

Lehrmittel



Holzindustriefachfrau
Holzindustriefachmann

3. Lehrjahr

Version 1.0, 2024

Berufskunde Holzindustriefachmann/-frau EFZ

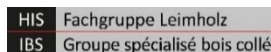
3. Lehrjahr

Impressum

Hauptautoren	Richard Chopard, David Coulin, Christoph Fuhrmann, Markus Lädach, Jörg Langheim, André Leuenberger, Peter Marty, Ismaël Mivelaz, Wolfram Selter
Erweitertes Autorenteam	Bruno Abplanalp, Res Näf, Michael Widmer
Begleitgruppe	Simon Codourey, Christoph Fuhrmann, Valentin Liechti, Bernhard Muhr, Pascal Schmider, Michael Widmer
Projektleitung	Bernhard Muhr
Didaktische Begleitung & Koordination	Barbara Vogt, Eidgenössische Hochschule für Berufsbildung EHB
Lektorat	David Coulin
Gestaltung	Pascal Graf, Björn Ittensohn, Valentin Liechti
Herausgeber	Holzindustrie Schweiz, Bern, holz-bois.ch

holzindustrie schweiz
industrie du bois suisse

Projektpartner	Verband Schweizer Hobelwerke, Zürich, vsh.ch Fachgruppe Leimholz, Bern, holz-bois.ch/fachgruppe-leimholz
----------------	---



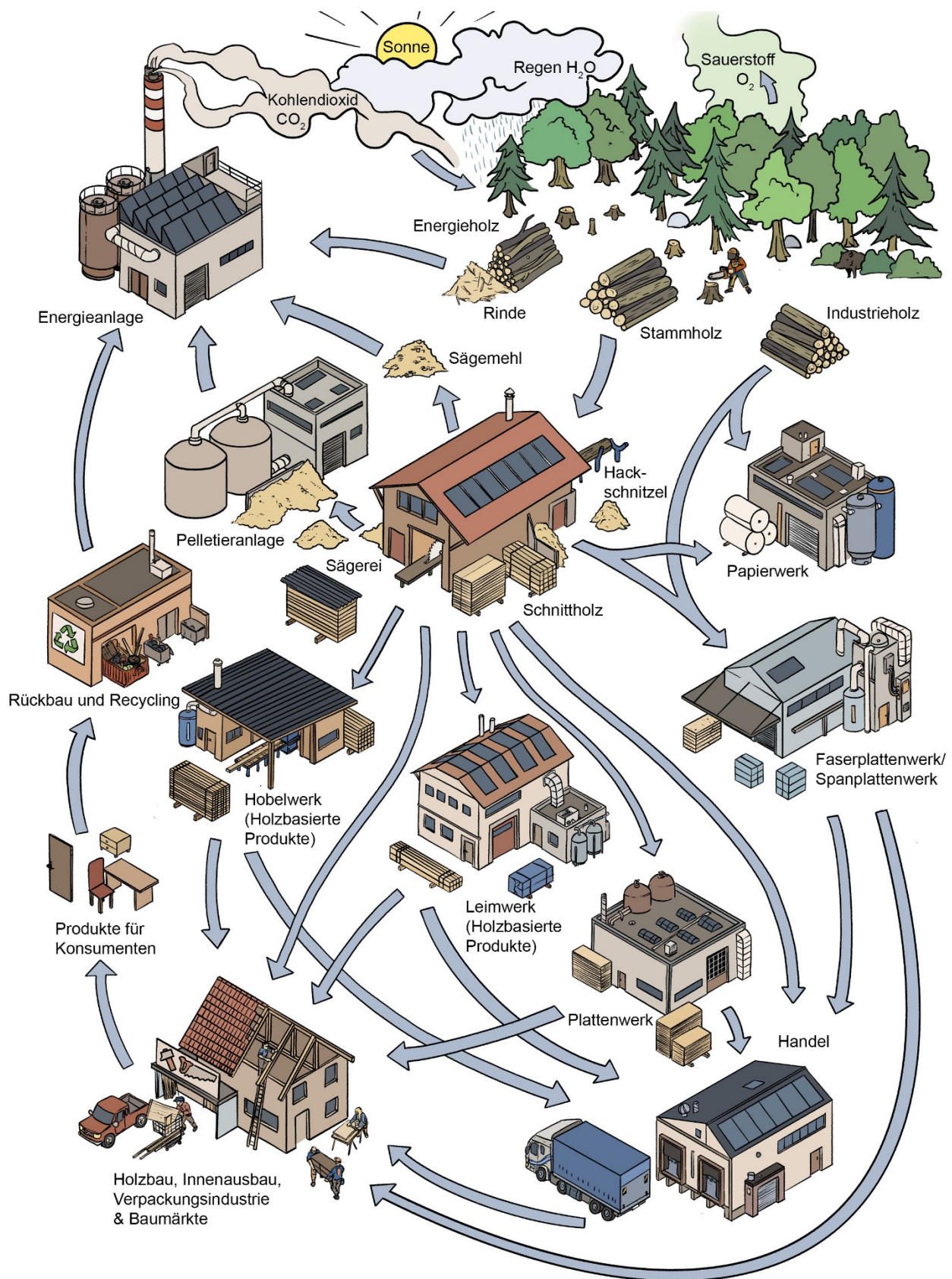
Mit freundlicher Unterstützung von	Verein Senke Schweizer Holz
------------------------------------	-----------------------------

Ausgabe	August 2024 (Version 1.0)
---------	---------------------------

© 2024 Holzindustrie Schweiz	Alle Rechte, auch das Recht des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, sind vorbehalten.
------------------------------	--

Hinweis zur geschlechterneutralen Sprache	In diesem Lehrmittel wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit an gewissen Stellen das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.
---	---

Holzkreislauf



Kapitelübersicht

1. Kundenberatung und Reklamationen (10 Lektionen)

Kundenberatung – Reklamationen

2. Auftragsprozesse und Optimierung (35 Lektionen)

Holzwirtschaft, Holzkette – Offerten, Ausbeute – Machbarkeit, Arbeitsprozesse, Ausführungsvarianten, Optimierungsvorschläge – Bestell-/Lieferdokument

3. Logistik (35 Lektionen)

Lagerhaltung/-verwaltung – Warenfluss, Betriebslogistik, Optimierung Fahrten – QMS – Gesetzliche Vorgaben – Umreifungs- und Wickelmaschinen

4. Oberflächenbehandlung (20 Lektionen)

Nutzen und Systeme Bretter / Hobelware (Nadelholz) – Anstrich-/Imprägniersysteme, Anstrichstoffe – Aufbau Beschichtung / Oberflächenbehandlung, Applikationsverfahren – Bauteile

5. Trennen und Hobeln (25 Lektionen)

Trennmaschinen, Dünnschnittgatter, Trennkreissägen – Hobelmaschinen – Hobeln von Schnittholz

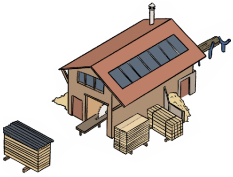
6. Leimen (40 Lektionen)

Untertischkappkreissägen – Keilzinkenmaschinen – Aushärtelager – Hobeln – Verleimen von Holz (versch. Holzarten) – Leimpresse – Qualitätskontrolle

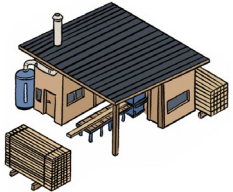
7. Restholzverwertung und Holzabfall (15 Lektionen)

Absatzkanäle - Naturbelassenes Holz, Restholz, Belastetes Holz - Kreislaufwirtschaft, gesetzliche Grundlagen – Aufbereitungsanlagen, Absauganlagen – Lagerung, Gefahren, Sicherheitsmassnahmen

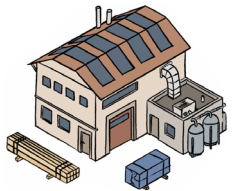
1. Kundenberatung und Reklamationen



Sägerei



Hobelwerk



Leimwerk

HK a1: Mit Vorgesetzten, Mitarbeitenden und Kunden angemessen kommunizieren

Eine gut funktionierende Kommunikation im Unternehmen ist wichtig für einen nachhaltigen Erfolg und wirkt sich folglich auf zahlreiche Bereiche aus. Beratungsgespräche sollen daher sauber vorbereitet. Nicht immer funktioniert der Kommunikationsprozess störungsfrei. Entsprechend wichtig ist es, Tipps und Tricks zur Deeskalation zu kennen.



Abbildung 1: Reklamation nicht ausgeschlossen: Holz ist ein Naturprodukt. (Quelle: zvg)

Praxisaufträge im Betrieb

- Kunden (Lieferanten, Berufsleute oder Endkunden) beraten
- Reklamationen: dabei sein, angebrachte Reaktion beobachten

Berufliche Situationen

- Sie beraten Kunden bedürfnis- und fachgerecht.
- Sie nehmen eine einfache Reklamation von Kunden/Lieferanten oder eine interne Reklamation/Kritik entgegen und bearbeiten sie.

Lernziele

- Sie beherrschen die Erfolgsfaktoren für eine wirkungsvolle Kommunikation und wenden diese an.
- Sie nehmen selbstbewusst Reklamationen entgegen, behandeln diese lösungsorientiert und dokumentieren sie sauber.
- Sie erarbeiten einen einfachen Leitfaden zum Vorgehen bei Reklamationen in Ihrem Unternehmen.

1.1. Das Beratungsgespräch

Es ist allgemein bekannt, dass die Kundinnen und Kunden in der Schweiz ihre Einkäufe mehr und mehr online abwickeln. Gemäss statista.com lag der Umsatz im E-Commerce im Jahr 2014 in der Schweiz bei knapp 6,7 Milliarden Franken, im Jahr 2022 bereits bei über 15 Milliarden Franken. Nichtsdestotrotz bleibt die persönliche Beratung im Unternehmen wichtig. Kundinnen und Kunden suchen kompetente Informationen. Dies gilt insbesondere, wenn

- die Produkte komplex
- die Auswahl an Produkten gross
- die Produkteigenschaften unterschiedlich

sind. Gleichzeitig legt das persönliche Gespräch die individuellen Bedürfnisse der Kundschaft offen und ermöglicht so massgeschneiderte Lösungen.

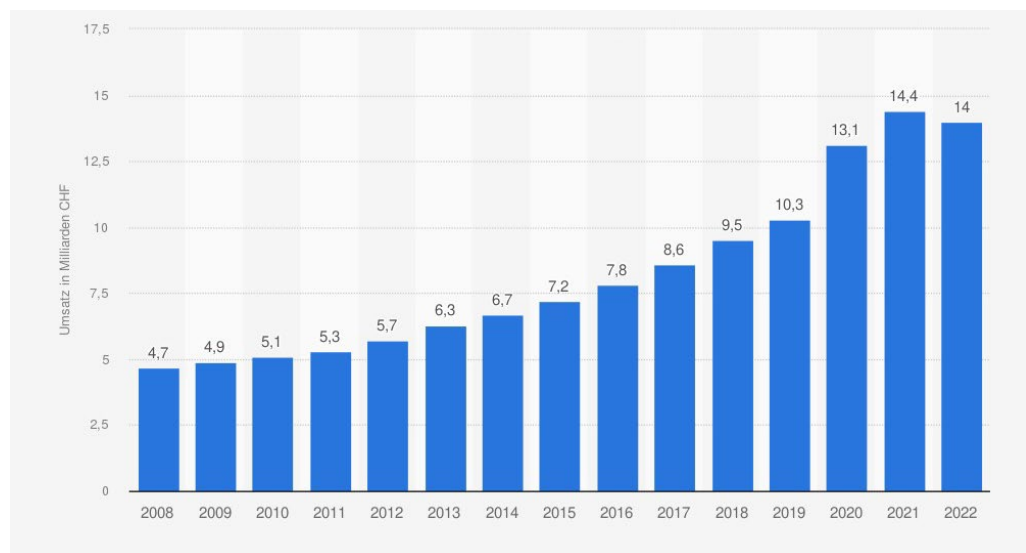


Abbildung 2: Die Entwicklung des Umsatzes im Onlinehandel in der Schweiz. (Quelle: statista.com, 2024)

1.2. Gesprächs- und Kundentypen

1.2.1. Gesprächstypen und Gesprächsleitfaden

In der Praxis lassen sich die Kundengespräche grob unterscheiden in:

- Informationsgespräche
- Beratungsgespräche

Bei **Informationsgesprächen** geht es um kurzfristige Anfragen meist per Telefon, E-Mail oder am Schalter. Hier erwartet der Kunde in kurzer Zeit eine korrekte Antwort auf eine spezifische Frage. Je mehr der Mitarbeitende vom Unternehmen, den Produkten oder den aktuellen Lagerbeständen weiss, desto besser und schneller kann er informieren. Wichtig: Auskunftspersonen sollen stets ehrlich und authentisch bleiben. Wer eine Frage nicht beantworten kann, soll dazu stehen und im Unternehmen nach kompetenten Personen suchen, die weiterhelfen können.

Beratungsgespräche sind umfassender als Informationsgespräche und es ist empfehlenswert, diese entsprechend sorgfältig vorzubereiten. Dabei ist folgender Leitfaden hilfreich (angelehnt an Pätz, dmeco.com, 2023):

1. Vorbereitung
2. Gesprächsführung – Eröffnung und Beziehungspflege
3. Bedarfsabklärung
4. Argumentation
5. Gesprächsabschluss - Verabschiedung
6. Nachbearbeitung

Vorbereitung

Eine gründliche Vorbereitung ist der Schlüssel zu einem erfolgreichen Kundengespräch. Informieren Sie sich über den Kunden, seine Bedürfnisse und seine Branche. Stellen Sie sicher, dass Sie alle relevanten Informationen und Materialien zur Hand haben, um das Gespräch effektiv zu führen. Achten Sie zudem auf eine korrekte Kleidung und ein gepflegtes Auftreten.

Überlegen Sie im Voraus, welche Informationen Sie von Ihrem Kunden erhalten möchten. Definieren Sie klare Ziele für das Gespräch, damit Sie gezielt nach den benötigten Informationen fragen können.

Informieren Sie sich im Vorfeld über den Kunden und sein Unternehmen. Besuchen Sie die Website des Unternehmens, lesen Sie über aktuelle Entwicklungen und recherchieren Sie mögliche gemeinsame Interessen oder Herausforderungen. Je besser Sie den Kunden verstehen, desto gezielter können Sie Fragen stellen und das Gespräch auf seine Bedürfnisse ausrichten.

Überlegen Sie im Voraus, welche Fragen der Kunde stellen könnte, und bereiten Sie sich auf diese vor. Denken Sie über mögliche Antworten nach und sammeln Sie relevante Informationen, die Sie dem Kunden präsentieren können.

Bereiten Sie alle relevanten Materialien vor, die Sie während des Gesprächs benötigen könnten. Dies können Präsentationen, Produktinformationen, Muster oder andere Unterlagen sein, die dem Kunden helfen, die Informationen besser zu verstehen.

Gesprächsführung – Eröffnung und Beziehungspflege

Sorgen Sie gleich zu Beginn für eine konstruktiv-positive Grundstimmung im Gespräch. Mögliches Vorgehen:

Telefonische Kontaktaufnahme

- Stellen Sie sich vor, wenn Sie der Kunde noch nicht kennt
- Bedanken Sie sich für die Kontaktaufnahme
- Knüpfen Sie an vergangene Gespräche mit dem Kunden an
- Interessieren Sie sich für die aktuelle Lage beim Kunden

Gespräche vor Ort

- Begrüßen Sie den Kunden am Empfang persönlich
- Stellen Sie sich vor, wenn Sie der Kunde noch nicht kennt

- Führen Sie ihn via die Ausstellungsräume in ein Sitzungszimmer
- Bieten Sie ein Getränk an
- Kommen mehrere Personen, sprechen Sie alle gleichwertig an (nicht nur den Chef, auch die Mitarbeiter/innen; nicht nur den Mann, auch die Frau)



Abbildung 3: Der Kunde ist König – ein Beratungsgespräch kann gut in einem Showroom durchgeführt werden. (Quelle: Mivelaz Bois SA, 2023)

Bedarfsabklärung

Zeigen Sie Interesse an den Anliegen und Bedürfnissen des Kunden, indem Sie aktiv zuhören. Lassen Sie den Kunden ausreden und stellen Sie gezielte Fragen, um das Verständnis zu vertiefen. Machen Sie Notizen. Gewichten Sie die Kundenbedürfnisse hoch und orientieren Sie sich daran, um danach mit Ihren Angeboten zu überzeugen.

Argumentation

Kommunizieren Sie klar, verständlich, ehrlich und authentisch. Dies hilft Missverständnisse zu vermeiden und schafft Vertrauen. Verwenden Sie eine Sprache, die der Kunde nachvollziehen kann. Bieten Sie dem Kunden Lösungen an. Zeigen Sie, wie Ihr Produkt oder Ihre Dienstleistung die Probleme des Kunden lösen kann. Präsentieren Sie konkrete Beispiele. Verzichteten Sie auf technische Details, wenn diese für den Kunden nicht relevant sind. Argumentieren Sie mit Fakten, die für die Kundenschaft wichtig sind.

Gesprächsabschluss – Verabschiedung

Behalten Sie eine konstruktiv-positive Grundstimmung bei. Fassen Sie mündlich die Erkenntnisse des Gespräches kurz zusammen, um sicherzustellen, dass Sie alles richtig verstanden haben. Geben Sie dem Kunden Orientierung, was als nächstes mit seinem Anliegen passiert. Bedanken Sie sich beim Kunden für die Zeit und verabschieden Sie sich freundlich.

Nachbearbeitung

Sorgen Sie für eine gute Nachbetreuung, um die Kundenzufriedenheit zu gewährleisten und langfristige Beziehungen aufzubauen. Eine kurze Dankes-E-Mail oder -nachricht ist eine höfliche Geste und zeigt Ihre Wertschätzung. Halten Sie regelmässigen Kontakt, bieten Sie Unterstützung bei Fragen oder Problemen an und zeigen Sie, dass Sie sich um den Erfolg des Kunden kümmern.

Diese Vorgehensweise kann helfen, gute Kundengespräche zu führen und langfristige Kundenbeziehungen zu erhalten. Allerdings gilt es zu beachten, dass jeder Kunde einzigartig ist. Daher ist es wichtig, flexibel zu sein und sich auf die individuellen Bedürfnisse und Vorlieben jedes Kunden einzustellen.

1.2.2. Kundentypen

Die Psychologen William M. Marston und C.G. Jung haben bereits in den 1920er-Jahren ein Verhaltensmodell entwickelt, aus dem Kundentypen abgeleitet werden können. Das sogenannte DISG-Modell steht für:

D – dominant
I – initiativ
S – stetig
G – gewissenhaft

Der dominante Typ Der dominante Typ tritt entschlossen, ehrgeizig und fordernd auf. Er ist sehr anspruchsvoll, bestimmend und herausfordernd, versucht gern, die Kontrolle über das Gespräch zu übernehmen, und findet mit seiner rechthaberischen und impulsiven Art oft nur schwer einen Draht zum Gesprächspartner. Beim dominanten Macher gilt es vor allem, „auf Augenhöhe“ zu kommunizieren und alle wichtigen Informationen schnell, kompetent und strukturiert zu präsentieren.	Der initiativ Typ Als deutlich aufgeschlossener und offener gilt der initiativ Typ. Als charmanter Optimist kommt er schnell mit anderen ins Gespräch, sorgt für positive Stimmung und steckt voller Tatendrang und Energie. Zwar ist er sehr umgänglich, präsentiert sich aber häufig auch sprunghaft und schweift in Gesprächen gerne ab. Wem es daher gelingt, die Begeisterungsfähigkeit dieses Kundentypen immer wieder vertrauensvoll auf das Verkaufsobjekt zu lenken, hat gute Abschlusschancen.
Der stetige Typ Bei stetigen Typen kommt es in erster Linie auf den Vertrauensaufbau an. In der Regel treten sie reserviert, aber höflich auf und gehen gern auf Nummer sicher. Sie setzen auf Bewährtes und Vertrautes und benötigen viele Informationen für ihre Entscheidungsfindung. Beim Verkäufer sind darum vor allem Geduld und Verständnis gefragt, um dem stetigen Typ die Angst vor dem Risiko zu nehmen.	Der gewissenhafte Typ Der gewissenhafte Kundentyp ist ähnlich vorsichtig wie stetige Käufer, geht aber deutlich rationaler und kritischer ins Gespräch. Für ihn zählen in der Regel die Fakten und das Preis-Leistungs-Verhältnis. Um die Vor- und Nachteile abwägen zu können, erwartet der gewissenhafte Typ eine möglichst umfassende und detaillierte Beratung, bei der ebenso Geduld und Einfühlungsvermögen gefragt sind.

Wer in einem Kundengespräch erkennt, mit welchem Kundentyp er es zu tun hat, kann die Kommunikation entsprechend steuern und unter dem Strich bessere Ergebnisse erzielen – für das Unternehmen und den Kunden.

1.2.3. Tipps und Tricks

Eine wirkungsvolle Kommunikation bezieht die drei Ebenen verbal, paraverbal und nonverbal mit ein und sorgt dafür, dass diese untereinander stimmig sind. Das Gegenüber erkennt unehrliche Äusserungen, wenn die verbale, paraverbale und nonverbale Kommunikation nicht übereinstimmt.

Beim Kundengespräch können folgende Verhaltensweisen helfen:

- Verbal – aktives Zuhören, nachfragen, präzise, verständliche Sprache wählen, ehrliches Interesse am Gegenüber zeigen
- Paraverbal – Freundliche, offene Stimme, angemessene Lautstärke
- Nonverbal – Offenheit, Augenkontakt, zugewandte Körperhaltung, kompetente Gestik

1.3. Reklamationen

«Wo gehobelt wird, da fallen Späne», dieses Sprichwort aus dem Alltag hat seine Berechtigung und meint: Wo gearbeitet wird, können auch mal Fehler passieren. Und wo Fehler passieren, ist die Reklamation nicht weit. Da Unternehmen eine langfristige und regelmässige Beziehung zu ihren Kunden anstreben, ist es von besonderer Wichtigkeit in der eher angespannten Situation einer Reklamation besonnen und sicher zu agieren.

1.3.1. Gewaltfreie Kommunikation

Vorab haben alle Beteiligten das grösste Interesse, ein Gespräch – sei es eine berechtigte oder unberechtigte Reklamation – nicht eskalieren zu lassen. Der Psychologe Marshall B. Rosenberg hat dazu eine Methode entwickelt: die gewaltfreie Kommunikation. Er geht dabei davon aus, dass Menschen grundsätzlich eine positive Beziehung zu ihren Mitmenschen wünschen. Werden demnach in einem Konfliktgespräch Gefühle und Bedürfnisse des Gegenübers erkannt, lässt sich die Kommunikation in eine konstruktive und wertschätzende Richtung steuern. Wichtig: bei der gewaltfreien Kommunikation geht es nicht darum Konflikte ganz zu vermeiden, sondern diese nicht eskalieren zu lassen. Daher schlägt Rosenberg in heiklen Gesprächssituationen ein gezieltes Vorgehen vor:

- **Beobachten:** Versuchen Sie die Situation aus der Vogelperspektive zu beobachten. Sprechen Sie in Konfliktsituationen an, was Sie erleben und wahrnehmen. Hören Sie zu, verteidigen Sie sich nicht.
- **Beschreiben** Sie Ihrem Gegenüber die momentan Gesprächssituation und was diese bei Ihnen an Emotionen auslöst.
- **Bedürfnisse klären:** Verlassen Sie die emotionale Ebene und gehen Sie auf die Sachebene. Versuchen Sie sachlich aufzuzeigen, welche grundsätzlichen Bedürfnisse im Raum stehen.
- **Bitten** Sie Ihr Gegenüber sachlich und konstruktiv zu kommunizieren, was die Konfliktsituation auslöst.

Mögliche verbale Kommunikation gegenüber dem Kunden: «Ich verstehe Ihren Unmut. Unser Gespräch entwickelt sich aber gerade in eine schwierige Richtung für mich. Wir wollen alle eine konstruktive und gute Lösung. Ich stelle fest, dass Sie mit dem gelieferten Produkt nicht zufrieden sind. Was genau entspricht nicht Ihren Vorstellungen?»

1.3.2. Reklamationen entgegennehmen und bearbeiten

Die gewaltfreie Kommunikation kann betriebsintern durch das Vorbereiten von Kommunikationsmethoden und entsprechenden Formularen unterstützt werden. So können Leitfäden und Beanstandungsprotokolle eine wertvolle Hilfe sein.

