
Folienlagerung

In Kürze

Baden-Württembergisches Verfahren

- Langholz oder Abschnitte werden luftdicht verpackt
 - Verpackung mittels zwei Lagen UV-beständiger Silofolie
 - Boden- und Deckfolie werden miteinander verschweißt
 - Holz wird in Paketen zu etwa 300 Fm verpackt
-

- + erprobtes Verfahren mit bekannten Erfolgskriterien
 - + Holz ist mehrere Jahre lagerfähig
 - + gute Alternative zum Nasslager, genehmigungsfrei
-

- Pakete sind nur schwer dicht zu halten
 - permanente Überwachung notwendig
 - es fallen Lizenzgebühren an, auch dadurch relativ teuer
-

Schweizer Verfahren

- Langholz oder Abschnitte werden unter einer Deckfolie verpackt
 - es gibt keine Bodenfolie
 - Holz wird permanent feucht gehalten
 - Holz muss absolut frisch sein
-

- + günstiges Verfahren
 - + flexibel, jederzeit und überall einsetzbar
 - + gute Alternative zum Nasslager, genehmigungsfrei
-

- Verfahren ist noch wenig erforscht
 - Erfolgskriterien unsicher
 - dadurch hohes Risiko der Holzentwertung
-

Beschreibung

Die Folienlagerung beruht auf dem Prinzip des Luftabschlusses nach außen. Es gibt derzeit zwei Verfahren, die prinzipiell für Kurz- und Langholz geeignet sind.

Bei beiden Methoden verwendet man UV-beständige Polyäthylenfolie (Silofolie) zur Abdeckung.

Baden-Württembergisches Verfahren

Das erste Verfahren haben in einer Kooperation die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) in Freiburg und die Technische Universität Dresden (TU Dresden) in Tharandt entwickelt. Hierbei wird das Holz luftdicht eingeschweißt und damit in möglichst sauerstofffreier Atmosphäre gelagert. Natürliche Prozesse wie Atmung und Gärung reduzieren den Sauerstoffgehalt gegen 0%. Erneuter Luftzutritt wird verhindert. Dazu wird sowohl auf dem Boden unter dem Holz als auch über dem Holz eine doppellagige Folie ausgebreitet. Beide Folien werden miteinander verschweißt. Das Patent für das Verfahren hält die TU Dresden, einziger Lizenznehmer ist die Firma Wood-Packer in Freiburg, Patent-Nr.: DE19652951A1, vom 25.06.1998.

Schweizer Verfahren

Das zweite Verfahren testete bereits nach dem Sturm Lothar 1999 die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA). Es wird deshalb in der Folge *Schweizer Verfahren* genannt. Das Sägewerk Schmidt in der Rhön wendet es seit mehreren Jahren erfolgreich an. Bei diesem Verfahren fehlt die Bodenfolie. Es beruht also *nicht* auf dem Prinzip des Sauerstoffentzugs, sondern das verpackte Holz wird durch den Luftabschluss nach außen permanent feucht gehalten. Verdunstendes Wasser tropft von der Folie wieder auf das Holz. Bodenfeuchtigkeit diffundiert in den Folienpolter. Es herrscht hier eine sauerstoffarme Atmosphäre mit circa 15% Sauerstoff.

Voraussetzungen

Das Baden-Württembergische Verfahren wurde bisher für *Fichte/Tanne, Kiefer, Buche, Bergahorn, Esche* und *Birke* getestet und eignet sich wahrscheinlich auch für andere Baumarten. Das Holz muss in jedem Fall *frisch* sein.

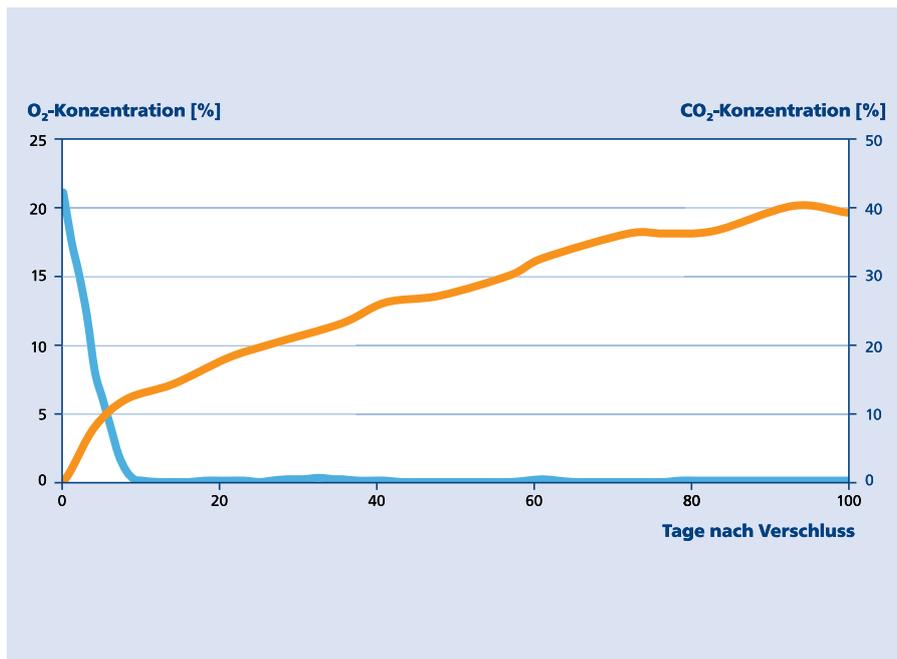


Abbildung 15: Entwicklung von O₂- und CO₂-Gehalt in Folienlagern während der ersten 100 Tage nach der Verpackung (nach Maier 2005)

Die Poltergröße orientiert sich an den Sortimenten, der Lagerplatzgröße und den Kundenwünschen bzw. der Verarbeitungskapazität des Sägewerkes. Prinzipiell gilt: Je größer der Polter, desto eher stellt sich die gewünschte, sauerstoffarme Atmosphäre ein. Kleine Polter haben nicht genug Masse, um die nötige Intensität von Gärung und Atmung zu erzeugen, damit der Sauerstoff schnell verbraucht wird. Aber: Ein Polter darf auch nur so groß sein, dass er nach der Öffnung sofort komplett geräumt werden kann. In Folie gelagertes Holz muss nach der Öffnung der Folie sofort verarbeitet werden, ansonsten kommt es zu einer starken Entwertung durch Oxidation. Versuche zeigten, dass nur das Verschweißen der Folien zum gewünschten luftdichten Abschluss führt. Zum besseren Schutz vor Beschädigungen sollten die Polter in eine doppelte Folienhülle eingepackt werden.

