

LEITFADEN

Umgang mit Fichten- kalamitätsholz

Erarbeitet im Rahmen des FNR-Verbundvorhabens
„Untersuchungen zu stofflichen Verwertungsmöglichkeiten und
Lagerungsmöglichkeiten von Fichtenkalamitätsholz – NUKAFI“

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dieser Leitfaden (Stand 03/2026) wurde im Rahmen des FNR-Verbundvorhabens „Untersuchungen zu stofflichen Nutzungspotenzialen und Lagerungsmöglichkeiten von Fichtenkalamitätsholz“ (NUKAFI) erstellt. Das Vorhaben (FKZ 2220WK49) wurde vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat und vom Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) gefördert. Die Inhalte wurden entsprechend des aktuellen Wissenstandes zusammengestellt. Jegliche Haftung der Autoren wird ausgeschlossen.

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Holzforschung,
Wilhelm-Klauditz-Institut
Institut für Holztechnologie Dresden
Deutsche Säge- und Holzindustrie
Bundesverband e.V.
Georg-August-Universität Göttingen,
Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte
Wald und Holz NRW,
Zentrum für Wald und Holzwirtschaft

Layout und Gestaltung

Grips Design GmbH, Wetzlar

Bildnachweise

Umschlag: PK-Media Consulting GmbH / Wald und Holz NRW, Adobe Firefly/Gemini; S. 4–5: Petr Polak/stock.adobe.com; S. 9: K I Photography/stock.adobe.com; S. 12: Jan Trautwein, Georg-August-Universität Göttingen; S. 14: Dynamoland/stock.adobe.com; S. 15: Kai Bauer, Nationalparkverwaltung Harz; S. 18: Comofoto/stock.adobe.com; S. 20: Dr. Lukas Emmerich, Landesbetrieb Wald und Holz NRW; S. 23–25+29: Egger Sägewerk Brilon GmbH; S. 30–31: dmitr1ch/stock.adobe.com; S. 37: Deutsche Säge- und Holzindustrie Bundesverband e. V.

Inhaltsverzeichnis

1	Erläuterungen zum Leitfaden – Hintergrund, Ziele und Nutzen	8
2	Entscheidungsmatrix	10
3	Verfahren der Lagerung	11
3.1	Stehendlagerung	11
3.1.1	Stehendlagerung: Veränderung des Bestandesbildes und Einflussfaktoren	12
3.1.2	Auswirkungen auf die Holzqualität	13
3.1.3	Risiken und Grenzen der Stehendlagerung	16
3.1.4	Ökonomische Aspekte	17
3.2	Trockenlagerung	19
3.2.1	Aufbau und Qualitätsmonitoring von Kalamitätsholz-Trockenlagern	19
3.2.2	Trockenlagerung – Beispiele aus der Forst- und Holzpraxis.....	22
3.2.3	Risiken und Grenzen der Trockenlagerung	28
4	Eigenschaften und Verwendbarkeit von Fichtenkalamitätsholz	30
4.1	Vollholzprodukte	30
4.2	Holzwerkstoffe	31
5	Herausforderungen bei der Verarbeitung von Fichtenkalamitätsholz in der Sägeindustrie	32
6	Herausforderungen bei der Verarbeitung von Fichtenkalamitätsholz in der Holzwerkstoffindustrie	34
7	Quellen	35
8	Anlagen	36





Verbundpartner im NUKAFI Projekt

Fraunhofer-Institut für Holzforschung,
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Riedenkamp 3
D-38108 Braunschweig



Institut für Holztechnologie Dresden
gemeinnützige GmbH
Zellescher Weg 24
D-01217 Dresden



Deutsche Säge- und Holzindustrie
Bundesverband e.V.
Chausseestraße 99
D-10115 Berlin



Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen
Carlsauerstraße 91a
D-59939 Olsberg

Landesbetrieb Wald und Holz
Nordrhein-Westfalen



Georg-August-Universität Göttingen
Büsgenweg 4
D-37077 Göttingen



Assoziierte Projektpartner



Nationalpark
Harz



Vorwort

Dieser Leitfaden basiert auf wesentlichen Ergebnissen des FNR-Verbundvorhabens „Untersuchungen zu stofflichen Nutzungspotenzialen und Lagerungsmöglichkeiten von Fichtenkalamitätsholz“ (NUKAFI) und auf Erfahrungen aus der forst- und holzwirtschaftlichen Praxis. Im Fokus der Untersuchungen stand, 1) inwieweit geschädigte bzw. abgestorbene Fichten für eine bestimmte Zeit im Sinne einer Stehendlagerung auf der Fläche verbleiben können, 2) ob und wie sie alternativ in Trockenlagern zwischengelagert werden können und 3) wie sich die Holzqualität und damit die Verwendbarkeit während dieser Lagerungsverfahren verändert. Zentral war dabei die Erarbeitung geeigneter Monitoring-Parameter und -Verfahren, die auf eine Veränderung der Holzqualität während der Stehendlagerung sowie Trockenlagerung hinweisen. Im Projekt wurden die Verwendungsmöglichkeiten für Schnittholz sowie zur Herstellung von Holzwerkstoffen untersucht.

In diesem Leitfaden werden Handlungsempfehlungen für den Umgang mit borkenkäfergeschädigtem Fichten-Kalamitätsholz (nachfolgend Fichtenkalamitätsholz) für Waldbesitzende, die Forstwirtschaft und Holzverarbeitende Betriebe

bereitgestellt. Zudem wurde im Rahmen der Projektarbeiten ein Merkblatt für die „Verwendbarkeit von Fichtenholz aus borkenkäfergeschädigten Wäldern“ erstellt. Zielgruppen sind dabei vor allem der Holzfachhandel, Handwerksbetriebe oder Endverbraucher*innen. Der Link zum Merkblatt ist im Anhang des Leitfadens zu finden.

Die Handlungsempfehlungen sind dabei nicht allgemeingültig zu verstehen und müssen auf Basis der standörtlichen Gegebenheiten, der vorliegenden Marktsituation oder technischer Voraussetzungen eines Holzverarbeitenden Betriebes individuell geprüft werden. Jegliche Haftung für die Inhalte wird ausgeschlossen. Detaillierte Erläuterungen sind im Abschlussbericht zu finden, der auf der Website der FNR e.V. kostenlos zur Verfügung gestellt wird:

➔ projekte.fnr.de/projektverzeichnis

1 Erläuterungen zu Hintergrund, Zielen und Nutzen des Leitfadens

Durch den Klimawandel kommt es in Mitteleuropa zur Häufung von Extremwetterereignissen, wie Stürmen, Dürren und Hitzeperioden. In einem bislang ungekannten Ausmaß breitete sich der Borkenkäfer seit 2017 und den Folgejahren in vielen Waldgebieten Deutschlands aus, mit verheerenden Folgen vor allem für Fichtenbestände. Plötzlich anfallende Sturmholzmengen als Folge des Orkans Friederike im Januar 2018 im Norden, Westen und in Mitteldeutschland sowie eine darauffolgende extreme Trockenheit und Hitze boten temporär ideale Ausgangsbedingungen für eine überproportionale Ausbreitung des Borkenkäfers, mit bis zu vier Generationen in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2018.

Regional fehlende Aufarbeitungskapazitäten und ein Überangebot am Rundholzmarkt brachten viele Waldbesitzende in die Situation, das geschädigte Holz nicht oder nur teilweise ernten und vermarkten zu können. Viele Waldbesitzende standen vor der Entscheidung, ob die befallenen und abgestorbenen Bäume unmittelbar geerntet, stehen gelassen oder in ein Zwischenlager überführt werden. Bei abgestorbenen Bäumen, die stehend im Wald verblieben, waren Qualitätseinbußen zu verzeichnen, was sich im Wesentlichen aus dem Schädigungsablauf durch Trocknung sowie Pilz- und Insektenbefall ergab. Hieraus können Veränderungen der mechanischen Eigenschaften und optische Veränderungen des Holzes resultieren, welche die Verwendbarkeit des Holzes beeinflussen.

An dieser Stelle setzt der vorliegende Leitfaden an. Der Wertschöpfungskette folgend geht es im ersten Teil des Leitfadens um kosteneffiziente und langfristige Lagerungsmethoden für borkenkäfergeschädigtes Kalamitätsholz der Baumart Fichte und die damit einhergehenden Chancen und Risiken.

Im Falle großflächiger Kalamitätsereignisse können die vorgestellten Optionen einen zentralen Beitrag zur Entlastung des Rundholzmarktes leisten. Ziel benannter Lagerungsmethoden ist es, die Flexibilität der Vermarktung des Holzes zu erhöhen und durch eine verlängerte Werterhaltung den Druck und das Überangebot an Rundholz auf dem regionalen Holzmarkt vorübergehend zu entzerren.