Leitfaden

Kontakt mit dem Beanstander

Interne Abklärungen

Entgegen- nahme / zuhören

- Wer beanstandet etwas? (Name, Firma, Funktion, Telefonnummer, E-Mail)
- Datum?
- Was wird beanstandet? Gibt es Fotos?
- Abmachung, bis wann wir uns wieder melden

Abklärung I

- Wie lautete die Auftragsbesätigung, der Lieferschein?
- Auf wen wurde der Lieferschein / die Rechnung ausgestellt?
- Ist der Rechnungsempfänger die Person, welche die Beanstandung vorbringt? Haben wir und der Beanstander ein Vertragsverhältnis? ja / nein (Nein → so müsste sich der Beanstander an seine Vertragspartner wenden)

Abklärung II

- Auf welches Regelwerk, welche Abmachung stützt sich die Lieferung ab?
- Was wurde «verkauft» und was effektiv geliefert? Stimmt dies überein?
- Wurde das Produkt für dies beanstandete Anwendung gemacht?
- Wie wurde der Kunde beraten? Welche Unterlagen waren vorhanden?
- Ist die Reklamation durch die Gewährleistungspflicht (Garantie*) gedeckt? ja / nein

Abklärung III

- Wurde die beanstandete Lieferung schon weiterverarbeitet? ja / nein (mit der Weiterverarbeitung [z.B.: Montage] akzeptiert der Kunde grundsätzlich die Lieferung – versteckte Mängel ausgenommen)
- Weitere mögliche Fragestellungen, evtl. Besichtigung vor Ort

interne Abschätzung

- Sind weitere Abklärungen nötig?
- Geht der Kunde evtl. von falschen / eigenen Kriterien aus?
- Stufen wir selber die Beanstanung als gerechtfertigt ein? ja / nein
- Lösungsvorschlag ausarbeiten
- Besprechungsstrategie festlegen

Kontakt- aufnahme

- Sich innerhalb der vereinbarten Frist melden
- Evtl. noch offene Fragen klären
- Beanstander unsere Haltung mitteilen
- Warum wir nicht haftbar gemacht werden können (z.B. nicht Vertragspartner, Garantiefrist abgelaufen, kein Mangel)
- Beanstandung nicht gerechtfertigt (Kunde geht von falschen Vorstellungen aus, kennt die Regelwerke nicht, usw.)
- Beanstandung «gerechtfertigt» oder Kulanzlösung, Vorschlag weiteres Vorgehen

weiteres Vorgehen intern

- Nach- / Ersatzlieferung / Austausch
- Entschädigung?
- Entschuldigung

Auswertung, Verbesserung

- Beanstandungen kategorisieren (z.B. falsch verrechnet, falsch bestellt, falsch geliefert, Qualitätsdifferenz, Kulanz, usw.)
- Auswertung der Gutschriften, Verbesserungen, Korrekturen in die Prozesse oder Verkaufsunterlagen einfließen lassen.

*Details zur Gewährleistungspflicht finden sich hier:

<https://www.konsumentenschutz.ch/online-ratgeber/was-ist-garantie/>

Beanstandungsprotokolle

Beanstandungsprotokolle sind insbesondere eine Hilfe, damit im Gespräch mit dem Kunden nichts vergessen geht. In der Folge ein Mustervorschlag:

Beanstandungsprotokoll

Datum	
Aussendienst / Innendienst	
Kunde/Objekt	
Adresse	
Wer hat beanstandet ?	

Allgemeine Informationen

Wer war der Rechnungsempfänger ?	
Rechnungsnummer und -datum	
Was wird beanstandet ?	
Bemerkungen	

Erste Kontaktaufnahme

Datum	
Kontaktform (Telefon, Mail, etc.)	

Kontaktperson	
Wie ist man verblieben?	

Besichtigung

Datum der Besichtigung	
Teilnehmer	
Fotos	
Wie ist man verblieben?	

Weitere Bemerkungen

Datum	Bemerkung

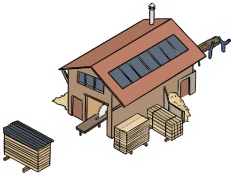
1.3.3. Tipps und Tricks

Reklamationen sollten möglichst rasch behandelt werden. Denn je früher eine Abweichung festgestellt wird, desto günstiger sind die Beanstandungsaufwände für die betroffenen Abteilungen und Mitarbeitenden (Zeit und Kosten) und gegebenenfalls für die Korrektur. Und je schneller eine Reklamation bearbeitet wird, desto unbeschwerter können sich alle wieder den «produktiven» Aufgaben widmen.

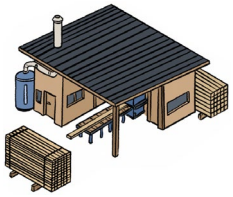
Der Auftraggeber hat das Recht, dass das Produkt die zugesicherten Eigenschaften / Qualität / Erscheinungsklasse erfüllt. Andernfalls muss der Auftragnehmer nachbessern oder Ersatz liefern bzw. mindern. Hier gilt es betriebsintern die gesetzlichen Vorgaben zur Garantie (oder Sachgewährleistung) abzufragen.

Wenn sich ein Unternehmen und ein Kunde über eine Beschwerde nicht einigen können, besteht die Möglichkeit eine externe Expertise erstellen zu lassen. Eine unabhängige Fachperson nimmt dabei die Beanstandung unter die Lupe und gibt seine objektive Einschätzung zum Fall ab.

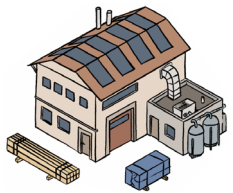
2. Auftragsprozess und Optimierung



Sägerei



Hobelwerk



Leimwerk

HK a2: Herstellung von Holzprodukten planen und organisieren

HK a4: Erledigte Aufträge der Produktion und des Rüstens von Holzprodukten dokumentieren

HK b2: Schnittholz, holzbasierte Produkte, Hilfs- und Betriebsstoffe annehmen, verschieben und lagern

Um ein Unternehmen auf dem Markt erfolgreich zu positionieren, ist es unabdingbar, qualitativ hochwertige Produkte zu fertigen und eine hohe Kundenzufriedenheit zu erreichen.

Ein optimaler Auftragsprozess spielt für die Kundenzufriedenheit eine wesentliche Rolle. Dies beginnt bei der kompetenten Beratung und Auswahl des passenden Holzes für die spezifischen Aufträge. Ein weiterer wesentlicher Faktor im Prozess ist die Produktkalkulation.

Doch dies allein reicht nicht. Ebenso entscheidend sind effiziente Produktionsprozesse und die kontinuierliche Suche nach Optimierungsmöglichkeiten. In den Sägewerken ist es von zentraler Bedeutung, die maximale Ausbeute aus dem Rundholz – sowohl Haupt- als auch Nebenprodukten – zu erzielen.

Diese Faktoren, die zum Erfolg eines Unternehmens beitragen, werden in im Folgenden detailliert dargestellt und erläutert.



Abbildung 4: Hauptmaschine im Einsatz. (Quelle: J. Thoma, schaerholzbau ag)

Praxisaufträge im Betrieb

- Auftrag analysieren, um Ausführungs- und Produktionsschritte festzulegen
- Ausbeute berechnen: Ergebnisse (Mengen) mit Vorgaben und Kennzahlen vergleichen, Optimierung ableiten

Überbetrieblicher Kurs 5

- Ausbeute beurteilen und berechnen

Berufliche Situationen

- Sie planen und organisieren einen einfachen Produktionsauftrag: z.B. aus Schnittholz Terrassendielen herstellen.
- Sie bestimmen, welche Rohmaterialien sich für den Auftrag eignen.

Lernziele

- Sie nennen Kriterien, um die Machbarkeit eines Auftrages zu beurteilen, und beurteilen Beispiele von Aufträgen.
- Sie beschreiben Möglichkeiten von verschiedenen Ausführungsvarianten in Ihrem Betrieb.
- Sie berechnen anhand von Fallbeispielen die Ausbeute von Aufträgen und beurteilen das Potenzial zur Optimierung.
- Sie kalkulieren einfache Aufträge.
- Sie erläutern die Bestandteile und den Aufbau von Bestell- und Lieferdokumenten sowie deren Anforderungen.
- Sie beschreiben zentrale Entwicklungen und Optimierungsmöglichkeiten in den Betrieben der Holzwirtschaft.

2.1. Holzverarbeitung

Die Produktionsmenge von Schnittholz und auch Spanplatten steigt seit 2017 wieder an.

So betrug der Rundholzeinschnitt in den Schweizer Sägewerken über alle Sortimente betrachtet im 2022 rund 2,1 Millionen Festmeter. Dabei wurden 1,25 Millionen Kubikmeter Nadel schnittholz und etwa 56'000 m³ Laubschnittholz erzeugt, was einer Ausbeute von etwas mehr als 60% entsprach.

Total 2,1 Mio. m³ Rundholz

Restholz 40%

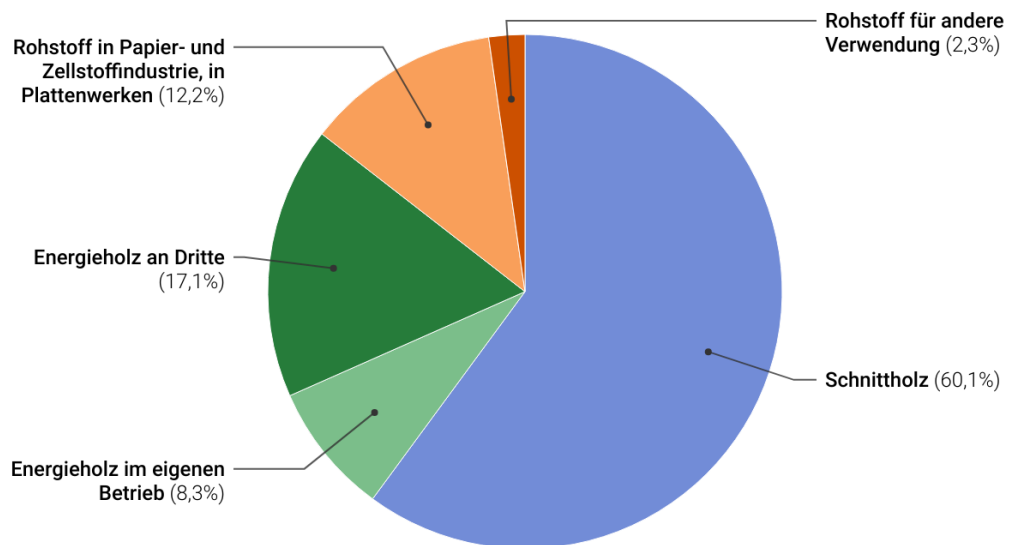


Abbildung 5: Holzverarbeitung 2022 (Quelle: Bundesamt für Statistik)

Die positive Entwicklung ist insbesondere auf die massiv gestiegene Nachfrage nach hochwertigen Schweizer Holzindustrieprodukten für Bauzwecke zurückzuführen. Dies hängt auch damit zusammen, dass dank neuer Brandschutzvorschriften mehrgeschossige Holzbauten möglich sind. Diese brauchen so viel Holz, dass die Herausforderung darin liegt, überhaupt so viel Holz ernten zu können.

Ein weiterer Grund liegt darin, dass vermehrt Schweizer Holz nachgefragt wird. Dies, obwohl Produkte aus Schweizer Holz in der Regel etwas teurer sind als Importware. Verschiedene Argumente überzeugen jedoch die Kunden, trotzdem auf Schweizer Holz (vgl. Zertifikat Schweizer Holz, Kapitel Logistik) zu setzen:

- Stärkung des Werkplatzes Schweiz, Erhalt von Arbeitsstellen
- Wissen um Schweizer Qualität in allen Verarbeitungsprozessen
- Garantiert Holz aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern. Das Schweizer Waldgesetz ist eines der strengsten der Welt!
- Ökologischer wegen wegfallender Transporte aus dem Ausland in die Schweiz
- Aus der Region für die Region: Immer öfter verlangen Bauherren Holz nicht nur aus der Schweiz, sondern aus ihrer Region oder gar aus ihrem eigenen Wald.

Im Weiteren haben die Schweizer Sägewerke 2022 schätzungsweise etwa 825'000 m³ Restholz produziert (40% des Einschnitts). Getrieben durch den gestiegenen Bedarf ist der Verwertungskanal «Energieholz an Dritte» inzwischen grösser als die Restholzmenge, die der Papier- und Plattenindustrie geliefert wird.

Dank der gestiegenen Nachfrage nach Schweizer Holzprodukten werden grosse Investitionen in Aus- und Neubauten von Produktionsanlagen und -werken getätigt. Dies betrifft sowohl mittlere und grössere Sägewerke und Weiterverarbeitungsbetriebe wie auch den Bereich der Holzenergie.

Trotz dieser - Stand Herausgabe dieses Lehrmittels - positiven Marktstimmung ist aber zu bemerken, dass der Holzmarkt starken Schwankungen unterworfen ist. Weltpolitische Krisen oder eine schlechte Baukonjunktur können die Marktentwicklung stark beeinflussen. Überdies würde eine Verknappung des Rohstoffes in Folge des Klimawandels ebenfalls zu grossen Veränderungen führen. Deshalb sind ein schonender Umgang mit der Ressource Holz und die Optimierung der Kosten und Prozesse ein grosses Thema.

Im Folgenden werden die zentralen Faktoren für einen effizienten Auftragsprozess sowie Möglichkeiten zur Optimierung der Kosten bzw. des Ertrags dargestellt und besprochen – von der Erfassung der Kundenbedürfnisse über das Angebot mit der entsprechenden Klärung der Herstellmöglichkeiten – u.a. technische Machbarkeit, Warenverfügbarkeit, Kapazität – bis zur Bestätigung, dem Produktionsprozess, der Auslieferung und Rechnungsstellung.

2.2. Auftragsannahme

Eine saubere Auftragsannahme hilft, in der Produktion die richtige Strategie zu wählen, um zum benötigten Zielprodukt zu kommen. Darum gilt es bei der Auftragsannahme folgende Punkte zu klären:

- **Ist der Auftrag klar?**
Da wir es mit vielen individuellen Produkten und nicht immer mit Fachpersonen auf der Kundenseite zu tun haben, müssen wir sorgfältig sicherstellen, dass beide Parteien vom Gleichen sprechen.
- **Stimmt der Auftrag mit der Offerte überein?**
Wenn schon mal offeriert wurde, ist der Auftrag mit der Offerte zu vergleichen. Oft weichen in der Praxis auch Bestellungen von der Offerte ab, weil z.B. ein Planer oder Bauherr einen Querschnitt verändert hat.
- **Gibt es Optimierungsmöglichkeiten?**
Die meisten Betriebe arbeiten mit Standardsortimenten, aus denen sie die Kundenaufträge fertigen. Daraus ergeben sich wirtschaftliche oder unwirtschaftlichere Produktdimensionen. Oft müssen wir nach einer Bestellung ohne vorgängige klare Offerte mit dem Kunden das Gespräch suchen, ob er nicht ev. die Dimension etwas anpassen könnte, damit wir wirtschaftlich (und für ihn günstiger) produzieren können.
- **Ist das Rohmaterial verfügbar? Wenn nicht, Alternativen?**
Dann sind Nachliefermöglichkeiten abzuchecken. Oder es ist zu prüfen, ob andere Standardprodukte so umgearbeitet werden können, dass der Auftrag ausgeführt werden kann.
- **Haben wir die Kapazität und die technischen Möglichkeiten, um den Auftrag auszuführen?**

Wenn nicht: Intern die Auslagerung der problematischen Teile des Auftrages an Dritte prüfen. Dem Kunden gegenüber ist aber nach wie vor der ganze Auftrag zu verantworten

- **Schaffen wir den Auftrag logistisch?**
Diese Checkfrage betrifft Verpackung, Beschriftung und Transport
- **Sind die Lieferfristen ok?**
Die Lieferfristen sind klar zu berechnen und zu kommunizieren und mit den Vorstellungen des Kunden abzugleichen. Eventuell müssen gewisse Prozesse intern beschleunigt werden.
- **Stimmt der Preis?**
Für die Preisgestaltung ist insbesondere die Kalkulation der Herstellungskosten und die Festlegung der Marge zentral. Je nach Umsatz des Kunden, der Kundentreue und Bezahlmoral wird gegebenenfalls ein Auftragsrabatt gewährt.

2.3. Auftragsdokumentation

Der gesamte Auftragsprozess wird von entsprechenden Dokumenten begleitet.

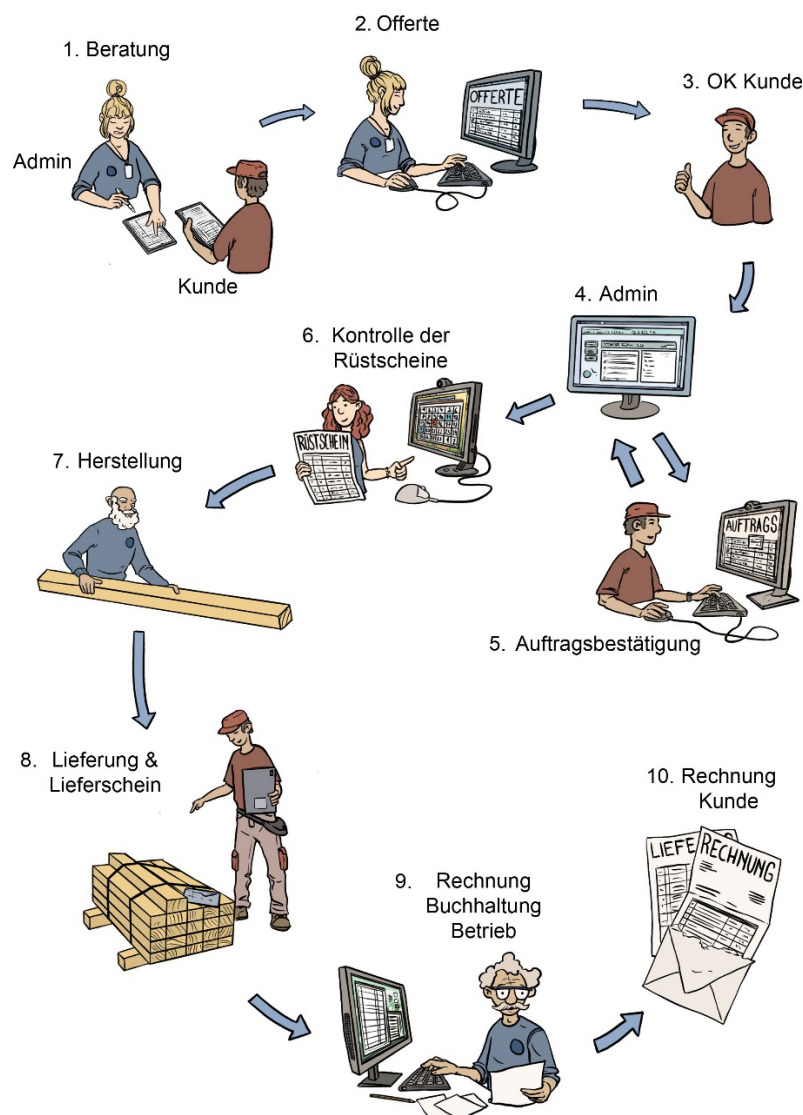


Abbildung 6: Auftragsprozess (Quelle: HIS)

- In der Regel erarbeitet der Verkäufer eine Offerte. Bei langjährigen Kunden ist es auch möglich, dass ohne Offerte gearbeitet wird. In diesem Fall erhält der Verkäufer direkt eine Holzliste mit Länge, Dimension und Stückzahl.
- Wenn die Offerte akzeptiert wird, wird jede einzelne Position im IT-System des Betriebes erfasst. Damit ist für alle an der Auftragsausführung Beteiligten ersichtlich, was der Kunde wünscht.
- Je nach Betrieb werden intern für die einzelnen Abteilungen (Hobelwerk, Leimwerk, Plattenwerk etc.) Rüstscheine mit dem konkreten Auftrag ausgestellt. Der Abteilungsleiter gibt darauf eine Rückmeldung, ob der Auftrag in der geforderten Frist realisierbar ist. Wenn nicht, muss der Verkäufer mit dem Kunden einen neuen Liefertermin aushandeln.
- Wenn alles klar ist, wird die Auftragsbestätigung erstellt. Der Verkäufer kontrolliert nochmals, ob sie mit der Bestellung des Kunden übereinstimmt. Nachher wird sie dem Kunden zur Kontrolle übermittelt. Der Kunde muss grundsätzlich deren Richtigkeit bestätigen.
- Mit dem Produkt erhält der Kunde sodann einen Lieferschein. Auf diesem wird der Auftrag nochmals zusammengefasst, und der Kunde kann die Stückzahl kontrollieren.
- Auf dem Lieferschein basiert sodann die Rechnung, die im Anschluss an die Lieferung ausgestellt wird.
- Die Bezahlungsabwicklung und falls nötig Mahnung erfolgt über die Buchhaltung

Alle Dokumente müssen grundsätzlich den gesetzlichen und/oder branchenüblichen Vorgaben entsprechen.

Rechtliche Bestimmungen

Für den Handel mit Holz und Holzwerkstoffen gilt grundsätzlich das schweizerische Obligationenrecht (OR, SR 220) in Kombination mit branchenüblichen Regelungen. In der Schweiz sind verschiedene Punkte in der Publikation «Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau - Handelsgebräuche für die Schweiz, Ausgabe 2021» geregelt.

So sind im Kapitel 6 Definitionen (Mengen, Termine, Fristen usw.) und Regelungen im Zusammenhang mit dem Kaufvertrag zusammengestellt. Diese gelten für die Produkte gem. Kapitel 2 bis 4 (Bretter und Kanteln, Hobelwaren, Bauholz) sowie Kapitel 5.3 (Brettsperrholz) zwischen dem Hersteller bzw. Händler und seinem direkten Abnehmer.

Diese Bestimmungen gelten nicht für Werkverträge¹.

Im Kapitel 6 werden unter anderem folgende Punkte erläutert:

- Vertragsinhalt
- Vertragsbestätigung
- Vertragsänderungen
- Mengenangaben
- Liefer- und Verladefristen
- Lieferungs- und Abnahmeverzug
- Übergabeort und Transportkosten

¹ Durch den Werkvertrag verpflichtet sich der Unternehmer zur Herstellung eines Werkes und der Besteller zu Leistung seiner Vergütung (Art. 363 OR).

- Gewährleistung (Mängelrüge, Verjährung, Ersatz/Preisminderung)
- Zahlungsbedingungen

Allgemeine Geschäftsbedingungen (AGB)

Viele Betriebe haben keine eigenen AGB. Es ist auch nicht erforderlich, allgemeine Geschäftsbedingungen zu formulieren. Wo solche fehlen, gelten die Bestimmungen des Obligationenrechts (OR).

AGB dienen nicht nur der Risikoabsicherung, sie beinhalten oft auch Ergänzungen und Änderungen gegenüber dem dispositiven (nicht zwingenden) Recht. AGB haben keine Gesetzeskraft, sind in einem Rechtsstreit aber von Bedeutung, wenn belegt werden kann, dass die AGB dem Käufer vor dem Kaufentscheid bekannt gewesen sind und er diesen zugestimmt hat. Damit AGB zum Bestandteil eines Vertrags werden, muss der Kunde diesen also vor Vertragsabschluss zustimmen können. Der Anbieter muss sie demnach bei bedeutenden Aufträgen gleich mitliefern oder in geeigneter Form darauf hinweisen. So haben viele Firmen die AGB auf ihrer Internetseite publiziert. In schriftlichen Verträgen (etwa Offerten und Auftragsbestätigungen), muss explizit auf die AGB der Unternehmung hingewiesen werden. In jedem Fall ist eine vom Kunden unterzeichnete Auftragsbestätigung mit Verweis auf die AGB aus Beweisgründen sehr zu empfehlen.

2.4. Ausführungsvarianten

Ist der Auftrag geklärt, wird in der Produktion die beste Variante für die Ausführung des Auftrags festgelegt:

- klassisch im Sägewerk: Hier geht es um die Ausbeute in Abhängigkeit zum Stammdurchmesser (verschiedene Durchmesser und Schnittbilder für ein Zielprodukt) oder um die Ausbeute im Verhältnis zur Rundholzqualität. Wenn z.B. zu wenig Rohholz in der Qualität B-Holz vorhanden ist, kann mit dem günstigeren C-Holz evt. auch das Zielprodukt erzeugt werden. Es entsteht einfach in deutlich geringerer Menge und mit mehr Nebenprodukten.
- Hobelwerk: Oft können verschiedene Rohhoblerquerschnitte für ein Zielprodukt eingesetzt werden. Es ist dann nötig, die Gesamtausbeute der verschiedenen Varianten einander gegenüberzustellen. Auch gibt es oft verschiedene Prozessvarianten. Zum Beispiel können zuerst die Rohhobler veredelt werden (Kostenfaktor Äste einleimen), um später nach dem Hobeln weniger Ausschuss zu haben. Als Alternative wird zuerst gehobelt (mit mehr Ausschuss) und am fertigen Produkt ausgebessert. Auch hier gilt es, beide Varianten zu prüfen.
- Leimwerk: In erster Linie hängt die Ausbeute von der Qualität der Brett-schichtholzamellen ab, die verarbeitet werden sollen. Je schlechter die Qualität, desto kleiner die Ausbeute und desto grösser der Ausschuss. Je nach Produkt ist es aber auch möglich, mit einer Veränderung der Dimensionen eine bessere Ausbeute zu erzielen. Es ist dann Aufgabe des Verkäufers/der Verkäuferin, dies mit der Kundschaft zu besprechen.

Aufgabe Vergleiche die Aufträge und beurteile die Ausführungsvarianten und Machbarkeit des Auftrages in deinem Betrieb:

Beispiel: Sägerei

Beispiel für BSH N (sichtbar) sind mit Rohhoblern 46 x 175 mm produziert!

Welches Beispiel (V1 oder V2) erzeugt weniger Verschnitt?

Einfach

V1: 20 m³ Dimension 160 x 225 mm, 10 m

V2: 20 m³ Dimension 160 x 240 mm, 10 m

Mittel

V1: 20 m³ Dimension 155 x 215 mm, 10 m

V2: 20 m³ Dimension 160 x 235 mm, 10 m

Schwer

V1: 20 m³ Dimension 155 x 205 mm, 10 m

V2: 20 m³ Dimension 145 x 235 mm, 10 m

Beispiel: Sägerei

Produkt BSH N (sichtbar), Keilzinkverlust 2%, Qualitätssortierung 10%, Verrechnungsmass der Lamellen aufrunden auf 20 mm

Wieviel m³ Lamellen (gehobelt) und in welcher Dimension müssen für diese Aufträge eingeschnitten werden?

Welcher Auftrag (1 oder 2) erzeugt weniger Verschnitt?