Für die Polter- und Einschweißarbeiten ist stets ein Zwei-Personen-Team notwendig. Landwirtschaftliche Geräte allein, wie sie z. B. für Silofolien Verwendung finden, eignen sich nicht. Die Waldbesitzer bzw. deren Beauftragte müssen die verpackten Polter jedoch bis zum Ende der Lagerzeit selbst kontrollieren. Bleibt die Folie dicht, sinkt der Sauerstoffgehalt innerhalb von zehn Tagen auf nahezu 0%, der CO₂-Gehalt steigt nach 100 Tagen auf etwa 40% an (Abbildung 15). Später pendelt er sich bei 10–20% ein (Maier 2005). Nach dem Abschluss einer Lagerung sind die Folien vor allem

aufgrund der Alterung nicht wieder verwendbar. Sie sind jedoch thermisch oder stofflich verwertbar.

Für das Schweizer Verfahren liegen Erkenntnisse aus der Praxis nur für die *Fichte* vor. Die Regeln für die Poltergröße gelten gleichlautend wie beim Baden-Württembergischen Verfahren. Nur ist hier das Ziel nicht der Verbrauch des Sauerstoffs, sondern die Erhaltung einer gleichbleibend hohen Luft- und Holzfeuchte. Das Holz muss beim Einlagern absolut frisch sein, damit es eine maximale Ausgangsfeuchte mitbringt. Vorteilhaft ist es, den Polter vor der Folienabdeckung mit Wasser zu bespritzen. Verletzungen von Rinde und Holzmantelfläche sind bei dieser Art der Lagerung sehr nachteilig. Sie bilden Angriffspunkte für Pilze. Der Sauerstoffgehalt sank bei einem Versuch auf 16–20% (Rademacher et al. 2011), das heißt Schadorganismen überleben im Prinzip auch unter der Folie. Der Schutzeffekt rührt allein von der hohen Holzfeuchte her.

Lagerdauer

Baden-Württembergisches Verfahren

Versuche ergaben, dass – vorausgesetzt, die Konservierung verlief ungestört – auch nach längerer Lagerdauer keine Qualitätsverluste auftraten.

Selbst nach vier Jahren Lagerung war *Fichtenholz* weder verblaut noch rotstreifig und nur unwesentlich (durchschnittlich 10%) abgetrocknet (»optimal frisch«).

Nach über einem Jahr Lagerzeit verfärbte sich der äußere Splint zunächst gelblich, später bräunlich, was aber die Verwertung des Holzes nicht einschränkte (Schüler 2000). Bisher liegen für *Buche* Ergebnisse über Lagerzeiten von bis zu 14 Monaten vor. Die Produktion von *Buchenfurnier*, bei sehr guter Ausgangsqualität sogar von *weißem Buchenfurnier*, ist möglich (Maier et al. 1999). Für *Kiefernholz* existieren Erfahrungen mit einer Lagerdauer von einem halben Jahr. Bläuepilze konnten sich in der sauerstoffarmen Atmosphäre nicht entwickeln.

Eine rasche Weiterverarbeitung des Holzes nach dem Öffnen der Folien sowie eine künstliche Trocknung der Schnittware tragen wesentlich dazu bei, die Holzqualität zu erhalten. *Buchenholz* muss innerhalb von ein bis zwei Tagen im Sägewerk weiterverarbeitet werden, da die sofort einsetzenden Oxidationsprozesse zu einer sich von den Stirn- und Mantelflächen schnell ausbreitenden Grauverfärbung führen. Für *Nadelholz* ist diese Zeitspanne etwas größer, da die holzerstörenden Pilze relativ langsam wachsen.

Schweizer Verfahren

Die bisherigen Erkenntnisse aus der Praxis sind noch nicht endgültig wissenschaftlich untermauert. Es zeichnet sich ab, dass zumindest *Nadelholz* auch mit diesem Verfahren einige Jahre lagerfähig ist. Derzeit wird aus der Praxis eine maximale Lagerzeit von einem Jahr empfohlen. Damit das Holz ohne gravierende Qualitätsverluste lagerfähig ist, sind nach bisherigen Erkenntnissen folgende Punkte strikt zu beachten:

- Nur absolut frisches und gesundes Holz ist einzulagern
- Es sollte nur Langholz konserviert werden, da bei Fixlängen kein ausreichender Kappschnitt zur Entfernung stirnseitiger Verfärbungen möglich ist
- Das Holz muss sofort nach dem Einschlag ins Folienlager
- Die Hölzer sollten möglichst gleich lang sein, um Hohlräume zu vermeiden
- Rindenschäden und Verletzungen des Stammmantels sind unbedingt zu vermeiden
- Als Lagerort ist ein frischer bis feuchter, windstiller Standort zu wählen, trockene windige Plätze sind ungeeignet

Arbeitsschritte beim Baden-Württembergischen Verfahren

Zunächst ist ein günstiger, windgeschützter Lagerplatz zu wählen, um Schäden an der extrem windanfälligen Folie zu vermeiden.

Der Lagerplatz wird von Steinen, Ästen, Wurzelwerk und anderen Unebenheiten gesäubert.

Auf dieser weitgehend ebenen Fläche werden die Folien ausgebreitet und mit Unterlagen für die Polter versehen. Dies muss besonders vorsichtig geschehen, um Beschädigungen der Folie zu vermeiden (Maier 2005).

Darauf wird das Holz sorgfältig in Haufenpoltern aufgesetzt. Sämtliche Wurzelanläufe, Äste und Splitter sowie sonstige Spitzen, die die Folie beschädigen könnten, sind zu beseitigen. Dies ist bei weitem der aufwendigste Arbeitsschritt.

Anschließend wird die Deckfolie über das Holz gezogen und

mit Hilfe eines Spezialgeräts mit der Bodenfolie luftdicht verschweißt.

Zum besseren Schutz können eventuell feinmaschige Schutzgitter gegen mechanische Beschädigungen über die Folien gelegt werden. Dies verteuert jedoch das Verfahren zusätzlich. Die Gitter sind wiederverwertbar (Firma Böck, Trostberg).

