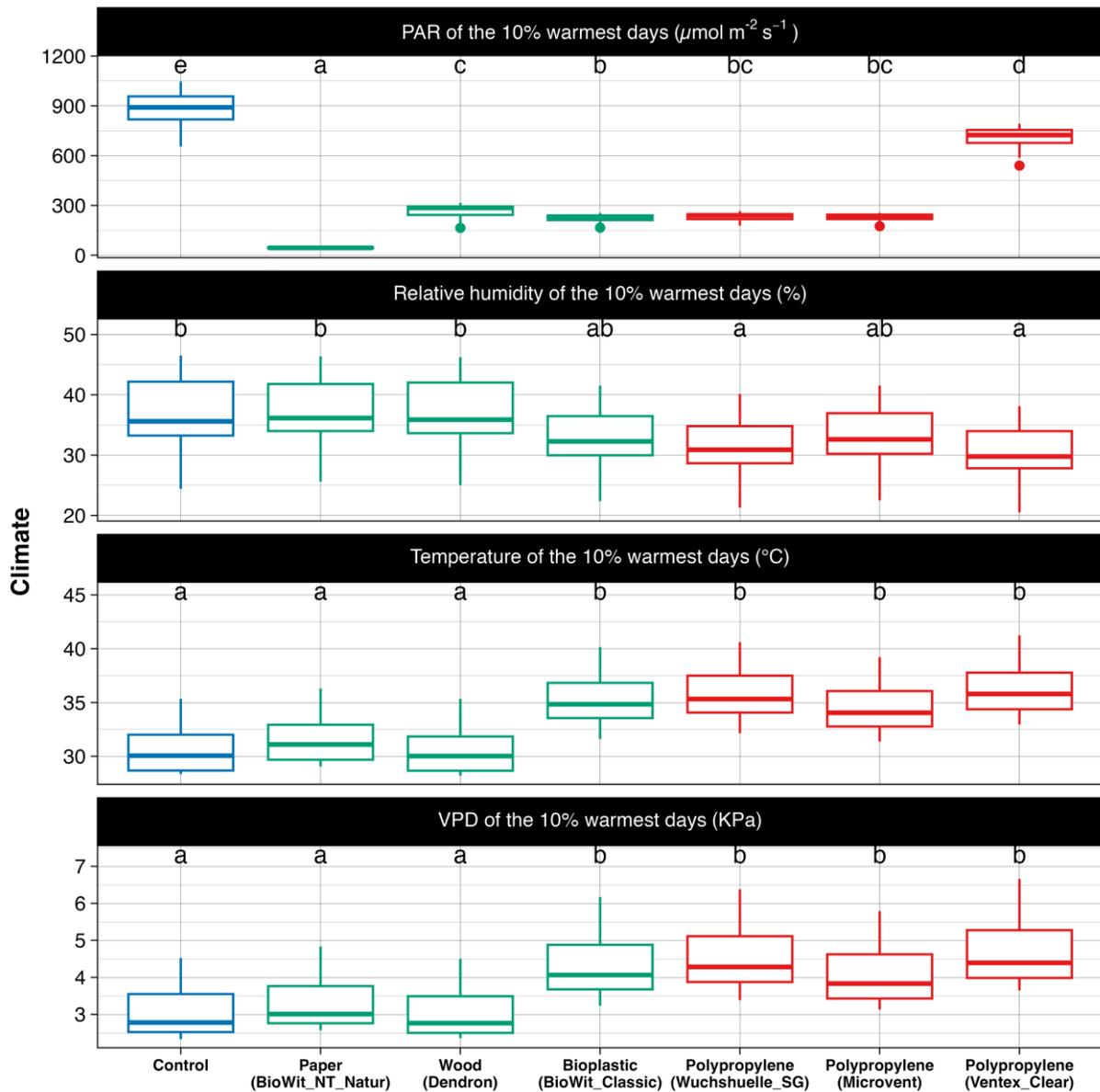


Abb. A2: Boxplots der mittleren täglichen (06:00 bis 18:00 Uhr) (a) photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR), (b) relativen Luftfeuchtigkeit, (c) Lufttemperatur und (d) Sättigungsdefizit der Luft (VPD) von den 10% wärmsten Tagen der Vegetationsperiode 2022. Unterschiedliche Farben kennzeichnen die Kontrolle (blau) oder den Wuchshüllentyp (grün: biologisch abbaubar; rot: Polypropylen). Für jede Klimavariablen wurden die verschiedenen Wuchshüllentypen mittels einseitiger ANOVA verglichen und anschließend mit Tukey's Honest Significant Difference post-hoc-Analysen auf Unterschiede zwischen den Behandlungsmitteln geprüft. Die Ergebnisse der Analysen sind als Signifikanzbuchstaben über jedem Boxplot dargestellt.