V1: 22 Balken, Dimension 130 x 320 mm, 12 m = 10.9824 m³

V2: 12 Balken, Dimension 160 x 380 mm, 14 m = 10.2144 m³

Beispiel: Leimwerk

20 m³ Brettschichtholzbalken Sichtqualität, Dim 160/240 mm, 10 m lang, erzeugt aus Rohhoblern 46 x 175 mm, Keilzinkenverlust 2%, Sortierausschuss wegen Sichtqualität 10%

Wieviel m³ Lamellen braucht es pro m³ fertig gehobeltes BSH?

Beispiel: Hobelwerk

Aussenschalung Schweizer Fichte, Qualität N2, Dim 136 x 20 mm aus Rohhobler 50 x 150 mm zu 400.-/m³; Ausbeute N2 85%, Industrie zum halben Preis 10%; Ausschuss 5%

Was kostet der Holzanteil N2 in Fr/m²

2.5. Preiskalkulation

In der Holzindustrie spielt die Kalkulation eine zentrale Rolle bei der Preisfindung. Die Kalkulation dient dazu, den Verkaufspreis eines Produktes zu bestimmen, wobei grundsätzlich zwischen Vorkalkulation und Nachkalkulation unterschieden wird.

Vorkalkulation

Geplante Kosten

Die Vorkalkulation bezieht sich auf die Berechnung des Preises eines Produktes vor dessen Herstellung. Ziel ist es, die Kosten für Material, Produktion, Lagerung, Verwaltung und weitere relevante Posten im Voraus zu erfassen. Eine präzise Vorkalkulation setzt detaillierte betriebspezifische Daten und Kennwerte sowie umfassende Betriebskenntnisse und Erfahrung voraus. Sie ermöglicht es, den Preis eines Produktes strategisch zu planen und zu optimieren, um sowohl wettbewerbsfähig zu bleiben als auch Gewinne zu sichern.

Nachkalkulation

Tatsächliche
Kosten

Die Nachkalkulation hingegen wird nach der Herstellung des Produktes durchgeführt und dient der Berechnung der tatsächlich angefallenen Kosten. Diese Methode ermöglicht es, die Rentabilität eines Auftrags zu bewerten und zu überprüfen, ob die tatsächlichen Kosten mit den vorkalkulierten Beträgen übereinstimmen. Die Nachkalkulation liefert wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Vorkalkulationen, indem sie zeigt, wo Kostenabweichungen aufgetreten sind und wo eventuell Optimierungspotenzial besteht.

2.5.1. Kostenarten

Materialkosten (direkte Kosten)

Rohstoffpreise

Materialkosten sind die Kosten, welche für das Material bezahlt werden. Beim Sägewerk zum Beispiel für das Rundholz, beim Leimwerk für Schnittholz und Leime sowie beim Hobelwerk für Schnittholz und Lacke oder Farben, um nur einige Materialien zu nennen. Diese Kosten können direkt dem Auftrag (meist dem Hauptzeugnis) zugeordnet werden.

Die Rundholzpreise sind je nach Holzart und Qualität unterschiedlich und sind einer der bedeutendsten Anteile in der Kostenrechnung. Deshalb ist es besonders wichtig, qualitätsbewusst und dem Verwendungszweck entsprechend günstiges Material einzukaufen. Die Materialkosten pro Kubikmeter Schnittholz sind umso grösser, je kleiner die Ausbeute ausfällt.

Materialgemeinkosten (indirekte Kosten)

Lagerhaltung,
Beschaffung,
Verwaltung

Alle Kosten, die mit der Beschaffung und Lagerung des Rundholzes zusammenhängen, können nicht direkt einem Auftrag zugeordnet werden. Sie werden als Materialgemeinkosten über alle Stämme verteilt und anschliessend als Zuschlag auf die direkten Kosten umgelegt.

Indirekte Kosten sind beim Rundholz üblicherweise die Einkaufsspesen, die Spritzkosten, die Transportkosten und die Lagerkosten. Die jährlich anfallenden indirekten Kosten werden zusammengezählt und meist gleichmässig auf die jährlich eingeschnittene Holzmenge verteilt.

Einschnittkosten

Einschnitt, Sortierung, Stapelung

Unter Einschnittkosten verstehen wir alle Kosten für die Herstellung der Schnittholzprodukte (Einschnitt, Sortierung, Stapelung etc.). Darunter fallen:

- Kosten für das Personal (Löhne, Ferien, Sozialleistungen etc.)
- Kosten für Heizung, Licht, Versicherungen, Miete etc.
- Kosten für Energie, um die Maschinen zu betreiben
- Kosten für Anschaffung, Betrieb und Instandhaltung der Maschinen & Werkzeuge
- Aufbereitung und Lagerung des Restholzes
- ...

2.5.2. Weitere Begriffe

Risiko und Gewinn

Unternehmen streben danach, Gewinne zu erzielen

Der Gewinn ist das Geld, das übrigbleibt, nachdem ein Unternehmen alles bezahlt hat, was für die Herstellung und den Verkauf seiner Produkte notwendig war. In der Wirtschaftswissenschaft ist der Gewinn der finanzielle Überschuss, der entsteht, wenn die Erträge (d.h. die Gesamteinnahmen) eines Unternehmens höher sind als seine Aufwendungen (d.h. die Kosten für Rohstoffe, Produktion, Betrieb, Personal usw.). Ein negativer Gewinn heisst Verlust.

$$\text{Einnahmen} - \text{Ausgaben} = \text{Gewinn bzw. Verlust}$$

Risiken können den Erfolg eines Unternehmens gefährden

Um einen Verlust zu vermeiden, muss ein Unternehmen abwägen können, welche Verlust-Risiken bestehen und diese im Verkaufspreis seiner Produkte einrechnen. Risiken können vielfältige Ursachen haben, darunter Produktionsausfälle, Marktschwankungen, Änderungen in der Gesetzgebung, wirtschaftliche Veränderungen oder Naturkatastrophen und viele andere.

In der Praxis wird oftmals mit 5% Risiko und 5% Gewinn gerechnet, also insgesamt mit 10% Risiko und Gewinn. Dieser Wert kann aber von Betrieb zu Betrieb verschieden sein.

Rabatt

Preisnachlass auf den Verkaufspreis

Ein Rabatt ist ein Preisnachlass auf den ursprünglichen Verkaufspreis eines Produktes oder einer Dienstleistung. Rabatte können aus verschiedenen Gründen gewährt werden, wie zum Beispiel bei Gross-Mengenkauf (Mengenrabatt), für bestimmte Kundengruppen oder als Treuebonus für langjährige Kunden. Der Rabatt wird in der Regel als Prozentsatz vom Listenpreis abgezogen und zielt darauf ab, den Verkauf zu fördern, das Lager zu räumen oder Kunden zu belohnen.

Skonto

Preisnachlass, für die vorzeitige Bezahlung

Skonto hingegen ist ein Preisnachlass, der für die vorzeitige Bezahlung einer Rechnung gewährt wird. Es handelt sich um eine Art Anreiz für den Käufer, die Rechnung vor Ablauf des üblichen Zahlungsziels zu begleichen. Skonto wird typischerweise als Prozentsatz vom Rechnungsbetrag angegeben.

2.5.3. Verkaufspreis-Kalkulation von Schnittwaren

In den Sägereien wird vorwiegend mit der Vollkostenrechnung kalkuliert. Die Verkaufspreis-Kalkulation von Schnittwaren (Haupterzeugnis) erfolgt grundsätzlich nach folgendem Schema:

Kosten	Bemerkungen:
Rundholzpreis ab Waldstrasse	
- Skonto	Üblicherweise 2% innert 10 Tagen
- MWST (Vorsteuer)	
Rundholzpreis netto ab Waldstrasse	
+ Rundholz Nebenkosten	Einkauf, Spritzen, Transport, Selbsthilfefond
Rundholz franko Betrieb	
+ Kosten Rundholzplatz	Lagerung, Einteilung, Entrindung, Verzinsung Rundholz
Rundholz vor Einschnitt	
+ Einschnittkosten	
+ Kosten Schnittholzplatz	Lagerung, Logistik, Verzinsung Schnittholz
+ Verkauf und Verwaltung	
Summe Material- und Produktionskosten	
+ Risiko und Gewinn	
- Erlös Seitenware	
- Erlös Restholz	Hackschnitzel, Schwarten, Spreissel
- Erlös Sägespäne	
Wert Hauptprodukt frisch ab Werk	Umrechnung von Fr./fm auf Fr./m ³
+ Trocknungskosten (Fr./m ³)	
+ Hobelkosten (Fr./m ³)	
+ Transportkosten (Fr./m ³)	
+ Rabatt und Skonto	
Minimaler Verkaufspreis franko Kunde	exkl. MWST

Tabelle 1: Kalkulationsschema zur Verkaufspreis Ermittlung von Schnittwaren (Haupterzeugnis)

Auf der nachfolgenden Seite wird ein detailliertes Beispiel einer Verkaufspreis-Kalkulation aufgeführt.

In den Übungen werden vereinfachend nur die Kosten in der Sägerei berechnet. Sie beginnen somit mit dem Rundholzpreis franko Betrieb.

Verkaufspreis-Kalkulation				Kantholz, frisch	
1. Materialkosten				Fr./fm	Fr./fm
Rundholzpreis franko Waldstrasse				90.00	
- abzüglich Skonto				-2.00%	-1.80
Zwischenresultat				88.20	
- abzüglich MWSt. (Vorsteuer) ²				-2.60%	-2.29
Rundholzpreis netto ab Waldstrasse				85.91	85.91
Nebenkosten					
+ Einkaufsspesen				2.00	
+ Spritzen des Rundholzes				0.00	
+ SHF Beitrag				1.00	
+ Transportkosten Rundholz				18.00	
Summe Nebenkosten				21.00	21.00
+ Kosten Rundholzplatz inkl. Verzinsung					24.00
Rundholz vor Einschnitt					130.91
2. Produktionskosten				Fr./fm	Fr./fm
+ Einschnittkosten				80.00	
+ Kosten Schnittholzplatz inkl. Verzinsung				25.00	
+ Kosten Verkauf und Verwaltung				15.00	
Summe Produktionskosten				120.00	120.00
3. Warenwerte				Fr./fm	Fr./fm
Summe Material- und Produktionskosten					250.91
+ Risiko und Gewinn				10.00%	25.09
Hauptprodukt (Ausbeute):				45.0%	
Anteil in Prozent und Marktwert der Nebenprodukte					
Nebenprodukt	Anteile	Faktor	Marktwert		
- Seitenware	25.0%	1.00	280.00 Fr./m ³	-70.00	
- Hackschnitzel	18.0%	2.80	15.00 Fr./SRm	-7.56	
- Schwarten/Spreissel	0.0%	1.67	18.00 Fr./Rm	0.00	
- Sägespäne	12.0%	3.00	12.00 Fr./SRm	-4.32	
- Massverlust	0.0%				
Total Nebenprodukte:	55.0%			-81.88	-81.88
Wert des kalkulierten Produktes ab Werk					194.12
4. Bestimmung der Mindestpreise				Fr./m ³	Fr./m ³
Hauptprodukt (roh, frisch, ab Werk)					431.37
Transport					20.00
Hauptprodukt (roh, frisch, franko Kunde)					451.37
Rabatt des Kunden in %				2.00%	9.21
Zwischenresultat					460.58
Skonto des Kunden in %				2.00%	9.40
Hauptprodukt netto franko Kunde ohne MWSt.					469.98

Tabelle 2: Beispiel Verkaufspreis-Kalkulation

² Urproduzenten wie z.B. Forstwirte, haben den ermässigten Mehrwertsteuersatz von 2,6%. Das Sägewerk kann diese 2,6% als Vorsteuer abziehen. Das Sägewerk seinerseits unterliegt dem Normalsatz von 8,1%. (Stand: 1.1.2024)

Marktpreisschwankungen sind ein natürlicher Teil der Wirtschaft

2.5.4. Auswirkungen von Marktpreisschwankungen

Da die Preise für Schnittholz und Halbfabrikate weitgehend durch den Markt bestimmt werden, dient die Kalkulation nicht nur der Ermittlung des Verkaufspreises, sondern in erster Linie der Ermittlung der Herstellungskosten und der Kostenkontrolle (kann das Produkt zum Marktpreis hergestellt werden?). Zudem ist die Kalkulation ein effektives Instrument, um betriebswirtschaftliche Zusammenhänge in einem Sägewerk zu erfassen und zu verstehen.

In den untenstehenden Grafiken werden die Marktpreisschwankungen ausgewählter Produkte deutlich.

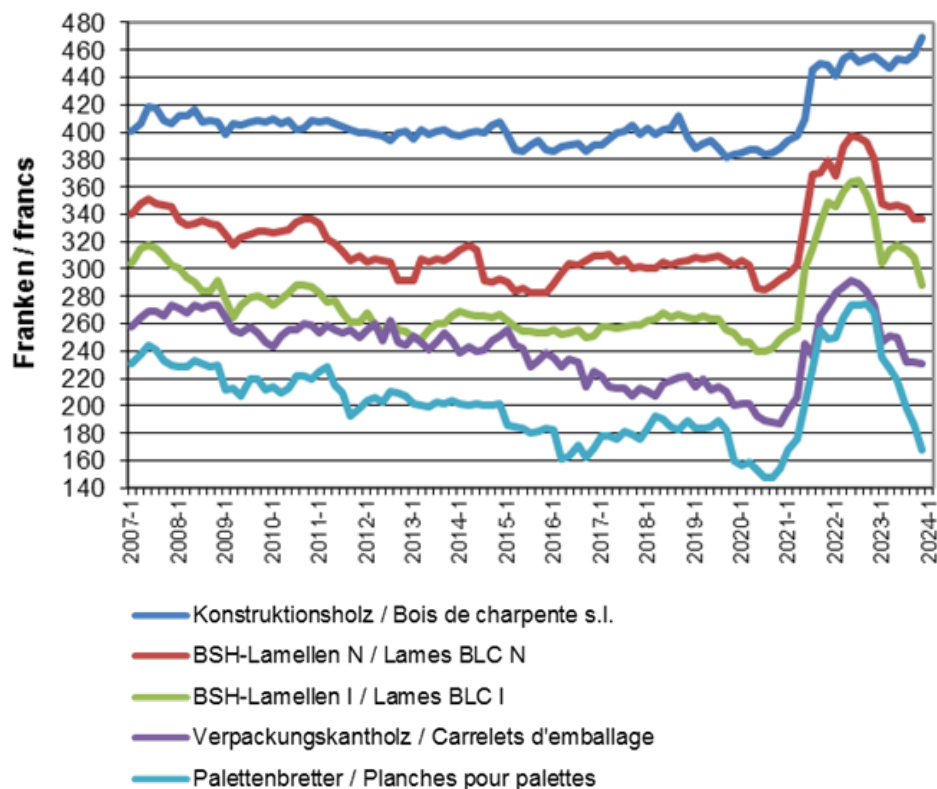


Abbildung 7: Entwicklung Schnittholzpreise 2007–2023 (Quelle: HIS)

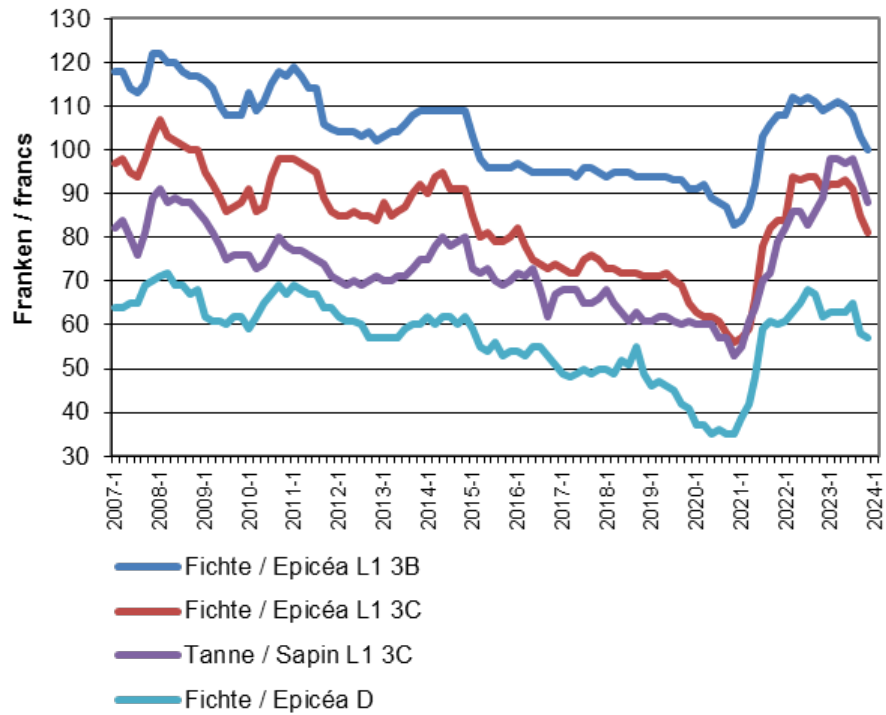


Abbildung 8: Entwicklung Rundholzpreise 2007–2023 (Quelle: HIS)

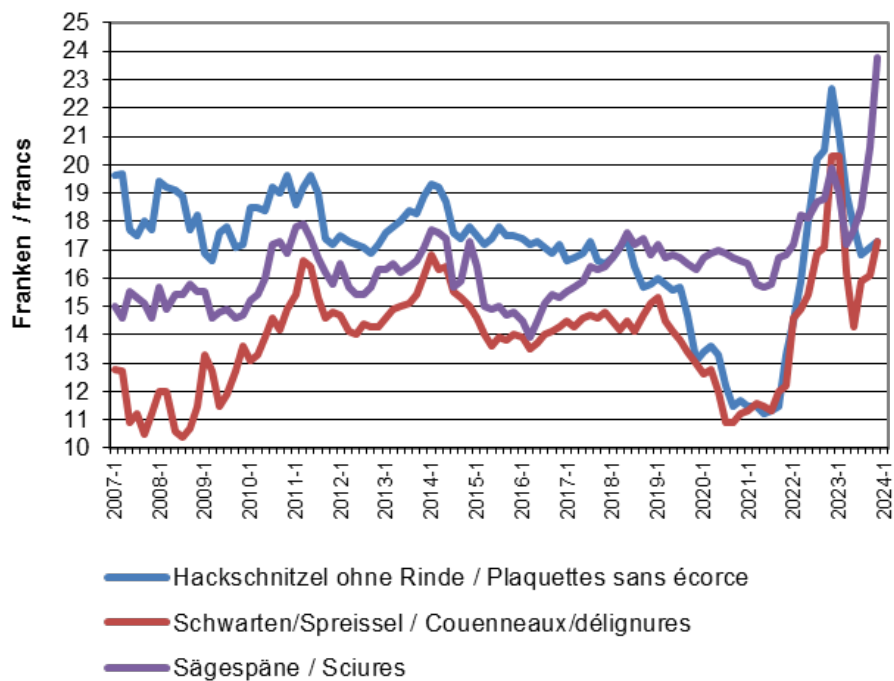


Abbildung 9: Entwicklung Restholzpreise 2007–2023 (Quelle: HIS)

Beispielaufgabe 1

Nehmen wir einmal an, dass ein langjähriger Kunde 100 Kubikmeter Konstruktionsholz bestellt, jedoch höchstens bereit ist, 440.00 SFr./m³ zu bezahlen. Berechnen Sie die Auswirkungen eines um 10 Franken je Festmeter höheren Rundholzpreises auf die Herstellungskosten des Kantholzes. Nehmen Sie die Gleichen Parameter für Ihre Kalkulation wie im vorherigen Beispiel.

- Wie hoch wäre der Verlust pro Kubikmeter?
- Was können Sie tun, um den Kunden trotzdem zu beliefern?

Verkaufspreis-Kalkulation				Kantholz, frisch	
1. Materialkosten				Fr./fm	Fr./fm
Rundholzpreis franko Waldstrasse				100.00	
- abzüglich Skonto	-2.00%				
Zwischenresultat					
- abzüglich MWSt. (Vorsteuer)	-2.60%				
Rundholzpreis netto ab Waldstrasse					
Nebenkosten					
+ Einkaufsspesen				2.00	
+ Spritzen des Rundholzes				0.00	
+ SHF Beitrag				1.00	
+ Transportkosten Rundholz				18.00	
Summe Nebenkosten				21.00	21.00
+ Kosten Rundholzplatz inkl. Verzinsung					24.00
Rundholz vor Einschnitt					
2. Produktionskosten				Fr./fm	Fr./fm
+ Einschnittkosten				80.00	
+ Kosten Schnittholzplatz inkl. Verzinsung				25.00	
+ Kosten Verkauf und Verwaltung				15.00	
Summe Produktionskosten				120.00	120.00
3. Warenwerte				Fr./fm	Fr./fm
Summe Material- und Produktionskosten					
+ Risiko und Gewinn		10.00%			
Hauptprodukt (Ausbeute):	45.0%				
Anteil in Prozent und Marktwert der Nebenprodukte					
Nebenprodukt	Anteile	Faktor	Marktwert		
- Seitenware	25.0%	1.00	280.00 Fr./m ³	-70.00	
- Hackschnitzel	18.0%	2.80	15.00 Fr./SRm	-7.56	
- Schwarten/Spreissel	0.0%	1.67	18.00 Fr./Rm	0.00	
- Sägespäne	12.0%	3.00	12.00 Fr./SRm	-4.32	
- Massverlust	0.0%				
Total Nebenprodukte:	55.0%			-81.88	-81.88
Wert des kalkulierten Produktes ab Werk					
4. Bestimmung der Mindestpreise				Fr./m ³	Fr./m ³
Hauptprodukt (roh, frisch, ab Werk)					
Transport					20.00
Hauptprodukt (roh, frisch, franko Kunde)					
Rabatt des Kunden in %		2.00%			
Zwischenresultat					
Skonto des Kunden in %		2.00%			
Hauptprodukt netto franko Kunde ohne MWSt.					

Tabelle 3: Beispielaufgabe 1

2.5.5. Berechnen des maximalen Rundholzpreis

Ausgehend von einem zu erreichenden Schnittholzpreis kann die Kalkulation auch rückwärts durchgeführt werden, um den maximalen Rundholzpreis zu berechnen.

Die Rundholzpreis-Kalkulation folgt grundsätzlich den nachfolgenden Schritten:

Kosten	Bemerkungen:
Verkaufspreis franko Kunde	
- Skonto und Rabatt	Üblicherweise 2% innert 10 Tagen
- Transportkosten	
Verkaufspreis ab Werk	Umrechnung von Fr./m ³ auf Fr./fm
+ Erlös Sägespäne	
+ Erlös Restholz	Hackschnitzel, Schwarten, Spreissel
+ Erlös Seitenware	
Gesamterlös	
- Risiko und Gewinn	
Maximale Gesamtkosten	
- Verkauf und Verwaltung	
- Kosten Schnittholzplatz	Lagerung, Logistik, Verzinsung
- Einschnittkosten	
Max. Rundholz vor Einschnitt	
- Kosten Rundholzplatz	Lagerung, Einteilung, Entrindung, Verzinsung
Max. Rundholz franko Betrieb	
- Rundholz Nebenkosten	Einkauf, Spritzen, Transport, Selbsthilfefond
Max. Rundholz net. ab Waldstrasse	
+ MWST (Vorsteuer)	
+ Skonto	
Max. Rundholzpreis ab Waldstrasse	

Tabelle 4: Kalkulationsschema zur Ermittlung des Rundholzpreises

Auf der nachfolgenden Seite wird ein detailliertes Beispiel einer Rundholzpreis-Kalkulation aufgeführt.

Rundholzpreis-Kalkulation

Kantholz, frisch

1. Berechnung Bruttopreis ab Werk				Fr./m ³	Fr./m ³
Hauptprodukt netto franko Kunde ohne MWSt.					470.00
- Skonto Kunde	-2.00%				-9.40
Zwischenresultat					460.60
- Rabatt Kunde	-2.00%				-9.21
Hauptprodukt (roh, frisch, franko Kunde)					451.39
- abzüglich Transport					-20.00
Hauptprodukt (roh, frisch, ab Werk)					431.39
2. Bestimmung der Warenwerte				Fr./fm	Fr./fm
Hauptprodukt (Ausbeute):	45.0%				194.12
Anteil in Prozent und Marktwert der Nebenprodukte					
Nebenprodukt	Anteile	Faktor	Marktwert		
Seitenware	25.0%	1.00	280.00 Fr./m ³	70.00	
Hackschnitzel	18.0%	2.80	15.00 Fr./SRm	7.56	
Schwarten/Spreissel	0.0%	1.67	18.00 Fr./Rm	0.00	
Sägespäne	12.0%	3.00	12.00 Fr./SRm	4.32	
Massverlust	0.0%				
Total Nebenprodukte:	55.0%			81.88	81.88
Gesamterlös					276.00
- Risiko und Gewinn		10.00%			-25.09
Maximale Summe Material- und Produktionskosten					250.91
3. Abzug der Produktionskosten				Fr./fm	Fr./fm
- Kosten Verkauf und Verwaltung				-15.00	
- Kosten Schnittholzplatz inkl. Verzinsung				-25.00	
- Einschnittkosten				-80.00	
Summe Produktionskosten				-120.00	-120.00
4. Bestimmung Materialkosten				Fr./fm	Fr./fm
Maximalkosten Rundholz vor Einschnitt					130.91
- Kosten Rundholzplatz inkl. Verzinsung					-24.00
Rundholz franko Sägewerk inkl. Nebenkosten					106.91
Nebenkosten					
- Transportkosten Rundholz				-18.00	
- SHF Beitrag				-1.00	
- Einkaufsspesen				-2.00	
- Spritzen				0.00	
Summe Nebenkosten				-21.00	-21.00
Maximaler Einkaufspreis Rundholz netto					85.91
MWSt. (Vorsteuer)		2.60%			2.29
Zwischenresultat					88.21
Skonto		2.00%			-1.80
Rundholzpreis franko Waldstrasse					90.01

Tabelle 5: Rundholzpreis-Kalkulation

Beispielaufgabe 2

Wir bleiben beim Beispiel ihres langjährigen Kunden. Da er selbst von der Bauherrschaft unter Druck gesetzt wird, muss er den Druck an seine Lieferanten weitergeben und kann für die 100 Kubikmeter Konstruktionsholz höchstens noch 430.00 Fr./m³ bezahlen. Sie möchten den Auftrag und berechnen den maximalen Rundholzpreis. Nehmen Sie die selben Parameter für Ihre Kalkulation wie in vorherigem Beispiel.