Während der Lagerzeit sind regelmäßige Kontrollen mit einem Gasmessgerät (Mietpreis rund 1.000 €/Jahr) bei *Nadelholz* alle vier Wochen, bei *Buche* einmal pro Woche erforderlich. Dabei gefundene kleinere Beschädigungen der Folie können mit Gewebeklebeband repariert werden. Bei großen Schäden an der Folie bleibt meist nichts anderes übrig, als das Polter auspacken und möglichst rasch weiterzuverarbeiten. Die häufigsten Schadursachen sind herabfallende Äste und Mäusefraß. Schäden durch herabfallende Äste sind leicht zu erkennen und zu beheben. Schäden durch Mäusefraß lassen sich kaum finden, da sie am unteren Rand des Polters oder gar unter dem Polter sind. Verschmutzungen durch Laub oder Erde machen darüber hinaus eine Reparatur oft unmöglich (Maier 2005).

Kosten

Das Baden-Württembergische Verfahren ist effizient, aber kostenintensiv. Es lohnt sich deshalb nur für bessere Sortimente und große Holzmengen (Minimum 1.000 Fm). Die Kosten belaufen sich derzeit auf circa 9–14 €/Fm (Maier 2010), wobei der Preis mit steigender Holzmenge sinkt. Das Verfahren ist inzwischen patentiert, daher fallen Lizenzgebühren an. Patentinhaber ist die Firma Wood-Packer in Freiburg im Breisgau.

Das Schweizer Verfahren ist mit Kosten von 5–10 €/Fm deutlich günstiger.

Wertung

Baden-Württembergisches Verfahren

Das vom Witterungsverlauf unabhängige Verfahren schützt zuverlässig vor Pilz- und Insektenbefall. Der Einsatz von Wasser und Insektiziden ist nicht nötig. Es lässt sich auch in Natur- und Wasserschutzgebieten anwenden. Es bedarf keiner rechtlichen Genehmigung.

Diese Art der Konservierung ist flexibel hinsichtlich Poltergröße, Lagerplatz und Holzart. Bei ungestörtem Lagerungsverlauf entstehen nur geringe Kontroll- und Wartungskosten. Als problematisch erwiesen sich bisher Beschädigungen der Folien (Mäusefraß, Windwirkung, Vandalismus). Kleinere Schäden lassen sich im Zuge der regelmäßigen Kontrollen beseitigen. Mäuseschäden lassen sich oft nicht finden, da sie unter dem Polter liegen. Häufig können sie wegen Verschmutzungen nicht repariert werden. Bei größeren Schäden bleibt meist nur die rasche Weiterverarbeitung des Holzes als *ultima ratio*.

Diese Lagerungsart eignet sich außer zur effektiven Hilfe bei einer Kalamitätsbewältigung auch zur Sommersversorgung von Sägewerken mit *Laubholz*. Die Unternehmen kaufen das Holz im Winter und konservieren es dann auf ihre Kosten im Wald oder auf dem Werksgelände.

Das Verfahren erfordert den Einsatz von geschultem Personal mit Spezialgeräten. Insbesondere aufgrund der hohen Kosten und der in der Regel benötigten größeren Holzmengen eignet sich das Verfahren für den *größeren Waldbesitz sowie für Waldbesitzervereinigungen, nicht jedoch für einzelne Kleinprivatwaldbesitzer*.

Schweizer Verfahren

Dieses Verfahren befindet sich insofern noch im Erprobungsstadium, als dass Erkenntnisse aus der Praxis bisher nicht abschließend wissenschaftlich untermauert wurden. Der Erfolg des Verfahrens kann deshalb nicht als gesichert gelten, die Erfolgsfaktoren sind bisher nicht abschließend bestimmt.

Im besten Fall schützt das Verfahren zuverlässig vor Pilzen und Insekten. Dies berichtet der Vorreiter des Verfahrens in Deutschland, das Sägewerk Schmidt aus Tann/Rhön. Im schlechtesten Fall scheitert das Verfahren und das gelagerte Holz ist komplett entwertet, wie beim Landesbetrieb Hessen-Forst geschehen (Müller 2010). Die unten folgenden Erfahrungsberichte aus Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen bewegen sich zwischen diesen beiden Extremen.

Aus ihnen kann man schließen, dass die Einlagerung von frischem, gesundem, unbeschädigtem Lang-

holz auf bodenfrischen, schattigen, windstillen Standorten den größten Erfolg verspricht.

Das Verfahren ist mit Kosten von 5–10 €/Fm deutlich günstiger als das Baden-Württembergische Verfahren und auch einfacher anzuwenden, da keine Folien zu verschweißen sind. Die absolute Dichtigkeit der Folie ist hier nicht so entscheidend wie beim Baden-Württembergischen Verfahren, wenn auch wünschenswert. Schäden sind darüber hinaus leichter zu beheben, weil sich keine Folie unter dem Polter befindet.

Das Schweizer Verfahren hat das Potenzial zu einer zuverlässigen Möglichkeit der qualitätserhaltenden Holzlagerung zu werden, wenn feststeht, wodurch Erfolg oder Misserfolg begründet sind.

Erfahrungen aus der Praxis

Sachsenforst und Klausner Holz Sachsen GmbH

Nach dem Sturm Kyrill 2007 lagerten Sachsenforst und Klausner Holz Sachsen GmbH rund 25.000 Fm bis zu 17 Monate lang in Folie nach dem Baden-Württembergischen Verfahren. Klausner Holz mietete für das Folienlager eine etwa 2,5 ha große Fläche, die verkehrsgünstig in der Nähe des Sägewerks lag und vollständig asphaltiert war. Die Fläche stand für mindestens ein bis zwei Jahre zur Verfügung.

Es wurden 83 Pakete à circa 300 Fm gebildet und mit einer doppelten Folienlage am Boden sowie auf dem Polter versehen; die Lagen wurden einzeln verschweißt und die Folie anschließend mit Nylonnetzen gegen Wind gesichert. Die Folienpakete wurden in der Folge permanent überwacht und auf Beschädigungen durch Wind oder Mäusefraß kontrolliert. Das Holz wurde zwischen fünf und siebzehn Monate konserviert, zwei Drittel davon mehr als zwölf Monate. Die kürzer gelagerten Pakete mussten aufgrund von Beschädigungen, vor allem durch Mäuse und Sturm in Verbindung mit Frost, vorher geöffnet werden. Wegen erhöhten Holzbedarfs endete die Lagerung nach 17 Monaten, eine längere Aufbewahrung wäre jedoch ohne Weiteres möglich gewesen.

