

forstarchiv 82, 3-9
(2011)

DOI 10.2376/0300-
4112-81-3

© M. & H. Schaper
GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:
peter.rademacher@
nw-fva.de

Eingegangen:
31.05.2010

Angenommen:
20.07.2010

Untersuchungen zur Holzkonservierung durch Lagerung von Fichtenstämmen unter Folie

Teil I: Zeitreihenmessungen von Klima- und Umweltparametern des gelagerten Holzes

Investigations of wood conservation in spruce logs after storage under plastic foil

Part I: Time series of climatic and environmental parameters of the stored wood

PETER RADEMACHER¹⁺², FRANTIŠEK HAPLA¹ und BERTRAM LEDER³

¹Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte, Burckhardt-Institut, Georg-August-Universität Göttingen, Büsgenweg 4, D-37077 Göttingen

²Abteilung Umweltkontrolle, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Grätzelstr. 2, D-37079 Göttingen

³Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Obereimer 2a, D-59821 Arnsberg

Kurzfassung

In Untersuchungen von Holzlagerflächen im Sauerland wurde die Wirkung von Kunststoffolien untersucht, die diese auf das Klima im Folierraum und das abgedeckte Holz haben kann. Es konnte gezeigt werden, dass durch den klimastabilisierenden Effekt der verwendeten Kunststoffolie, die die Holzpolter abdeckt und vor Austrocknung und anderen ungünstigen Einflüssen schützen soll, sich eine Atmosphäre unter der Folie einstellt, die eine längerfristige Lagerung von Holz auch in größeren Mengen möglich macht.

Im Teil I der Untersuchung wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Die Kohlendioxid-Konzentration unter der Folie wurde in der Umgebungsluft des gelagerten Holzes um auf das 130-fache gegenüber der freien Atmosphäre erhöht. Hierdurch wird die Abbauintensität von holzerstörenden Pilzen zwar nicht generell im gesamten Polter vollkommen unterbunden; an den kleinräumlichen Orten der CO₂-Bildung, also vor allem im Porensystem des Holzes, kann es jedoch angesichts dieser bereits im Polterlufttraum sehr hohen CO₂-Konzentrationen durchaus zur Hemmung von holzabbauenden Pilzen kommen.
- Analog zur hohen CO₂-Konzentration treten durch die Umwandlung von Spaltprodukten organischer Kohlenstoffverbindungen meist zeitgleich auch höhere CH₄-Konzentrationen auf.
- Umgekehrt führt der Verbrauch von Sauerstoff für die Kohlenstoffoxidation zu niedrigen O₂-Konzentrationen im Polterinnern. Ebenso wie für CO₂ ausgesagt, können diese gegenüber Normalluft um rd. 25 % niedrigeren Sauerstoffgehalte noch nicht im gesamten Polterraum zur völligen Unterdrückung von holzerstörenden Pilzen führen; im Mikrobereich des Holzkörpers selbst können die O₂-Konzentrationen aber deutlich niedriger liegen und durchaus die Gefahr einer Holzschädigung durch sauerstoffbedürftige Abbaupilze herabsetzen.
- Die Konzentration der klimarelevanten Spurengase N₂O und CH₄ ist im Rahmen der Holzlagerung in Folienpoltern nur geringfügig über der Normalkonzentration erhöht; dieses wird vor allem zu Beginn der Folienlagerung beobachtet.
- Im Folienpolter stellt sich durch die Folienüberdeckung eine sehr hohe relative Luftfeuchte bis zu 100 % ein, die ein Austrocknen des Holzes über eine längere Lagerzeit verhindern oder minimieren kann. Hierdurch werden – über den Erhalt einer weitgehend hohen Holzfeuchte – die Abbaubedingungen für holzerstörende Pilze deutlich reduziert.
- Die Bestimmung der Holzfeuchtwerte einzelner Monitoring-Stämme ergibt im Mittel der Messwerte eine weitestgehende Stabilisierung der Holzfeuchtigkeit über die Beobachtungszeit. Hierbei treten jedoch immer in größerer Zahl auch Holzfeuchtigkeiten auf, bei denen allein aus den Feuchtwerten heraus die Möglichkeit einer Schädigung durch holzerstörende Pilze nicht ausgeschlossen werden kann.
- Die Temperaturen unter der Folie verlaufen deutlich ausgeglichener als im Freiland, sommerliche und winterliche Extremwerte werden abgepuffert. Dies verhindert allerdings das im Freiland in Frostperioden beobachtete gänzliche Durchfrieren von Stämmen und verlängert so die potenziell mögliche Gefährdungsphase durch holzschädigende Organismen.

Schlüsselwörter: Windwurf, *Picea abies*, Stammholz, Folienlagerung, Gaskonzentration, Temperatur, Luftfeuchte, Holzfeuchte

Abstract

Investigations of several lumberyards, located in the Sauerland (western Germany), were carried out to determine the effects of plastic foils on the climate inside the store and the covered logs. It was shown, that the stabilising effect of the covering foils creates an atmosphere under the plastic foil, which enables a long-term storage of wood in greater quantities.

In Part I of the investigation the following results were obtained:

- Under the plastic foil the carbon-dioxid-concentration in the air surrounding the stored logs showed an increase of 130x, compared with the atmosphere of the open field. However, under this condition the activity of wood damaging fungi is not entirely prevented in the whole lumberyard, but higher concentration of CO₂ in the micropore-system of the wood can still lead to a local inhibition of wood decaying fungi.
- Similar to higher CO₂-concentrations, higher concentrations of CH₄ also occur at the same time because of changes of organic by-compounds.
- On the other hand the consumption of oxygen to oxidise the carbon leads to lower O₂-concentrations inside the lum-

beryard. As well as the mentioned CO_2 increase, a decrease of O_2 of about 25% in the whole lumberyard cannot lead to the total elimination of wood damaging fungi; however in the micropore-system of the wood the O_2 -concentration can be clearly lower and reduce the danger of decay by oxygen-indigent fungi.