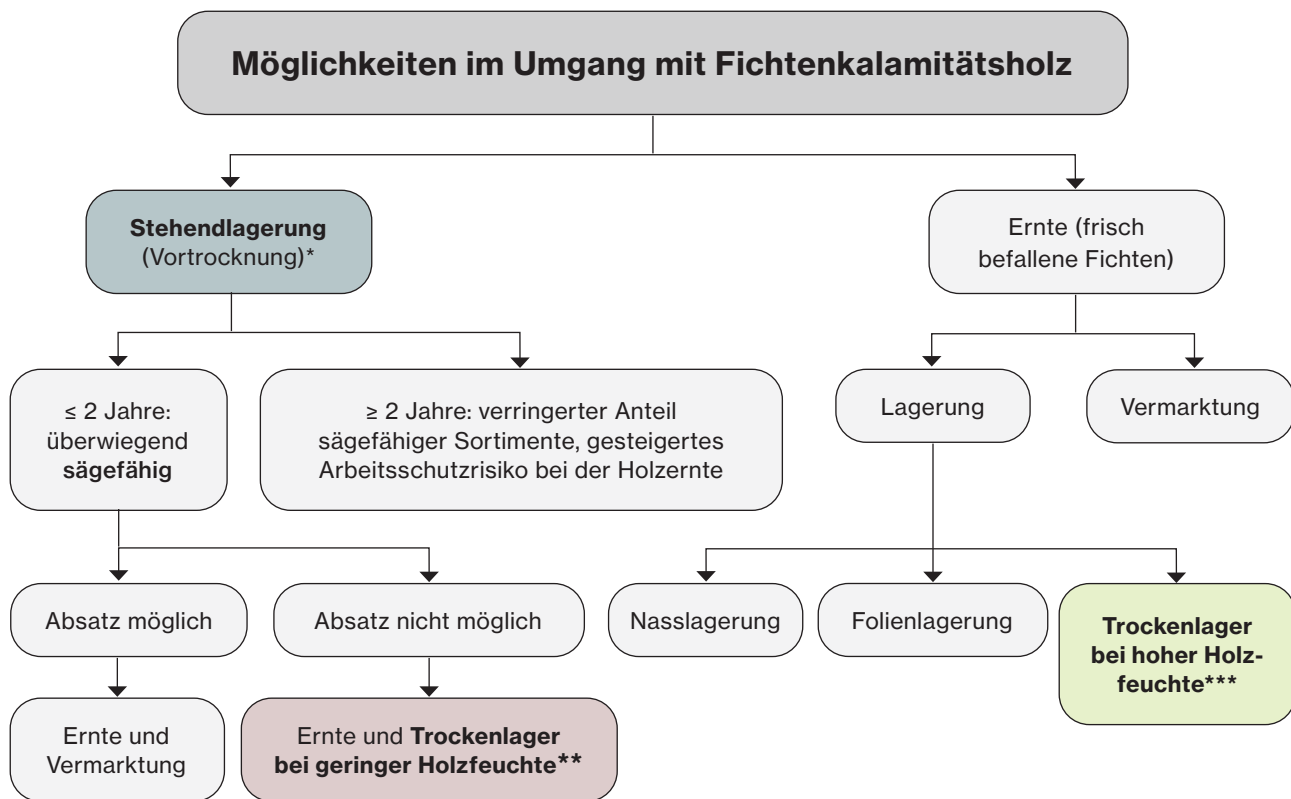
Der zweite Teil des Leitfadens adressiert den Umgang der Säge- und Holzwerkstoffindustrie mit stehend- und trocken- gelagertem Holz. Im Fokus stehen dabei die Auswirkungen der jeweiligen Lagerung auf die Qualität von Holzprodukten und die Herausforderungen während der Verarbeitung.



2 Entscheidungsmatrix

Die nachfolgende Matrix soll der Forst- und Holzwirtschaft die Entscheidung erleichtern, mit Fichtenkalamitätsholz bzw. Borkenkäfer-Kalamitätsbeständen umzu-

gehen. Es werden außerdem Empfehlungen zur Verwendung des aus unterschiedlichen Lagerverfahren hervorgehenden Rundholzes aufgezeigt.



VORAUSSETZUNGEN

* Bedingungen für eine Stehendlagerung

- intensiver Borkenkäferfraß
- hohe Temperaturen und wenig Niederschlag, schnelles Trocknen der Dürrständer

** Bedingungen für eine Trockenlagerung bei geringer Holzfeuchte

- unter 30 % Holzfeuchte im Splint
- gesund geschnittenes Rundholz
- geeignet für die Herstellung von festigkeitssortiertem Bauschnittholz

*** Bedingungen für eine Trockenlagerung bei hoher Holzfeuchte

- mindestens 75 % des Stammmantels frei von Rinde
- gesund geschnittenes Rundholz
- Lagerort möglichst sonnig und luftig, um ein schnelles Trocknen der Stämme zu ermöglichen
- geeignet für die Herstellung von Verpackungsholz und Schalungsholz

3 Verfahren der Lagerung

Nach Ereignissen wie Großkalamitäten oder Stürmen und den damit verbundenen anfallenden Schadh Holz mengen ist eine qualitätserhaltende, mittel- bis langfristige Rundholz lagerung von einigen Monaten bis hin zu wenigen Jahren erforderlich. Ziel dabei ist es, das Rundholz vor Sekundärschäden durch Pilz- und Insektenbefall bestmöglich zu schützen. Biozidfreie Lager- bzw. Konservierungsverfahren für

Rundholz lassen sich übergeordnet nach zwei Wirkprinzipien unterscheiden:

1. Absenken der Holzfeuchte unterhalb der Schwelle, ab der Pilze für die Verwendung relevante Schäden im Holz verursachen können (< 30 % Holzfeuchte)
2. Absenken des Sauerstoffgehaltes im Holz und Lager

Tabelle 1: Formen der Rundholz lagerung [1]

Method e		Wirkprinzip	Schutz gegen
Nasslagerung	Wasserlagerung	Sauerstoffgehalt verringern	Pilze, Insekten
	Beregnung	Sauerstoffgehalt verringern	Pilze, Insekten
Folienlagerung	Schweizer Verfahren	Holzfeuchte erhöhen	Pilze, Insekten
	Baden-Württembergisches Verfahren	Sauerstoffgehalt verringern	Pilze, Insekten
Stehendlagerung (Dürrständer)		Holzfeuchte reduzieren	Pilze
Trockenlagerung	Mit Abdeckung	Holzfeuchte reduzieren oder niedrig halten	Pilze, Insekten
	Ohne Abdeckung	Holzfeuchte reduzieren	Pilze, Insekten
		Holzfeuchte aufrechterhalten	Pilze

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben ökonomische, arbeitsschutztechnische und ökologische Aspekte der Stehend- und Trockenlagerung sowie die Veränderung der Holzqualität.

3.1 Stehendlagerung

Im Falle einer Kalamität gilt es zunächst, Bäume zu ernten, die noch vom Borkenkäfer besiedelt werden und zu einer weiteren Ausbreitung des Borkenkäfers beitragen können (forstschutzrelevante Bäume). Einen allgemeinen Überblick

über die Maßnahmen zur Eindämmung des Borkenkäfers bietet z. B. das Merkblatt „Technische Borkenkäferbekämpfung“ der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft [2].

Der Zeitraum vom Befall bis zum Absterben eines Baumes kann innerhalb der Vegetationsperiode zwischen sechs bis acht Wochen andauern, wobei hohe Temperaturen, Trockenheit und hohe Befallszahlen pro Baum den Verlauf beschleunigen können. Eine Information zur frühzeitigen Erkennung des Borkenkäferbefalls ist unter anderem in der „Praxishilfe – Buchdrucker und Kupferstecher – Befall erkennen“ der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwissenschaften zu finden [3].

Haben die Käfer den Wirtsbaum bereits verlassen, so trägt eine Ernte nicht mehr zur Bekämpfung der Kalamität, d. h. zur Eindämmung der Käferausbreitung, bei. Mit dem Absterbeprozess des Baumes beginnt die sogenannte „Stehendlagerung“ von nicht forstschutzrelevanten Fichten (Dürrständler). Diese Lagerungsmethode stellt keine echte Handlungsalternative gegenüber Kalamitätshieben dar, sondern ist vielmehr als Reaktion auf eine Großkalamität und den damit einhergehenden Herausforderungen wie fehlenden Aufarbeitungs- oder Verarbeitungskapazitäten zu verstehen. Die Eindämmung einer Verbreitung des Borkenkäfers zum Schutz der umliegenden vitalen Waldbestände (praktizierter Forstschutz) und der Erhalt der höchstmöglichen Holzqualität sollten in der ordnungsgemäßen Forstwirtschaft immer Vorrang vor einer Stehendlagerung haben.

Die Stehendlagerung im Kontext der Projektarbeiten verfolgt das Ziel einer späteren, zeitlich zum Schadereignis verzögerten Ernte und Vermarktung des Rundholzes. Dabei wird sich die natürliche Trocknung des stehenden Dürrständlers zunutze gemacht, wodurch Sekundärschäden durch Pilz- und Insektenbefall verringert werden. Über einen bestimmten Zeithorizont können die Bäume mit einer annähernd kalkulierbaren Veränderung der Holzqualität auf der Fläche verbleiben.