Beim Öffnen der Holzpakete fand sich auf den Stirnflächen ein weißer, reifartiger Belag. Maier (2005) fand heraus, dass es sich dabei um einen Schimmelpilz handelt, der keinen Einfluss auf die Holzqualität hat. Die Schimmelsporen können jedoch Allergien auslösen, deshalb trugen die mit dem Auspacken betrauten Arbeitskräfte Staubschutzmasken. Die beobachtete Verfärbung der Stirnflächen war jedoch nicht auf den Schimmelpilz zurückzuführen. Man vermutete eher schon bei der Einlagerung vorhandene Bläuepilze als

Ursache. Nach dem Entfernen einer circa 5 cm dicken Stammscheibe war die Holzqualität einwandfrei. Die Kosten des Folienlagers betragen etwa 12 €/Fm.

Fazit des Verkäufers: Aus der Sicht von Sachsenforst ergaben sich zwei Hauptvorteile. Die betreffenden Mengen belasteten nicht den Markt und stabilisierten den Preis. Außerdem lagerte das Holz außerhalb des Waldes, wodurch sich das Waldschutzrisiko minimierte. Der Vorteil gegenüber dem Nasslager ist die Unabhängigkeit von oftmals langwierigen Genehmigungsverfahren. Das Risiko einer Holzentwertung bei Folienschäden ist wesentlich geringer als etwa bei einer Unterbrechung der Wasserversorgung eines Nasslagers. Durch die vielen Einzelpakete ist zudem das Risiko einer Entwertung der Gesamtmenge sehr stark reduziert. Das Errichten eines Folienlagers bedeutet vermutlich einen höheren zeitlichen Aufwand als die Anlage eines Nasslagers, der Aufwand des Betriebes eines Folienlagers ist dagegen weitaus geringer als der eines vergleichbaren Nasslagers. Für Sachsenforst ist die Folienkonservierung ein probates Mittel, um eingeschlagene Holzmengen aus dem Wald zu bekommen, vom Markt zu nehmen und gleichzeitig ihre Qualität zu erhalten. Die Folienkonservierung soll auch wegen der bereits genannten Problematik der Nasslagerung ein wichtiger Baustein im Szenario einer Kalamitätsbeseitigung bleiben. Sachsen Forst empfiehlt, für Mengen, die in Folie lagern sollen, einen Vorvertrag mit einem oder wenigen Kunden abzuschließen, da diese wahrscheinlich nur schwer am freien Markt zu verkaufen seien. Der Folien-Lagerplatz muss unbedingt windgeschützt sein. Der gewählte Platz war nach Westen hin offen, im Winter gab es deshalb Schäden an der Folie durch Sturm.

Fazit des Käufers: 1 ha Fläche reicht nach den Angaben von Klausner Holz für 10.000 Fm, bei 5 m Holzlänge. Klausner schätzt, dass unter normalen Verhältnissen und bei kontinuierlicher Holzanfuhr vier Personen etwa zehn Folienpakete pro Woche aufbauen können; das bedeutet ungefähr 16 Stunden Arbeitszeit pro Folienpaket. Hohe Disziplin erfordert die Einlagerung von mehreren Holzübernahmen gleichzeitig durch verschiedene Fuhrleute. Wind behindert die Einlagerung von Folienpaketen erheblich, die große Fläche der Silofolie wirkte wie ein Segel und ließ sich auch durch mehrere Mitarbeiter nicht kontrollieren.

Gegen Mäusefraß verwendete Klausner ein PVC-Bodengitter. Dadurch ließen sich die Mäuse jedoch nicht abhalten. Die Schutzmaßnahmen gegen Mäusefraß müssen dementsprechend weiterentwickelt werden. Bleibt die Folie dicht, ist laut Klausner praktisch kein Qualitätsverlust festzustellen, die Schimmelbildung auf dem Holz hat keine negativen Auswirkungen auf die Holzqualität. Lediglich Verfärbungen des Holzes durch Ausfällungen von Gerbstoffen stellte das Unternehmen fest. Darüber hinaus waren Qualitätseinbußen meist auf Verzögerungen vor der Einlagerung zurückzuführen. Die Einlagerung sollte nach Ansicht von Klausner möglichst im Winterhalbjahr stattfinden, dann bleiben Störungen bei der Einlagerung ohne Auswirkungen auf die Qualität des Holzes. Vorteilhaft für die Befahrbarkeit ist eine Asphaltierung oder Betonierung des Lagerplatzes. Der Schutz vor unberechtigtem Zutritt verhindert Vandalismus. Alternativ ist für Klausner eine Lagerung dezentral in der Nähe des Hiebsortes denkbar, das hat den Vorteil, dass kein Zwischentransport nötig ist.

(Geibler und Scholz 2008)

Österreich, Guts- und Forstbetrieb Niedernondorf, Thurnsche Forstverwaltung (2008)

Gleich nach dem Sturm Kyrill im Januar 2007 führte der Guts- und Forstbetrieb Niedernondorf einen Versuch zur Folienlagerung nach dem Baden-Württembergischen Verfahren durch. Wissenschaftlich begleitete den Test das Österreichische Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald. Es wurden 600 Fm von Juni 2007 bis Januar 2008 eingelagert.

Als Hauptvorteile sahen die Österreicher den kurzen, ungebrochenen Transport, den Einsatz vor Ort und das genehmigungsfreie Verfahren. Es wird als gute Alternative zum Nasslager gesehen. Als Nachteil wurde die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Folie und der Schweißgeräte empfunden, außerdem die Anfälligkeit der Folie¹ gegen Schäden durch Mäuse, Wind und Vandalismus sowie die Notwendigkeit der regelmäßigen Sauerstoffmessung.

Beim Auslagern war das Holz mehr oder weniger stark von weißem Schimmelmizel bedeckt. Die Farbe der Stirnflächen hat sich während der Lagerung kaum verändert. Nach dem Einschnitt des Holzes blieben stirnseitige braune Farbeinläufe von wenigen Zentimetern Tiefe sichtbar.