- Concentrations of climate-relevant trace gases like N_2O or CH_4 are increased only marginally above normal concentration by log storage under plastic-foil – mainly at the beginning of the storage.
- Under the plastic-foil very high air humidity of up to 100% is reached, which prevents or minimises the drying of the wood for some time. Because of this high water content in the wood is preserved and the conditions for wood decaying fungi are clearly worsened.
- The determination of the wood moisture of single monitored logs results in a stabilised moisture content during the investigation time. However, in many cases also lower wood moisture values occur in single logs, which cannot eliminate the danger of damage by wood decaying fungi.
- Temperature under plastic foils is more similar than in the open field, where values are more extreme during summer and winter. However, this avoids the logs becoming completely frozen, as would occur in open field lumberyards in winter and which extends the potential period of exposure to wood decaying fungi under plastic foil.

Key words: windthrow, *Picea abies*, logs, woodstorage under plastic foil, gas concentration, temperature, humidity, wood moisture

Einleitung

Am 18./19. Januar 2007 wurden in weiten Teilen Deutschlands durch den Orkan „Kyrill“ innerhalb kürzester Zeit zahlreiche Bäume geworfen bzw. gebrochen, deren Holzvolumen lokal den normalen Jahreseinschlag weit übertraf. Die größten Schäden europaweit entstanden in den Wäldern Nordrhein-Westfalens mit Schwerpunkt in Südwestfalen. Der Fichtenanteil an der Sturmholzmenge betrug rd. 90 %, der Rest verteilt sich zu gleichen Teilen auf andere Nadelhölzer (Kiefer, Lärche, Douglasie) und Laubholz. Insgesamt sind 15 % des Fichtenvorrates in Nordrhein-Westfalen von Kyrill abgeschöpft worden (Leder 2009). Zur Stabilisierung des Holzmarktes und zur Verhinderung nachfolgender Schadkalamitäten galt es, dieses Holz möglichst rasch aufzuarbeiten und fachgerecht, d. h. ohne zu befürchtenden Wertverlust durch Schädigungen jeglicher Art, zu lagern (Knigge und Schulz 1966, Schüler und Würster 2000, Wauer 2000).

Auch im Bereich des Lehr- und Versuchsforstamtes Arnsberger Wald entschied man sich in der Zusammenarbeit mit lokalen Sägewerken, etwa 7.000 fm Fichtenlangholz der insgesamt rd. 25.000 fm Sturmholz unter Folie zu lagern. Vier dieser Folienpolter wurden im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen, vertreten durch den Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, von der Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte der Georg-August-Universität Göttingen über insgesamt 30 Monate während der Lagerung messtechnisch begleitet und die Bedingungen während der Holzlagerung charakterisiert. An drei weiteren Folienlagern wurden zusätzlich orientierende Untersuchungen der Lagerbedingungen und der Holzqualität durchgeführt.

Mithilfe der Folienlagerung wird versucht, unter der Folie eine hohe Luftfeuchtigkeit herzustellen und das Holz in einem Zustand zu konservieren, unter dem schädliche Bedingungen, wie das Absinken der Holzfeuchtigkeit in einen für den Pilzabbau günstigen Bereich, nicht auftreten können (Liese und Peek 1987, Groß et al. 1998, LWF 2001, Thiery 2007). Darüber hinaus wird unter Folie besonders in den ersten Monaten der Lagerung ein Teil des Luftsauerstoffs (O_2) durch die Atmungsaktivität der lebenden Parenchymzellen in den Baumstämmen sowie von boden- und stammbewohnenden Mikroorganismen verbraucht und durch die Reaktion mit organischen Kohlenstoffverbindungen zu Kohlendioxid (CO_2) oxidiert (Maier 1998). Das CO_2 verhindert oder reduziert infolge der Verdrängung des O_2 das Aufkommen von holzabbauenden Pilzen und Insekten, die auf eine ausreichende Konzentration an Luftsauerstoff angewiesen sind.

Material und Methoden

Holzlagerung in Folienpoltern

Die Stämme wurden möglichst zeitnah nach dem Sturmereignis aufgearbeitet und im Lehr- und Versuchsrevier Breitenbruch als Langholz der Stärkeklassen 2a, 2b, 3a, 3b und 4+ in Mengen von 1.374 fm (Rinderwiese [RW]), 1.646 fm (Cosack 1 [Cos 1]), 1.371 fm (Cosack 2 [Cos 2]) und 1.017 fm (Kastanienwiese [KW]) zu Poltern aufgeschichtet (Abbildung 1).



Abb. 1. Aufschichtung der Stammholz-Polter und Abdeckung mit Folie im Polter Cosack. Fotos: Arndt.

Piling of logs and covering with plastic foil at forest site Cosack. Photos: Arndt.

Die Polter wurden mit Kunststofffolien (0,19 mm stark) überdeckt, die zur Sicherstellung der Dichtheit an den Nähten verklebt und in den Boden eingelassen wurden. Das Langholz wurde auf den Erdboden gelegt. Entlang einzelner Stämme und punktuell an den Stirnseiten wurde die Folie mit Brettern an den Stämmen fixiert (Alunägel), um ein Zerschlagen der Folie unter Windeinfluss zu verhindern (Abbildung 1, Thiery 2007).

Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen gliedern sich in zwei Abschnitte, von denen der erste durch zerstörungsfreie Untersuchungsverfahren während der Polterlagerung (Teil I, vorliegende Publikation) und der zweite durch Beprobung von Stammholz nach Auflösung der Polter (Teil II, in einem folgenden Heft des Forstarchivs) charakterisiert ist.