- Wie hoch wäre der maximale Einkaufspreis für das Rundholz?
- Was können Sie tun, um den Kunden trotzdem zu beliefern?

Rundholzpreis-Kalkulation				Kantholz, frisch	
1. Berechnung Bruttopreis ab Werk				Fr./m ³	Fr./m ³
Hauptprodukt netto franko Kunde ohne MWSt.					430.00
- Skonto Kunde				-2.00%	
Zwischenresultat					
- Rabatt Kunde				-2.00%	
Hauptprodukt (roh, frisch, franko Kunde)					
- abzüglich Transport					-20.00
Hauptprodukt (roh, frisch, ab Werk)					
2. Bestimmung der Warenwerte				Fr./fm	Fr./fm
Hauptprodukt (Ausbeute):				45.0%	
Anteil in Prozent und Marktwert der Nebenprodukte					
Nebenprodukt	Anteile	Faktor	Marktwert		
Seitenware	25.0%	1.00	280.00 Fr./m ³	70.00	
Hackschnitzel	18.0%	2.80	15.00 Fr./SRm	7.56	
Schwarten/Spreissel	0.0%	1.67	18.00 Fr./Rm	0.00	
Sägespäne	12.0%	3.00	12.00 Fr./SRm	4.32	
Massverlust	0.0%				
Total Nebenprodukte:	55.0%			81.88	
Gesamterlös					
- Risiko und Gewinn				10.00%	
Maximale Summe Material- und Produktionskosten					
3. Abzug der Produktionskosten				Fr./fm	Fr./fm
- Kosten Verkauf und Verwaltung				-15.00	
- Kosten Schnittholzplatz inkl. Verzinsung				-25.00	
- Einschnittkosten				-80.00	
Summe Produktionskosten				-120.00	-120.00
4. Bestimmung Materialkosten				Fr./fm	Fr./fm
Maximalkosten Rundholz vor Einschnitt					
- Kosten Rundholzplatz inkl. Verzinsung					-24.00
Rundholz franko Sägewerk inkl. Nebenkosten					
Nebenkosten					
- Transportkosten Rundholz				-18.00	
- SHF Beitrag				-1.00	
- Einkaufsspesen				-2.00	
- Spritzen				0.00	
Summe Nebenkosten				-21.00	-21.00
Maximaler Einkaufspreis Rundholz netto					
MWSt. (Vorsteuer)				2.60%	
Zwischenresultat					
Skonto				2.00%	
Rundholzpreis franko Waldstrasse					

Tabelle 6: Beispielaufgabe 2

Ein wichtiges Instrument in der Kostenrechnung von Unternehmen

2.5.6. Betriebsabrechnungsbogen

Der Betriebsabrechnungsbogen (BAB) dient der internen Kostenverrechnung als Kalkulationsschema. Mit seiner Hilfe werden die Einzelkosten erfasst und die Gemeinkosten auf die Kostenstellen verteilt. Für Ihr Unternehmen wird so ersichtlich, wo welche Kosten entstanden sind.

Die Kostenstellen sind in die folgenden Gruppen gegliedert:

- Allgemeine Kostenstellen (z.B. Heizung)
- Vorkostenstellen (z.B. Schärferei)
- Hauptkostenstelle (z.B. Vollgatter)

Beispiel: Die Summe der Kostenstelle Schnittholztransport beträgt 300'000 Fr. Jährlich werden 12'000 m³ Schnittholz transportiert. Somit betragen die durchschnittlichen Transportkosten:

$$\frac{300'000 \text{ Fr.}}{12'000 \text{ m}^3} = 25,00 \text{ Fr./m}^3$$

2.6. Die Ausbeute aus Kostensicht

Aus Sicht der Kosten spielt die Ausbeute eine zentrale Rolle. Aus einem Festmeter Rundholz produziert der Säger ca. 0.6 m³ Schnittholz oder umgekehrt, für die Produktion von 1.0 m³ Schnittholz muss der Säger ca. 1.67 fm Rundholz zukaufen. Neben den Schnittholzpreisen spielen natürlich auch die Restholzpreise eine Rolle. So ist letztlich der Gesamterlös pro Festmeter Rundholz die entscheidende Grösse.

Dazu ein Zahlenbeispiel aus einer Sägerei: Die Tabelle zeigt beispielhaft Produkte, die aus 1 Festmeter Fichten-Rundholz hergestellt werden können.

Produkt	Anteil	
Brettschichtholz-Lamelle (N-Qualität)	30.0%	} Anteil Schnittholz total ca. 55%
Brettschichtholz-Lamelle (I-Qualität)	10.0%	
Palettenbretter	15.0%	} Anteil Restholz total ca. 45%
Hackschnitzel	30.0%	
Sägespäne	15.0%	

Mit den prozentualen Anteilen und den Produzentenpreisen kann der Gesamtertrag pro Festmeter Rundholz berechnet werden. Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung des Verkaufserlöses für die verschiedenen Schnittholzprodukte.

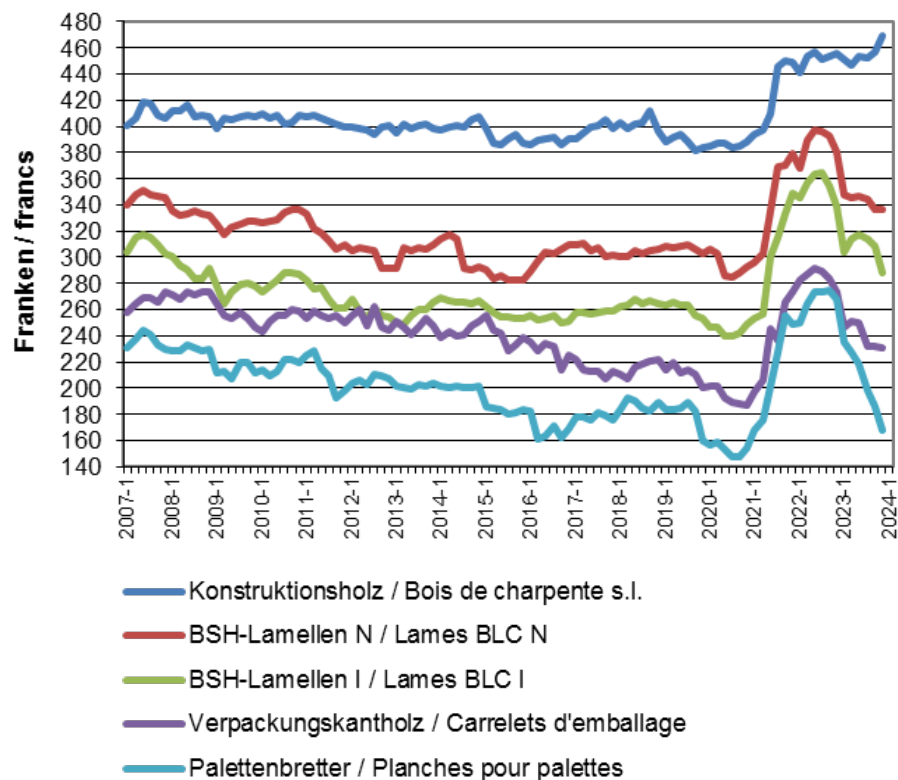


Abbildung 10: Entwicklung Schnittholzpreise 2007–2023 (Quelle: HIS)

Der Schnittholzmarkt ist abhängig von verschiedenen Faktoren (Importdruck, Allgemeine Holzbautätigkeit, Inländische Konkurrenz etc.). Oftmals ist es nicht möglich, dass der Betrieb die Verkaufspreise realisiert, welche er sich vorstellt. Nehmen wir an, dass folgende Preise gelöst werden konnten:

Zahlenbeispiel nicht optimiert

	Anteil %	Faktor	Preis CHF/m ³	Wert CHF/m ³
Kosten für den Rohstoffkauf	100.0%	1.0	110.0	-110.0
Brettschichtholz-Lamelle (N-Qualität)	30.0%	1.0	340.0	102.0
Brettschichtholz-Lamelle (I-Qualität)	10.0%	1.0	310.0	31.0
Palettenbretter	15.0%	1.0	180.0	27.0
Hackschnitzel	30.0%	2.7	16.0	13.0
Sägespäne	15.0%	3.0	10.0	4.5
Total Verkaufserlöse	100.0%			177.5
Bruttogewinn				67.5

Zahlenbeispiel
optimiert

	Anteil %	Faktor	Preis CHF/m ³	Wert CHF/1m ³
Kosten für den Rohstoffkauf	100.0%	1.0	110.0	-110.0
Brettschichtholz-Lamelle (N-Qualität)	32.0%	1.0	340.0	108.8
Brettschichtholz-Lamelle (1-Qualität)	13.0%	1.0	310.0	40.3
Palettenbretter	15.0%	1.0	180.0	27.0
Hackschnitzel	28.0%	2.7	16.0	12.1
Sägespäne	12.0%	3.0	10.0	3.6
Total Verkaufserlöse	100.0%			191.8
Bruttogewinn				81.8

Die Differenz zwischen dem Gesamterlös und dem Preis für das eingesetzte Rundholz nennt sich Bruttogewinn, dieser steht dem Säger für die Produktion seiner Produkte zur Verfügung.

Wie aus den beiden Tabellen 2 & 3 zu entnehmen ist, macht es also einen enormen Unterschied, ob der Betrieb seine Ausbeute um 5% optimiert. Unter dem Strich steigt der Bruttogewinn in unserem Beispiel von 67.5 SFr. auf 81.8 SFr. also um über 21% an. Mit diesem Betrag müssen folgende Leistungen erbracht werden (sogenannte Variable Kosten):

- Transport des Rundholzes zum Sägewerk
- Beitrag zum Selbsthilfefonds
- Lagern, einteilen und entrinden des Rundholzes
- Herstellung der Schnittholzprodukte (Einschnitt, Sortierung, Stapelung)
- Aufbereitung und Lagerung des Restholzes
- Trocknung der Brettschichtholzlamellen
- Zwischenlagerung bzw. Umschlag zum Schnittholzplatz
- Werbung, Verkauf und Verwaltung

Im Weiteren müssen die sogenannten fixen Kosten (z.B. Miete, Versicherungen, Telefon-/Internetabonnemente, Abschreibungen etc.) auf die jährliche Schnittholzmenge verteilt werden. Nimmt die Produktion eines Sägewerks ab, macht das wiederum die Schnittholzprodukte teurer.

Fazit: Preisbewegungen beim Rundholzeinkauf haben einen starken Einfluss auf die Margen. Es muss bei der Produktion enorm darauf geschaut werden, die Ausbeute möglichst zu optimieren und die Auslastung so hoch wie möglich zu halten.

2.7. Weitere Optimierungsmöglichkeiten

2.7.1. Digitalisierung

Vernetzung, Automatisierung, Datenanalyse

Die Digitalisierung der Produktion und Warenwirtschaft wirft für holzverarbeitende Betriebe neue Fragestellungen auf. Digitalisierung ist nicht nur eine technologische Veränderung, sondern auch eine kulturelle, da sie die Art und Weise, wie Menschen arbeiten und sich untereinander verhalten, verändert. Sie erfordert oft eine Neuausrichtung der Geschäftsstrategie und eine Anpassung der Unternehmenskultur.

E-Commerce und Online-Dienste

Digitale Plattformen & Zahlungsmethoden

E-Commerce und Online-Dienste bezeichnen den Handel und die Erbringung von Dienstleistungen über das Internet. Diese digitale Form des Handels hat in den letzten Jahren auch in der Holzindustrie enorm an Bedeutung gewonnen und verändert kontinuierlich die Art und Weise, wie Unternehmen und Verbraucher miteinander geschäften. E-Commerce ermöglicht es Unternehmen, Produkte und Dienstleistungen über eigene Websites via Onlineshops oder über Drittanbieter-Plattformen wie Ricardo oder eBay zu verkaufen. E-Commerce setzt auf digitale Zahlungsmethoden wie Kreditkarten, PayPal, Apple Pay, Google Pay und andere Online-Zahlungssysteme. Diese Methoden machen den Kaufprozess für Kunden bequemer und schneller.

ERP-Software

Alles vernetzen, Ressourcen planen, Überblick behalten

Eine ERP-Software ist in einem grösseren Holzindustriebetrieb kaum mehr wegzudenken. Sie bildet administrativ eine wichtige Grundlage für viele Betriebe und ist das Herzstück im Hintergrund.

ERP ist die Abkürzung für Enterprise Resource Planning (= Geschäftsressourcenplanung). Eine ERP-Software dient dazu, die Ressourcen eines Unternehmens planen, steuern und verwalten zu können. Sie unterstützt die Automatisierung sowie die Prozesse in den Bereichen Finanzen, Personalwesen, Fertigung, Lieferkette, Services, Beschaffung und mehr. Jeder Holzindustriebetrieb ist anders aufgebaut, von der Anzahl Mitarbeiter über die angebotenen Produkte bis zum Maschinenpark. Im Softwarebereich sind deshalb individuelle Lösungen gefordert, um die vorhandenen Ressourcen und Prozesse überblicken und steuern zu können. Es sind je nach Programm klassische Auftragsübersichten mit Kontaktdaten, Kalkulationstools über Abrechnungs- und Buchhaltungssysteme bis hin zur Zeiterfassung oder auch branchenspezifische Module wie Rundholz, Schnittholz und Lohnschnitt auf dem Markt erhältlich.

BIM – Building Information Modeling

Gebäude digital planen, Zusammenarbeit verbessern

Building Information Modeling oder BIM ist eine revolutionäre Technologie in der Baubranche, die weit über traditionelle 2D-Pläne hinausgeht. Es verwendet ein 3D-Modell, das alle Aspekte eines Bauwerks detailliert darstellt. Dieses Modell ist eine umfassende Informationsquelle, die von Architekten, Ingenieuren bis hin zu Bauunternehmern und Holzbauern genutzt wird. Es ermöglicht eine genauere Planung und Koordination während des gesamten Bauprozesses. BIM ist nicht nur während der Bauphase nützlich, sondern begleitet ein Gebäude über seinen gesamten Lebenszyklus. Es unterstützt bei der Planung, dem Bau, dem Betrieb und der

Wartung des Gebäudes. Durch die Verwendung von BIM können Projekte effizienter umgesetzt werden, da es hilft, Fehler zu reduzieren und die Kommunikation zwischen allen Beteiligten zu verbessern. Das Modell bietet auch die Möglichkeit, das geplante Bauwerk vor Baubeginn virtuell zu betrachten. Dies erleichtert das Verständnis des Projekts und verbessert die Entscheidungsfindung. BIM trägt auch zu umweltfreundlicheren Bauweisen bei, indem es Analysen zur Energieeffizienz und Nachhaltigkeit direkt im Modell ermöglicht.

Kurz gesagt ist BIM eine innovative Herangehensweise im Bauwesen, die die Effizienz steigert, Kosten senkt und die Qualität des fertigen Bauwerks verbessert. Es ist ein entscheidender Fortschritt in der Baubranche und verändert die Art und Weise, wie Gebäude entworfen und gebaut werden.

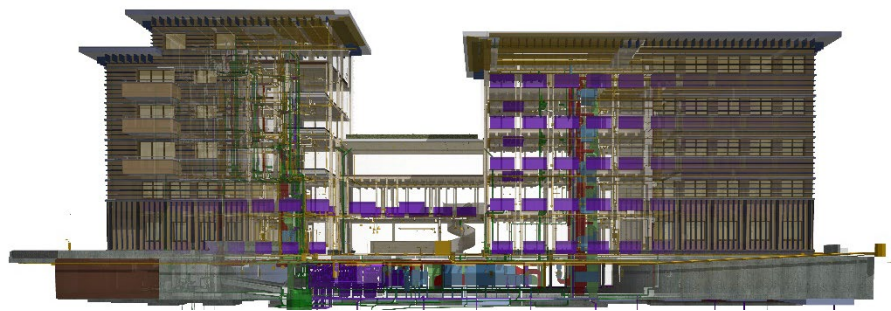


Abbildung 11: Haus des Holzes, PIRMIN JUNG Schweiz AG (Quelle: cadwork)

Die Nutzung von BIM-Modellen in der Holzbauweise ist mittlerweile weit verbreitet und zeigt deutliche Vorteile. Durch diese fortschrittliche Herangehensweise kann der Holzbauer seinen Kunden eine höhere Ausführungsqualität bieten. Projekte werden nicht nur schneller fertiggestellt, sondern oft auch kostengünstiger, da die präzise Planung und Vorfertigung Zeit und Ressourcen sparen. Insgesamt führt die Kombination aus Erfahrung und moderner Technologie im Holzbau zu effizienteren und qualitativ hochwertigeren Bauergebnissen.

Cybersicherheit

Angriffe abwehren,
Daten schützen,
sicher surfen

Mit der Zunahme digitaler Daten steigt auch die Notwendigkeit, diese Daten zu schützen. Unternehmen müssen in Sicherheitstechnologien und -praktiken investieren, um Datenlecks und Cyberangriffe zu verhindern. Auch holzverarbeitende Betriebe werden immer wieder Opfer von Cyber-Kriminellen. Die Konsequenzen können bis zum Konkurs der Firma führen. Die Mitarbeiter spielen eine entscheidende Rolle bei der Aufrechterhaltung der Cybersicherheit in einem Unternehmen. Insbesondere die nachstehenden Punkte sollten im Arbeitsalltag beachtet werden.

Starke Passwörter verwenden: Mitarbeiter sollten starke, einzigartige Passwörter für alle ihre Konten verwenden und diese regelmässig ändern. Komplexe Passwörter enthalten mindestens 12 Stellen, inkl. Gross- und Kleinschrift, Sonderzeichen und Zahlen. Die Verwendung eines Passwortmanagers kann dabei helfen, die Übersicht zu behalten.

Zwei-Faktor-Authentifizierung (2FA): Wo immer möglich, sollte die Zwei-Faktor-Authentifizierung aktiviert werden. Dies fügt eine zusätzliche Sicherheitsebene hinzu, da der Zugang nicht allein durch ein Passwort gewährt wird.

Regelmässige Software-Updates: Es ist wichtig, dass alle Software, einschliesslich Betriebssysteme und Antivirenprogramme, regelmässig aktualisiert werden, um Sicherheitslücken zu schliessen.

Phishing-Angriffe erkennen: Sie sollten verdächtige Links und Anhänge in E-Mails nicht öffnen, insbesondere wenn sie von unbekannten Absendern stammen und keine persönlichen oder unternehmensbezogenen Informationen preisgeben.

Sicheres Surfen: Mitarbeiter sollten vorsichtig sein, wenn sie im Internet surfen, und immer eine Antivirensoftware benutzen. Zudem sollte es vermieden werden, öffentliche Wi-Fi-Netzwerke für geschäftliche Zwecke zu nutzen, es sei denn, sie verwenden eine sichere VPN-Verbindung.

Datensicherung (Backup): Sie beinhaltet das Erstellen von Kopien wichtiger Daten, um diese im Falle eines Datenverlusts, sei es durch Hardwarefehler, Softwareprobleme, Hackerangriffe, Viren, menschliche Fehler oder Naturkatastrophen, wiederherstellen zu können. Eine effektive Datensicherungsstrategie minimiert das Risiko von Datenverlusten und stellt sicher, dass kritische Geschäftsfunktionen auch im Falle eines unerwarteten Ereignisses aufrechterhalten werden können.

2.7.2. Automatisierung und Technologieeinsatz

Abläufe vereinfachen, Maschinen steuern, Effizienz steigern

Moderne Sägereien nutzen fortschrittliche Technologien und Automatisierung, um die Effizienz zu steigern. Dies umfasst computergesteuerte Sägesysteme, automatisierte Sortier- und Stapelmaschinen und fortschrittliche Mess- und Steuerungstechniken. Vieles davon wurde schon in den vorherigen Semestern eingehend behandelt. In diesem Abschnitt soll ein kleiner Ausblick in die Zukunft geben werden.

Computertomografie

Computertomographen (CT) sind aus der modernen Medizin nicht mehr wegzudenken und werden inzwischen in vielen anderen Gebieten eingesetzt. Da Holz wie menschliches Gewebe hauptsächlich aus Kohlenstoffketten aufgebaut ist, eignet es sich besonders gut zur Durchleuchtung. Mit Hilfe eines Computertomographen kann das Innere eines Stammes mit einer Auflösung von bis zu 1 mm digital rekonstruiert werden. Holzeigenschaften wie Harzgallen, Risse und Ringschäle oder Fäule, die bis anhin erst nach dem Einschnitt zum Vorschein kamen, können somit schon vorgängig bestimmt und lokalisiert werden.

Computertomografen ermöglichen eine vollständige Rekonstruktion der inneren Merkmale des Stammes, so dass die Stämme nach Qualität sortiert und die Einschnittlösung mit dem höchsten Wert in Echtzeit optimiert werden kann. Natürlich sind auch Fremdkörper (Metall, Steine usw.) festzustellen.

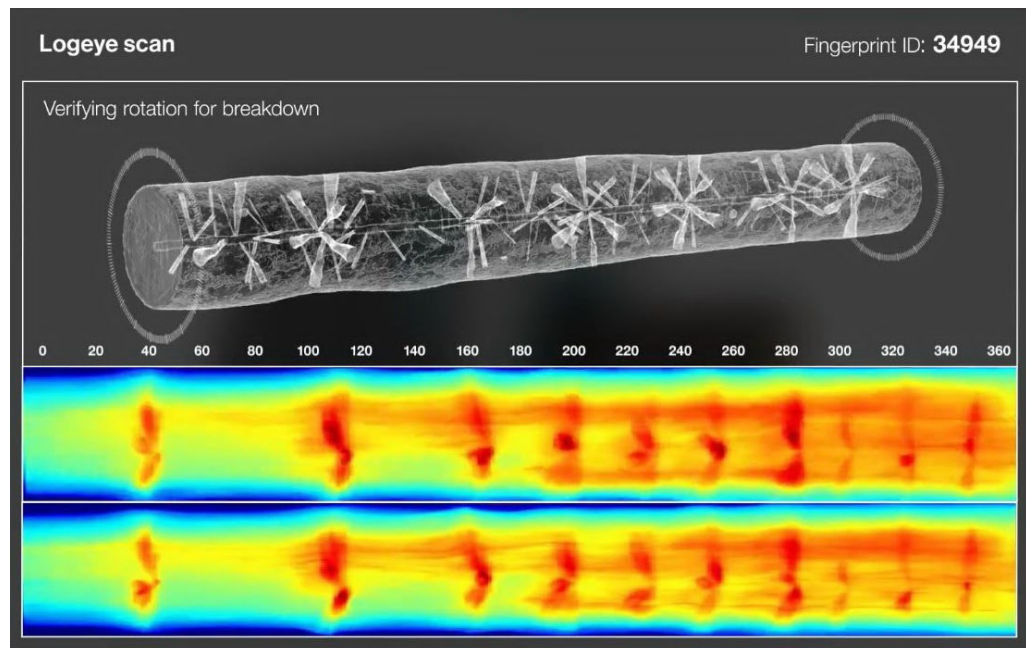


Abbildung 12: Screenshot funktionsweise Computertomografie (Quelle: Microtec)

Der im Bild dargestellte Computertomograf nutzt Laser-, Farb- und Röntgenkanäle, um präzise Daten für die Rundholzsortierung und Einschnittoptimierung auf der Grundlage von Durchmesser, Länge, Krümmung und Abholzigkeit sowie interner Qualitätsmerkmale zu liefern. Es ist davon auszugehen, dass die CT Technologie in Zukunft insbesondere in Sägewerken verstärkt eingesetzt wird.

Künstliche Intelligenz

Maschinen lernen selbst, treffen Entscheidungen, passen sich an

Die Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Holzindustrie steckt noch in den Kinderschuhen. An der Empa in Dübendorf werden jedoch bereits erste Schritte unternommen, indem KI für die Bildanalyse zur Klassifizierung der Festigkeit von Holzbrettern wie auch für die Rundholzsortierung und für die Steuerung von Prozessen in der Herstellung von Faserplatten eingesetzt wird.

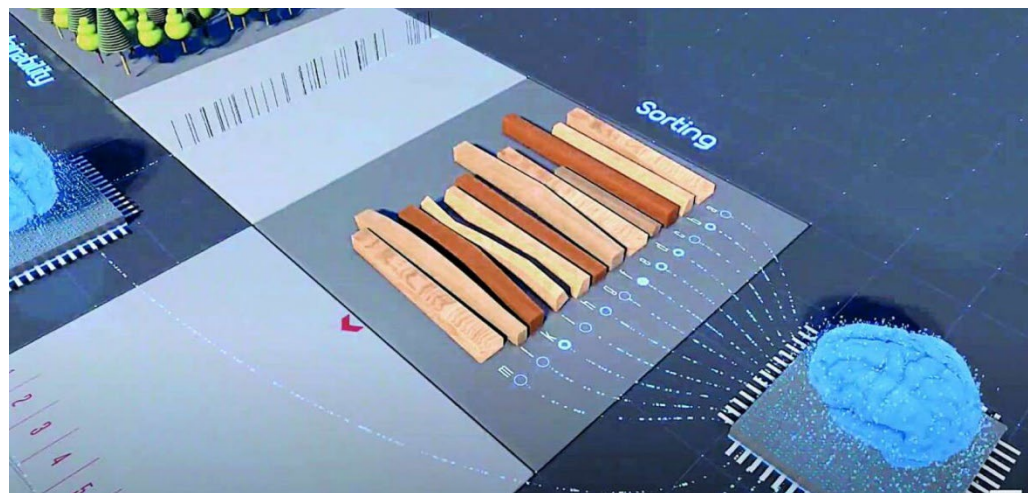


Abbildung 13: KI in der Holzindustrie (Quelle: Empa)

Darüber hinaus gibt es auch für die Holzindustrie viel Potenzial, KI-Anwendungen aus anderen Sektoren zu adaptieren. Ein Beispiel hierfür ist die KI-gestützte Spracherkennung, die im Kundenservice durch technische Dialogsysteme wie Chatbots und bei der automatischen Generierung von Produktbeschreibungen zunehmend an Bedeutung gewinnt. Solche Systeme könnten auch für Online-Verkaufsplattformen von Holzprodukten von Nutzen sein. KI-basierte Übersetzungstools eröffnen zudem die Möglichkeit, Online-Plattformen für ein breiteres, mehrsprachiges Publikum zugänglich zu machen.