¹ Deshalb sind vor dem Einlagern Aststummel und Splitter zu entfernen, die die Folie beschädigen könnten

Die Kosten beliefen sich auf 13,36 €/Fm, von denen das Land Niederösterreich 40% übernahm. Angebote der Firma Wood-Packer aus dem Jahr 2008 beliefen sich auf 13,03 €/Fm bei circa 2.000 Fm Volumen und 11,14 €/Fm bei etwa 4.000 Fm Volumen. In diesen Preisen ist die Holzanfuhr nicht enthalten.



Abbildung 16: Kerben an den Enden der Unterlagen verhindern ein Abrollen des Holzes. Unter dem Holz liegt die doppellagige Silofolie. Foto: R. Thurn, Guts- und Forstbetrieb Niedernondorf



Abbildung 17: Zum Verpacken vorbereitetes Polter
Foto: R. Thurn, Guts- und Forstbetrieb Niedernondorf



Abbildung 18: Fertig verpacktes Folienpaket
Foto: R. Thurn, Guts- und Forstbetrieb Niedernondorf

Österreich, Eberhard Holz GmbH

Die Holzhandelsfirma Eberhard Holz GmbH aus Liebenfels hat 2008 nach dem Orkan Paula 15.000 Fm Sturmholz in Folie unter Sauerstoffentzug verpackt. Von April bis Juli 2010 öffnete das Unternehmen die Polter und lieferte das Holz zum Sägewerk Hasslacher in Hermagor. Die Preise lagen zu der Zeit bei den üblichen Entgelten für Frischholz.

Insgesamt kamen 52 Polter zu je 270–300 Fm in die Folie. Das Sortiment waren 4,10-m-Abschnitte. Auch einige Tage nach der Öffnung der Folienpakete sah das Holz noch wie Frischholz aus. Auf der Rinde hatte sich ein reifartiger Schimmelpilzbelag gebildet, der aber mit der Entrindung entfernt wurde. Der Schimmelpilz gilt eher als verbessernder Faktor für den Konservierungserfolg, da er zum einen als Antagonist des Bläuepilzes wirkt und zum anderen zusätzlich Sauerstoff verbraucht. Wenn Stämme bereits bei der Einlagerung leichten Bläuebefall aufwiesen, so setzte sich dieser während der Lagerung nicht fort. Nach der Entfernung einer ungefähr 5 cm dicken Stammscheibe war das Holz weiß.

Der Abnehmer, die Firma Hasslacher Hermagor, war mit der Qualität des Holzes sehr zufrieden. Laut Geschäftsführer Leopold Schnaubelt sei die Qualität teilweise nicht von Frischholz zu unterscheiden. Eine Lieferung hatte eine leicht gelbliche Färbung, was jedoch nicht zu Beanstandungen seitens der Kunden führte. Auffällig war ein markanter Silogeruch, verursacht durch Gärungsprozesse während der Lagerung.

Die Kosten der Folienlagerung beliefen sich auf 9 €/Fm. Legt ein Waldbesitzer das Lager auf eigenem Grund an und hilft beim Aufbau, lassen sich die Kosten eventuell auf 6–7 €/Fm drücken. Die Sturmschaden-Hilfe des Landes Kärnten betrug 4 €/Fm. Die Transportkosten beliefen sich auf 7,50 €/Fm. Bei Errichtung des Folienlagers nahe des Hiebsortes ließen sich diese noch um rund 2 €/Fm senken. Außerdem könnte das Holz dann gleich mit dem Forwarder gepoltert werden. Das Holz wurde für einen Richtpreis von 74 €/Fm eingekauft. Wegen der langen Verzinsung über zwei Jahre und der zusätzlichen Kosten durch die Folienlagerung konnte der Holzhändler allerdings keinen Gewinn verbuchen. Lediglich ein Paket ist undicht geworden. Grund war die Beschädigung der Folie durch einen Sturm im Juni 2009. Das Mäuseschutzgitter hielt bei allen Poltern zuverlässig, ein Lagerplatz auf Schotter oder Asphalt minimiert das Mäuserisiko. Die Materialkosten für ein Folienpaket – Folien, Mäusegitter, Windschutznetz sowie Zubehör – belaufen sich auf 1.400 €. Das sind knapp 4,70 €/Fm. Der Zeitaufwand beträgt bei vier Leuten einen Tag für zwei Polter.

(Liptay 2010)

Niedersachsen

Auch die Niedersächsischen Landesforsten (NLF) suchten nach Kyrill Alternativen zur Nasslagerung. Beim Sägewerk Schmidt in der Rhön hat man sich bei den Landesforsten das Schweizer Verfahren abgesehen. Die Durchführung leitete Ingrid Beitzen-Heineke, Leiterin des Holzverkaufs Süd. Wissenschaftlich begleitete die Aktion Dr. Bresssem von der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA). Leider lagen zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Publikation noch keine Ergebnisse vor. Deshalb werden hier nur die praktischen Erfahrungen der Personen wiedergegeben, die an der Folienlagerung beteiligt waren.

Die NLF haben nach Kyrill die Hauptmenge des zu lagernden Holzes in Nasslagern konserviert, da dies nach wie vor als die zuverlässigste Methode der qualitätserhaltenden Holzlagerung gilt. Rund 35.000 Fm verpackten die NLF aber auch versuchsweise in Folie, um diese Variante der Holzkonservierung auf ihre Eignung für die Zukunft zu testen. Beim Einlagern in Folie sind demnach folgende Punkte zu beachten:

- Die Stämme müssen alle nahezu gleich lang sein, damit Stock- und Zopfende bündig sind und keine Hohlräume entstehen.
- Das Holz ist sofort nach dem Einschlag in Folie zu lagern, bei später konservierten Hölzern steigt der D-Anteil enorm, bei Fixlängen auf bis zu 80%.
- Es sollte nur Langholz eingelagert werden, um stirnseitige Verfärbungen zu minimieren.
- Bei Fixlängen stellen die vorn und hinten eindringenden Verpilzungen Probleme dar. Es ist nicht möglich, das nötige Übermaß zuzugeben und hinterher das Holz gesundzuschneiden, da die Fixlängenkunden fast nie Kappanlagen haben.
- Stärkere Stämme sind offenbar wegen ihrer höheren Feuchte und Vitalität besser geeignet als schwächere.
- Eine Schlüsselrolle kommt der Polterung zu: Direkt mit dem Forwarder in Folie gelagertes Holz hielt sich durchweg besser als zwischengelagertes; der Grund ist wohl die kürzere Zeit bis zur Verpackung.
- Holz aus Höhenlagen des Harzes hielt sich wesentlich besser als solches aus dem Flachland.
- Die Polter für Folienlager in Niedersachsen umfassten rund 700 Fm pro Paket, bei kleineren Poltern ist der »Beregnungseffekt« geringer, dadurch kann sich der D-Holzanteil erhöhen. (Mühlhausen 2008b)

Die Lagerdauer für Folienlager nach dem Schweizer Verfahren wird bei maximal ein bis zwei Jahren angesetzt. Die Poltergröße sollte nicht kleiner 200 Fm sein, um das nötige Innenklima zu erzeugen. Eine Größe von 300 Fm sollte nicht überschritten werden, damit geöffnete Polter schnell abzufahren sind. Die Kosten belaufen sich auf 5,50–8 €/Fm.