Folgende zerstörungsfreie kontinuierliche Messungen (Teil I) wurden durchgeführt (vgl. Ogsoka 2008, Reuter 2009, Rademacher und Hapla 2009, Fisse und Ropte 2010):

- Monitoring von Holzverfärbung und Oberflächenmycel an den Stammhirnenden (Fotodokumentation),
- Zusammensetzung der Gasatmosphäre unter Folie (Shimadzu in Loftfield et al. 1997),
- Luftfeuchtemessungen unter Folie (Testo H2 175),
- Lufttemperaturmessungen unter Folie (Testo T2 175),
- Holzfeuchtemessungen über den Stammhirnenden-Radius der Stämme während der Folienlagerung (Widerstandsmessmethode; Gann, Hydromette Uni 1; Elektrode MH 34 für die Erfassung von hohen Feuchtwerten in Nadelholz, Messbereich: 40-200 % Holzfeuchte).

Ergebnisse und Diskussion

Verfärbungen und Oberflächenmyzel

An den Wartungsöffnungen, die jeweils kurzzeitig zum Auslesen der installierten Datalogger an der Folienvorderwand geöffnet wurden, können die zeitliche Entwicklung von Verfärbungen und das Wachstum von Oberflächenmycel an den Hirnenden der Fichtenstämmen beobachtet werden. Ein Bewuchs der Stammenden mit Oberflächenmycel bietet keinesfalls einen Anhaltspunkt für eine Schädigung des Holzes durch holzerstörende Pilze, da sich die Aktivität der an den Hirnenden auftretenden Oberflächenpilze weitestgehend auf die Nutzung leicht erschließbarer Nährstoffe beschränkt. Ein tieferes Eindringen in den Stamm und die damit verbundene Gefahr einer Holzverfärbung auch tieferer Stammbereiche oder gar eine Schädigung des Holzes durch Zellwandabbau sind hierdurch nicht zwingend gegeben und treten i. d. R. nicht auf (Hapla 1992, Maier 2005, Seegmüller und Hapla 2007, Teil II dieser Untersuchung). Nach dem Abtrennen einer rd. 5-10 cm dicken Stammscheibe vom Hirnende der gelagerten Stämme erscheint das Fichtenholz von heller Farbe (Abbildung 2; Ehlmann und Kluge 2008), was sich auch mit den Beobachtungen an rd. 3.700 fm Fichtenholz aus Kyrill-Folienpoltern deckt, das aus dem Forstbetrieb Bredelar an das Sägewerk Fisch verkauft und dort zu 61,0 % B-, 36,7 % C- und lediglich 2,3 % CGW-Qualität aufgearbeitet wurde (Osburg 2008).

Gaskonzentrationen

Die durchgeführten Kontrollmessungen der durch die Folienlagerung nicht beeinflussten Umgebungs-Atmosphäre spiegeln die bekannten atmosphärischen Normalwerte wider: Mit $21,23 \pm 0,010$ % O_2 und $0,039 \pm 0,002$ % CO_2 (Mittelwerte und Standardabweichung im Zeitraum Sommer 2007 bis Herbst 2009; Anzahl der Messungen je Probennahme „Kastanienwiese“ = 5, sonst = 2) liegen die Werte im



Abb. 2. Fichtenstamm-Hirnenden zum Aufnahmezeitpunkt Januar 2008 mit verfärbter Oberfläche nach rd. 10-monatiger Lagerung im Folienpolter sowie nach frischem Anschnitt (Mitte); Foto: Kielmann.

Cross-grained spruce wood at the Volkgrighausen storage site at the time of observation in January 2008 after 10 months of storage under plastic foil as well as after having been freshly cut (centre); photo: Kielmann.

erwarteten Verteilungsbereich des unveränderten atmosphärischen Luftgemisches. Dagegen zeigen die unter der Folie gemessenen Proben – je nach Polter und monatlichem Messzeitpunkt – eine mehr oder weniger deutlich veränderte Zusammensetzung der analysierten Gaskomponenten: Die Sauerstoff-Konzentration wird auf rd. 16-20 % reduziert, während die Kohlendioxid-Konzentration auf ca. 1-5 % ansteigt (Abbildung 3). Damit kommt es beim O_2 zu einer Abnahme um rd. 25 %, während CO_2 auf das 30-bis 135-Fache gegenüber Normalatmosphäre ansteigt. Die Summe aus $CO_2 + O_2$ ist mit durchschnittlich $21,42 \pm 0,07$ % weitgehend unverändert.

Bei allen gemessenen Gasen sind zeitliche Veränderungen der Konzentrationen zu erkennen, die beim CO_2 -Verlauf im Winter eine fortschreitende Abnahme und bei O_2 eine Konzentrationserhöhung anzeigen. Dieser Verlauf kann auf einen temperaturabhängigen Rückgang der Veratmung von organischen Kohlenstoffverbindungen zurückzuführen sein, wie ähnliche Untersuchungen von Maier (2005) zeigen. Bei abnehmenden Temperaturen gehen die Stoffwechselreaktionen zurück, sodass die Konzentrationen an Stoffwechsel- oder Zwischenprodukten der Atmungskette, wie CO_2 , CH_4 und N_2O , rückläufig sind (Richter 1988, Teepe et al. 2004). Der winterliche Anstieg der O_2 -Konzentration ist durch ein allmähliches Nachströmen normaler Außenluft durch die Folienwand ins Polterinnere zu interpretieren. Im Verlaufe des Frühjahrs und Sommers 2008 und 2009 steigen die Konzentrationen an CO_2 , CH_4 und N_2O wieder an. Einen entsprechenden Jahresgang der CO_2 -Freisetzung infolge von Abbauprozessen ermittelte auch Müller-Using (2005) in langjährigen Dissimilationsuntersuchungen an im Wald belassenem Restholz im Verlaufe von atmungsfördernden warmen Bedingungen in der Vegetationszeit bzw. hemmenden Bedingungen in der kalten Jahreszeit.