Auch im Bereich der Prozessoptimierung kann KI einen wertvollen Beitrag leisten, beispielsweise durch automatisierte Lösungen im Rechnungswesen. KI kann bereits heute mit einer vorausschauenden Wartung den Anlagenzustand in Zukunft prognostizieren, wodurch Anlageausfälle vermieden werden können und gleichzeitig die Nutzungsdauer der Anlagen durch eine intelligente Wartungsstrategie verlängert wird.

In Finnland sind seit Ende 2022 die ersten autonomen, elektrisch betriebenen Rundholzkrane der Welt im Einsatz. Die KI übernimmt die Aufgaben des Kranführers, indem sie unter anderem maschinelles Sehen, neuronale Netze und verschiedene Sensoren einsetzt. Sie ist für die gesamte Logistik des Rundholzplatzes verantwortlich und plant die Arbeitszyklen des Krans. Die Aufgabe des Fahrers ist es nur noch, die KI zu überwachen.

2.7.3. Logistik und Lieferkettenmanagement

Effiziente Logistik und ein gut organisiertes Lieferkettenmanagement sind entscheidend, um die Rohstoffe rechtzeitig zu beschaffen und die fertigen Produkte effizient zu verteilen. Es geht darum sicherzustellen, dass der Betrieb die richtigen Materialien zur richtigen Zeit in der richtigen Menge am richtigen Ort zur Verfügung hat. In Ihrer Ausbildung haben Sie bereits gelernt:

- Waren entgegennehmen und kontrollieren
- Waren richtig einlagern, umlagern und auslagern
- Technische Betriebsmittel und Einrichtungen bedienen und warten
- Die erforderlichen Lagerbedingungen aus den Eigenschaften des Lagergutes ermitteln
- Den Lagerbestand führen und überwachen, die erforderlichen Massnahmen im Bedarfsfall einleiten
- Waren bereitstellen und versenden
- Bei der Erstellung betrieblicher Lagerlogistikkonzepte mitwirken

Im Nachfolgenden Kapitel gehen wir nun ein paar Schritte weiter und suchen nach Optimierungspotenzial.



Abbildung 14: Lagerhalle mit Holz für den Aussenbereich (Quelle: Pletscher + Co. AG)

Lieferkettenmanagement

Warenfluss optimieren, Transport effizient gestalten, Lieferzeiten verkürzen

Lieferkettenmanagement, auf Englisch auch als «Supply Chain Management (SCM)» bezeichnet, ist ein umfassender Ansatz zur Planung, Steuerung und Optimierung sämtlicher Prozesse entlang einer Wertschöpfungskette oder Lieferkette. Eine Wertschöpfungskette umfasst alle Schritte von der Beschaffung der Rohstoffe vom Lieferanten bis zur Auslieferung des Endprodukts an den Kunden. Das Ziel des Lieferkettenmanagements besteht darin, diese Prozesse so effizient wie möglich zu gestalten, um Kosten zu minimieren, die Qualität zu maximieren und die Kundenzufriedenheit zu steigern.

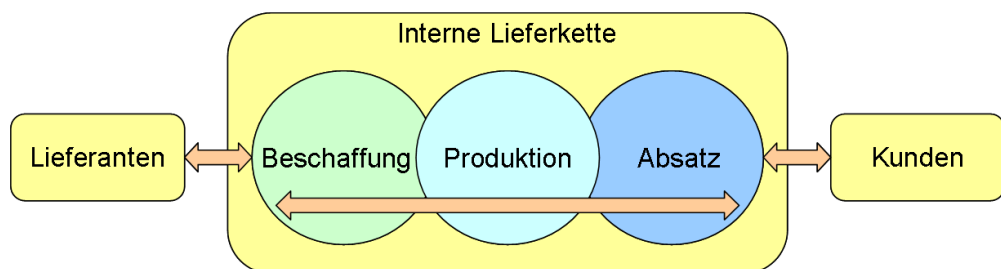


Abbildung 15: Lieferkette (Quelle: Wikipedia)

Innerhalb eines effizienten Lieferkettenmanagement -Systems ist es entscheidend, alle beteiligten Lieferanten und Prozesse sorgfältig zu organisieren. Denn der Erfolg eines Unternehmens hängt massgeblich von der Qualität seines Lieferkettenmanagements ab. Dieses Managementsystem lässt sich im Wesentlichen in drei Bereiche gliedern:

1. Güterfluss: In diesem Bereich geht es darum, wie Produkte von den Rohstofflieferanten auf effiziente Weise bis zu den Endkunden gelangen. Eine erfolgreiche Produktion erfordert eine transparente Zusammenarbeit mit allen Partner- und Subunternehmen.

2. Informationsfluss: Der Informationsfluss ist in beide Richtungen innerhalb eines Unternehmens von grosser Bedeutung. Einerseits müssen Informationen über verschiedene Lieferungen weitergegeben werden, sei es betreffend den Eingang von Rohstoffen oder die Auslieferung an die Endkunden. Ein Beispiel für Supply Chain Management, das auf die Bedürfnisse der Kunden ausgerichtet ist, ist die Integration von Informationen über das Kundenverhalten. Informationen darüber, wie oft Kunden ein bestimmtes Produkt kaufen, wie zufrieden sie damit sind oder wo der höchste Bedarf besteht, können massgeblich zum Unternehmenserfolg beitragen.

3. Wertefluss: Die finanziellen Abläufe bilden den dritten Bereich des Supply Chain Managements und sind in jeden Prozess eingegliedert. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette gibt es verschiedene Einnahmen und Ausgaben, die in Abstimmung mit den jeweiligen Partnerunternehmen und Kunden verwaltet werden müssen.

Ein effektives Lieferkettenmanagement ermöglicht es Unternehmen, ihre Ressourcen effizient zu nutzen, Kosten zu senken und die Kundenzufriedenheit zu steigern.

Fallbeispiel: Spedition

Eine der grössten Herausforderungen in der Speditionsbranche, insbesondere im Rundholztransport, sind Leerfahrten. Diese treten auf, wenn LKW nach der Auslieferung ihrer Ladung leer zum nächsten Auftrag oder zurück zum Betriebshof fahren. Leerfahrten verursachen unnötige Kosten und Umweltbelastungen. Wie können Logistikprozesse optimiert und dabei sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte berücksichtigt werden?

Lösungsansatz:

In enger Zusammenarbeit mit dem Rundholzfuhrunternehmen wird kontinuierlich an der Optimierung der Logistik gearbeitet. Ziel ist es, Leerfahrten zu reduzieren. Zu diesem Zweck wird auf dem Rückweg von Auslieferungen Rundholz, das vom Forst bereitgestellt wird, aufgeladen. Diese Vorgehensweise spart nicht nur Zeit, indem sie Leerfahrten vermeidet, sondern trägt auch zur Schonung der Umwelt bei, indem sie den Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoss reduziert. Gleichzeitig sichert diese Methode einen stetigen Zustrom von qualitativ hochwertigem Rohstoff für die Verarbeitung, was die Effizienz des Gesamtprozesses steigert.

Dieser Ansatz zeigt, wie durch clevere Logistikplanung sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile erzielt werden können.

ABC-Analyse der Lagerbestände

Wichtigkeit von
Produkten bewerten,
Lagerhaltung
steuern

Die ABC-Analyse basiert auf dem Pareto-Prinzip oder der 80/20-Regel, was bedeutet, dass 20% des Aufwandes für 80% der Ergebnisse verantwortlich sind. Haben wir an Lager, was auch verkauft wird, oder produzieren wir nur Lagerhüter? Die ABC-Analyse ist eine nützliche Methode, um die Effizienz und Rentabilität der Lagerbestandsverwaltung zu steigern und sicherzustellen, dass der Betrieb die richtigen Materialien zur richtigen Zeit in der richtigen Menge zur Verfügung hat.

Wie erstellt man eine ABC-Analyse?

Ein Holzindustriebetrieb hält eine Vielzahl von Produkten in seinem Lager. Diese haben unterschiedliche Kosten und Werte. Die ABC-Analyse hilft euch dabei, die wichtigsten Materialien zu identifizieren und angemessen zu verwalten.

Die einzelnen Güter werden zu einer der drei Klassen zugeordnet:

A-Güter (Hochwertige Artikel):

A-Güter sind die wichtigsten Artikel im Lager. Obwohl sie nur 20% der Lagerbestände ausmachen, sind sie von grosser Bedeutung, weil sie oft verkauft werden und viel Umsatz generieren. Das Unternehmen hat viel Geld in diese Artikel investiert, und sie tragen massgeblich zum Gewinn bei. Es ist sehr wichtig sicherzustellen, dass diese Artikel nie ausverkauft sind. Sie werden in den leicht erreichbaren Bereichen des Lagers aufbewahrt, damit Mitarbeiter schnell darauf zugreifen können.

B-Güter (Durchschnittliche Artikel):

B-Güter sind die mittelwichtigen Artikel im Lager. Sie machen etwa 30% des Inventars aus und werden nicht so häufig verkauft wie A-Güter. Deshalb müssen sie nicht so streng kontrolliert werden. Man behält sie jedoch im Auge, weil sie sich entweder zu A-Gütern oder zu C-Gütern entwickeln können. Die Bestellung von B-Gütern erfolgt normalerweise mit Mindest- und Maximalbeständen. Sie werden im Lager auf mittlerer Höhe gelagert.

C-Güter (Niedrigwertige Artikel):

C-Güter sind die Artikel mit dem geringsten Wert im Lager, machen jedoch die Hälfte des Inventars aus. Sie werden selten verkauft und sind nicht strategisch wichtig. Deshalb werden sie mit weniger Aufwand verwaltet. Der Nachschub erfolgt normalerweise über Sicherheitsbestände. Es ist wichtig, sie zu überwachen, um sicherzustellen, dass sie nicht zu Ladenhütern werden. Für C-Güter stellt sich oft die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, viel Geld für ihre Verwaltung auszugeben. Diese Artikel werden im Lager normalerweise oben oder in schwer erreichbaren Bereichen und weit von den Verladeplätzen entfernt gelagert.

Kurz gesagt hilft die ABC-Analyse dabei, Produktgruppen basierend auf ihrem Umsatzanteil zu klassifizieren und in die Kategorien A, B und C einzuteilen, wodurch Unternehmen eine bessere Kontrolle über ihre Bestandsverwaltung und Ressourcenallokation erhalten.

Spezialfall bei Handelsunternehmen: In Handelsunternehmen klassifiziert man Produkte nach der Umschlaghäufigkeit in «Schnelldreher» bzw. «Renner» (A-Produkte), Produkte mit mässigem Umsatz (B-Produkte) und «Langsamdreher» bzw. «Penner» (C-Produkte).

Fallbeispiel: ABC-Analyse

Eine Sägerei plant, ihre Produktkategorien basierend auf den jeweiligen Umsatzerlösen mit einer ABC-Analyse zu klassifizieren. In dieser Analyse werden Produkte mit hohen Umsatzzahlen in die Kategorie A, Produkte mit moderaten Umsatzzahlen in die Kategorie B und Produkte mit geringen Umsatzzahlen in die Kategorie C eingeteilt. Die Sägerei hat detaillierte Daten über die einzelnen Produktgruppen und die zugehörigen Jahresumsatzzahlen zur Verfügung.

Lösungsansatz:

Um eine ABC-Analyse durchzuführen, wird zuerst für jede Produktgruppe der Anteil am Gesamtjahres-Umsatz berechnet. Diese Produktgruppen werden dann nach ihrem Umsatzanteil absteigend sortiert. Anschliessend erfolgt die kumulative Berechnung der Umsatzanteile, wobei der Umsatzanteil jeder Produktgruppe mit allen grösseren Umsatzanteilen addiert wird. In einer typischen ABC-Analyse sind die Anteile für die Kategorien A, B und C auf 75%, 20% und 5% festgelegt.

Die Kumulierung dieser Anteile führt dazu, dass die Grenze zwischen den Kategorien A und B bei 75% des Gesamtumsatzes liegt, während die Grenze zwischen den Kategorien B und C bei 95% des Gesamtumsatzes verläuft. Durch den Vergleich der kumulierten Umsatzanteile können die Produktgruppen dann den Kategorien A, B und C zugeordnet werden.

Gut/Produkt	Verkaufspreis [SFr./m3]	Menge [m3/Jahr]	Umsatz [SFr./Jahr]	Anteil [%]	Kategorie
Vollholz	450	2'000	900'000	37.5%	A
Dachlatten	410	1'500	615'000	25.6%	A
Flügelkanteln FI	1'000	250	250'000	10.4%	A
Doppellatten	390	450	175'500	7.3%	B
Klotzbretter TA	850	150	127'500	5.3%	B
Klotzbretter FI	850	120	102'000	4.3%	B
Rahmenkanteln FI	990	100	99'000	4.1%	B
Kistenbretter	250	162	40'500	1.7%	C
Verpackungskantholz	230	150	34'500	1.4%	C
BSH-Lamellen	330	50	16'500	0.7%	C
Schalungskantholz	290	50	14'500	0.6%	C
Gerüstbretter	320	30	9'600	0.4%	C
Palettenbretter EURO	180	40	7'200	0.3%	C
Schalbretter	270	20	5'400	0.2%	C
Paletten-Kantholz	280	10	2'800	0.1%	C
Total		5'082	2'400'000	100%	

Tabelle 7: Beispiel einer ABC-Analyse (Quelle: HIS)

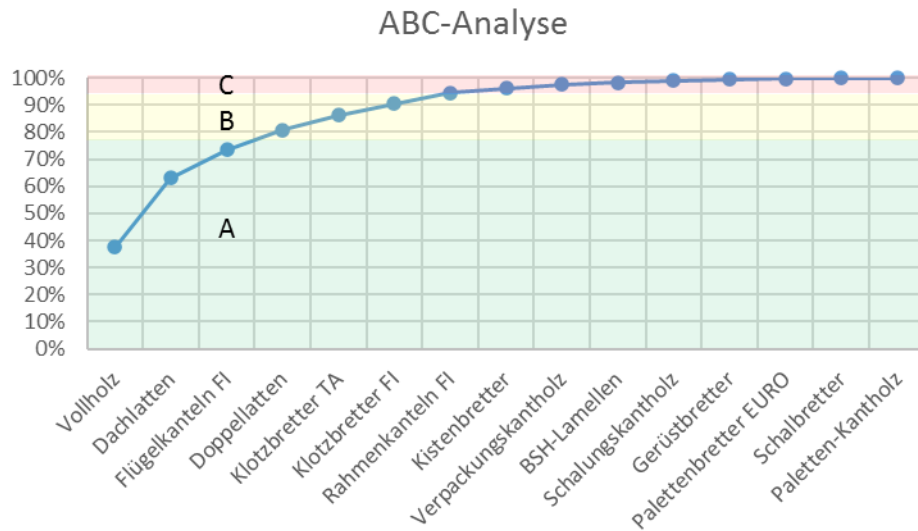


Abbildung 16: ABC-Analyse Diagramm (Quelle: HIS)

Die ABC-Analyse lässt sich auch wie oben abgebildet durch ein Diagramm darstellen. Die eingezeichneten Boxen repräsentieren die drei ABC-Klassen. An der Flächengröße einer solchen Box lässt sich der kumulierte Anteil dieser Gruppe am Gesamtumsatz direkt verdeutlichen.



Abbildung 17: Lagerhalle mit verschiedenen Produkten eines Holzindustriebetriebs (Quelle: Gebr. Eisenring AG)

2.7.4. Schlüsselstrategien zur Effizienzsteigerung

Dieses Kapitel bietet einen nicht abschliessenden Überblick über moderne Managementtechniken wie Kanban, Lean-Management, die Vereinfachung von Prozessen und Abläufen, Qualitätskontrolle und effektives Arbeitskräftemanagement. Es beleuchtet, wie diese Methoden zusammenwirken, um Organisationen agiler, effizienter und reaktionsfähiger in einer sich schnell wandelnden Geschäftswelt zu machen.

Kanban

Flexibilität in der Produktion, Bestände minimieren

Kanban ist eine agile Managementmethode, die ursprünglich aus dem japanischen Fertigungssektor stammt und darauf ausgerichtet ist, die Arbeitsabläufe zu optimieren und die Flexibilität in der Produktion oder in Projekten zu erhöhen. Im Zentrum steht das Kanban-Board, ein visuelles Werkzeug, das Aufgaben in verschiedenen Phasen von «Zu tun» über «In Arbeit» bis «Erledigt» darstellt. Diese Methode ermöglicht es Teams, den Arbeitsfluss zu visualisieren, Engpässe leicht zu identifizieren und die Arbeit nach Priorität und Kapazität effizient zu steuern. Kanban fördert kontinuierliche Verbesserung, minimiert Überlastung durch das Eingrenzen der in Bearbeitung befindlichen Aufgaben und verbessert die Transparenz und Kommunikation im Team. Dadurch wird die Flexibilität erhöht, die Reaktionsfähigkeit verbessert und die Gesamteffizienz von Arbeitsprozessen gesteigert.

Arbeitsplätze effizienter gestalten

Die Mitarbeitenden fertigen oft umständlich, die Arbeitsabläufe sind nicht ergonomisch, es braucht einen zweiten Kollegen, um etwas einzuspannen, die Materialien liegen immer an einem anderen Ort und die Gehdistanzen sind zu lang.

Lean-Management

Verschwendung reduzieren, Prozesseffizienz steigern, Kundenwert maximieren, kontinuierliche Verbesserung

Oft ist das Lager einfach ein notwendiges Übel, um Produkte, Rohstoffe, Ersatzteile und dergleichen zwischenzulagern, bis man sie braucht. Natürlich benötigt man dazu nicht nur Platz, die Lagerhaltung erfordert auch Zeit und Geld. Auch in Lagern der Holzindustrie ist Lean-Management mittlerweile ein wichtiges Thema. Prozesse sollen schlanker werden, Abläufe effizienter.

Lean-Management ist eine Managementphilosophie, die darauf abzielt, Verschwendung zu reduzieren und Prozesseffizienz in Unternehmen zu verbessern. Der Schwerpunkt liegt auf der Schaffung von Mehrwert für den Kunden bei gleichzeitiger Minimierung unnötiger Ressourcen, Zeit und Aufwand. Dies wird durch verschiedene Prinzipien und Techniken erreicht, wie kontinuierliche Verbesserung (Kaizen), Just-in-Time-Produktion, Qualitätsmanagement und dem Einbezug von Mitarbeitern in den Verbesserungsprozess. Lean-Management fördert eine Kultur der ständigen Überprüfung und Optimierung von Arbeitsabläufen, um Prozesse schlanker und effizienter zu gestalten und damit die Gesamtleistung des Unternehmens zu steigern.

Prozesse und Abläufe vereinfachen

Verschwendung reduzieren, Prozesseffizienz steigern, Kundenwert maximieren, kontinuierliche Verbesserung

Die kontinuierliche Analyse und Verbesserung der Produktionsprozesse ist entscheidend für die Effizienzsteigerung und Kostensenkung in Unternehmen. Dabei liegt der Fokus auf der Optimierung des Materialflusses, indem der Transport, die Lagerhaltung und die Bewegung von Rohstoffen und Fertigprodukten effizienter gestaltet werden. Des Weiteren spielt die Reduktion von Stillstandszeiten eine wichtige Rolle, indem Ausfallzeiten durch präventive Wartung und schnelle Fehlerbehebung minimiert werden. Die Verbesserung der Wartungspraktiken umfasst dabei die regelmässige Überprüfung und Instandhaltung von Maschinen und Anlagen, um deren Lebensdauer zu verlängern und ungeplante Ausfälle zu vermeiden. Zudem beinhaltet dieser Ansatz die Standardisierung von Arbeitsabläufen und die Schulung der Mitarbeiter, um die Prozesseffizienz weiter zu erhöhen und eine gleichbleibend hohe Qualität der Produkte zu gewährleisten. Diese kontinuierliche Prozessverbesserung führt zu einer gesteigerten Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.

Qualitätskontrolle

Kundenzufriedenheit erhöhen

Die Aufrechterhaltung hoher Qualitätsstandards ist für den Erfolg eines Holzindustriebetriebs von zentraler Bedeutung. Dies beginnt mit der genauen Überwachung der Holzqualität, wobei auf die Beschaffenheit, Feuchtigkeit und das Fehlen von Defekten wie Rissen oder Verformungen geachtet wird. Die Präzision des Sägevorgangs ist ebenfalls entscheidend, um sicherzustellen, dass die Schnitte exakt und den Spezifikationen entsprechend ausgeführt werden, was zu einer optimalen Ausbeute und Minimierung von Materialverschwendung führt. Die Endproduktkontrolle umfasst eine detaillierte Inspektion der fertigen Holzprodukte auf Massgenauigkeit, Oberflächenqualität, Holzfeuchte etc. Zusätzlich beinhaltet die Qualitätskontrolle die regelmässige Kalibrierung und Wartung der Säge- und Verarbeitungsmaschinen, um eine konstant hohe Fertigungsqualität zu gewährleisten. Durch strenge Qualitätskontrollverfahren kann der Holzindustriebetrieb die Kundenzufriedenheit steigern, Reklamationen reduzieren und seine Position im Markt stärken.

Arbeitskräftemanagement

Fähigkeiten fördern, Zufriedenheit steigern, Produktivität maximieren

Geschultes Personal ist entscheidend für den effizienten Betrieb eines Holzindustriebetriebs. Dies umfasst nicht nur die fachgerechte Bedienung der Maschinen, sondern auch die Fähigkeit, Probleme schnell zu erkennen und effektiv zu lösen. Die kontinuierliche Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter in den neuesten Technologien und Arbeitsmethoden ist daher unerlässlich. Dies beinhaltet sowohl theoretisches Wissen als auch praktische Fertigkeiten, um eine hohe Betriebssicherheit und Produktqualität zu gewährleisten. Darüber hinaus ist die Förderung von Teamarbeit und Kommunikationsfähigkeiten wichtig, um eine reibungslose Zusammenarbeit und einen effizienten Informationsfluss innerhalb der Sägerei zu sichern. Die Entwicklung von Führungskompetenzen bei Schichtleitern und Managern trägt ebenfalls dazu bei, die Arbeitsmoral zu steigern und ein motivierendes Arbeitsumfeld zu schaffen. Durch ein effektives Arbeitskräftemanagement kann ein Holzindustriebetrieb nicht nur die Produktivität und Effizienz steigern, sondern auch die Mitarbeiterzufriedenheit erhöhen und einem Fachkräftemangel vorbeugen.

2.7.5. Nachhaltiger Umgang mit Rohstoffen und Abfall optimieren

Rohstoffe effizient nutzen

Wie Sie bereits in den vorgängigen Semestern gelernt haben, ist die Holzverarbeitende Industrie sehr erfolgreich bei der Reduzierung der Abfallmenge, indem sie das Rohmaterial Holz maximal nutzt. Dies wird hauptsächlich durch das Recycling von Industrieabfällen (Sogenannter «Pre-Consumer Waste») erreicht, d.h. alle Holzabfälle, die während des Produktionsprozesses anfallen, werden vor der Entsorgung bewahrt und zu anderen Produkten recycelt oder vor Ort zur Energiegewinnung verbrannt. Produkte mit einem hohen Anteil an Industrieabfällen sind beispielsweise Spanplatten, Holzfaserplatten und OSB-Platten. Als Ergebnis dieser erfolgreichen Bemühungen zur Abfallvermeidung konzentriert sich die Industrie nun auf die Reduzierung von Verbraucherabfällen (Sogenannter «post-consumer waste»). Dabei geht es um das Recycling von Materialien und Konsumgütern, die von Haushalten und gewerblichen, industriellen oder staatlichen Einrichtungen am Ende ihrer Nutzungsdauer entsorgt werden.

Kreislaufwirtschaft im Holzbau

Abfall als Ressource nutzen

Holz wird nicht auf die gleiche Weise recycelt wie viele andere recycelbare Materialien (z.B. Papier, Aluminium Dosen oder Glasflaschen), die in der Regel als Ausgangsmaterial für die Herstellung ähnlicher Konsumgüter verwendet werden. Holz hingegen wird in der Regel beim Abriss von Gebäuden entnommen, um es in anderer Form wiederzuverwenden. Diese Wiederverwendung von Altholz ist zu einer neuen Rohstoffquelle für die Bauindustrie geworden und hat einen speziellen Markt für Nischenprodukte geschaffen. Massivholz aus historischen Gebäuden wird beispielsweise häufig zu Fußböden, Verkleidungen oder Wandvertäfelungen verarbeitet.