Gute Erfahrung hat man in Niedersachsen mit der Einlagerung von Ganzstämmen gemacht. Der Stamm bleibt unsortiert und vom Stock bis zum Zopfende an einem Stück. Stirnseitige Verpilzungen betreffen dann lediglich das Stammfußende, das womöglich ohnehin in der Palette gelandet wäre, und das Zopfende, welches ganz sicher Industrieholz ist. Dabei wurde keine Rücksicht auf eventuell im Stamm enthaltene Rotfäule genommen, was jedoch ohne Einfluss auf die Holzqualität blieb. Es fand keine Ansteckung oder Ausbreitung der Pilzinfektionen statt (Glaschke 2010). Die Stämme werden erst nach Lagerung in Sortimente aufgeteilt. Die Kosten hierfür betragen rund 5 €/Fm. Der Vorteil: Verfärbte Stücke können sofort in gesonderte Sortimente geschnitten werden, so lassen sich Wertverluste des Hauptsortiments minimieren.

Trotz fehlender wissenschaftlicher Auswertung konnte Bresssem (2010) im Interview einige grundsätzliche Aussagen zur Folienlagerung machen:

- Der Erfolg eines Folienlagers nach dem Schweizer Verfahren sei stets unsicher, die Erfolgsfaktoren nicht genau bekannt.
- In jedem Fall dürfe nur frisches, gesundes Holz eingelagert werden, ohne Insekten- oder Pilzbefall, da der Sauerstoffgehalt nicht so weit abfalle, dass Organismen absterben.
- Die einzig zuverlässige qualitätserhaltende Lagerungsmethode sei das Nasslager.

(Mühlhausen 2008b; Glaschke 2010)

Nordrhein-Westfalen, Sägewerk Fisch

Nach positiven Ergebnissen des Sägewerks Schmidt aus der Rhön entschloss man sich, auch im westfälischen Sägewerk Fisch auf Folienlagerung nach dem Schweizer Verfahren zu setzen. Grund waren die geringen Kosten von deutlich weniger als 10 €/Fm, einschließlich der Beifuhr. Die reinen Lagerkosten lagen bei 4–5 €/Fm. Fisch war außerdem skeptisch, ob ein Folienlager nach dem Baden-Württembergischen Verfahren wirklich dichtzuhalten sei.

Insgesamt wurden 120.000 Fm Langholz eingelagert, das entspricht etwa einem halben Jahreseinschnitt des Sägewerks. Was auch für die Folienlagerung sprach, war, dass man die Folienlager nahe bei den Hiebsorten errichten konnte und so öffentliche Straßen mied, was



Abbildung 19: Folienlager nach Schweizer Verfahren Foto: J. Preller, Wald und Holz NRW

mit einem Nasslager nicht möglich wäre. Das Unternehmen rechnete pro Festmeter Holz mit rund einem Quadratmeter Folie.

Ein Forscherteam² der Abteilung für Holzbiologie und Holzprodukte der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Universität Göttingen begleitete die Einlagerung wissenschaftlich. Ihre Messungen ergaben, dass in den Folienlagern permanent eine Luftfeuchte von 95–100% herrschte, die ein Austrocknen des Holzes über längere Zeit verhindern oder minimieren kann und die Abbaubedingungen für holzerstörende Pilze deutlich reduziert. Der Sauerstoffgehalt sank auf bis zu 15%, der CO₂-Gehalt stieg bis auf 5%. Die Holzfeuchte nahm teilweise sogar zu, was auf eine Zufuhr von Wasser per Verdunstung aus dem Boden hindeutet. Die Bodenlebewesen dienen als zusätzliche CO₂-Quelle. Ein oberflächlicher Pilzbefall, der das Holz teilweise sehr unansehnlich machte, hatte auf die Holzqualität keinen Einfluss. Wegen stirnseitiger Verfärbungen wurde das Holz um 10 cm gekappt statt wie üblich um 5 cm.

Technischer Erfolg: Der technische Erfolg der Folienlagerung fiel sehr gemischt aus. Teils war das Holz fast unversehrt, andere Partien wiesen stärkere Schäden durch Bläuepilze und Rotstreifigkeit auf. Zurückzuführen ist dies auf die Zeit zwischen Einschlag und Einlagerung. Je kürzer diese war, desto besser war die Holzqualität zum Zeitpunkt der Auslagerung. Ein anderer Einflussfaktor ist die Methode der Aufarbeitung. Motormanuell aufgearbeitetes Holz hielt sich wesentlich besser als Harvesterholz. Grund sind die Förderwalzen des Harvesters, die dem Holz viele kleine Beschädigungen beibringen. Durch diese wird das Holz mit Pilzen infiziert. Stellenweise war der äußere Splint bei der Auslagerung weichfaul. Das Sägewerk Fisch empfiehlt deshalb:

- Aufarbeitung möglichst rasch nach dem Windwurf
- Nur Langholz einlagern
- Holz sofort nach dem Einschlag konservieren
- Möglichst keine Harvesteraufarbeitung

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Holzqualität sei offenbar die Witterung zum Zeitpunkt der Aufarbeitung. So hätte Holz, das im April eingelagert worden war, deutlich schlechtere Qualitäten, als solches, das im August ins Folienlager kam, obwohl das August-Holz wesentlich länger im Wald lag. Im April sei es

² Bestehend aus Rademacher, P.; Hapla, F.; Leder, B.

sehr heiß und trocken, im August dagegen regnerisch gewesen. Das trockene Wetter im April hätte demnach offensichtlich ausgereicht, die Anfangsfeuchte des eingelagerten Holzes soweit zu senken, dass Schadorganismen das Holz hätten befallen können. Eine Lagerdauer von einem Jahr hält das Sägewerk Fisch mit dieser Methode auf jeden Fall für möglich. Ein perfekt angelegtes Lager halte auch zwei bis drei Jahre. Im konkreten Fall waren nach einem Jahr Folienlagerung ungefähr 25–50% des Holzes in die Qualität Cgw³ zu sortieren, nach zwei Jahren waren es 40–80%.