3.1.1 Veränderung des Bestandesbildes und Einflussfaktoren

Wie in Abbildung 1 gezeigt, verändert sich das Bestandesbild nach dem Borkenkäferbefall mit zunehmender Stehendlagerungsdauer. Die Veränderung in Art und Geschwindigkeit ist abhängig von zahlreichen Standortfaktoren wie Wasserversorgung, Hangneigung, Exposition, Höhenlage, Niederschlagsmengen und Temperaturen sowie von Bestandesmerkmalen wie Altersklasse, Bestandeshöhe oder Bestockungsgrad. Zusätzlich stellen Extremereignisse wie Waldbrände und Stürme weitere Einflussfaktoren dar. Besonders relevant ist die Witterung während des Befalls sowie die dadurch bedingte Fraßaktivität des Borkenkäfers. In Abbildung 1 sind exemplarische Bestandesbilder verschiedener Stehendlagerungszeiten abgebildet. Daraus wird deutlich, wie sich das Bestandesbild mit zunehmender Stehendlagerungsdauer insbesondere im Hinblick auf das zunehmende Auftreten von Stamm- und Kronenabbrüchen verändert.

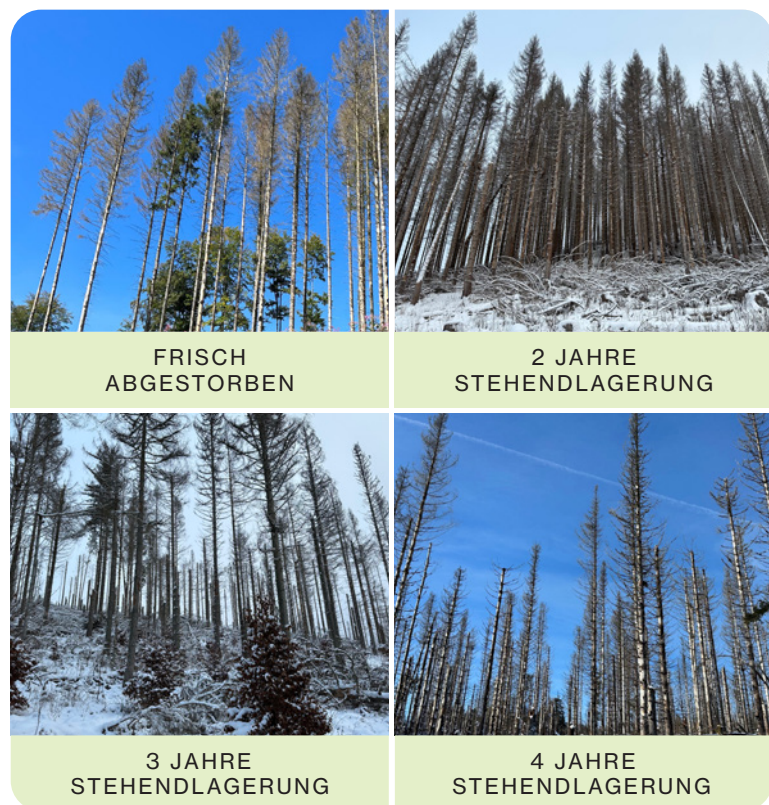


Abbildung 1: Veränderung des Bestandesbildes in Abhängigkeit von der Stehendlagerungsdauer (exemplarische Darstellung)
(Bilder: Jan Trautwein, Georg-August-Universität Göttingen)

Tabelle 2 beinhaltet Informationen und Kriterien, die zur Einschätzung und Bewertung des Zustandes von Dürrständern im Bestand herangezogen werden können.

Tabelle A.2 im Anhang enthält eine ergänzende Zusammenfassung für die Qualitätsbewertung von Fichtenkalamitätsholz in Form von Rundholz.

Tabelle 2: Informationen und Kriterien zur Zustandsermittlung und Qualitätsbewertung von stehendgelagerten Fichten

Bezugseinheit	Bestand	Baum	Rundholz
Bewertungsinstrument/ Erfassungsverfahren	Bestandesansprache, Kartenmaterial, Forsteinrichtungsdaten	Stehendansprache	Liegendansprache, Rundholzsartierung
Bewertungskriterien/ Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> - Wasserversorgung - Exposition, Hangneigung - Bodentyp/-art - Klimatyp/-stufe - Baumarten - Höhenlage - Bonität - Bestandesalter - Zeitpunkt des Befalls 	<ul style="list-style-type: none"> - Baumhöhe - Brusthöhendurchmesser - Rindenzustand - Kronenzustand - Feinreisig - Pilzfruchtkörper - Fäule - Risse - Sekundärer Insektenbefall - Anzahl der Kronen- bzw. Stammabbrüche pro Bestand 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualität nach Rahmenvereinbarung für den Rundholzhandel (RVR) - Rindenzustand - Risse - Fäule - Sekundärer Insektenbefall - Verfärbungen (Rotstreifigkeit, Bläue)

3.1.2 Auswirkungen auf die Holzqualität

Im Forschungsprojekt wurde gezeigt, dass sich die Stehendlagerung unmittelbar auf die Qualität und die Verwertungsmöglichkeiten des Rundholzes auswirkt. Die Tabelle A.1 im Anhang erläutert typische Holzmerkmale, die im Schnittholz aus Fichtenkalamitätsholz zu finden sind.

Innerhalb weniger Wochen kann es zur Rissbildung und Verblauung des Holzes kommen. Nach einigen Monaten können Rotstreifigkeit, Fäule und Insektenfraß auftreten. Neben der Dauer der Stehendlagerung sind weitere Faktoren für die Qualitätserhaltung des Holzes entscheidend. Gute Ausgangsbedingungen für eine Stehendlagerung liegen vor, wenn Holz schnellstmöglich unter die für einen Pilzbefall kritische Holzfeuchte von ca.

30 % abtrocknet. So kann das Risiko einer Entwertung durch holzerstörende Pilze und Frischholzinsekten minimiert werden. Gute Rahmenbedingungen für eine rasche Trocknung während des Befalls bzw. des Absterbens der Bäume liegen vor bei:

- hohen Temperaturen,
- geringen Niederschlagsmengen,
- niedrigen Luftfeuchten,
- exponierten Lagen.

Eine schnelle Trocknung wird zudem durch einen intensiven Fraß des Borkenkäfers gefördert, da dieser zu einem nahezu flächigen Ablösen der Rinde von der Mantelfläche der Bäume führt. Am Stamm verbleibende Rinde kann dazu führen, dass lokal höhere Holzfeuchten herrschen.



Ausgehend von diesen „Feuchtenestern“ können sich wiederum Holzfäulen bilden, die von außen ins Stammesinnere gelangen und das Holz entwerten sowie die Standsicherheit beeinträchtigen.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft, dass Dürrständer mit anhaftender Rinde abgebrochen sind, während vollständig entrindete Dürrständer noch stehen. Dieser Zusammenhang konnte auch auf anderen Versuchsflächen im Projekt beobachtet werden und wurde durch die Praxisvertreter bestätigt.

Auf Basis der gewonnenen Ergebnisse, der Praxiserfahrungen der im Projekt beteiligten Unternehmen und von Angaben aus einschlägigen Literaturquellen kann festgehalten werden, dass Fichtenkalamitätsholz nicht pauschal für stoffliche Holzverarbeitungen ausgeschlossen werden sollte.

Ab einer Stehendlagerungsdauer von über zwei Jahren nimmt der Anteil sägefähiger Rundholzsortimente deutlich ab. Ausbeute- und Qualitätsverluste wie auch erhöhte produktionstechnische Beeinträchtigungen (z. B. Staubentwicklung, Stehzeiten) müssen dabei berücksichtigt werden.



Abbildung 2: Kalamitätsbestand im Nationalpark Harz mit vollständig entrindeten Fichten-Dürrständern sowie abgebrochenen Stammteilen mit Rindenanhftung (Bild: Kai Bauer, Nationalparkverwaltung Harz)

Neben anhaftender Rinde können auch Risse eine niederschwellige Besiedelungsmöglichkeit für Holzfäulen darstellen.

Sobald umgefallene oder umgebrochene Dürrständer liegend auf der Fläche verbleiben, setzt eine beschleunigte Zersetzung des Holzes ein. Wie im Forschungsprojekt NUKAFI gezeigt wurde, führt der

Bodenkontakt innerhalb weniger Wochen zu einem deutlich erhöhten Insektenbefall, vor allem durch Bockkäfer und Holzwespen. Insbesondere Bestände mit einem erhöhten Risiko für Stockfäule sind mit zunehmender Stehendlagerungsdauer und aufgrund von Sturmereignissen besonders gegenüber Windwurf gefährdet.