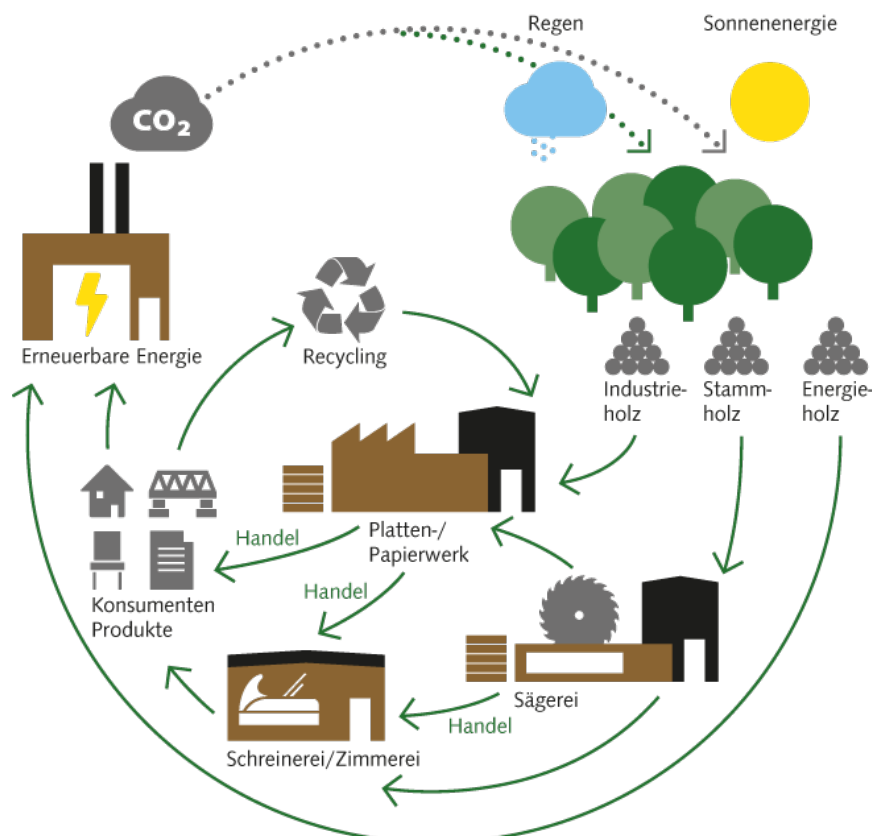


Abbildung 18: Kreislaufwirtschaft im Holzbau (Quelle: Lignum)

Bei den wiederverwendeten Holzprodukten handelt es sich häufig um Holz, das vor mehreren hundert Jahren aus Urwäldern entnommen wurde. Dieses Holz wird wegen seines einzigartigen Aussehens und seiner im Vergleich zu frisch geschlagenem Holz höheren Festigkeit, Stabilität und Dauerhaftigkeit besonders geschätzt. Durch die Wiederverwendung von Holz aus Primärwäldern werden wertvolle Baustoffe dem Abfallstrom entzogen, die Kohlenstoffspeicherung verlängert und die Umweltauswirkungen der Beschaffung und Verarbeitung von Rohstoffen für neue Produkte verringert.

Cradle to Cradle

Materialkreisläufe
schaffen

«Cradle to Cradle» bedeutet, dass beim Bauen Materialien verwendet werden, die man immer wieder recyceln kann, statt sie wegzuerwerfen. In Zukunft könnten Baustoffe und Bauteile in Häusern mehrfach verwendet werden. Ein konsequentes Recycling dieser Materialien würde Energie einsparen und den Ausstoß von Treibhausgasen verringern, was im ressourcenintensiven Bausektor besonders relevant ist. Die Bauindustrie ist daher bestrebt, Konstruktionen zu entwickeln, die im Sinne des Kreislaufprinzips wiederverwendbar sind. Holz als nachwachsender Rohstoff eignet sich besonders für das Cradle-to-Cradle-Prinzip.

Kaskadennutzung

Lebenszyklus
verlängern

Das geerntete Holz hat idealerweise mehrere Leben. Optimal ist eine Kaskadennutzung: hochwertig vor niederwertig vor energetisch. Wird der Holz Zuwachs im nachhaltig bewirtschafteten Wald geerntet und das sägefähige Holz zuerst vor allem in langlebige Produkte wie Häuser, Innenausbauten und Möbel verwandelt, so bleibt der darin gespeicherte Kohlenstoff aus der Atmosphäre über viele Jahrzehnte fixiert. Während dieser Zeit kann der Wald laufend neues CO₂ aufnehmen und der Holzzuwachs weiter abgeschöpft werden. In der zweiten Kaskade können die alten Möbel, Balken etc. **rezykliert** werden, indem beispielsweise Spanplatten daraus gemacht werden. Bauholz kann auch nochmals als solches **wiederverwendet** werden. Auch sehr beliebt ist es, altes Bauholz **weiter zu verwenden**, indem hochwertige und teure Möbel oder Parkettböden etc. daraus gemacht werden. Erst wenn nichts anderes mehr übrigbleibt, sollten Holzprodukte in die energetische Nutzung gehen also verbrannt werden, um damit zu heizen.

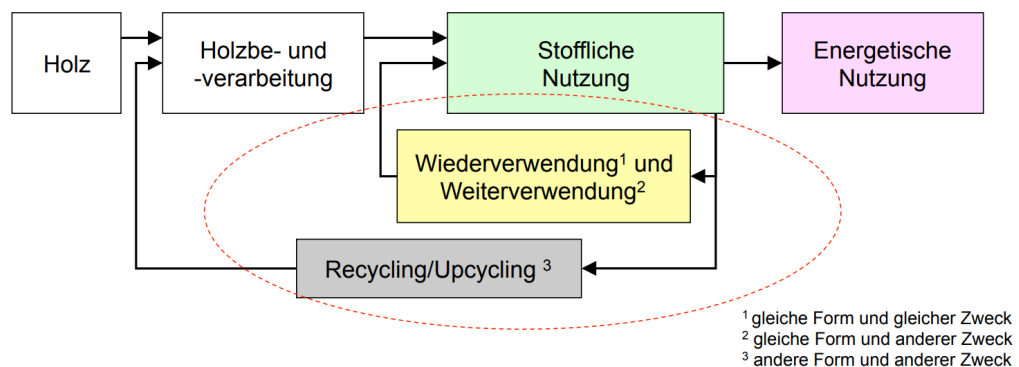


Abbildung 19: Holznutzung in einer Kaskade. (Quelle: A. Kammerhofer BAFU)

Holz soll so häufig und so effizient wie möglich stofflich verwendet und idealerweise erst am Ende mehrerer Produktlebenszyklen energetisch genutzt werden. Der Vorteil: Der im Holz gespeicherte Kohlenstoff bleibt so über ein Baumleben hinaus in

möglichst langlebigen Holzprodukten gespeichert. Dies trägt sowohl zur Versorgungssicherheit und Ressourceneffizienz als auch zum Klima- und Umweltschutz sowie zur Wertschöpfung in der Wald- und Holzwirtschaft bei.

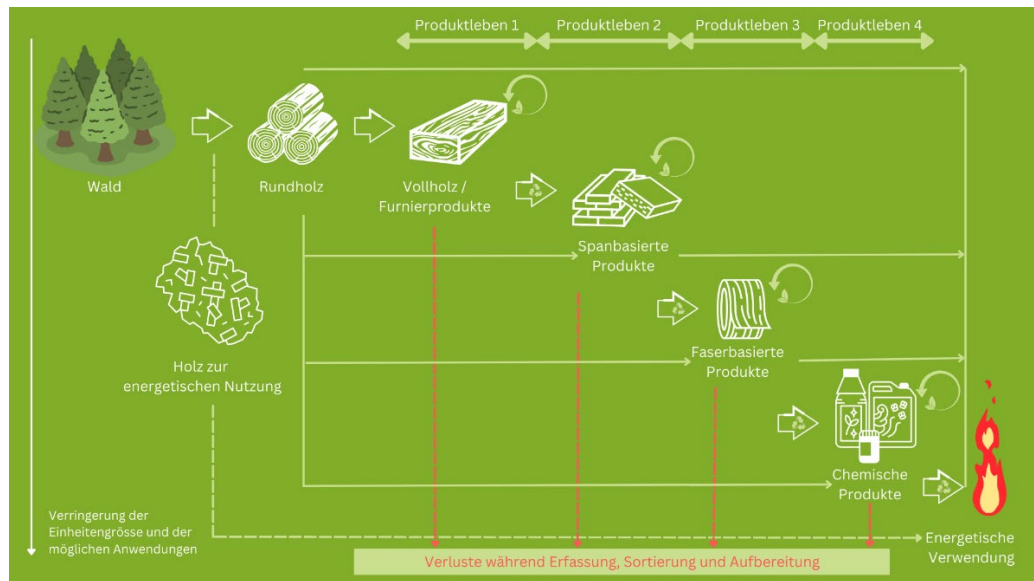


Abbildung 20: Die Kaskadennutzung nach Högmeier (Quelle: WaldSchweiz)

Eine Videoreportage der deutschen Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe mit dem Titel «Holz mehrfach verwenden – Kaskadennutzung von Holz» zeigt, wie eine nachhaltige und effiziente Holznutzung funktioniert und wie sie zum Klimaschutz beiträgt. Der 45-minütige Beitrag ist ein Projekt der deutschen Charta für Holz 2.0.



QR-Code: YouTube Video: Holz mehrfach verwenden – Kaskadennutzung von Holz.
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, FNR)

2.7.6. Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Betrieb

Die Betrachtung der Energieeffizienz aus ökonomischer und ökologischer Perspektive ist von entscheidender Bedeutung, sowohl für Unternehmen als auch für die Gesellschaft als Ganzes. Energieeffizienz bedeutet, mehr Leistung mit weniger Energie zu erzielen, was direkt zu Kosteneinsparungen führt. In einem wirtschaftlichen Kontext, wo Gewinnmargen oft eng sind und der Wettbewerb hoch ist, können Einsparungen bei den Energiekosten einen erheblichen Vorteil darstellen. Dies gilt insbesondere in Bereichen wie der Produktion oder dem Transport, wo der Energieverbrauch einen grossen Teil der Betriebskosten ausmacht.

Ökologisch gesehen ist Energieeffizienz ebenso kritisch. Die Reduzierung des Energieverbrauchs verringert die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und reduziert die Treibhausgasemissionen, die für den Klimawandel verantwortlich sind. In einer Zeit wachsender ökologischer Bedenken und zunehmender regulatorischer Anforderungen bezüglich Umweltschutz spielt die Energieeffizienz eine Schlüsselrolle bei der Gestaltung nachhaltiger Geschäftspraktiken.

Die folgenden Beispiele beleuchten, wie Energieeffizienz sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht wichtig ist. Sie zeigen auf, dass nachhaltiges Wirtschaften nicht nur umweltfreundlich, sondern auch wirtschaftlich rentabel sein kann. Diese doppelte Bedeutung unterstreicht, warum Energieeffizienz in der heutigen Geschäftswelt eine so zentrale Rolle spielt.

Fallbeispiel: LED

Die Stromkosten sind im Produktionsbetrieb in den letzten Jahren dauernd gestiegen. Die alte Halogenbeleuchtung ist noch funktionstüchtig, also ist Ihr Chef nicht davon zu überzeugen, hier zu investieren. Sie wissen, dass LED heutzutage in vielen Unternehmen Standard ist. Welche Argumente sprechen für LEDs und wie überzeugen Sie den Chef?

Lösungsansatz:

Das Ersetzen von Halogen-Innenbeleuchtung durch LEDs bietet mehrere Vorteile. Erstens sind LEDs energieeffizienter, was zu einer deutlichen Senkung der Stromrechnung führen kann. Zweitens haben LEDs eine längere Lebensdauer, was bedeutet, dass sie seltener ausgetauscht werden müssen und dadurch langfristig Kosten sparen. Drittens erzeugen LEDs weniger Wärme, was die Sicherheit erhöht. Ausserdem bieten LEDs eine bessere Lichtqualität, was die Arbeitsbedingungen verbessert und die Fehlerquote senken kann, was wiederum die Produktqualität erhöht. In diesem Fallbeispiel führt der Wechsel zu LED-Beleuchtung also nicht nur zu Kosteneinsparungen, sondern verbessert auch die Arbeitsbedingungen, die Sicherheit und die Umweltverträglichkeit des Betriebs.

Fallbeispiel: Druckluft

Sie sind am Abend der letzte der nach Hause geht und die Anlagen sind ausgeschaltet. Komischerweise pfeift es trotzdem von überall her aus den Druckluftleitungen. Sie schildern das Problem am nächsten Morgen einem Mitarbeiter, der Ihnen sagt, dass es ja nur Luft sei und Luft sei ja schliesslich gratis. Warum hat er unrecht und was sollten Sie tun?

Lösungsansatz:

Luft ist kostenlos, aber die Erzeugung von Druckluft ist es nicht. Sie erfordert teure elektrische Energie.

Das Pfeifen aus den Druckluftleitungen am Abend, wenn alles ausgeschaltet ist, deutet auf Leckagen im System hin. Diese Leckagen sind problematisch, da sie bedeuten, dass der Kompressor unnötig arbeiten muss, um den Druck aufrechtzuerhalten. Dies führt zu einem höheren Energieverbrauch und damit verbundenen Kosten, auch wenn keine Produktion stattfindet.

Es ist wichtig, dass Sie diese Leckagen umgehend identifizieren und beheben lassen. Ein dichtes Druckluftsystem ist nicht nur effizienter und kostensparender, sondern verbessert auch die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Anlage. Regelmässige Wartung und Überprüfung der Druckluftsysteme sind daher essenziell, um solche Probleme zu vermeiden und die Betriebskosten niedrig zu halten. Indem Sie diese Leckagen adressieren, können Sie langfristig erhebliche Kosten einsparen und die Effizienz Ihres Betriebs steigern.

Die grösste Energieersparnis wird dadurch erreicht, dass die ohnehin entstehende Wärme an den Kompressoren für etwas Sinnvolles genutzt wird: In der Regel für Heizung oder Warmwasser, gelegentlich auch für sogenannte Prozesswärme, also die Erwärmung eines Werkstücks oder ähnliches.

Fallbeispiel: Benzin/ Diesel

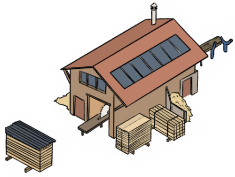
In Ihrem Betrieb werden Stapler mit Benzin- oder Dieselmotoren eingesetzt. Was können Sie tun im täglichen Gebrauch, um die Effizienz und Leistung dieser Fahrzeuge zu optimieren?

Lösungsansatz:

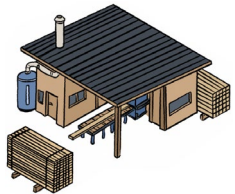
Zuallererst ist es wichtig, die Stapler sorgfältig zu bedienen. Sanftes Beschleunigen und Bremsen, Vermeiden von unnötigem Leerlauf und das Fahren mit einer konstanten Geschwindigkeit helfen, den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Aggressives Fahren hingegen kann den Kraftstoffverbrauch erhöhen und die Abnutzung des Fahrzeugs beschleunigen.

Achten Sie ausserdem auf den Reifendruck der Stapler. Selbst wenn Sie kein Mechaniker sind, ist es eine einfache Aufgabe, regelmässig den Reifendruck zu überprüfen und sicherzustellen, dass er den Herstellerangaben entspricht. Korrekter Reifendruck sorgt für bessere Kraftstoffeffizienz und verbessert die Sicherheit sowie die Fahrzeugkontrolle.

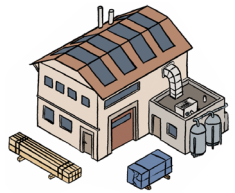
3. Logistik



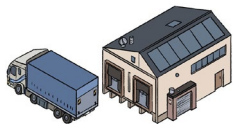
Sägerei



Hobelwerk



Leimwerk



Handel

HK b3: Halbfabrikate und holzbasierte Produkte für die Auslieferung rüsten

HK b4: Schnittholz, holzbasierte Produkte, Hilfs- und Betriebsstoffe im Lager bewirtschaften, sowie Daten und Informationen dazu erheben und weiterleiten

Sind die Holzprodukte produziert, werden sie für die Kundschaft bereitgestellt und ausgeliefert beziehungsweise abgeholt. Dabei ist nebst der Pünktlichkeit auch sicher zu stellen, dass die Ware in der richtigen Qualität und in der richtigen Menge einwandfrei übergeben wird. Hinter der Lagerung und Logistik stecken daher aufeinander abgestimmte Prozesse.



Abbildung 21: Die Lagerung ist ein Erfolgsfaktor im Unternehmen. (Quelle: deligno ag)

Praxisaufträge im Betrieb

Verarbeitungsstufe 1 & 2:

- Waren wirtschaftlich und sicher lagern
- Schnittholz und holzbasierte Produkte werterhaltend lagern
- Lagerbuchhaltung führen und Inventar; Lagerplätze definieren (Luftverhältnisse, Sauberkeit, etc.)
- Lager / Rundholzplatz bewirtschaften
- Schnittholz und holzbasierte Produkte nach kundenspezifischen Vorgaben für die Auslieferung rüsten
- Produkte verpacken gemäss Auftrag oder betriebseigenen Vorgaben: Transportschäden vermeiden, Verpackung beschriften
- Waren umweltschonend verschieben
- Hilfsmittel, Hilfs- und Betriebsstoffe entgegennehmen und lagern

Überbetrieblicher Kurs 7

- Kommissionieren von holzbasierten Produkten

Berufliche Situationen

- Sie lagern Holzprodukte richtig, werterhaltend und effizient.
- Sie geben Auskunft über den Stand von Aufträgen und Prozesszeiten aufgrund von Informationen zum Warenlager (Liefermengen, Qualitäten).
- Sie beschriften Pakete für die interne Lagerung oder den Versand.
- Sie kommissionieren Kundenaufträge effizient und binden diese mit Umreifungsmaschinen oder rüsten diese mit anderen Sicherungsmassnahmen für den Transport.

Lernziele

Warenfluss und Logistik:

- Sie beschreiben den Warenfluss und die Logistik Ihres Betriebs.
- Sie erstellen eine Skizze des Warenflusses im eigenen Betrieb – von der Annahme des Rohstoffes bis zur Auslieferung der gefertigten Produkte an den Abnehmer.
- Sie beschreiben die Bedeutung der Betriebslogistik und Kriterien zu deren Beurteilung, erkennen an Fallbeispielen Optimierungsmöglichkeiten, schlagen entsprechende Massnahmen vor.
- Sie erklären die Bedeutung des Lagerinventars und dessen Aktualität für die Produktions- und Lieferbereitschaft. Sie beschreiben konventionelle und digitale Hilfsmittel zur Erfassung der Daten.

Rüsten und Verpackung der Produkte:

- Sie erklären die verschiedenen Rüsttechniken mit ihren Vor- und Nachteilen
- Sie erklären die verfügbaren Hilfsmittel für die Verpackung nach Einsatzgebieten mit ihren Vor- und Nachteilen.

Kennzeichnung der Ware:

- Sie beschreiben die konventionellen und digitalen Hilfsmittel zur Erfassung und Weiterleitung von Informationen zu Warenlieferungen und deren Vor- und Nachteile.
- Sie identifizieren Gütezeichen und Labels für Holzprodukte.

Abholung und Auslieferung:

- Sie übernehmen die Übergabe der Ware an die Kundschaft sowie kennen den Übergang von Nutzen und Gefahr.

3.1. Warenfluss und Logistik

Die Logistik wird heutzutage wie folgt definiert: «Planen, Ausführen und Kontrolle von Material-, Informations-, Werte-, Personen und Energieflüssen. Es gilt, eine gewisse Menge in einer gewissen Zeit an einen bestimmten Ort zu schaffen. Teildisziplinen sind z.B. Beschaffungs-, Lager-, Transport-, Produktions-, Distributions-, und Entsorgungslogistik.» (www.logistik-lexikon.de, 2023)

Die folgenden Kapitel umfassen im Wesentlichen die Lagerlogistik, wobei angrenzende Disziplinen teilweise gestreift werden.

3.1.1. Bedeutung der Betriebslogistik

Ein optimierter Warenfluss ist in jedem Produktions- und Handelsbetrieb von zentraler Bedeutung. Jeder Prozessschritt kostet Geld. Er bedingt Personalaufwand, Maschinen- oder Fördermitteleinsatz. Holz und holzbasierte Produkte gelten zudem trotz allen positiven Entwicklungen der letzten Jahrzehnte immer noch als preislich günstige Baumaterialien. Zugleich sind Holzprodukte sperrig und weisen grosse Volumen auf, so dass die Anlagen und Geräte für den innerbetrieblichen Warentransport in der Anschaffung und im Betrieb verhältnismässig teuer sind. Der Anteil der Logistikkosten in Prozent des eigentlichen Warenwerts ist in der Holzbranche daher höher als in Branchen mit hochwertigen, teuren Produkten. Der innerbetrieblichen Logistik ist in den Betrieben der Holzbranche daher ein besonders hoher Stellenwert beizumessen. Es gilt, die Kosten durch bestmögliche Organisation zu minimieren.

Überlegen Sie sich: wie funktioniert der Warenfluss in Ihrem Lehrbetrieb? Zeichnen Sie den Weg des Holzes vom Wareneingang, über das Lager, durch die Produktion bis zur Auslieferung auf.

Vereinfachte Darstellung eines Warenflusses in einem Hobelwerk.

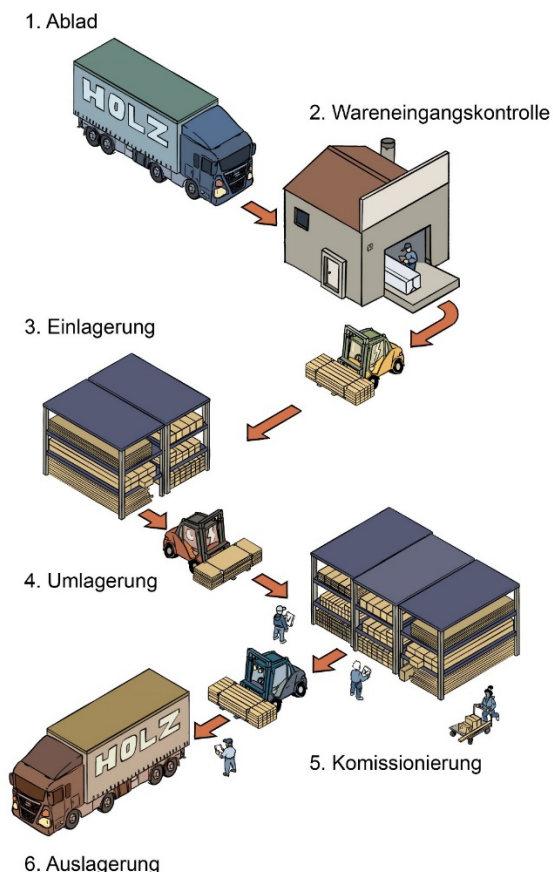


Abbildung 22: Warenfluss vereinfacht (Quelle: HIS)

Erläuterung zu einzelnen Prozessschritten Im Lagerprozess:

<i>Prozessschritt</i>	<i>Tätigkeit Lagerperson</i>
Ablad	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle auf äussere Unversehrtheit der Ware • Kontrolle der Angaben des Lieferscheins mit der bestellten Ware (Menge, Dimension, Bezeichnung) • Unterschrift des Lieferscheins oder Notieren von Abweichungen • Sorgfältiger Ablad auf Zwischenlager • Lieferschein bei Ware belassen
Wareneingangskontrolle Produktion	<ul style="list-style-type: none"> • Genaue Kontrolle/Stichprobe des gelieferten Artikels • Prüfen der geforderten Eigenschaften und der Stückzahl • Visum der Eingangskontrolle • Beschädigte Waren als gesperrt bezeichnen. Diese gelangen nicht in den verfügbaren Lagerbestand → Reklamationslager • Lieferschein ins Speditionsbüro weiterleiten • Produktion / Herstellung des Produkts
Einlagerung	<ul style="list-style-type: none"> • Einlagern auf vorgesehenen Lagerplatz • Auf fachgerechte Lagerung achten • Lagerort notieren / scannen • Artikel scannen mit Lagerort verbinden
Umlagerung	<ul style="list-style-type: none"> • Lagerort wechseln infolge Lagerengpass, Schaden im Lager oder Umorganisation des Lagers • Lagerort ausbuchen und neuen Lagerort wieder einbuchen/notieren
Kommissionierung (Teilauslagerung)	<ul style="list-style-type: none"> • Rüsten • Kontrolle Artikel und Stückzahl, ausbuchen • Restmenge notieren / scannen • Rüstschein mit Visum ins Speditionsbüro schicken
Auslagerung	<ul style="list-style-type: none"> • Auslagern und Bereitstellen zum Versand (Kommissionslager) oder Verlad direkt auf LKW • Kontrolle Artikel und Stückzahl, ausbuchen notieren / scannen • Rüstschein mit Visum ins Speditionsbüro bringen

3.1.2. Kriterien zur Beurteilung und Optimierungsmöglichkeiten

Als mögliche Kriterien zur Beurteilung der Effizienz der Betriebslogistik sind im Wesentlichen die Arbeits- und Staplerzeiten zu beurteilen, die es braucht, um einen einzelnen Prozessschritt entlang der Wertschöpfungskette zu bewältigen.

Fallbeispiel 1 – Produktion

Ein Schnittholzpaket wird zur Hobelmaschine gebracht und verarbeitet. Nachdem das letzte Brett gehobelt ist, dauert es 15 Minuten, bis ein nächstes Paket bereit zum Hobeln vor der Maschine steht: Der Maschinist braucht 5 Minuten, um das Paket nach der Hobelung zu umreifen und den Paketzettel anzubringen, danach hat er 10 Minuten Leerzeit. Die Hobelmaschine produziert also während 15 Minuten nicht (Leerlauf). Wie kann der Prozess optimiert werden?