Kaufmännischer Erfolg: Für den kaufmännischen Erfolg ist entscheidend, dass die Marktlage später wirklich sehr viel besser ist als nach dem Sturm. Dann rechnen sich die Kosten eines Folienlagers. Ein Nasslager ist rund dreimal so teuer wie ein Folienlager im Schweizer Verfahren, allerdings lässt sich die Qualität in einem Nasslager deutlich zuverlässiger erhalten.

(Mühlhausen 2008 a; Fisch 2010)

Forschungsprojekte

TU Dresden und FVA Baden-Württemberg

Konservierung von Rundholz unter Sauerstoffabschluss:

Ein Forschungsverbund aus dem Institut für Forstbenutzung und Forsttechnik der Technischen Universität Dresden und der Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstbenutzung an der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg untersuchte von 1995 bis 2000 das Potenzial der Lagerung von Holz unter Sauerstoffentzug. Aus der Lebensmittelbranche ist das Prinzip der Verpackung in Schutzatmosphäre bekannt. Im Anhalt an diese Maxime setzte sich der Forschungsverbund das Ziel, ein Verfahren zu entwickeln, um Holz in einer Schutzatmosphäre zu lagern und seine Qualität zu konservieren. Konkret war zu testen: Kann frisches Rundholz in einer Schutzatmosphäre wirkungsvoll vor Schäden durch Insekten und Pilze geschützt werden? Der Versuch umfasste folgende Aspekte und Ziele:

- Entwickeln einer technischen Lösung zur luftdichten Lagerung von Holz in praxisüblichen Größenordnungen
- Erarbeiten eines Verfahrens zum dauerhaften Aufbau einer Schutzgasatmosphäre unter Folie
- Für welche Holzarten ist das Verfahren geeignet?

³ Güteklasse C, geringwertig (siehe 2.3.2.1.6 der Vorschrift über die Sortierung, Vermessung und Kennzeichnung von Rundholz durch die Forstbehörden des Landes Nordrhein-Westfalen – RSV 88 – RdErl. d. Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft - IV A 2/20-11-00.15v. 1.10.1988)

- Über welche Zeiträume konserviert ein solches Verfahren Holz in ausreichender Weise?
- Verbessert ein künstlich eingebrachter pilzlicher Antagonist das Konservierungsergebnis?
- Mithilfe physiologischer Untersuchungen erste Erkenntnisse zu den im Holz ablaufenden Prozessen gewinnen.

Material und Methoden: Das Forscherteam legte in vier Versuchsreihen 38 Polter mit insgesamt 960 Fm Fichten- und Buchenholz im Wald an. Ein Teil des Holzes blieb als Kontrollvariante ungeschützt, der überwiegende Teil des Holzes wurde polterweise mit zwei Silofolien vollständig umgeben. Jede dieser beiden Folien ließen die Forscher separat zu einer luftdichten Hülle verschweißen. Darüber hinaus prüften sie an einem kleineren Teil der Polter einfachere Verpackungsmethoden. An zwölf Poltern nahmen die Wissenschaftler eine Begasung mit Kohlendioxid vor, um den enthaltenen Luftsauerstoff zu verdrängen. Die restlichen Polter blieben unbegast. So wollten sie prüfen, ob sich eine Schutzgasatmosphäre auch ohne künstliches Zutun einstellt. In einer Variante mit vier Fichtenpoltern testete das Team eine im Labor erzeugte Sporensuspension mit einem künstlichen pilzlichen Antagonisten auf seine Wirksamkeit. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über 14 Monate beim Buchenholz und bis zu maximal vier Jahren beim Fichtenholz. Sukzessive baute das Forscherteam Polter der verschiedenen Varianten ab und prüfte die Holzqualität. Die Kriterien der Holzqualität waren das äußere Erscheinungsbild, der Befall des Holzes durch Insekten, der Rindenzustand sowie die Holzfeuchte. Die pilzlichen und abiotischen Veränderungen des Holzes untersuchten die Forscher an Stammscheiben sowie an erzeugter Brettware und abschließend im Labor die Inhaltsstoffe des konservierten Holzes.

Ergebnisse: Es stellte sich heraus, dass ein dauerhafter, sicherer und luftdichter Verschluss der Polter nur mit dem Standardverfahren, das die Verpackung in zwei Folienschichten beinhaltet, zu erreichen war. Es zeigte sich zudem, dass auf den Einsatz eines künstlich eingeleiteten Schutzgases verzichtet werden kann, da die in den Poltern ablaufenden Atmungs- und Gärungsprozesse auf natürlichem Wege zu einer sauerstofffreien und kohlendioxidreichen Schutzgasatmosphäre führen. Die Intensität dieser Prozesse hängt im Wesentlichen von der Außentemperatur und der konservierten Holzart ab. Auch nach vier Jahren Lagerungsdauer stieg der Sauerstoffgehalt in den Fichtenpoltern nicht wieder an. Die Gefahr einer Beschädigung der Folienschichten erwies sich als relativ gering, etwaige Reparaturen ließen sich zumeist einfach durchführen. In der