Relative Luftfeuchtigkeit

Die im Freiland ermittelten relativen Luftfeuchten (rF) streuen jahres- und tageszeitenbedingt in einem relativ weiten Bereich: So bewegen sich die Freilandwerte in den Herbst- und Wintermonaten zwischen 60-100 % rF; im Frühjahr und Sommer reichen die Luftfeuchtwerte bis auf 20 % rF herunter, erreichen jedoch auch hier häufig das Maximum von 100 % (Abbildung 4). Dagegen herrschen unter der Folienbedeckung der Fichtenpolter durch die Abgrenzung

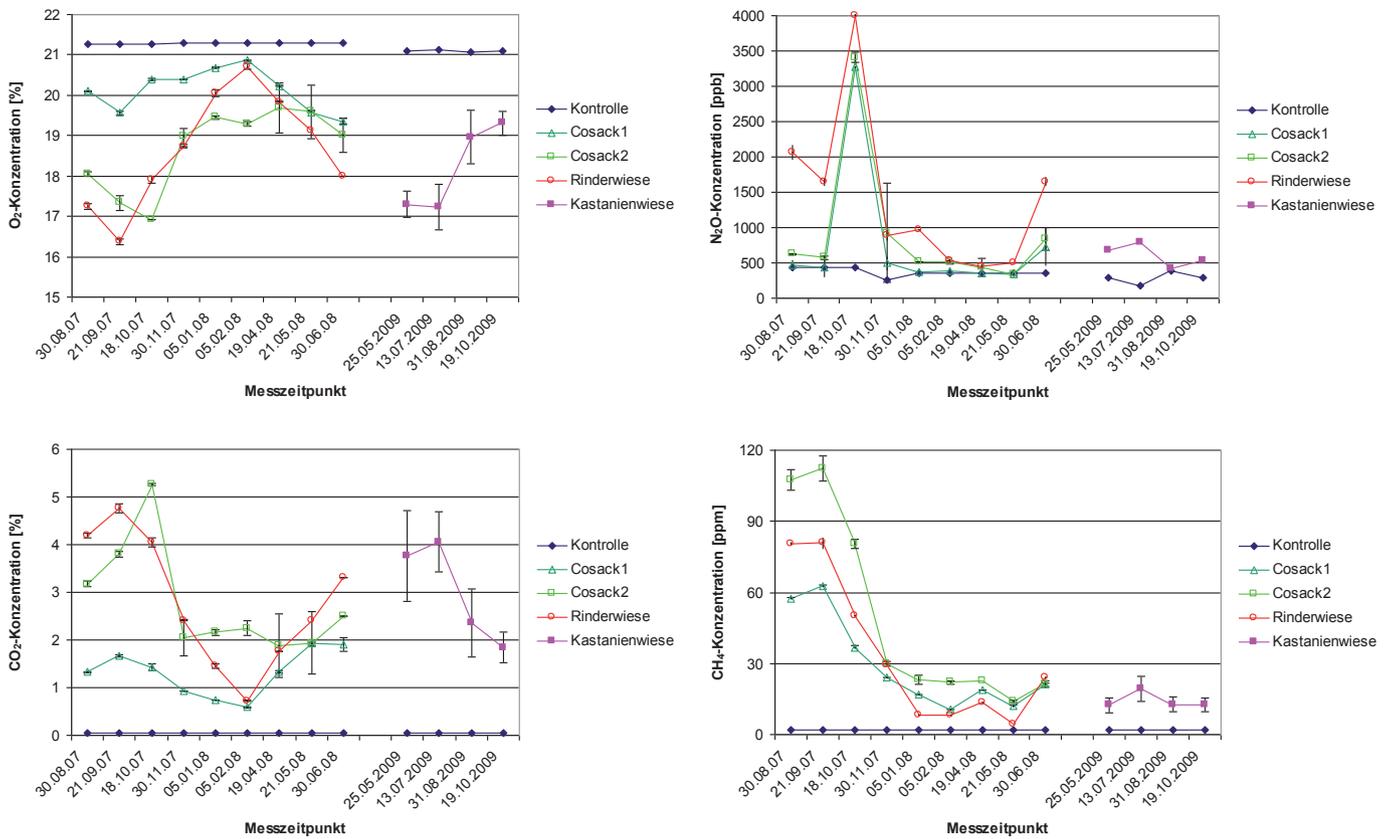


Abb. 3. Verlauf der Gas-Konzentrationen im Zeitraum von August 2007 bis Oktober 2009 an den Standorten Cosack 1, Cosack 2), Rinderwiese und Kastanienwiese sowie Vergleich mit unveränderten atmosphärischen Kontrollproben. N = 5 je Standort und Zeitpunkt für Kastanienwiese, übrige Standorte je 2 Messungen. Development of gas concentrations during a period from August 2007 to October 2009 at the forest sites Cosack 1, Cosack 2, Rinderwiese and Kastanienwiese as well as comparison with unchanged air from atmosphere (control). N = 5 for each site and each date at site Kastanienwiese, 2 measurements for the other sites.

von der Außenluft und die Feuchtezufuhr aus den Fichtenstämmen ungleich höhere und stabilere Luftfeuchtebedingungen. Die unter Folie gemessenen relativen Luftfeuchten liegen meist zwischen 95 und 100 % und schwanken damit nur um einen Bruchteil der im Freiland ermittelten Streubreite. Die unter Folie gemessenen Luftfeuchtwerte lassen somit einen unvermindert hohen Wasservorrat in den Fichtenstämmen des Polters erwarten. Auch andere Untersuchungen belegen die ausgleichende Wirkung der Folienabdeckung auf das Mikroklima in den Folienpoltern (Maier 2005). Die von Maier unter Folie ermittelten relativen Luftfeuchtwerte lagen zu Beginn seiner Untersuchungen ebenfalls bei deutlich oberhalb 90 %.

Luft-Temperatur

Unter der Folienbedeckung der Fichtenpolter ist die Temperaturamplitude im Gegensatz zum Freiland ungleich ausgeglichener. Die unter Folie gemessenen Temperaturen schwanken innerhalb von 24 Stunden nur um wenige °C, während im Freiland Abweichungen zwischen 10-25 °C auftreten. Dabei liegen die Temperaturen unter Folie in den Winter- und Frühjahrsmonaten um rd. 1-4 °C und im Sommer und Herbst sogar um 5-9 °C über denen des Freilands (Abbildung 4).