3.1.3 Risiken und Grenzen der Stehendlagerung

Eine Risikobewertung von Fichten-Dürrständerflächen erfolgte, sofern nicht anders markiert, auf Basis der Einschätzung

von Forstexpert*innen, die über einen Online-Fragebogen erhoben wurden.

Grundsätzlich nimmt die Stabilität von Fichten-Dürrständern mit zunehmender Stehendlagerungsdauer ab: Nach spätestens zwei Jahren treten ernstzunehmende Gefahren auf, nach spätestens drei Jahren sollten nicht geräumte Fichten-Dürrständerflächen als unzugänglich eingestuft werden und zur Ausübung forstwirtschaftlicher Tätigkeiten nicht mehr betreten werden. Direkte Anzeichen von zunehmenden Instabilitäten mit akutem Gefahrenpotenzial sind:

- Kronen- und Stammabbrüche,
- starke Rissbildungen und
- Pilzkonsolen sowie Anzeichen von Weichfäule.

Ein unkontrolliertes Umstürzen von Dürrständern sowie plötzliche Kronen- und Stammabbrüche stellen die größten Risikofaktoren während der Holzernte und forstwirtschaftlicher Tätigkeiten dar. Diese Gefahrenpotenziale sind insbesondere im Bereich von zur Verkehrssicherungspflicht angehaltenen Bereichen zu beachten.

Das Verletzungsrisiko auf Dürrständerflächen ist durch herabfallende Baum- und Kronenteile sowie Verletzungen an scharfkantigen Astabbrüchen im Vergleich zur Frischholzernte deutlich erhöht. Dies zeigt die Notwendigkeit zusätzlichen Schulungsbedarfs zur Sensibilisierung des Forst- und Führungspersonals für kalamitätsflächenspezifische Gefahrenpotenziale.

Bei der Holzernte ist mit erhöhten Zeitaufwänden von bis zu 30 %, gesteigerten Sachausgaben für Ausrüstungen, Kosten für sicherheitsrelevante Aufrüstungen von Forstmaschinen sowie deren Instandhaltung und Reparatur zu rechnen. Da Waldbrände in Deutschland fast ausschließlich durch Menschen verursacht

werden, ist das Waldbrandrisiko bei Fichten-Dürrständerflächen grundsätzlich nicht größer als bei anderen Waldflächen. Zugleich stellt stärkeres Totholz ein Hindernis dar und erschwert Einsatzkräften den Zugang zur Fläche, wobei abbrechende Dürrständer ein zusätzliches Unfallrisiko darstellen. Die Verkohlung der Rinde und Ablagerung von Ruß können Schwierigkeiten während der Verarbeitung des Rohholzes im Sägewerk hervorrufen.

Entsprechende Gefahrenpotenziale und Verletzungsrisiken sind zugleich und ebenso im Zuge der Jagdausübung auf Fichten-Dürrständerflächen zu berücksichtigen und gelten für Jäger*innen sowie zur Jagdausübung eingesetzte Hunde gleichermaßen.

Da unterschiedliche Einflussfaktoren, insbesondere die Exposition des Standortes, den Zeitpunkt des Eintretens der Unzugänglichkeit von Fichten-Dürrständerflächen beeinflussen, gilt es jede Fläche unter entsprechender Berücksichtigung individuell und nicht pauschal zu bewerten.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- Praxisleitfaden Fichten-Dürrständer – Hinweise zum Umgang mit stehenden abgestorbenen Fichten auf Kalamitätsflächen (Wald und Holz NRW 2020) [4]
- Sicher arbeiten im Schadh Holz. Website mit Informationen, Filmen und Dokumenten zum Download (Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau SVLFG) [5]
- Arbeitssicherheit in klimabedingten Schadh Holzbeständen (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung DGUV Ausgabe 7/2020) [6]

3.1.4 Ökonomische Aspekte

Die Stehendlagerung offeriert der Forstwirtschaft eine Möglichkeit, in Zeiten eines Überangebotes auf dem Rundholzmarkt, die Ernte und Vermarktung von Fichtenkalamitätsholz zu entzerren. Dies ist dann strategisch sinnvoll, wenn es in absehbarer Zeit zu einer Erholung des Rundholzmarktes sowie des Rundholzpreises kommt. Dem gegenüber steht die Frage, ob die erwartbare Verminderung der Holzqualität wie auch das Risiko für Sturmschäden oder Waldbrände während der Stehendlagerung von einem erhofften, höheren Rundholzpreis in der Zukunft kompensiert wird. Künftige Marktbedingungen wie auch Extremwetterereignisse sind generell nicht bis schwer vorhersehbar und kalkulierbar.

Die klimatischen Rahmenbedingungen sind maßgebend für eine werterhaltende Stehendlagerung (vgl. Kapitel 3.1.2). Daher ist ein Borkenkäfermonitoring während der Sommermonate sowie die Beobachtung der Witterungsverhältnisse zwingend erforderlich und empfohlen.

Zusammenfassend sollten folgende Aspekte in die Entscheidungsfindung für oder gegen eine Stehendlagerung einbezogen und berücksichtigt werden:

- hohe Holzerntekosten und geringe Aufarbeitungskapazitäten während extremer Kalamitätsereignisse,
- geringe momentane Rundholzerlöse und
- positive Marktprognose für die Zukunft.



3.2 Trockenlagerung

Über die Stehendlagerung hinaus schaffen Trockenlager Pufferkapazitäten, um nach Großkalamitätsereignissen mittel- bis langfristig Kalamitäts-Rundholz zwischenzulagern und dieses für holzverarbeitende Betriebe entlang regionaler Wertschöpfungsketten bereitzustellen. Bei der Anlage und der Standortwahl von Trockenlagern ist die Berücksichtigung forstschutzrelevanter Aspekte von zentraler Bedeutung, insbesondere bei der Einlagerung von brutfähigem Material.

Von herkömmlichen Holzkonservierungsverfahren wie Folien- und Nasslagerungen grenzen sich Kalamitätsholz-Trockenlager im Wesentlichen darin ab, dass vorwiegend vorgetrocknete Stammabschnitte eingelagert werden. Dabei definiert die Trockenlagerung mittel- bis langfristige Lagerungsverfahren, bei denen weitestgehend entrindete Stammabschnitte gepoltert und mit einer UV-beständigen, wasserdichten Abdeckung versehen werden. Diese Lage-

rung soll (1) eine weitere Trocknung des eingelagerten Rundholzes ermöglichen und (2) einen Wiederanstieg der Holzfeuchte verhindern. Es gilt die Holzfeuchte unter 30 % zu halten, um vordergründig einen Befall und Abbau des Holzes durch holzzerstörende Pilze zu unterbinden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts NUKAFI wurden zum einen experimentelle Trockenlager aufgebaut, um grundlegende Anforderungen dieses Lagerungsverfahrens zu untersuchen. Zum anderen wurde im Wesentlichen auf die Erfahrungen der Firma Egger Sägewerk Brilon GmbH zurückgegriffen, die große Mengen an vorgetrocknetem Fichtenkalamitätsholz in Trockenlagern unter Folie einlagerten und darüber ihre Erkenntnisse in das Projekt einbrachten [7]. Diese und weitere von Industriepartnern sowie Waldbesitzenden praktisch umgesetzten Trockenlager wurden durch das Projekt wissenschaftlich begleitet.

3.2.1 Aufbau und Qualitätsmonitoring von Kalamitätsholz-Trockenlagern

Zur Untersuchung grundlegender Aspekte und Anforderungen an Trockenlager wurden drei experimentelle Trockenlager aufgebaut und Fichten-Abschnitte nach jeweils unterschiedlich langen Stehendlagerungsdauern und mit unterschiedlichen Holzfeuchten eingelagert. Die Holzfeuchten nahmen mit zunehmender Stehendlagerungsdauer ab. Zum Schutz vor Feuchtigkeit wurden die Abschnitte mit einem Bodenabstand von ca. 50 cm gepoltert und mittels einer UV-beständigen, wasserfesten Gewebeplane abgedeckt.

Nach einer Gesamtlagerungsdauer von 30 Monaten zeigte die Bewertung der Rundholzqualität (Rahmenvereinbarung für den

Rohholzhandel, Anlage III-a), dass sich die Holzqualität im Zuge der Lagerung – ausgedrückt in Qualitätsklassen – verschlechtert. Diese Differenzierung war besonders stark und differenziert bei frisch eingelagertem Holz mit höheren Holzfeuchten zum Zeitpunkt der Einlagerung festzustellen. Unter Berücksichtigung bzw. Nicht-Berücksichtigung bestimmter Sortiermerkmale stellte sich diese Entwicklung und Qualitätsklassenzuordnung jedoch unterschiedlich dar.

Unter Ausschluss des Sortiermerkmals „Sekundärbefall durch holzbrütende Insekten“, welcher sich anhand von Insektenfraßgängen identifizieren ließ, wies der

überwiegende Teil des Holzes aus allen drei untersuchten Lagern eine C-Qualität auf, wohingegen der Industrieholzanteil bei ca. 5–10 % lag. Wurde das Kriterium „Insektenfraßgänge“ berücksichtigt, stieg der Anteil ausgewiesenen Industrieholzes deutlich an, auch wenn sich der Befall durch holzbrütende Insekten (u. a. *Sirex*, *Cerambycidae*) im Wesentlichen auf den äußeren Mantelbereich der Rundholzabschnitte begrenzte, was Probeeinschnitte des eingelagerten Holzes zeigten.