Lösungsansatz:

Vor und nach der Hobelmaschine ist je ein Pufferplatz für ein zweites Paket freizuhalten. Das rohe Schnittholz wird während der Produktion des ersten Pakets durch den Staplerfahrer angeliefert. Nachdem das erste Paket fertig ist, wird es vom Staplerfahrer abgeholt und ins Lager gefahren. Der Maschinist hat wieder einen Paketplatz hinter der Maschine frei und kann weiterfahren. So kann kontinuierlich weiterproduziert und die Produktionsleistung optimiert werden.

Fallbeispiel 2 – Laden eines LKW

Der LKW steht auf dem Hof zum Laden bereit. Der Staplerfahrer benötigt für jedes Paket ca. 6 Minuten, bis er es aus dem Lager geholt hat. So dauert der Verladeprozess für 8 Pakete 48 Minuten und der LKW hat lange Standzeiten.

Lösungsansatz:

Die 8 Pakete werden im Lager vor oder am Versandtag zu ruhigen Betriebszeiten nahe des Verladebereichs zusammengefasst. Die Zykluszeit pro Paket kann dadurch auf 3 Minuten gesenkt werden, der LKW ist 24 Minuten geladen.

Fallbeispiel 3 – Rüsten von verschiedenen Kommissionen

Eine Kundenbestellung bestehend aus drei verschiedenen Artikeln in kleinen Mengen muss gerüstet werden. Produkt A ist im Paketlager zuunterst gelagert. Es müssen drei Pakete umgestapelt werden, bevor der Zugriff auf Produkt A möglich ist. Für Produkt B muss der Lagerist das Lager absuchen, bis er das besagte Paket findet. Beim Produkt C hat es im Lagerpaket nur 60 Stück anstatt die bestellten 80 Stück.

Lösungsansatz:

Die Lagerung der häufig zu kommissionierenden Artikel in einem Kragarmregal erlaubt den direkten Zugriff auf den Artikel. Eine Definition des Lagerplatzes pro Artikel verhindert aufwändiges Suchen. Eine Lagerverwaltung mit korrekten Beständen verhindert, dem Kunden einen Liefertermin zu versprechen, der mangels Lagerbestandes des Artikels nicht eingehalten werden kann.

3.2. Kennzeichnung der Ware

Damit ein Lager sauber und korrekt geführt und verwaltet werden kann, braucht es eine klare, eindeutige Kennzeichnung der Ware. Die Kennzeichnung entspricht derjenigen in den Verkaufsunterlagen und den Rüstpapieren und umfasst mindestens:

- Produktnamen
- Holzart
- Qualität
- Holzfeuchte
- Dimension
- Stückzahl

Aufgrund von gesetzlichen Auflagen müssen zusätzlich Angaben über die Holzherkunft (Deklarationspflicht) gemacht werden. Für die korrekte Bezeichnung von Holzprodukten ist es sinnvoll, sich an den Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe in Bau und Ausbau (Handelsgebräuche für die Schweiz) zu orientieren. Grundsätzlich sind auch werkseigene Bezeichnungen erlaubt, sie erschweren aber die Kommunikation mit dem Markt und den Kunden.

Die Kennzeichnung soll auf dem Produkt dauerhaft und robust angebracht werden, damit sie nicht von Wind, Wetter, UV-Strahlung oder leichten mechanischen Berührungen entfernt werden kann. Es ist zu empfehlen, dass die Kennzeichnung von Distanz gut lesbar ist, das erleichtert die Kontrolle im Lager.



Abbildung 23: Kennzeichnung einer Ware im Hobelwerk, Details können via QR-Code sichtbar gemacht werden. (Quelle: deligno ag)

3.2.1. Hilfsmittel zur Kennzeichnung

Die Kennzeichnung der Produkte mittels Kreide oder Filzschreiber wird in Kleinbetrieben noch angewendet. Sie hat den Nachteil, dass selten die gesamten Produktebezeichnungen korrekt aufgeführt sind und somit die Datenqualität nicht gewährleistet ist. Beim Rüstprozess ist die Bezeichnung mit Kreide noch gebräuchlich, später im Prozess wird die fertige Etikette/Paketzettel angebracht.

Die gebräuchlichen Kennzeichnungen in der Branche sind Paketzettel mit der oben aufgeführten Kennzeichnung der Ware. Die Paketzettel bestehen aus widerstandsfähigen, bedruckbaren Materialien (z.B. Kraftpapiere, Tyvek oder ähnliches) und werden mit Klammern direkt im Holz befestigt. Wichtig: die Paketzettel sollten mit Kunststoffklammern befestigt werden, damit es bei der Weiterverarbeitung keine Werkzeugschäden gibt. Metallklammern sind nicht erwünscht.

Moderne Lagerverwaltungssysteme drucken auf den Paketzetteln zusätzlich einen Barcode auf, damit die Ware maschinell lesbar ist.

In der industriellen Weiterverarbeitung werden Bauprodukte zunehmend mit einem in der Produktionslinie integrierten Drucker einzeln bezeichnet. (z.B. Leimhölzer) Das Paket, welches eine Liefereinheit darstellt, hat jedoch immer einen Paketzettel.

Es ist heute technisch möglich, die Produktdaten auf einen Chip zu speichern und diesen Chip am Holz festzumachen. Das System hat sich bei Bauprodukten noch nicht durchgesetzt und wird in Form von RFID Chips z.B. in der Seefracht bei Containern angewendet. Der Chip erlaubt zusätzlich, Informationen auszusenden, damit der momentane Lagerort der Ware nachverfolgt werden kann.

3.2.2. Vorgaben zur Kennzeichnung

Die Kennzeichnung von Waren im Baubereich hängt wesentlich davon ab, wofür ein Produkt eingesetzt werden soll und welche Anforderungen es erfüllen muss. Eine einheitliche Vorgabe zur Kennzeichnung für alle Holzprodukte gibt es nicht. Es sind jedoch einige Vorgaben zu berücksichtigen.

Bauproduktegesetz Grundsätzlich gibt das Bauproduktegesetz in der Schweiz vor, wie ein Produkt in den Markt eingeführt werden darf. In den so genannten Technischen Normen werden diese Vorgaben detailliert erläutert. Als Beispiel sei die Norm für Aussentüren mit Brandschutzanforderungen mit der Bezeichnung SN EN 14351-1 genannt. Aufgrund der gesetzlichen Vorgaben müssen so genannt harmonisierte Bauprodukte mit einer Leistungserklärung versehen sein, aus welcher hervorgeht, welche Leistungen ein Produkt vollbringen kann (Beispiel Holzbau: Biegefestigkeit oder Zugfestigkeit). Auf jeden Fall darf ein Bauprodukt keine Sicherheitsrisiken aufweisen.

CE-Kennzeichnung Auf Basis der Leistungserklärung werden die meisten Produkte mit den Buchstaben CE gekennzeichnet. CE bedeutet Conformité Européenne (Europäische Konformität) und meint, dass das Produkt in der Schweiz und der EU ohne Einschränkung gehandelt werden kann, weil es alle Anforderungen an eine Inverkehrbringung betreffend Schutz in Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltbelangen erfüllt (Dr. Martin Schmid-Kleemann, 2017). In Europa ist die CE-Kennzeichnung obligatorisch, in der Schweiz nur, wenn das Gesetz dies explizit verlangt oder wenn ein Produkt in den europäischen oder EWR-Markt exportiert wird. Die CE-Kennzeichnung kann in vielen Fällen vom Hersteller selbst durchgeführt werden.



Erfüllt ein Produkt die Vorschriften nicht oder wird das CE-Kennzeichen missbräuchlich angebracht, werden von den Behörden in den Mitgliedsstaaten Massnahmen ergriffen. Dies kann dazu führen, dass Produkte zurückgerufen oder gar entsorgt werden müssen. Die dafür verantwortlichen Akteure können gebüsst oder

in schwerwiegenden Fällen gar inhaftiert werden. In weniger gravierenden Fällen kommt der fehlbare Hersteller mit einer Verwarnung davon.

Holzhandelsgebräuche Bei Holzprodukten gibt es nebst den gesetzlichen Vorgaben weitergehende Nachweise, welche von der Branche ausgearbeitet wurden. In den so genannten Holzhandelsgebräuchen (siehe www.lignum.ch) werden unter anderem Qualitätskriterien und Erscheinungsklassen für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau definiert. Der Verband Schweizer Hobelwerke VSH vertieft die Möglichkeiten und Grenzen von Holzprodukten in eigenen Merkblättern, um dem Markt transparente Informationen zu bieten (siehe www.vsh.ch). Und für gewisse Produkte gilt in der Schweiz die Deklarationspflicht.

Deklarationspflicht Seit 2012 gilt in der Schweiz die Verordnung über die Deklaration von Holz und Holzprodukten (www.konsum.admin.ch, 2023). Diese Verordnung stützt sich auf das Konsumenteninformationsgesetz und regelt die Deklarationspflicht von Holzart und Holzherkunft bei Rund- und Rohhölzern sowie bestimmten Holzprodukten aus Massivholz. Eine genaue Liste ist der Webseite www.konsum.admin.ch des Eidgenössischen Büros für Konsumentenfragen zu entnehmen. Ziel der Deklarationspflicht ist es, die Transparenz für Konsumenten so zu erhöhen, dass sie bewusste Kaufentscheidungen treffen können. Personen, die Holz und Holzprodukte an Konsumenten abgeben, sind verpflichtet die Holzart und die Holzherkunft (das Land, in dem das Holz geerntet wurde) zu deklarieren bzw. zu kennzeichnen.

EUTR/EUDR Seit 2022 müssen Importeure von Holz aufgrund der neuen Holzhandelsverordnung zusätzlich sicherstellen, dass das eingeführte Holz legal geschlagen wurde (www.bafu.admin.ch, 2022). Und die neue Europäische Entwaldungsverordnung (EUDR) will ab 2024 zusätzlich verhindern, dass Holz weltweit gesehen zur unnötigen Zerstörung von Wald beiträgt. Die Schweiz vollzieht diese Regelung nach, kennt aber bereits auch für den eigenen Wald ein im internationalen Vergleich strenges Waldgesetz.

3.2.3. Labels und Gütezeichen

Natürlich versuchen Hersteller von Bauprodukten alle Vorzüge ihrer Produkte herauszustreichen und zu kennzeichnen. Mittels Labels und Gütezeichen können diese Vorzüge auf dem Markt aufgezeigt und teils sogar verstärkt werden. In der Folge werden die wichtigsten Labels kurz erklärt:

Label Schweizer Holz

Das Label Schweizer Holz wurde 2009 von Lignum Holzwirtschaft Schweiz, dem Dachverband der Holzbranche, ins Leben gerufen und 2022 überarbeitet. Holz, das in der

Schweiz gewachsen ist und hier verarbeitet wird, darf das Label Schweizer Holz tragen. Ist ein Produkt aus verschiedenen Hölzern zusammengesetzt, müssen mindestens 80% des Holzes aus der Schweiz stammen, um das Label Schweizer Holz tragen zu können. Der Rest muss aus Ländern oder Regionen mit vergleichbaren Produktionsbedingungen kommen. Das rote Label wird von Lignum vergeben und ist auf den Produkten selber, an Gebäuden oder auf Rechnungen sowie Offerten zu finden (www.holz-bois-legno.ch).



PEFC-Label

Das Zertifizierungssystem PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) geht auf die Umweltkonferenz von Rio de Janeiro zurück und basiert inhaltlich auf den Beschlüssen, die auf den Ministerkonferenzen zum Schutz der Wälder in Europa (Helsinki 1993, Lissabon 1998) von 37 Nationen verabschiedet wurden. Durch unabhängige Zertifizierungsgesellschaften wird sichergestellt, dass die Wälder aus denen PEFC-Holz stammt nach hohen PEFC-Standards ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltig bewirtschaftet werden (www.pefc.ch).



FSC-Label

Das FSC-Zertifikat wird vom Weltforstrat FSC (Forest Stewardship Council) vergeben. Der FSC hat Prinzipien und Kriterien für die umwelt- und sozialverträgliche Waldbewirtschaftung aufgestellt. Diese Standards müssen weltweit in allen Wäldern mit dem FSC-Zertifikat eingehalten werden. Das FSC-Label soll nachweisen, dass Holz aus umwelt- und sozialverträglich bewirtschafteten Wäldern stammt. Ein Holzprodukt darf das FSC-Label nur tragen, wenn sichergestellt ist, dass das Holz auch tatsächlich aus einem FSC-Wald kommt (www.fsc-schweiz.ch).



Lignum-Gütezeichen «druckimprägniert»

Das Lignum-Gütezeichen «druckimprägniert» ist Teil eines umfassenden Holzschutzkonzepts gegen holzerstörende Pilze und Insekten, welches dem Verantwortungsbereich der Holzschutzkommission HSK unterstellt ist. Es bezweckt die Förderung geeigneter und qualitativ hochstehender druckimprägnierter Holzbauteile für die Gebrauchsklassen 3 (freie Bewitterung) und 4 (Erd- oder Wasserkontakt). Dieses Lignum-Gütezeichen wird Holzprodukten verliehen, welche eine technisch einwandfreie und zweckmässige Imprägnierung gemäss den Bestimmungen dieses Reglements aufweisen.



Gütezeichen «Fassaden»

Das Gütezeichen wurde 2011 von Lignum mit Partnern der Branche (Hobelwerke und Farbenhersteller) ins Leben gerufen. Die Vorgaben gelten in erster Linie der Dauerhaftigkeit des Fassadensystems. Das Gütezeichen bestätigt die Langlebigkeit der Produkte, die aus dem gehobelten Material selbst und der darauf aufgetragenen Oberflächenbehandlung bestehen. Lignum hat 2022 beschlossen das Label abzugeben. Der Verband Schweizer Hobelwerke führt dieses in neuer Form weiter (www.vsh.ch).

3.3. Verpackung von Produkten

3.3.1. Hilfsmittel zur Verpackung

Aufzählung und Beschreibung

Die Verpackung von Holzprodukten erfolgt in erster Linie zum Schutz vor direkt auftretender Nässe während dem Transport (Regen, Spritzwasser), vor Durchfeuchtung bei feuchten Witterungsbedingungen im Lager oder aus Schutz vor Verschmutzung oder UV-Strahlung. Die heute vorwiegend eingesetzten Verpackungen sind Kunststofffolien. Als reine Transportverpackungen können dünne, einfache Folien oder Stretch-Wickelfolien verwendet werden. Für Schnittholzpakete, welche längere Zeit im Freien lagern, werden verstärkte Folien mit UV-Schutz verwendet.

Bei industriell hergestellten langen Fertigprodukten (Leimholzbalken) werden vorwiegend automatische Wickelmaschinen direkt in den Produktionsprozess eingebaut. Bei diesen Umwicklungen kommen meistens schwarze Folien zum Einsatz, da die weissen Folien nicht genügend UV-Schutz bieten und es bei längerer Lagerdauer zu Verfärbungen der Holzoberfläche kommen kann.

Wichtig: Kunststofffolien sind nicht in jedem Fall dauernd wasserdicht. Wasser kann bei Überlappungen eindringen und zu Feuchteschäden führen. Eine periodische Kontrolle ist daher zu empfehlen und eventuelle Zusatzmassnahmen sind zu ergreifen. Eine komplette Umhüllung von Holzprodukten mit Folien ist ebenfalls zu vermeiden, da die Restfeuchte im Holz bei direkter Sonnenbestrahlung nicht entweichen und es so zu Pilzbefall kommen kann.

Bei der Verpackung von qualitativ hochwertigen Produkten ist besonders zu empfehlen, entsprechende Hinweise auf die Verpackung aufzudrucken.

Auch bei den Verpackungen ist es wie beim Paketzettel wichtig, dass die Verpackung nicht mit Metallklammern am Holz befestigt wird, sondern werkzeugschonende Kunststoffklammern zum Einsatz kommen.

Die wachsende Flut von Kunststoffabfällen führt zu einer zunehmenden Ablehnung von Verpackungsmaterial. Daher sind Transporte von ungeschützten Paketen in geschlossenen Fahrzeugen oder nur bedeckt mit leichten Schutzfolien auf der oberen Paketseite auf dem Vormarsch. Technisch getrocknete Holzprodukte werden heute mehrheitlich in geschlossenen Hallen gelagert.

Vereinzelt kommen kartonbasierte Kraftpapiere zum Einsatz. Ihre Anwendung ist aber technisch schwieriger, und die Kosten für das Verpackungsmaterial sind höher.

Im Hobelwerk müssen bei schichtbildenden Oberflächen von endbehandelten Produkten zusätzlich Trennstreifen eingelegt werden, da sonst Druck und Reibung im Lager oder beim Transport zu Verklebungen führen können.

Die Forschung entwickelt laufend neuere, ökologisch bedenkenlosere Verpackungsmaterialien. In der grossen Menge haben sie sich aber bisher noch nicht durchgesetzt.

3.3.2. Umreifungs- und Wickelmaschinen

Eine Umreifungsmaschine ist eine Vorrichtung, die verwendet wird, um Verpackungen, Kartons oder Paletten mit einem Umreifungsband zu sichern. Das Umreifungsband wird um das zu sichernde Objekt gelegt und dann mithilfe der Maschine festgezogen und verschlossen. Es gibt verschiedene Arten von Umreifungsmaschinen, darunter manuelle, halbautomatische und vollautomatische (www.hagenauer-denk.de, 2023). Die genaue Funktionsweise kann je nach Maschinentyp variieren, aber im Allgemeinen folgt eine Umreifung den folgenden Schritten:



Abbildung 24: Umreifungsmaschine im Einsatz. (Quelle: OLWO AG)

1. Vorbereitung: Das Umreifungsband wird auf die Maschine geladen und die Maschine wird entsprechend eingestellt, um die gewünschte Bandspannung und -länge zu erreichen.
2. Platzierung des Objekts: Das zu sichernde Objekt wird auf der Maschine platziert, entweder auf einer Palette oder direkt auf dem Förderband.
3. Bandführung: Das Umreifungsband wird um das Objekt geführt und an der gewünschten Stelle positioniert.
4. Bandspannung: Die Maschine zieht das Band fest und sorgt so für eine sichere Fixierung des Objekts. Bei manuellen Maschinen wird das Band oft durch Handkraft gespannt.
5. Bandverschluss: Das Umreifungsband wird verschlossen, um es sicher zu fixieren. Dies kann durch Verschweißen, Verschliessen mit Metallklammern oder durch andere Methoden erfolgen, je nach Maschinentyp.
6. Abschneiden des Bands: Das überschüssige Band wird abgeschnitten, um eine saubere und ordentliche Verpackung zu gewährleisten.

Eine Wickelmaschine wird verwendet, um Gegenstände wie Paletten oder Kabel mit einer Schutzfolie zu umwickeln. Diese kann ebenfalls entweder manuell oder automatisch betrieben werden. Die genaue Funktionsweise kann je nach Maschinentyp ebenfalls variieren, aber im Allgemeinen folgt der Prozess ähnlichen Schritten (www.grasshoff.de, 2023):

1. Vorbereitung: Der zu wickelnde Gegenstand wird auf die Maschine platziert und die Schutzfolie wird bereitgestellt.
2. Folienzufuhr: Die Schutzfolie wird von der Maschine abgerollt und in die richtige Position gebracht.
3. Umwicklung: Die Maschine dreht den Gegenstand langsam und gleichmässig, während die Schutzfolie um ihn herumgewickelt wird. Dies kann durch rotierende Walzen oder andere Mechanismen erfolgen.
4. Spannung und Stretching: In einigen Fällen wird die Schutzfolie während des Wickelns gespannt und gestreckt, um eine straffe und sichere Umwicklung zu gewährleisten.
5. Abschluss: Am Ende des Wickelvorgangs wird die Schutzfolie entweder manuell oder automatisch abgeschnitten und befestigt.

Die genaue Funktionsweise einer Umreifungsmaschine oder einer Wickelmaschine kann je nach Hersteller und Modell variieren. Es ist wichtig, die Anweisungen des Herstellers zu befolgen und die Maschine ordnungsgemäss zu bedienen, um eine sichere und effektive Umreifung zu gewährleisten.

Gleichzeitig oder zusätzlich zur Umreifung oder Wickelung ist auch der Schutz der Holzkanten explizit zu beachten. Gerade beim Verpacken von Paletten ist ein guter Kantenschutz ein wichtiges Mittel, um das Transportgut sicher und umfassend zu schützen.

3.4. Lagerung der Produkte

3.4.1. Grundlagen

Lagerhaltung

Unternehmen der Holzindustrie führen in der Regel ein Lager mit verschiedenen Halbfertig- oder Fertigprodukten. Die Gründe für die Führung eines Lagers liegen beim Wunsch nach hoher Lieferbereitschaft, da eine Vielzahl von Produkten verhältnismässig lange brauchen, bis sie dem Kundenwunsch entsprechend gefertigt werden können. Andererseits ist durch den Charakter der Holzproduktion eine Lagerbildung unvermeidbar. Die Produktion von Schnittholz im Sägewerk ist eine Koppelproduktion, d.h. bei der Produktion eines bestellten und verkauften Hauptproduktes für einen Kunden fallen immer Nebenprodukte an, welche nicht sofort verkauft werden können und gelagert werden müssen. Im Säge- und im Hobelwerk entsteht zudem durch die Sortierung nach kundenspezifischen Qualitätsklassen immer eine Teilmenge Ware verminderter Qualität (Sortierausschuss), welche ebenfalls zwischengelagert werden muss und für welche spezifische Absatzkanäle gefunden werden müssen.



QR-Code: YouTube Video: Lagerung mit automatischem Transport. (Quelle: OLWO AG)

An Lager liegende, unverkaufte Produkte binden Kapital und können unter Umständen die Liquidität eines Unternehmens stark einengen. Die Menge der Produkte an Lager darf somit nicht unkontrolliert anwachsen. Ein Lager muss geplant, geführt, unterhalten und bewirtschaftet werden. Die effektive Grösse und die Ausgestaltung des Lagers ist durch die Produkt-, Markt- und Kundenstrategie des jeweiligen Unternehmens bestimmt. Ein Unternehmen, welches ein grösseres Lager für Holzprodukte unterhält, muss sich darüber Gedanken machen, wo, mit welchem Qualitätsanspruch (Gebäude), mit welcher Technik und in welcher zeitlichen Abfolge es die verschiedenen Produkte ein- und auslagern möchte.

An Lager liegende Holzprodukte können durch mechanisch unsachgerechte Lagerung krumm werden oder Schäden erleiden (z.B. Druckstellen). Ungeplant ins Produkt eindringende Feuchte kann die Qualität beeinträchtigen oder sogar zu qualitätsverminderndem Pilzbefall führen. Zu starke Sonneneinstrahlung kann zu entwertender Rissebildung oder zu Holzverfärbungen führen. Alle diese möglichen Lagerschäden verringern den Wert des eingelagerten Holzprodukts und führen letztlich zu einem monetären Verlust für das Unternehmen. Es ist daher zwingend, je nach Qualität des einzulagernden Produkts die fachlich korrekte Lagerung und die entsprechenden Schutzmassnahmen bei der Einlagerung einzuhalten.



Abbildung 25: Der sorgfältige Umgang mit den Holzprodukten im Lager ist entscheidend. (Quelle: OLWO AG)

3.4.2. Lagermöglichkeiten und -techniken

Lagerqualität

Je nach Qualität und Verwendungszweck der Holzprodukte können diese wie folgt gelagert werden:

offen	frisches Schnittholz, kurz vor Verlad
unter Blech gedeckt	frisches und angetrocknetes Schnittholz
in Folie verpackt draussen	getrocknetes Schnittholz, HF <15%, Leimholz
in einer offenen Halle	Schnittholz lufttrocken (lutro), günstige Fertigprodukte, Aussenanwendung
in einer geschlossenen Halle	Schnittholz ofentrocken (otro), Fertigprodukte für den Bau
in einer klimatisierten Halle	Wertholz, Möbelbau, Innentäfer

Bei Lagerorten in der Nähe von feuchten Stellen (Flüsse, Seen) oder in Nebelgebieten sind geschlossene Hallen empfehlenswert. Starke, direkte Sonneneinstrahlung ist zu vermeiden. Der Lagerort ist massgeblich entscheidend für die Qualität der gelagerten Holzprodukte.

Lagertechnik für Paketlagerung

Blocklagerung

Die einfachste und günstigste Lagerung für Pakete ist die Blocklagerung und ein Umschlag der Waren mittels Frontstapler. Sie eignet sich bei Massenwaren und wenn auf demselben Lagerplatz identische und austauschbare Produktpakete lagern. Der Frontstapler bedingt aber viel Verkehrsfläche zum Abdrehen und bei einer Innenlagerung Hallen mit grösseren, freien Spannweiten.

Der Nachteil der Blocklagerung liegt darin, dass das zuerst eingelagerte Paket durch weitere Pakete überdeckt wird und somit oft lange am Lager bleibt. Ein gleichmässiger Lagerumschlag der Pakete ist bei Blocklagerung nur bei entsprechend aufwändiger Organisation gewährleistet.



Abbildung 26: Blocklagerung. (Quelle: deligno ag)

Gassennlagerung

Mit dem Aufkommen der Seitenstapler haben sich ab den 70er-Jahren Lager links und rechts entlang der Fahrgasse entwickelt. Speziell in den in der Schweiz oft üblichen Lagerhallen von geringer Spannweite war diese Lagertechnik gegenüber dem Blocklager vorteilhaft. Da die Pakete bis zu ca. fünf Meter Lagerhöhe übereinandergestapelt werden, müssen auch hier Paketstösse von einheitlichen Produkten gebildet werden. Ein Zugriff auf ein einzelnes untenliegendes Paket ist nur sehr aufwändig möglich. Paketstösse von ca. 1.20 m Breite und bis fünf Meter Lagerhöhe sind nicht ganz ungefährlich, da sie nicht sehr stabil sind.