Hierbei korrelierten hohe Temperaturen im Polter mit hohen CO₂-Konzentrationen unter der Folie, da die Veratmung von organischem Kohlenstoff zu Kohlendioxid bei höheren Temperaturen verstärkt abläuft (Abbildung 5).

Holzfeuchtigkeit

Detaillierte Holzfeuchtemessungen über den Stammquerschnitt konnten aufgrund der Unzugänglichkeit der Stammpolter und durch die Folienbedeckung nur an den Hirnenden von 7 Stammradien der Probestämme des Standortes Kastanienwiese und je 3 Stammradien der Probestämme der übrigen Standorte an den Wartungsöffnungen der Datalogger mittels Einstich-Widerstandsmessgerät durchgeführt werden. Die Holzfeuchte über den Stamm-Querschnittsgradienten verläuft an den Standorten Rinderwiese und besonders Cosack 1 erwartungsgemäß mit hohen Werten im äußeren Splintholz und niedrigen Werten im marknahen Bereich des trockenen Reifholzes (Bauch 1980, Sachsse 1984, Rademacher et al. 1986, Schmidt-Vogt 1986). An den Standorten Cosack 2 und Kastanienwiese dagegen ist die Holzfeuchte eher gleichmäßig auf hohem Niveau über den Stamm-Querschnitt – durch Wiederbefeuchtung infolge Abregnens von der Folie auch im Stammenden-Reifholz – verteilt. Die Stämme der Standorte Cosack 1 und Kastanienwiese zeigen im Mittel mit rd. 140-180 % im äußeren Splint die höchsten Holzfeuchtegehalte, die der Rinderwiese mit 40 % im marknahen Reifholz-Bereich die niedrigsten (Abbildung 6). Ähnliche Spannbreiten in foliengelagertem Fichtenholz ermittelte auch Maier (2005), dessen Messungen von rd. 130-180 % Holzfeuchte im äußersten Splintholz über 50-130 % im weiter innen angrenzenden Querschnittsdrittel des Splint/Reifholz-Übergangsbereiches bis hin zu 35-60 % in den innersten zwei Dritteln des marknahen Reifholz-Stammquerschnittes reichen. Im Gegensatz zu im Freiluft gelagerten Fichtenpoltern findet nach Maier in den folienüberdeckten Poltern auch nach 3-4 Jahren kein nennens-