Kommt es im Verlauf der Lagerung zu einem Anstieg der Holzfeuchte in den Abschnitten, besteht im weiteren Lagerungsverlauf ein erhöhtes Risiko für Qualitätsverluste durch Rotstreifigkeit oder Fäule.

Untersuchungen der Holzfeuchteentwicklung zeigten, dass in allen drei experimentellen Lagern Trocknungsprozesse stattfanden. In käferbefallenen, zuvor

stehend gelagerten Stammabschnitten lag die Holzfeuchte nach Trockenlagerung bei etwa 20 %. Die Holzfeuchte des frisch eingelagerten Fichtenholzes lag bei Abbau des Trockenlagers mit etwa 25 % leicht darüber und gerade so im für einen Befall durch holzzerstörende Pilze unkritischen Bereich. Demnach stellte sich ein klarer Einfluss der Einlagerungsholzfeuchte sowie von Trocknungsbarrieren wie beispielsweise Rindenanhafungen auf die Holzfeuchteentwicklung im Trockenlager, respektive auf den Erhalt der Holzqualität, dar. Neben regelmäßigen Holzfeuchtemessungen wird die Aufzeichnung von direkten Einflussparametern wie dem Umgebungsklima und dem Polterinnenklima zur Qualitätssicherung von Trockenlagern empfohlen.



Abbildung 3: Anlage eines „Best-Practice-Trockenlagers“ nach derzeitigem Stand der Technik im Raum Arnsberg, Nordrhein-Westfalen. (Bild: Dr. Lukas Emmerich, Landesbetrieb Wald und Holz NRW)

STAND DER TECHNIK UND BEST-PRACTICE-TROCKENLAGER

Basierend auf systematisch untersuchten, experimentellen Trockenlagern sowie Kenntnissen zu Trockenlagern aus der Forst- und Holzpraxis ist der Stand der Technik abzuleiten. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind folgende Empfehlungen für die Anlage von Trockenlagern zu machen (Abbildung 3):

- Maßgebliche Einlagerungskriterien für Rundholz in Trockenlagern mit dem Ziel der Schnittholzproduktion für konstruktive Zwecke sind: eine Holzfeuchte nahe bzw. unter Fasersättigung (unter 30 %), keine Fäule und kein Insektenbefall entsprechend der späteren Verwendung sowie möglichst geringe Rindenanhaftungen zur Vermeidung von Trocknungsbarrieren.
- Der Qualitätserhalt in Trockenlagern ist bei einer Einlagerung der Stämme mit einem Feuchtegehalt von unter 30 % am höchsten.
- Das Risiko für das Auftreten und Fortschreiten von Rotstreifigkeit sowie Fäule steigt mit zunehmender Holzfeuchte und ist oberhalb der Fasersättigung deutlich erhöht.
- Empfehlenswert für die Qualitätssicherung von Trockenlagern sind ein Monitoring der Holzfeuchte oder eine exakte, vorzugsweise gravimetrische Holzfeuchtebestimmung zum Einlagerungszeitpunkt. Indirekt kann die Holzfeuchteentwicklung auf Basis von Einflussparametern wie dem Klima bzw. der relativen Luftfeuchte im Polterinneren überwacht werden.
- Unter- und Seitenbewuchs bei Trockenlagern sind zu vermeiden; ein ausreichender Bodenabstand von mindestens 50 cm sowie die Exposition der Abschnitte in Windrichtung werden empfohlen.
- Die Trockenlager sind abzudecken, wobei auf einen ausreichenden Überstand zum Schutz vor Spritzwasser zu achten ist; empfohlen wird eine witterungsbeständige, wasserdichte Hochfestgewebeplane mit einem Flächengewicht von ca. 650 g/m².
- Qualitäts- und ausbeutemindernde Rissbildungen können durch die Ausrichtung des Polters – im Optimalfall in Ost-West-Richtung – und die Minimierung der Dauer direkter Sonneneinstrahlung auf den Hirnholzflächen reduziert werden.

3.2.2 Trockenlagerung – Beispiele aus der Forst- und Holzpraxis

Die Forst- und Holzpraxis hat hinsichtlich des Aufbaus von Trockenlagern sowie der Beschaffenheit des einzulagernden Holzes unterschiedliche Konzepte und Ansätze entwickelt, welche im Rahmen des Projektes NUKAFI wissenschaftlich begleitet

wurden. Dabei war im Wesentlichen das Ziel der Schnittholzproduktion für konstruktive Zwecke das ausschlaggebende Kriterium für die Einlagerungsstrategien und -kriterien.

PRAXISBEISPIEL 1

Durch die Egger Sägewerk Brilon GmbH (Projektpartner im NUKAFI-Projekt) wurden am Standort Brilon sowie in Standortnähe mehrere 100.000 fm stehend gelagerten Fichtenkalamitätsholzes in Form von Trockenlagern eingelagert. Im Fokus der Egger Sägewerk Brilon GmbH steht die Produktion von Bauschnittholz für unterschiedliche Produktkategorien. Die Anforderungen für letztgenannte Produktkategorien sind maßgeblich für die Qualität des einzulagernden Holzes sowie die zulässigen Qualitätsveränderungen des Rundholzes im Zuge der Trockenlagerung.

Maßgebliches Einlagerungskriterium war eine Vortrocknung von Dürrständern am stehenden Stamm und damit die Holzfeuchte zum Ernte- und Einlagerungszeitpunkt. Größere Mengen Rundholz, das im Zeitraum von 2018 bis 2019 auf dem Stock vorgetrocknet wurde, lagerte EGGER in dieser Form in Trockenlagern ein.

Insbesondere in den Sommermonaten der Jahre 2018 und 2019 lagen sehr gute Bedingungen für eine Vortrocknung der Stämme vor. Die hohen Temperaturen und die geringen Niederschlagsmengen hatten einen intensiven Borkenkäferfraß zur Folge, sodass die Dürrständer in der Regel innerhalb kürzester Zeit bis zum Stammfuß frei von Rinde waren. Letzteres begünstigte Trocknungsprozesse auf dem Stock maßgeblich.

Gegenüber Frischholz kann trockengelagertes Fichtenkalamitätsholz veränderte holztechnologische Eigenschaften und optische Veränderungen aufweisen. Bereits vor der Einlagerung entstandene Rotstreifigkeit oder Bläue – etwa infolge einer Stehendlagerung – können während einer Trockenlagerung unter den jeweils richtigen Rahmenbedingungen in ihrer weiteren Ausbreitung eingedämmt werden. Darüber hinaus können Mantel- und Kernrisse sowohl durch Trocknungsprozesse während der Stehendlagerung als auch im Zuge der Trockenlagerung entstehen. Diese Risse können bei der weiteren Verarbeitung, insbesondere im Sägewerk, zu Ausbeuteverlusten oder zu Problemen im Produktionsablauf führen.

Aus den Praxiserfahrungen der **EGGER Sägewerk Brilon GmbH** geht hervor, dass vorgetrocknete Stammholzabschnitte unter Berücksichtigung hinnehmbarer Qualitäts- und Ausbeuteverluste sowie produktionstechnischer Beeinträchtigungen (z. B. Staubbildung, Stehzeiten) **mindestens 3 Jahre trockengelagert** und als Stammholz im Sägewerk verarbeitet werden können. Bisherige Erfahrungen zeigen, dass unter optimalen Voraussetzungen Lagerungen von bis zu 5 Jahren möglich sind.