Folge stellte sich dann wieder eine sauerstofffreie Atmosphäre ein. Hinsichtlich der Konservierungsqualität zeigten sich keine Unterschiede zwischen der begasten und der unbegasten Variante. Buchenholz wies nach 14 Monaten und Fichtenholz nach bis zu vier Jahren Lagerdauer praktisch keine Qualitätseinbußen auf. Es waren weder Insektenschäden noch Pilzbefall zu beobachten. Holzerstörende Pilze ließen sich im konservierten Holz nicht nachweisen. Auch der künstlich eingebrachte Antagonist konnte sich in der sauerstofffreien Atmosphäre nicht entwickeln und damit auch nicht zur Verbesserung des Konservierungserfolges beitragen. Die einzige Beeinträchtigung am Fichtenholz war eine Braunfärbung durch oxidierte Gerbstoffeinlagerungen aus der Rinde, die sich aber auf den äußersten Splint beschränkte und so die Verwendbarkeit des Holzes nicht einschränkte. Am Buchenholz kam es nach der Auslagerung zu einer Dunkeltönung des äußeren Splintholzes und der Stammenden. Diese ist auf die Oxidation phenolischer Inhaltsstoffe zurückzuführen; nach der Dämpfung des Buchenholzes war keine Verfärbung mehr zu erkennen. Im Fichtenholz ließen sich nach zwei Jahren Konservierung im Gegensatz zu ungeschützt gelagertem Holz noch stoffwechselaktive Zellen nachweisen. Einfach- und Zweifachzucker waren sowohl beim folienkonservierten als auch beim ungeschützt gelagerten Holz praktisch nicht mehr vorhanden. Im Vergleich zum Frischholz waren im folienlagerten Holz stark erhöhte Konzentrationen an Ethanol sowie an Essig- und Propionsäure nachzuweisen. Dies deutet auf intensive Gärungsvorgänge hin, die im Holz stattfanden. Ob diese Gärung durch Holzparenchymzellen oder durch Mikroorganismen verursacht wurde, war nicht zu klären.

(Maier 2005)

Universität Göttingen, NW-FVA sowie Wald und Holz NRW

Untersuchungen zur Holzkonservierung durch Lagerung von Fichtenstämmen unter Folie im Lehr- und Versuchsforstamt Arnsberger Wald

Zeitreihenmessungen von Klima- und Umweltparametern des gelagerten Holzes: Das Versuchsforstamt Arnsberger Wald lagerte etwa 7.000 Fm der insgesamt rund 25.000 Fm Sturmholz unter Folie. Die Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte der Georg-August-Universität Göttingen begleitete über insgesamt zweieinhalb Jahre während der Lagerung vier dieser Folienpolter messtechnisch im Auftrag des Landes Nordrhein-Westfalen, vertreten durch den Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen. Zudem charakterisierte sie die Bedingungen während der Holzlagerung. An drei weiteren Folienlagern führte sie zusätzlich orientierende Untersuchungen der Lagerbedingungen in Hinblick auf die Holzqualität durch.



Abbildung 20: Während der Lagerung bildet sich auf den Stirnflächen ein Oberflächenmyzel.

Foto: J. Preller, Wald und Holz NRW

Ziel der Folienlagerung ist die Konservierung des Holzes in einem Zustand, in dem schädliche Bedingungen wie ein Absinken der Holzfeuchtigkeit in einen für den pilzlichen Abbau kritischen Bereich nicht auftreten können. Zudem soll unter der Folie ein Teil des Luftsaauerstoffs durch die Atmungsaktivität des Holzes verbraucht werden und der Anteil des Kohlendioxids ansteigen.

Es wurde ausschließlich Langholz ohne Unterlagen auf den Boden eingelagert. Es folgte ein Abdecken mit einer 0,19 mm starken Kunststoffolie. Punktuell fand eine Fixierung der Folie mithilfe von Brettern und Aluminiumnägeln am Holz statt, um eine Beschädigung der Folie durch Wind zu verhindern. Der Versuchsaufbau sah in der Folge zerstörungsfreie kontinuierliche Messungen vor:

- Fotodokumentation der Oberfläche der Stirnenden des Holzes
- Messungen der Zusammensetzung der Gasatmosphäre unter der Folie
- Luftfeuchtemessungen unter der Folie
- Temperaturmessungen unter der Folie
- Holzfeuchtemessungen der Stirnflächen über den Stirnflächenradius der Stämme mithilfe der Widerstandsmessmethode

Zu diesem Zweck gab es in der Folie Wartungsöffnungen zum periodischen Messen und zum Auslesen der installierten Datalogger. Hierbei wurde auch ein mehr oder weniger intensiver Bewuchs mit Oberflächenmyzel festgestellt, der aber keinen Anhaltspunkt für eine Holzschädigung gab, da die auftretenden Pilze normalerweise nur die leicht erschließbaren Nährstoffe nutzen. Eine Verfärbung des Holzes durch ein tieferes Eindringen in den Stamm ist nicht unbedingt gegeben und tritt in der Regel nicht auf. Nach dem Abtrennen einer rund 5–10 cm dicken Stammscheibe vom Stirnende erscheint das Fichtenholz hell. Dies deckt sich mit Beobachtungen an rund 3.700 Fm Fichtenholz aus Kyrill-Folienpoltern, die an das Sägewerk Fisch verkauft und dort zu 61 % B-, zu 36,7 % C- und lediglich zu 2,3 % Cgw-Qualitäten sortiert wurden (Osburg 2008 in Rademacher et al. 2011). Gasmessungen in den Poltern ergaben, dass sich die Sauerstoffkonzentration auf rund 16–20 % reduziert, während die Kohlendioxid-Konzentration auf 1–5 % ansteigt. Im Winter nimmt der CO₂-Gehalt ab, der Sauerstoffgehalt steigt an. Dies wird auf einen temperaturabhängigen Rückgang der Veratmung von organischen Kohlenstoffverbindungen zurückgeführt. Ähnliches stellte auch Maier (2005) fest.

Des Weiteren kam die Untersuchung zu folgenden Ergebnissen: Die Kohlendioxid-Konzentration unter der Folie stieg in der Umgebungsluft des gelagerten Holzes um bis zum 130-fachen gegenüber der freien Atmosphäre an. 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 Polterinneren. Ebenso wie für CO₂ ausge-

sagt, können diese gegenüber Normalluft um rund 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



Abbildung 21: Trotz starker Verfärbungen ist der Anschnitt nach zehn Monaten Lagerdauer noch weiß.

Foto: B. Leder, Wald und Holz NRW

Holzlagerung in Folienpoltern nur geringfügig über der Normalkonzentration erhöht; dieses ist vor allem zu Beginn der Folienlagerung zu beobachten. 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. Dies verschlechtert – über den Erhalt einer weitgehend hohen Holzfeuchte – die Abbaubedingungen für holzerstörende Pilze deutlich. 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 auszuschließen ist. Die Temperaturen unter der Folie verlaufen deutlich ausgeglichener als im Freiland, sommerliche und winterliche Extremwerte puffert sie ab. Dies verhindert allerdings in Frostperioden das im Freiland beobachtete gänzliche Durchfrieren von Stämmen und verlängert so die potenziell mögliche Gefährdungsphase durch holzschädigende Organismen.

(Rademacher et al. 2011)