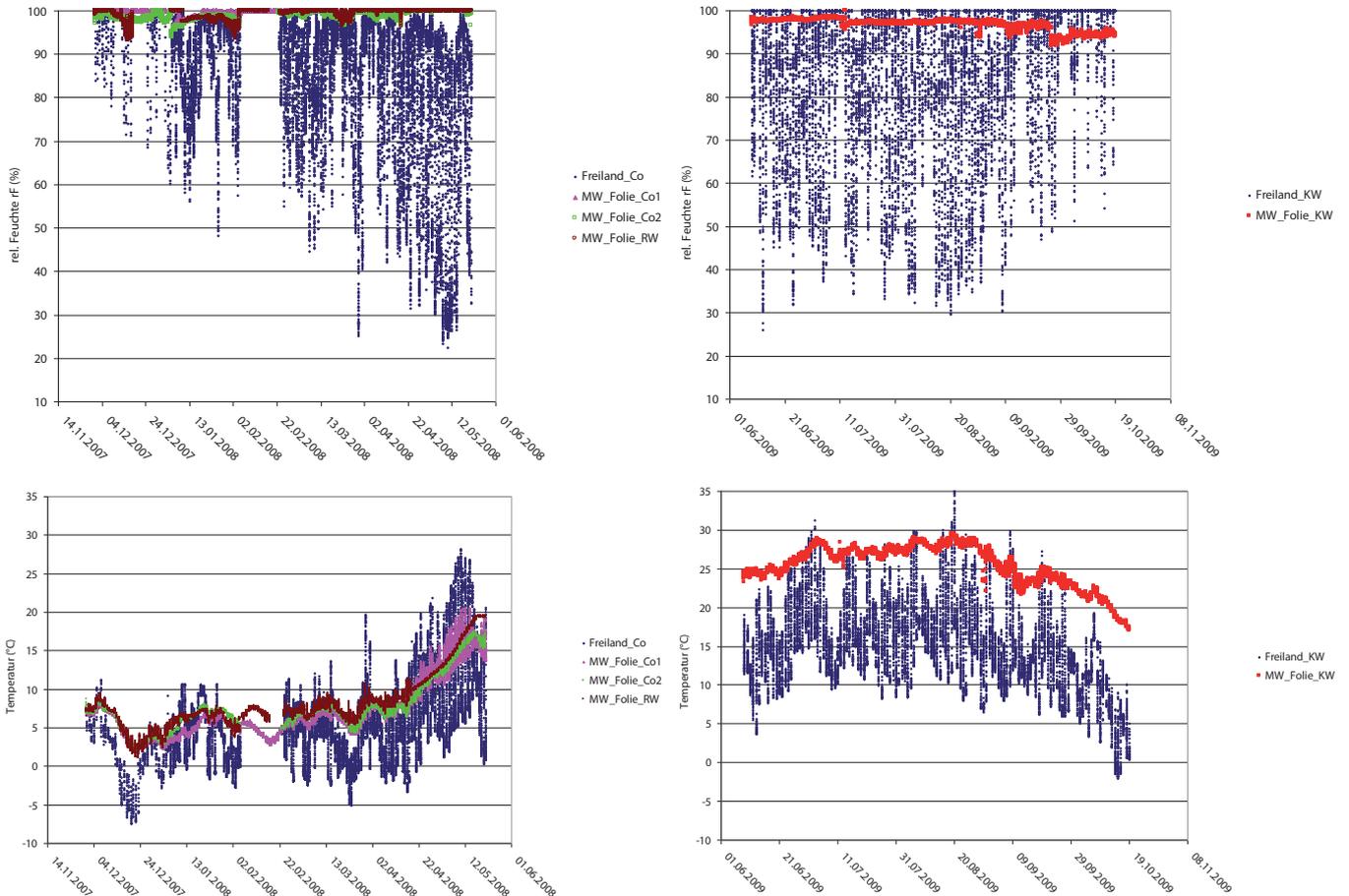


Abb. 4. Verlauf der Freiland- und der unter Folie ermittelten relativen Luftfeuchtigkeiten (% rF [oben]) und der Temperaturen (°C [untern]) von August 2007 bis Oktober 2009 (jeweils Mittelwert 2 Feuchte- und 3 Temperatur-Sensoren der Polterstandorte Cossack 1 (Co1) und Cossack 2 (Co2) und Rinderwiese (RW) sowie 4 Sensoren am Standort Kastanienwiese im Vergleich mit unveränderten atmosphärischen Kontrollwerten [Freiland; ein Sensor]). 10 min. Messauflösung, Anzahl der Messungen je Sensor rd. 25.000.

Development of relative humidity (% rF [above]) and temperature (°C [below]) in open field and plastic foil covered air from August 2007 to October 2009 (each mean value obtained from 2 humidity and 3 temperature sensors at forest sites Cossack 1 (Co1), Cossack 2 (Co2), Rinderwiese (RW) as well as from 4 sensors at Kastanienwiese in comparison with unchanged air samples from atmosphere [Freiland = open field: one sensor]). Time interval: 10 minutes, measurements per sensor: ca. 25,000.

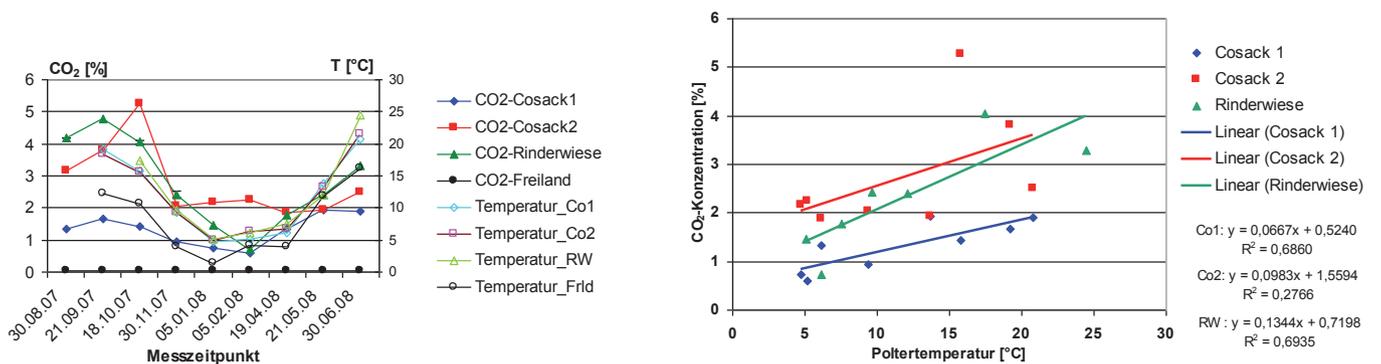


Abb. 5. Abhängigkeit der CO₂-Konzentrationen (%) von den unter Folie ermittelten Temperaturen (°C) von August 2007 bis Juni 2008 an den Standorten Cosack 1, Cosack 2 und Rinderwiese im Vergleich mit Freilandmessungen. Mittelwert je Datenpunkt und Folienlager aus 2 CO₂- bzw. 3 Temperatur-Messungen.

Dependency of CO₂-concentrations (%) and air temperature (°C) under plastic foil from August 2007 to June 2008 at the storage sites Cosack 1, Cosack 2 and Rinderwiese in comparison with open field measurements. Mean of each data point and storage site: 2 CO₂ and 3 temperature measurements respectively.

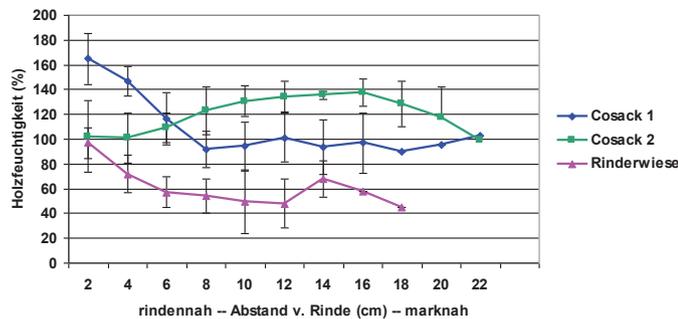


Abb. 6. Standortsmittelwerte und Standardabweichung der ermittelten Holzfeuchten (% , Widerstandsmessgerät) von sechs Messaufnahmen über den Stammradius in 2-cm-Stufen der Standorte Cosack 1, Cosack 2 und Rinderwiese. Mean and standard deviation of measured wood moisture (% , electrical resistance measurement) of six measurements taken along the log radius in steps of 2 cm at the storage sites Cosack 1, Cosack 2 and Rinderwiese.