Abbildung 4: Probeanschnitte im Rahmen des jährlichen Qualitätsmonitorings an einem Trockenlager der Egger Sägewerk Brilon GmbH nach drei Jahren Lagerdauer (Bilder: Egger Sägewerk Brilon GmbH, 2019)



Abbildung 5: Aufbau des Trockenlagers der Egger Sägewerk Brilon GmbH (Bilder: Egger Sägewerk Brilon GmbH, 2019)



Abbildung 6: Luftaufnahmen
der Trockenlager der Firma
Egger Sägewerk Brilon GmbH
(Bild: Egger Sägewerk Brilon
GmbH, 2019)



Alle weiteren Voraussetzungen für die Anlage von Trockenlagern, wie diese im Praxismaßstab durch die **Egger Sägewerk Brilon GmbH** angelegt wurden, sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Trockenlagerung nach Praxisbeispiel 1

Durchmesserklasse	<ul style="list-style-type: none"> - Im Rahmen der Durchmesserwendbarkeit des Sägewerks. - Ausbeuteverluste sind bei späterer Verarbeitung aufgrund der Rissigkeit im niedrigen Durchmesserbereich höher. Stärkere Durchmesserklassen sollten daher bevorzugt eingelagert werden.
Holzfeuchte	<ul style="list-style-type: none"> - Als stehender Stamm getrocknet, möglichst unterhalb Fasersättigung (< 30 % Holzfeuchte).
Rindenanteil	<ul style="list-style-type: none"> - Der Rindenanteil sollte möglichst gering sein, um eine ausreichende Abtrocknung der Stammabschnitte zu ermöglichen. Da die Stämme bereits vorgetrocknet sind und stehend gelagert wurden, ist der Großteil der Stammabschnitte bereits entrindet. Auch die Manipulation der Stämme – insbesondere im Zuge der hochmechanisierten Holzernte – tragen zu einer Entrindung bei.
Standort des Trockenlagers	<ul style="list-style-type: none"> - Lage des Trockenlagers muss logistisch sinnvoll sein. - Gute Zugänglichkeit, einfache An- und Abfuhr. - Umliegende Flächen sollten dauerhaft befahrbar und kontrollierbar sein.
Holzmerkmale der Stämme vor der Einlagerung	<ul style="list-style-type: none"> - Sägetauglich, beil- und nagelfest. - Radialrisse nur im Splintbereich. - Keine Einlagerung bei Weichfäule, Befall durch Bockkäfer und Holzwespe.
Anlage des Trockenlagers	<ul style="list-style-type: none"> - Abdeckung mit wasserdichter, UV-beständiger Folie mit ca. 50 cm Überhang an den Stirnseiten, ggf. mit Überdachung inkl. Dachüberstand. - Sturmsichere Befestigung der Folie durch Beschweren mit Stämmen und Verschrauben von Latten. - 50 cm Abstand der lagernden Stammabschnitte zum Boden durch Querlieger. - Befestigter Untergrund. - Polterhöhe an die Arbeitssicherheitsregelungen anpassen.
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> - Für mehrere hundert Festmeter pro Polter geeignet. - Abstand zur nächstgelegenen bewachsenen Fläche (z.B. krautige Pflanzen) ≥ 2 m.
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> - Einlagerung: 5 bis 10 €/fm + Manipulations- und Transportaufwand. - Laufende Kosten: <ul style="list-style-type: none"> - Freischneiden des Bewuchses. - Regelmäßige Kontrollen auch hinsichtlich Verkehrssicherungspflicht. - Grundstückspacht, Rekultivierungskosten, Rückbaukosten.

PRAXISBEISPIEL 2

Weitere Trockenlager mit teils adaptierten Prämissen wurden in engem Austausch zwischen Sägeindustrie und Waldbesitzenden angelegt. Beispielhaft agierte hier die H-L-E-Holz GmbH & Co. KG (Projektpartner im NUKAFI-Projekt), wobei die Anlage der Trockenlager in diesem Fall – unter Gewährleistung der Abnahmegarantie des Holzes durch die H-L-E-Holz – überwiegend beim Waldbesitz erfolgte. Produktionsziel und -fokus des H-L-E-Holz Sägewerks sind Schalungsholz sowie verschiedene Sortimenten für den Verpackungssektor. An diesem Produktsegment orientiert, ergaben sich die Anforderungen an die Qualität des einzulagernden Holzes sowie die zulässigen Qualitätsveränderungen des Rundholzes im Zuge der Trockenlagerung.

Ein maßgebliches Kriterium für die oben benannten Trockenlager war die Wahl des Lagerstandortes, die im Wesentlichen durch die vorherrschenden klimatischen Bedingungen und die Ausrichtung des Trockenlagers bestimmt wurde. Positive Resultate wurden an windexponierten, halbschattigen bis sonnigen Standorten erzielt. Die maßgeblichen Anforderungen an das einzulagernde Holz (hier: Starkholz) waren ein möglichst geringer Anteil (< 25 %) Rindenanhaftungen, die ein schnelles Abtrocknen des Holzes und damit die Reduzierung des Risikos für einen Befall durch holzerstörende Pilze begünstigen sollten. Bewusst wurde stärkeres Stammholz eingelagert, sodass sich eine Polterstruktur ergab, die eine bessere Durchlüftung und damit eine beschleunigte Abtrocknung der eingelagerten Abschnitte förderte.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Trockenlagerung nach Praxisbeispiel 2

Durchmesserklasse	– Möglichst starkes Holz ab Stärkeklasse D3a.
Rindenanteil	– Mantelfläche zu mind. 75 % entrindet, durch mehrfaches Manipulieren der Stämme oder maschinelle Entrindung vornehmen.
Standort des Trockenlagers	– Halbschattig bis sonnig, an windexponierten Orten. – Nicht in der Nähe von Gewässern, aufgrund erhöhter Luftfeuchtigkeit.
Holzmerkmale	– Sägetauglich, beil- und nagelfest.
Anlage des Trockenlagers	– Querlieger innerhalb des Lagers sind vorteilhaft für die bessere Durchlüftung. – Befestigter Untergrund: Falls der Untergrund asphaltiert ist, kann es durch die Erhitzung im Sommer zu starker Rissbildung der Stämme im unteren Bereich des Polters kommen.
Besonderheiten	– Der Abstand zwischen den Stirnflächen benachbarter Polter sollte mindestens 50 m betragen, um eine gute Durchlüftung und einen Abtransport der Feuchtigkeit zu gewährleisten.
Kosten	– Einlagerung: 5 bis 10 €/fm + Manipulations- und Transportaufwand – Ggf. Zusatzkosten für die Entrindung und die Überwachung der Holzfeuchte.

3.2.3 Risiken und Grenzen der Trockenlagerung

Die Lagerung von Rundholz stellt eine kurz- bis mittelfristig erhöhte Kapitalbindung für die verantwortliche bzw. das Lager anlegende Partei dar. Damit sind die folgenden wesentlichen Risiken verbunden:

- Auswahl von für die Trockenlagerung hinsichtlich Holzfeuchte oder Vorschädigungen ungeeigneter Rundholzabschnitte,
- Brandgefahr durch Brandstiftung oder Brände umliegender Waldbestände,
- Diebstahl und
- Vandalismus.

Demnach ist die Standortwahl – insbesondere im Falle von groß angelegten Trockenlagerplätzen – von zentraler Bedeutung zur Minimierung des betrieblichen Risikos. Insbesondere in Zeiten veränderter Rohholzverfügbarkeiten gilt es, das Diebstahlrisiko als erhöht einzustufen, sodass ein Trockenlager möglichst auf einem nicht dauerhaft zugänglichen oder überwachten Gelände aufgebaut werden sollte. Zugleich reduziert dies das Verletzungsrisiko für Passanten oder Unbefugte durch trockenlager- bzw. holzpolterspezifische Gefahren.

Nach derzeitigem Kenntnisstand und im Zuge der Projektarbeiten konnten an trockenen Stämmen in Trockenlagern keine weiteren biotischen Schäden durch Insekten beobachtet werden. Diese können jedoch ein potenzielles Risiko darstellen, welches nicht vollständig auszuschließen ist.

Aus den Praxiserfahrungen der EGGER Sägewerk Brilon GmbH wurden weitere Risiken identifiziert, die mit der Trockenlagerung einhergehen:

- Witterungseinflüsse wie Sturm und Hagel können erhebliche Schäden verursachen. Daher ist eine regelmäßige Kontrolle des Lagers unerlässlich. Besonders wichtig ist die Prüfung der Abdeckung auf Unversehrtheit und Dichtigkeit. Schäden sollten – abhängig vom Kostenaufwand – unverzüglich behoben werden. Zudem müssen die Unterlage und der Polter so gesichert sein, dass ein Abrollen des Holzes verhindert wird und Dritte nicht gefährdet werden.
- Bei hohen Windgeschwindigkeiten können sich die Folie oder vereinzelt Stämme lösen und herunterfallen. Daher muss die Fixierung der Abdeckung stets sichergestellt sein. Durch seitlich festgeschraubte Latten und die zusätzliche Beschwerung mit Stämmen kann die Folie von oben sowie an den Stirnseiten gegenüber hohen Windgeschwindigkeiten geschützt werden.
- Es besteht die Gefahr der Entwicklung von Fäule, wenn das eingelagerte Holz zum Einlagerungszeitpunkt sowie darüber hinaus zu hohe Holzfeuchten aufweist. Dies führt zur Entwertung der befallenen Stämme und schließt eine weitere Verarbeitung im Sägewerk aus.



Abbildung 7 Links: heruntergefallene Stammabschnitte und Folie nach einem Sturmereignis; Rechts: Querlieger an den Seiten des Polters, um das Wegrollen der Stämme zu verhindern an Trockenlagern der Firma Egger Sägewerk Brilon GmbH (Bilder: Egger Sägewerk Brilon GmbH)



4 Eigenschaften und Verwendbarkeit von Fichtenkalamitätsholz

4.1 Vollholzprodukte

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts NUKAFI liefern keinen fundierten Beleg dafür, dass eine Stehendlagerdauer von bis zu vier Jahren die untersuchten elastomechanischen Eigenschaften wie beispielsweise Druckfestigkeit faserparallel, Biegefestigkeit oder Bruchschlagarbeit systematisch beeinflusst. Eine Zu- oder Abnahme der Festigkeit über die Stehendlagerungsdauer war nicht erkennbar. Auch mittels hochempfindlicher High-Energy Multiple Impact Tests konnte keine pilzbedingte Zunahme der Sprödigkeit nachgewiesen werden.