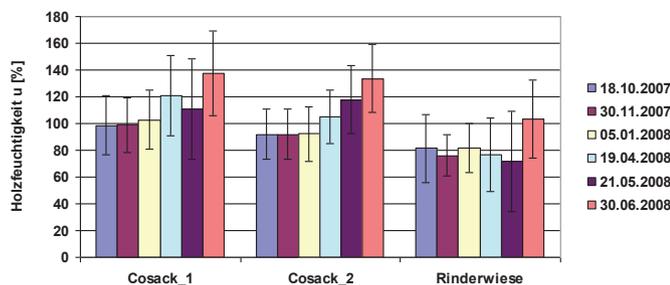


Abb. 7. Standortsmittelwerte und Standardabweichung der ermittelten Holzfeuchten (% , Widerstandsmessgerät) von sechs Messaufnahmen von jeweils 42 Einzelmessungen im Splintholz (rd. 2 cm von Rinde entfernt [Rinderwiese Okt. 07: n = 14, ab Nov. 07: Rinderwiese n = 56]) der Standorte Cosack 1, Cosack 2 und Rinderwiese. Mean and standard deviation of measured wood moisture (% , electrical resistance measurement) of six measurements each with 42 single measurements in sapwood (at about 2 cm distance from bark [Rinderwiese Okt. 07: n = 14, from Nov. 07: Rinderwiese n = 56]) at the storage sites Cosack 1, Cosack 2 and Rinderwiese.

werter Rückgang der Holzfeuchtigkeit im Fichtenholz statt. Dieses kann für die Hirnenden der vorliegenden untersuchten Stämme über einen 2-jährigen Untersuchungszeitraum (elektrische Widerstands-Holzfeuchtemessmethode) und für die gesamte Stammlänge nach rd. 30-monatiger Folienlagerung (Darrbezugs-Holzfeuchte; folgt in Teil II) bestätigt werden (vergl. Abbildung 7).

Dabei liegt die Holzfeuchte der Stämme am Standort Rinderwiese aufgrund des späten Einlagerungstermins in Verbindung mit vorübergehender Sonnenexposition ohne Folienbedeckung deutlich niedriger. Dieser Austrocknungseffekt im Folienpolter wird durch extremere bodenhydrologische Verlagerungsbedingungen des Speicherwassers inmitten des wind- und sonnenexponierten Wiesenstandortes Rinderwiese noch verstärkt.

Die Werte einer weiteren Messreihe von rd. 30-50 Einzelmessungen je Standort und Zeitpunkt im äußeren Splintholz der Stamm-Hirnenden streuen hierbei bereits im Splint im Mittel zwischen 75 und 180 % Holzfeuchte, unter Einbeziehung der Variationsbreite der Feuchtwerte sogar zwischen 40 und 200 % (Abbildung 7 und 8). Damit liegt ein Teil der Stämme bereits unterhalb eines für eine Langzeitlagerung unkritischen Holzfeuchtebereichs, der mit Feuchtegehalten von oberhalb 100-120 % angenommen wird. Auch diese erweiterte Messreihe charakterisiert in erster Linie die Situation an den Hirnenden der Stämme, die am schnellsten von möglichen lokalen Feuchteschwankungen (Austrocknungs- und Wiederbe-

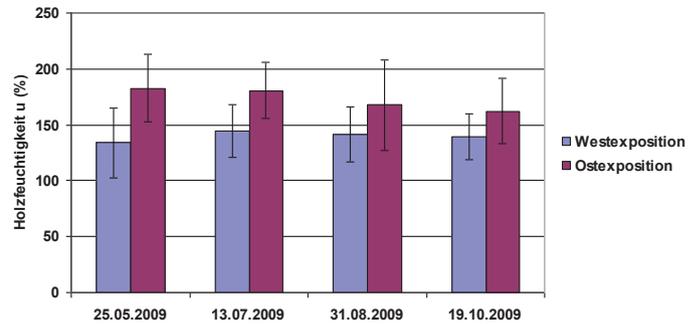


Abb. 8. Mittelwerte und Standardabweichung der ermittelten Holzfeuchten (% , Widerstandsmessgerät) von vier Messaufnahmen von jeweils 30 Einzelmessungen im Splintholz (rd. 2 cm von Rinde entfernt) des Standortes Kastanienwiese. Vergleich der hirnsseitigen Messungen der abschüssig gelagerten Stamm-Ostseite mit der höher gelagerten Westseite. Mean and standard deviation of measured wood moisture (% , electrical resistance measurement) of four different measuring times each with 30 single measurements in sapwood (at about 2 cm distance from bark) at the storage site Kastanienwiese. Comparison of cross-grained measurements at lower (East-exposition) and at higher stored log side (West-exposition).

feuchtungsvorgänge) beeinflusst werden. Hier treten i. d. R. zuerst Holzschäden durch Verfärbung oder Holzabbau auf. Der Einfluss der Wiederbefeuchtung der Stämme durch Kondensation von Wasserdampf an der Folieninnenseite und Abregnen des zirkulierten Wassers von der Folie wird an der erhöhten Holzfeuchte der Hirnenden der tiefer gelagerten schwächeren Hirnenden deutlich: Hier sind die Holzfeuchten im Vergleich zu den höher gelagerten stärkeren Stammenden um bis zu 30 % erhöht (Abbildung 8). Das Stamminnere in einigen Zentimetern Abstand vom Hirnende wird erfahrungsgemäß in weitaus geringerem Ausmaß von einem Feuchtigkeitsverlust beeinträchtigt. Dieser Bereich kann so durch den Erhalt eines für den Holzabbau durch Pilze zu feuchten Milieus i. d. R. ausreichend vor einer Schädigung geschützt werden (vgl. Abbildung 2). Darüber sollen zusätzliche Untersuchungen von Holzproben mit der Darrbezugsfeuchtemessung sowie der visuellen und technologischen Schadensbewertung über die gesamte Stammlänge näher Aufschluss geben (folgt in Teil II).