Neben den Untersuchungen an fehlerfreien Prüfkörpern konnte auch an Lamellen in Gebrauchsdimensionen nachgewiesen werden, dass eine visuelle Sortierung nach DIN 4074-1:2012-06 die Verwendung von stehendgelagertem Kalamitätsholz für konstruktive Zwecke uneingeschränkt ermöglicht. Die Zugprüfungen bestätigten, dass die nach DIN EN 338:2016-07 vorgeschriebenen Zugfestigkeiten und Steifigkeiten nach einer Sortierung in die Sortierklasse S10 erreicht wurden.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden ebenso umfassende Versuche zur Kurzzeitfestigkeit und Dauerhaftigkeit von Klebfugen mit Material durchgeführt, das bis zu drei Jahre stehendgelagert wurde. Die Vorgaben für die Verwendung umfassten neben der visuellen Holzsortierung auch die maschinelle Sortierung.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass für den Holzleimbau zugelassene, typgeprüfte Klebstoffe wie einkomponentige Polyurethane (1K-PUR) sowie Aminoplast-Klebstoffe (MUF) sich gut für eine dauerhafte Verbindung zwischen den Holzlamellen aus stehendgelagertem Fichtenkalamitätsholz eignen. Diese Erkenntnisse gelten nicht nur für Keilzinkungen im Vollholz, sondern auch für Flächenklebungen zwischen Lamellen in Brettschichtholz, Balkenschichtholz und Brettsperrholz.

4.2 Holzwerkstoffe

Für die Herstellung von OSB wurde Holz mit einer Stehendlagerungsdauer von bis zu vier Jahren zu Strands zerspant und anschließend fraktioniert. Alle hergestellten Platten wurden entsprechend der Normen für Dickenquellung nach DIN EN 317:1993-08, Querkzugfestigkeit mit und ohne Kochwasserlagerung gemäß DIN EN 319:1993-08 und DIN EN 1087-1:1995-04 sowie Biegefestigkeit/Biege-E-Modul gemäß DIN EN 310:1993-08 geprüft und ergaben vergleichbare Ergebnisse zu denen, die aus dem Vergleichsmaterial aus Frischholz hergestellt wurden.

In einem Refiner wurden aus dem gleichen Versuchsmaterial unterschiedlich feine Holzfasern bei einem Mahlscheibenabstand von 0,2 mm und 0,6 mm hergestellt. Unter Zugabe von 6 % pMDI-Klebstoff wurden mitteldichte Faserplatten (MDF) mit durchschnittlichen Dichten von 700 kg/m² hergestellt. Es ist bekannt, dass mit veringertem Abstand der Refinerscheiben der Feinanteil ansteigt. Jedoch zeigen Siebanalysen, dass bei dem Fichtenkalamitätsholz dieser Anteil deutlich erhöht ist.

Die aus den gröberen Fasern, ohne den ausgesiebten Feingutanteil hergestellten MDF-Platten, wurden auf ihre hygrischen und mechanischen Eigenschaften überprüft. Dabei liegt die Dickenquellung aller Platten deutlich unter den in

DIN EN 317:1993-08 geforderten Werten, und die Querkzugfestigkeiten aller Platten liegen deutlich über den in DIN EN 319:1993-08 geforderten Werten. Diese Platten sind damit vergleichbar zu denen aus Frischholz.

Aus dem gleichen Holz wurden auch Späne zur Herstellung von Spanplatten hergestellt. Nach dem Aussieben der sehr feinen <0,6 mm und der sehr groben >5 mm Späne wurden die verbliebenen Späne mit 2 %, 4 % und 6 % pMDI als Bindemittel vermischt und verpresst. Die mit 2 % Bindemittel hergestellten Platten erreichten nur knapp die in DIN EN 317:1993-08 Typ P3 geforderte Dickenquellung. Die Platten mit höherem Bindemittelanteil lagen deutlich unter den geforderten Werten. Die Querkzugfestigkeiten wurden nach DIN EN 319:1993-08 geprüft und erfüllten in allen Fällen die geforderten Normwerte. Während alle Platten die geforderten E-Modul-Werte einhielten, wurden die in der Norm geforderten Biegefestigkeiten nur von den Platten mit 6 % Bindemittel erreicht.

Die Projektergebnisse zeigen, dass der größte Teil des stehendgelagerten Fichtenkalamitätsholzes für die Herstellung von OSB, MDF, Dämmstoffen sowie für Spanplatten genutzt werden kann. Jedoch ist im Vergleich mit Frischholz mit einem deutlich erhöhten Anteil von Partikeln und Stäuben zu rechnen.

5 Herausforderungen bei der Verarbeitung von Fichtenkalamitätsholz in der Sägeindustrie

Die Holzmerkmale und die Eigenschaften von Fichtenkalamitätsholz aus einer Stehend- oder Trockenlagerung haben unmittelbare Auswirkungen auf die Produktion im Sägewerk sowie auf die Qualität und die

Verwendbarkeit des Schnittholzes (Tabelle 5). In der Tabelle A.1 in den Anlagen findet sich ein Überblick über die nachfolgend gelisteten Holzmerkmale und deren Auswirkungen auf die Verwendbarkeit.

Tabelle 5: Typische Holzmerkmale von Fichtenkalamitätsholz und ihre Auswirkung auf Verwendbarkeit und Verarbeitung (Symbolik: „x“ = Einfluss vorhanden, „(x)“ = bedingter Einfluss, „-“ = kein Einfluss)

Holzmerkmal	Auswirkung auf		
	Erscheinungsbild	Festigkeit	Verarbeitung
Bläue	x	-	-
Rotstreifigkeit	x	(x)	-
Insektenbefall	x	(x)	-
Fäule	x	x	x
Niedrige Holzfeuchte	-	-	x
Risse	x	(x)	x

Da sich Bläue, Rotstreifigkeit, Fäule und in der Regel auch Insektenbefall nur in feuchtem Holz, oberhalb der Zellwandsättigung, ausbilden können, treten diese Holzmerkmale vor allem an stehendgelagerten Stämmen auf. Bei trockengelagertem Holz sollte die Holzfeuchte schnell herabgesenkt werden, sodass es zu keiner weiteren Ausprägung der zuvor benannten Merkmale kommt. Allerdings kann im Zuge der Trockenlagerung eine verstärkte Rissbildung auftreten.

Die Verarbeitung von Fichtenkalamitätsholz aus einer Stehend- oder Trockenlagerung stellt für die Sägeindustrie eine Herausforderung dar. Gesteigerte Produk-

tionskosten bis hin zu häufigeren Beanstandungen durch Kunden können die Folge sein.

Im Rahmen des Forschungsprojekts NUKAFI wurde eine Umfrage unter den Mitgliedsbetrieben des Deutschen Bundesverbandes der Säge- und Holzindustrie e. V. (DeSH) über „Probleme bei der Verarbeitung von borkenkäferbefallenem Fichtenholz“ durchgeführt. Ziel war der Erkenntnisgewinn über den Umgang der Sägeindustrie und die Bewertung der ökonomischen Auswirkungen beim Einschnitt von Fichtenkalamitätsholz. Nachfolgend sind zentrale Erkenntnisse der Umfrage aufgeführt:

- Die Verarbeitung von Kalamitätsholz im Sägewerk führt im Vergleich zu der von Frischholz zu mehr Störungen im gesamten Produktionsprozess und damit zu erhöhten Produktionskosten.
- Stehzeiten verlängern sich durch vermehrte und erschwerte Störungsbeseitigung.
- Steigender Reinigungsbedarf durch erhöhte Staubbelastung, Drosselung der Vorschubgeschwindigkeit und Störungsbeseitigung durch Holzbruch in der Sägelinie sind (in dieser Reihenfolge) die größten Treiber für die erhöhten Produktionskosten.
- Der Reinigungsbedarf steigt durch die erhöhte Staubbelastung; häufig ist der Schutz des Personals durch Atemschutzmasken erforderlich.
- Ausbeuteverluste in Sägelinie und Sortierungen durch Bläue, Rotstreifigkeit, Insektenbefall, Fäule und Risse steigen.
- Bei der Verarbeitung von Kalamitätsholz ist mit einem gesteigerten Logistik- und Sortieraufwand im Rundholz zu rechnen. Vorsortierungen und technische Optimierungen in Sortierungen sind notwendig.
- Zusätzliche Beanstandungen an der Produktqualität bei stehend- und trocken- gelagertem Fichtenkalamitätsholz liegen zwischen 5 % und 8 % gegenüber 100 % Frischholzeinsatz.
- Der industrielle Einschnitt von stehend- und trocken- gelagertem Fichtenkalamitätsholz wirkt sich gegenüber frischem, nicht geschädigtem Holz wie folgt auf produktionstechnische Kennzahlen aus:

Tabelle 6: Umfrageergebnisse über die Veränderung produktionstechnischer Kennzahlen beim Einschnitt von Fichtenkalamitätsholz im Vergleich zum Einschnitt von 100 % Frischholz

Zusätzliche ...	Durchschnittliche Antwort	Gewichteter Mittelwert der Intervallmittelpunkte
Ausbeuteverluste	5 bis 8 %	7,5 %
Stehzeiten	2 bis 5 %	4,1 %
Produktionskosten	5 bis 8 %	5,8 %

6 Herausforderungen bei der Verarbeitung von Fichtenkalamitätsholz in der Holzwerkstoffindustrie

Bei der Nutzung von Fichtenkalamitätsholz ist die geringe Materialfeuchte eine der zentralen Herausforderungen, die typischerweise zu einer deutlich erhöhten Staubbelastung bei der mechanischen Zerkleinerung führt. Da jedoch bereits die meisten Holzwerkstoffproduzenten Altholz verarbeiten, bei dem vergleichbare Staubemissionen freigesetzt werden, sind fast alle Industriestandorte der Branche mit entsprechenden Luftreinigungsanlagen ausgerüstet.

Das Fichtenkalamitätsholz kann zum größten Teil uneingeschränkt für die Herstellung von Holzwerkstoffen genutzt werden. Da es in der Regel jedoch gegenüber Frischholz deutlich geringere Holzfeuchten aufweist, ist eine entsprechende Vorbehandlung durch Wasserlagerung sinnvoll, wie sie auch bei der Nutzung von Altholz teilweise eingesetzt wird. Der erhöhte Anteil an feinen Partikeln muss gegebenenfalls vor der Weiterverarbeitung abgesiebt werden.

7 Quellen

- [1] C. Brischke, Schutz von lagerndem Rundholz – Verfahren, Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen und Qualitätseinbußen, 2024.
- [2] A. Hohenadl, Merkblatt 50 – Technische Borkenfäferbekämpfung, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 2022.
- [3] K. Bork, LWF Wissen 71 – Praxishilfe Buchdrucker und Kupferstecher Befall erkennen, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), 2022.
- [4] Wald und Holz NRW, „Praxisleitfaden Fichten-Dürrständer – Hinweise zum Umgang mit stehenden abgestorbenen Fichten auf Kalamitätsflächen,“ 2020. [Online].
Available: https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Broschueren/20201014_wuh_broschuere_fichtenduerrstaende_ES.pdf
- [5] Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG), „Sicher Arbeiten im Schadh Holz,“ 2026. [Online].
Available: <https://www.svlfg.de/schadhholzeinschlag>
- [6] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), „Arbeitssicherheit in klimabedingten Schadh Holzbeständen,“ 2020. [Online].
Available: <https://forum.dguv.de/ausgabe-7-2020/arbeitssicherheit-in-klimabedingten-schadhholzbestaenden>
- [7] C. Paul, „Trockenlager von Nadelsägeholz bei EGGER – Von der Idee bis zur Ausbeuteanalyse“ 2025, [Online].
Available: https://binary.egger.link/pis/8c66ba17-2d56-49be-b167-58afb83cd92b/trockenlager_ausbeuteanalyse_de, Abruf 03/2026

8 Anlagen

Merkblatt „Verwendbarkeit von Fichtenholz aus borkenkäfergeschädigten Wäldern“

➤ projekte.fnr.de/projektverzeichnis

Begriffsbestimmungen

DÜRRSTÄNDER

Baum, der vollständig abgestorben ist, das heißt die Nadeln sind entweder rotbraun verfärbt oder abgefallen und die Rinde haftet zu einem erheblichen Teil nicht mehr am Stamm. In der Regel endet dann auch der aktive Käferbefall, so dass die Rinde keine Brutstätte für Borkenkäfer mehr darstellt und vom abgestorbenen Baum und der abgefallenen Rinde keine weitere Befallsgefahr für Nachbarbäume bzw. -bestände ausgeht. Dürrständer sind damit nicht forstschutzrelevant, sodass deren Entnahme nicht mehr zur Bekämpfung einer Käferkalamität beiträgt.

FICHTENKALAMITÄTSHOLZ

Holz, das als Ergebnis von Sturmschäden, Trockenheit und/oder Schädlingsbefall für eine weitere Nutzung verfügbar ist. Es stammt von beschädigten, umgefallenen bzw. aufgrund der Kalamität gefällten Bäumen. Im Kontext des Leitfadens ist mit Fichtenkalamitätsholz, borkenkäfergeschädigtes Kalamitätsholz gemeint.

LIEGENDANSPRACHE

Visuelle Bewertung der Rundholzqualität in Form von Stammabschnitten. Im Kontext des Forschungsprojektes wurden vor allem das Rindenbild, Insektenfraßgänge sowie Verfärbungen und Fäule an den frisch angeschnittenen Stirnseiten beurteilt.

STEHENDANSPRACHE

Visuelle Bewertung des stehenden Baumes. Im Kontext des Forschungsprojektes wurden vor allem das Rindenbild, Fruchtkörper, Kronenabbrüche, Risse im Holz, Feinreisig und der Belaubungszustand bewertet.

STEHENDLAGERUNGSDAUER

Beschreibt den Zeitraum, in der ein nach Borkenkäferbefall abgestorbener Baum (Dürrständer) nicht geerntet, sondern stehend im Bestand auf dem Stock belassen wird.

Tabelle A.1: Typische Holzmerkmale im Schnittholz aus Fichtenkalamitätsholz
(Bilder: Deutsche Säge- und Holzindustrie Bundesverband e.V.)

Merkmal	Beschreibung	Bedeutung
Bläue	Bläulich-schwärzliche Verfärbungen vor allem im Splintholz, hervorgerufen durch holzverfärbende Pilze. Nach der Trocknung ist keine weitere Ausbreitung möglich.	Bläuepilze ernähren sich von Zellinhaltsstoffen; sie greifen die Zellwände nicht an und haben daher keinen Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften. Nach der Sortiernorm DIN 4074-1 ist Bläue im Bauholz unbegrenzt zulässig.
Rotstreifigkeit	Braune bis rötliche Verfärbungen entstehen bei längerer Lagerung im Wald an frischem Holz. Diese werden meist durch Schichtpilze (Stereum-Arten) hervorgerufen. Nach der Trocknung ist keine weitere Ausbreitung möglich. Bei starker Wiederbefeuchtung kann der Pilz allerdings erneut aufleben.	Eine Festigkeitsminderung liegt in der Regel jedoch nicht vor, solange die Stellen nagelfest sind, also die Härte des Holzes nicht vermindert ist. Nach der Sortiernorm für Nadelschnittholz DIN 4074-1 ist Rotstreifigkeit je nach Sortierklasse auf zwischen 1/5 bis 3/5 des Umfangs zulässig.
Risse	Risse entstehen zumeist durch Schwinden des Holzes im Zuge der Trocknung, das je nach anatomischer Richtung (radial, tangential, longitudinal) ungleichmäßig erfolgt.	Risse können, je nach Größe und Lage, die Festigkeit und auch die Verwendbarkeit des Holzes beeinflussen. Sie werden bei der Sortierung entsprechend der Vorschriften berücksichtigt.
Insektenfraßgänge	Die leiterförmigen, dunklen Fraßgänge stammen vom Gestreiften Nutzholzborkenkäfer (<i>Xyloterus lineatus</i>). Dieser befällt frische, im Wald stehende oder gefällte Stämme. Durch Trocknung sterben Käfer oder Larven ab. Weitere Schäden am verarbeiteten oder verbauten Holz sind nach erfolgter Holz Trocknung ausgeschlossen.	Fraßgänge im Holz bis 2 mm Durchmesser sind in dem bisher festgestellten Ausmaß ohne praktischen Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften und daher für Bauholz gemäß DIN 4074-1 zulässig.



Tabelle A.2: Sortierkriterien von Rundholz nach der Rahmenvereinbarung für den Rundholzhandel in Deutschland (RVR), 6., aktualisierte Auflage, 16. Dezember 2024

Qualitätsklasse	A	B	C	D
Insektenbefall über 2 mm Breite	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
Weichfäule	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig	Im äußeren Holzmantel des Wurzelanlaufs zulässig
Hartfäule	nicht zulässig	nicht zulässig	Zulässig im äußeren Holzmantel des Wurzelanlaufs bis 15 % des Durchmessers	zulässig
Rotstreifigkeit	nicht zulässig	nicht zulässig	beginnende oberflächliche Bläue	zulässig
Bläue	nicht zulässig	nicht zulässig	beginnende oberflächliche Bläue	zulässig
Kernrisse	≤1/4 Durchmesser	≤1/3 Durchmesser	≤1/2 Durchmesser	zulässig