Schlussfolgerungen

Das installierte Messinstrumentarium an den beschriebenen Folienlager-Standorten lieferte über rund 30 Monate Messwerte, die einen Einblick in die relevanten biotischen und abiotischen Prozesse bei der Holzlagerung unter Folie erlauben. Dabei spiegeln die gegenüber der umgebenden freien Atmosphäre deutlich veränderten Umweltbedingungen in der Folienatmosphäre die für eine längerfristige Holzlagerung erforderlichen günstigen Bedingungen wider. Insbesondere die Luftfeuchtigkeit, die Gaszusammensetzung im Luftraum unter der Folie und die Holzfeuchten deuten auf lagerungstechnisch günstige Verhältnisse hin. Allerdings müssen die durchgeführten Zeitreihenuntersuchungen zur Sicherstellung und Überprüfung der für eine längerfristige Lagerung erforderlichen Bedingungen im Holzpolter durch ergänzende und vertiefende Begleitmessungen relevanter Holzeigenschaften erweitert werden, um letztlich Aussagen über den Erfolg oder Misserfolg der Folienlagerung machen zu können (folgt in Teil II).

Die für einzelne Messungen bislang nur lokal an den Hirnenden der Stämme durchführbaren Untersuchungen werden in nachfolgenden Untersuchungen auf weiter innen im Polter bzw. im Holz

liegende Bereiche ausgedehnt. Neben der hier dargestellten zerstörungsfreien Messtechnik ist die Entnahme von Holzproben zur Charakterisierung der Holzfeuchte und der Holzdicke sowie von etwaigen Schäden durch Verfärbungen, Risse und Holzabbau im Stamminnern und entlang von Stammquerschnitts- und Stammlängen-Gradienten unbedingt erforderlich. Letztendlich lässt sich die Gefahr einer Holzschädigung durch holzerstörende Pilze nur durch den Einsatz von Festigkeitsuntersuchungen überprüfen, die empfindlichere Verfahren wie die Bestimmung der Festigkeitsuntersuchungen in Gebrauchsdimensionen einschließen sollten. Über diese holzphysikalischen und elastomechanischen Untersuchungen soll in einer nachfolgenden Publikation (Teil II) berichtet werden.

Danksagung

Die Autoren danken dem Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen für die technische und finanzielle Unterstützung des Projektes.

Literatur

- Bauch J. 1980. Natural Variations of Wood Properties. IUFRO-Conference Oxford/UK, April 8-16th 1980. Mitt. Bundesforsch. Anstalt f. Forst- u. Holzwirtschaft 131
- Ehlmann K., Kluge C. 2008. Rundholzkonservierung in Folie. Projektarbeit Univ. Göttingen (unveröff.)
- Fisse R., Ropte T. 2010. Sortierung von Fichtenschnittholz erzeugt aus Folienlagerung. Projektarbeit Univ. Göttingen (unveröff.)
- Groß M., Mahler G., Klebes J. 1998. Erfahrungen mit der Rundholzkonservierung durch Schnittflächenversiegelung und Folienabdeckung. Holz-Zentralblatt 63, 1043-1044
- Hapla F. 1992. Holzqualität von Kiefern aus einem Waldschadensgebiet nach fünfjähriger Nasslagerung. Holz als Roh- u. Werkstoff 50, 268-274
- Knigge W., Schulz H. 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Hamburg u. Berlin
- Leder B. 2009. http://www.waldwissen.net/themen/waldbau/forstliche_planung/wuh_orkan_2008_DE (15.07.2010)
- Liese W., Peek R. 1987. Erfahrungen bei der Einlagerung und Vermarktung von Holz im Katastrophenfall. Allg. Forstz. 42, 909-912
- Lofthfield N., Flessa H., Augustin S., Beese F. 1997. Automated gas chromatography system for rapid analysis of the atmospheric trace gases methane, carbon dioxide, and nitrous oxide. Environ. Qual. 26, 560-564
- LWF (Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft) 2001. Rundholz richtig lagern. Merkblatt Nr. 7. Freising
- Maier T. 1998. Ein neues Lagerverfahren für Rundholz. AFZ/DerWald 53, 1597-1599
- Maier T. 2005. Konservierung von Rundholz unter Sauerstoffabschluss – Folienkonservierung. Dissertation Universität Freiburg
- Müller-Using S. 2005. Totholzdynamik eines Buchenbestandes im Solling. Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme Univ. Göttingen A 193
- Ogsoka T. 2008. Ausgewählte Holzeigenschaften von Fichtensturmholz aus Folienlagerung. Bachelorarbeit Univ. Göttingen (unveröff.)
- Osburg P. 2008. Mündl. Mitteilung
- Rademacher P., Hapla F. 2009. Holzkonservierung durch Lagerung von Fichtenstämmen unter Folie im Forstamt Arnsberg. Abschlussbericht Forschungsvorhaben im Auftrag des Landesbetriebs Wald und Holz NRW. Göttingen (unveröff.)
- Rademacher P., Bauch J., Puls J. 1986. Biological and chemical investigations of the wood from pollution-affected Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Holzforschung 40, 331-338
- Reuter P. 2009. Qualitätsparameter von Fichten-Sturmholz aus Folienlagerung im Forstamt Arnsberg. Bachelorarbeit Univ. Göttingen (unveröff.)
- Richter G. 1988. Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. Stuttgart
- Sachsse H. 1984. Einheimische Nutzhölzer. Studententext 44, Hamburg u. Berlin
- Schmid-Vogt H. 1986. Die Fichte, Band II/1. Hamburg u. Berlin
- Schüler G., Wurster M. 2000. Rundholzkonservierung unter Sauerstoffabschluss. AFZ/DerWald 55, 276-277
- Seegmüller S., Hapla F. 2007. Farbänderung und Verleimbarkeit von Buchenschnittholz aus Lagerung unter Sauerstoffabschluss. Ber. Forschungsanstalt f. Waldökologie u. Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
- Teepe R., Brumme R., Beese F., Ludwig B. 2004. Nitrous oxide emission and methane consumption following compaction of forest soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 68, 605-611
- Thiery J. 2007. Arbeitshilfe zur Lagerung von Fichten-Stammholz unter Folie. Arbeitspapier der Niedersächsischen Landesforsten. Clausthal
- Wauer A. 2000. Verfahren der Rundholzlagerung. Ber. Bayer. Landesanstalt f. Wald u. Forstwirtschaft 29