Abbildung 27: Gassennlagerung. (Quelle: deligno ag)

Kragarmregal

In der Schweizer Holzindustrie haben sich ebenfalls nicht zuletzt wegen beengten Platzverhältnissen Lagersysteme mit Kragarmregalen und Seitenstaplerbedienung durchgesetzt. Das Kragarmsystem erlaubt eine in der Lagerhöhe paketweise Manipulation und Flexibilität bei den Lagerplätzen sowie beim Zugriff auf unterschiedliche Sortimente oder Längen, weist aber wegen den Kragarmen und der freien Hubhöhe eine geringere Lagerdichte auf als ein Blocklager. Dank der technischen Entwicklung der Seitenstapler mit Schubgabeln ab den 80er-Jahren können bei dieser Lagertechnik pro Fahrgangseite auch zwei Pakete hintereinander gelagert und bedient werden, was eine deutlich höhere Ausnutzung der Lagerkapazität pro m² Bodenfläche erlaubt.

Die übliche Lagerhöhe von Kragarmregalen bei Bedienung mit Seitenstaplern mit Pneubereifung beträgt ca. 6 m.

Für Lagerhöhen von bis zu zehn Meter werden Kragarmregale mit 4-Weg Seitenstaplerbedienung eingesetzt. Diese Fördermittel weisen wegen der Standsicherheit eine breitere Fahrgasse auf und bedingen eine Betonplatte, um die Stabilität und die Sicherheit des Warenumschsags in der Höhe zu gewährleisten. Für Bedienhöhen von über sechs Metern empfehlen sich opto-elektronische Hilfssysteme (Kamera und Laser)

Alle Lagerarten können sowohl im Freien als auch in der Halle aufgestellt werden. Das Kragarmregal hat den Vorteil, dass der Ständer bei entsprechender statischer Berechnung gleichzeitig als Stütze für ein Hallendach genutzt werden kann.



Abbildung 28: Kragarmregal (Quelle: OLWO AG)

3.4.3. Das Lagerinventar

Das Schweizer Obligationenrecht fordert in Artikel 958c Abs. 2 von rechnungspflichtigen Unternehmen, dass diese den Bestand der einzelnen Positionen in der Bilanz und im Anhang durch ein Inventar oder alternativ dazu auf andere Art nachweisen (www.mm-logistik.vogel.de, 2023). Aber nicht nur für diese Unternehmen ist ein Inventar wichtig. Eine genaue Aufzeichnung aller Waren und Produkte, die sich im Lager befinden, ermöglicht eine effiziente und zuverlässige Bedienung der Kundschaft, vermeidet Engpässe, Überbestände oder Verluste und lässt eine Optimierung der Lagerkosten zu (www.mm-logistik.vogel.de, 2023). Das Inventar wird in der Regel jeweils zum Abschluss des Geschäftsjahres Lager erhoben. Dazu werden klassischerweise alle Bestände gezählt, erfasst und bezüglich Warenwert bewertet.

Es gibt verschiedene Methoden, um den Bestand an Waren und Gegenständen zu erfassen. Hier sind einige gängige Methoden:

- **Physische Inventur:** Bei der physischen Inventur wird der tatsächliche Bestand im Lager von Hand gezählt und mit den Daten im Buchhaltungssystem abgeglichen. Diese Methode eignet sich für kleinere Unternehmen mit einem überschaubaren Bestand.
- **Stichprobeninventur:** Bei der Stichprobeninventur wird nur ein Teil des Bestands physisch gezählt, während der Rest auf Basis von Stichproben geschätzt wird. Diese Methode kann zeitsparend sein, ist aber weniger genau als die vollständige körperliche Inventur.
- **Buchinventur:** Bei der Buchinventur wird der Bestand anhand der Buchhaltungsunterlagen ermittelt. Dabei werden die Ein- und Ausgänge von Waren im Buchhaltungssystem verfolgt und der Bestand entsprechend aktualisiert. Diese Methode eignet sich vor allem für Unternehmen mit einem grossen Warenvolumen und einer gut gepflegten Buchhaltung.
- **Permanente Inventur:** Bei der permanenten Inventur wird der Bestand kontinuierlich über das Jahr hinweg erfasst und aktualisiert. Dabei werden regelmässig Bestandsaufnahmen durchgeführt, um den aktuellen Lagerbestand zu ermitteln. Diese Methode erfordert eine gut organisierte Lagerverwaltung und ein effizientes Inventursystem.

Zur Lagerinventur können verschiedene Hilfsmittel verwendet werden, um den Prozess effizienter und genauer zu gestalten. Gängige Hilfsmittel sind:

- **Barcode-Scanner** ermöglichen eine schnelle und genaue Erfassung von Warenbeständen. Jeder Artikel ist mit einem Barcode versehen, der gescannt wird, um den Bestand zu erfassen und mit den Daten im Lagerverwaltungssystem abzugleichen.
- **RFID (Radio-Frequency Identification)** ermöglicht die drahtlose Identifizierung und Verfolgung von Waren. Mit RFID-Tags können Waren automatisch erfasst werden, indem sie mit einem RFID-Lesegerät in der Nähe des Tags gehalten werden. Diese Technologie ermöglicht eine schnelle und effiziente Inventur.
- **Inventurwaagen** werden verwendet, um das Gewicht von Waren zu messen und den Bestand entsprechend zu aktualisieren. Diese Waagen können mit dem Lagerverwaltungssystem verbunden sein, um automatisch die Stückzahl basierend auf dem Gewicht zu berechnen.
- **Mobile Geräte** wie Tablets oder Smartphones können zur Erfassung von Bestandsdaten verwendet werden. Mit speziellen Apps können Mitarbeiter die Bestände direkt vor Ort erfassen und mit dem Lagerverwaltungssystem synchronisieren.

Die Wahl der Hilfsmittel hängt von den spezifischen Anforderungen und Ressourcen des Unternehmens ab. Es ist wichtig, die richtigen Hilfsmittel auszuwählen, um den Inventurprozess zu optimieren und genaue Bestandsdaten zu erhalten.

3.4.4. EDV-Systeme

Spezielle Inventursoftware kann den Inventurprozess vereinfachen und automatisieren. Software ermöglicht die Erfassung von Bestandsdaten, die Synchronisierung mit dem Lagerverwaltungssystem und die Generierung von Inventurberichten. Für eine zuverlässige Bestandesführung ist ein ERP-System (Enterprise Resource Planning), nicht mehr wegzudenken. Der Anspruch des heutigen Kunden ist es bei Anruf direkt zu erfahren, ob ein Artikel vorrätig und verfügbar ist. Die Kompetenz in der Auskunft und letztlich die rasche Lieferfähigkeit sind oft entscheidend, ob ein Auftrag abgeschlossen werden kann oder nicht. Zunehmend werden vom Kunden zudem elektronisch einsehbare Lagerbestände z.B. über einen Webshop erwartet.

Die gängigen ERP-Systeme, welche in den Unternehmen die Auftragsverwaltung ermöglichen, verfügen über eine integrierte Lagerverwaltung, welche die Bestandesführung ermöglicht. Diese wird pro Artikel geführt.

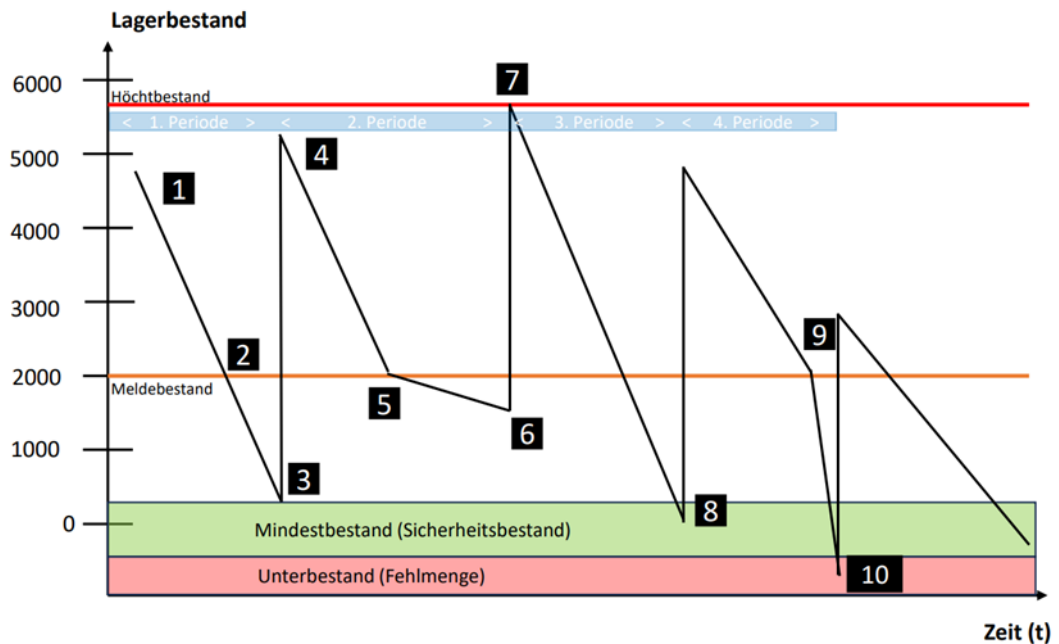
Ein Artikel ist ein eindeutig identifizierbares Produkt mit klaren physikalischen Eigenschaften wie Holzart, Qualität, Holzfeuchte, Breite, Dicke, Länge, Holzfeuchte, Oberflächencharakter. Jeder Artikel hat im Artikelstamm eine eigene Nummer. So sind Dachlatten Fi/Ta lufttrocken, kalibriert, 30x50 mm in vier oder in fünf Meter Länge EDV-technisch zwei verschiedene Artikel, welche individuell im Bestand geführt werden müssen.

Damit der Bestand stimmt, muss bei jedem Lagerprozessschritt die relevante Bestandesinformation festgehalten und an die bestandesführende Stelle weitergeleitet werden. Dies ist ein hoher Anspruch an die Lagermitarbeitenden bezüglich Qualität und Sorgfalt in den Prozessen.

Typen von Lagerbewirtschaftungssystemen

Bei einfachen Bestandesführungen wird der Wareneingang von Hand zugebucht und es gibt keine Informationen darüber, wo sich die Ware befindet. Bei Bestellungen mittels Rüstschein wird die Ware reserviert und beim Erstellen des Lieferscheins ausgebucht.

Moderne, Bestandesführungen verwalten pro Artikel Daten der Beschaffung wie Meldebestand (wann wird eine Bestellung ausgelöst), Mindestbestand (sollte nie unterschritten werden) und Beschaffungszeiten (Dauer ab Bestellung bis zur Lieferung), damit sie der Einkaufsabteilung nützliche Daten über die zu tätigen Bestellungen liefern und so den Einkaufsprozess optimieren und steuern.



Grafik 1: Die Grafik zeigt die Bestandesentwicklung. (Grafik: Sarina Widmer, 2023)

1	Während der 1. Periode des Bestandesverlaufs fällt die Kurve gleichmässig bis knapp über den Mindestbestand ab.
2	Sobald der Meldebestand von 2500 Stück erreicht ist, wird der Nachschub ausgelöst.
3	Während der Beschaffungszeit fällt der Bestand weiter und erreicht knapp den Mindestbestand.
4	Durch einen neuen Zugang steigt der Bestand. Der Höchstbestand wird jedoch nicht erreicht.
5	Der Verbrauch in den ersten zwei Tagen der 2. Periode vermindert den Bestand bis zum Meldebestand.
6	Der Verbrauch in den folgenden 2 Tagen ist deutlich schwächer. Beim Eintreffen der neuen Lieferung ist der Bestand um 1000 Stück höher als in der vorangegangenen Periode.
7	Die Lieferung lässt den Bestand hochschnellen. Der Höchstbestand wird erreicht.
8	In der 3. Periode nimmt der Verbrauch stark zu. Trotz rechtzeitiger Bestellung wird der Mindestbestand von 1000 Stück unterschritten. Dank der eisernen Reserve bleibt der Betrieb lieferfähig.
9	Während der 4. Periode ist der Verbrauch bis zum Erreichen des Meldebestandes «normal», nimmt danach aber stark zu. Die neue Bestellung ist bereits ausgelöst, der Lagerverwalter kann nicht mehr reagieren.
10	Der Bestand sinkt unter null, also in Unterbestand. Bis die neue Lieferung eintrifft, ist das Unternehmen nicht mehr lieferfähig.

Voll integrierte Systeme verfügen zusätzlich über ein Lagerverwaltungssystem (LVS), welches die Lagerplätze im Lager bis auf das den einzelnen Regalplatz verwaltet. Die Ware wird beim Einlagerungsprozess mit dem Lagerplatz «verheiratet». Der Lagermitarbeiter kriegt später mit den Rüstpapieren nebst dem Artikel und der

zu kommissionierenden Menge die Information, in welcher Regalgasse und auf welchen Lagerplatz sich die Ware befindet. Damit das funktioniert, muss beim Einlagern und beim Kommissionieren gleichzeitig der Lagerplatz zum Artikel eingescannt werden.

Voll integrierte Systeme sind heute in den grossen Holzindustrien und zunehmend im Holzwerkstoffhandel in Einsatz und bei der Verwendung von automatisierten Lagersystemen (Stapelung mit Automatikkränen oder Robotern, Regalbediengeräten, etc) zwingend erforderlich.

Die Technologie entwickelt sich in diesem Bereich sehr schnell weiter. Branchen wie die Grossverteiler im Konsumgütermarkt oder die Lager im Onlinehandel arbeiten schon lange mit diesen Techniken. Der Trend geht auch in den Betrieben der Holzindustrie in die Richtung, dass die Lagermitarbeitenden zunehmend durch IT-Systeme im Lager geführt werden und dass sie in erster Linie dafür verantwortlich sind, dass sie die korrekten Daten über Produkte, Mengen und Lagerorte fehlerfrei erfassen und weiterleiten.

3.5. Lagertechniken und Lagerprinzipien

3.5.1. Lagertechnik für Kommissionierung

Die kundenspezifische Kommissionierung ist der aufwändigste Prozess in der Lagerbewirtschaftung. Diese erfolgt heute immer noch mehrheitlich mittels Handarbeit. Oft müssen zwei Lagermitarbeitende eingesetzt werden, was rasch zu hohen Personalkosten und zu Kapazitätsengpässen im Lager führen kann. Eine gründliche Analyse der Prozesskosten und eine Abschätzung der Vor- und Nachteile der verschiedenen Lösungsansätze lohnt sich in jedem Fall. Oft sind die vordergründig höheren Investitionskosten rasch durch Effizienzgewinne wettgemacht.

Für die Kommissionierung gelten grundsätzlich zwei grundsätzliche Prinzipien: Person zu Ware und Ware zu Person

Person zu Ware – a) Seitenstapler

Bei diesem System geht die Kommissionierperson zum Lagerplatz, entnimmt die gewünschte Menge auf sein Fördergerät und fährt anschliessend zum Zwischenlager. Dieses System ist in der Praxis das naheliegendste und kann ohne grossen Aufwand umgesetzt werden. Es eignet sich vor allem für kleinere Mengen und bedingt ein Fördergerät (Stapler) pro Mitarbeitenden. Ohne Spezial-Kommissioniergerät müssen Pakete oberhalb Personenhöhe mit dem Stapler auf einen freien Kommissionierplatz gefördert und nach der Kommissionierung wieder auf das Regal befördert werden. Während des Kommissioniervorgangs bleibt der Bediengang belegt.



Abbildung 29: Kommissionierung von Waren. (Quelle: deligno ag)

Person zu Ware – b) Kommissioniergeräte

Kommissioniergeräte sind Spezialförderer, welche explizit für die Kommissionierung in einem grösseren Regalsystem gebaut werden. Ein Bediener kann das Gerät absturzsicher auf einer Plattform am Hubmast im Regalgang bedienen und gelangt direkt zum Lagerplatz. Der Kommissioniervorgang erfolgt auf jeder Regalhöhe direkt auf die Plattform des Geräts. Die fertige Kommission wird anschliessend auf einem zentralen Regal deponiert und ein nächster Prozess beginnt. Die Geräte werden im Gang durch Hilffsysteme geführt (Induktionsschleifen, Laser). Kommissioniergeräte sind deutlich teurer als klassische Stapler, weisen aber eine höhere Effizienz aus und lohnen sich bei grösseren Lagerbereichen mit Produkten ähnlicher Geometrien.



Abbildung 30: Kommissionierungsgerät. (Quelle: OLWO AG)

Ware zu Person

Bei diesem Kommissioniersystem wird das Lagerpaket auf einen in der Regel zentral ausserhalb der Lagerzone liegenden definierten Kommissionierplatz gebracht, und dort von einem anderen Lagerteam kommissioniert, während das Fördergerät ein vorheriges Restpaket ins Lager zurückbringt und ein nächstes Paket holt. Bei diesem System kann eine Arbeitsteilung in Fördern und Kommissionieren erfolgen und das Fördergerät wird besser ausgelastet. Der Kommissionierplatz hat mindestens zwei Plätze und kann mit Hilfsmitteln (Krane, Vakuumheber, Bindvorrichtung, etc.) ausgerüstet werden, um eine rasche, effiziente und gesundheitsschonende Arbeit zu ermöglichen.

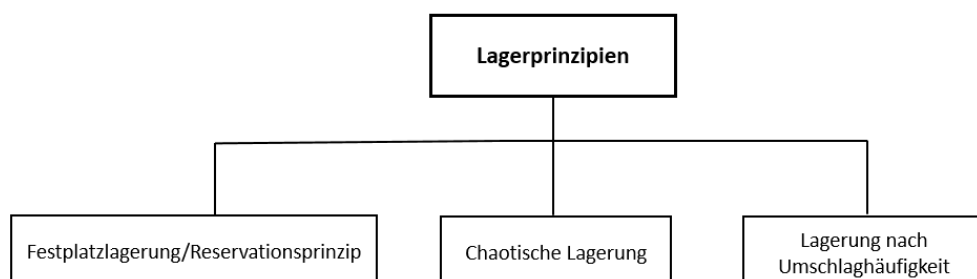
In der Praxis gibt es oft einen Mix zwischen den Grundprinzipien, je nach Produkt eignet sich die eine oder andere Variante besser.

Nebst der Kommissioniertechnik muss die Lagerperson vor allem die Qualitätskriterien für das zu kommissionierende Produkt kennen. Als Basis gelten die Handelsgebräuche für die Schweiz. Der Kommissioniserprozess ist eine zusätzliche, wichtige Kontrolle, ob die gerüstete Ware auch der geforderten Qualität entspricht. Damit kann der Betrieb sicherstellen, dass allfällige vorherige Sortierfehler oder ein nicht beachteter Produktmangel als Folge der üblichen Stichprobe beim Wareneingang vor Auslieferung eliminiert werden können. Beim Rüstprozess ist zudem wichtig, dass die korrekte Stückzahl gerüstet wird und die entsprechend korrekten Daten ins Lagerbewirtschaftungssystem gemeldet werden. Falsch Stückzahlen beim Rüsten sind oft ein Hauptgrund für nicht korrekte Lagerbestände. Es empfiehlt sich, zweimal zu zählen.

Wenn beim Rüstprozess Qualitätsabweichungen zu den Handelsgebräuchen festgestellt werden, muss das Paket sofort in Bestand gesperrt werden, bis zusammen mit dem Vorgesetzten eine Entscheidung gefällt wird, welche Massnahmen zu ergreifen sind. Auf solche gesperrte Ware kann bis zur Freigabe nicht mehr zugegriffen werden.

3.5.2. Lagerprinzipien

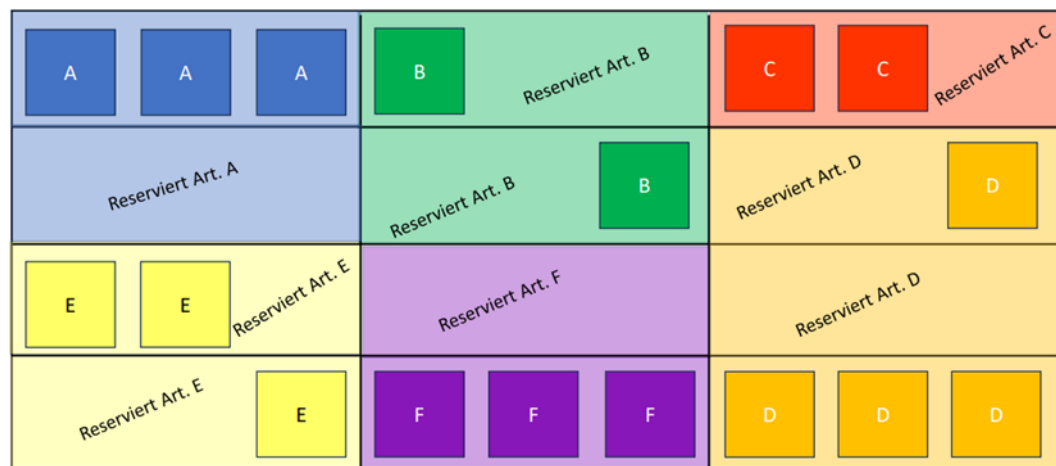
Es existieren in der Praxis verschiedene Prinzipien, nach welchen das Lager betrieben wird. Im Nachfolgenden werden die Gebräuchlichsten Prinzipien in der Holzbranche kurz umschrieben.



Festplatzlagerung/Reservationsprinzip

Bei der Festplatzlagerung wird einem bestimmten Artikel ein fixer Lagerplatz zugeordnet. Die Anzahl der einzulagernden Pakete pro Artikel ergibt die Grösse des Lagers. Wenn ein Lagerplatz leer wird, bleibt der Lagerplatz reserviert, bis das Nachschubpaket produziert oder geliefert wird. Dieses System wird angewendet bei einfachen Lagern ohne Unterstützung durch ein EDV-System.

Der Vorteil dieser Lagerung ist die einfache Organisation und die rasche Orientierung über den Lagerbestand. Der Nachteil ist, dass bei tiefem oder stark schwankendem Lagerbestand mehrere Lagerplätze leer bleiben und nicht für andere Produkte verwendet werden können. Das Lagervolumen wird im Durchschnitt schlecht ausgenutzt. Die Gesamtgrösse des Lagers orientiert sich am maximalen Soll-Lagerbestand. Die Festplatzlagerung funktioniert sowohl bei Blocklagern als auch bei Kragarmregalen.



Grafik 2: Die Grafik zeigt das Festplatz-/Reservationsprinzip. Die Quadrate sind die verschiedenen Produkte.
(Grafik: Sarina Widmer, 2023)

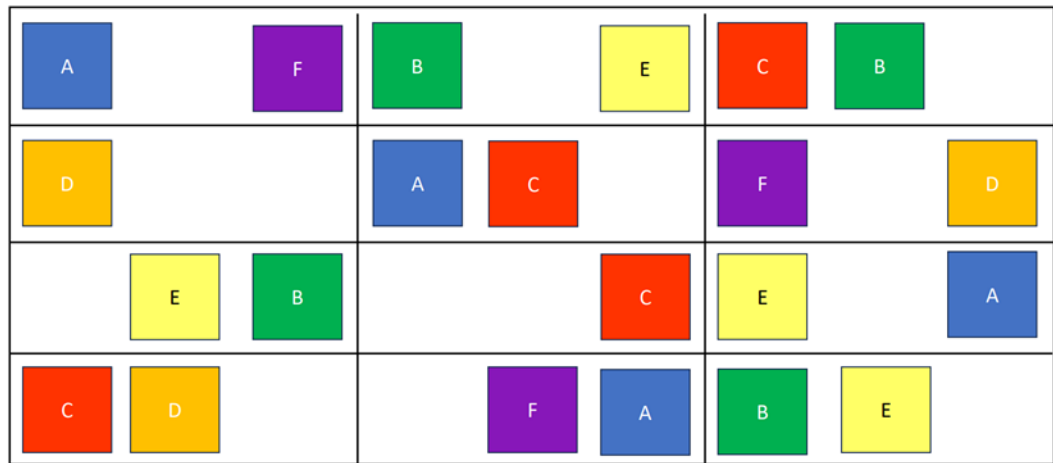
Chaotische Lagerung

Bei der chaotischen Lagerhaltung lagert ein Unternehmen seine Produkte **an allen freien Lagerflächen, die zur Verfügung stehen**. Es gibt keine festen Lagerplätze. Dabei ist es nicht entscheidend, zu welchem Zeitpunkt die Produkte in das Lager kommen, welchen Wert sie besitzen und ob Verfallsdaten eine Rolle spielen. Der Vorteil des chaotischen Lagers ist die Flexibilität bei der Einlagerung und eine durchschnittlich höhere Lagerausnutzung, da die vorhandenen Lücken ausgenutzt werden können. Der Nachteil ist die Unübersichtlichkeit.

Eine geplante chaotische Lagerung bedingt im Normalfall ein EDV-System, um rationelle Lagerprozesse zu gewährleisten. Wichtig ist dabei, dass die gewählten freien Lagerplätze notiert werden und mit dem Produkt zusammen im EDV-System gespeichert werden. So können die Produkte im Fall der Auslieferung rasch wiedergefunden werden. Produkte und Lagerplätze werden üblicherweise mit Barcodes ausgestattet und können so beide gescannt und verbunden werden.

Nachteil: Eine ungeplante chaotische Lagerung ist nicht rationell zu bewirtschaften und eine schlechte Visitenkarte für ein Unternehmen. Sie verursacht hohen internen Aufwand beim Rüstprozess, da der Suchaufwand ohne Hilfsmittel enorm ist.

In der Regel werden für grössere chaotische Lagersysteme Hochregalsysteme mit den entsprechenden teilautomatisierten Fördermitteln verwendet.



Grafik 3: Die Grafik zeigt die Chaotische Lagerung. Die Quadrate sind die Produkte. (Grafik: Sarina Widmer, 2023)

Lagerung nach Umschlagshäufigkeit

Der Lagerumschlag bezeichnet die Häufigkeit, mit der die Waren im Lager ausgetauscht werden. Diese Kennzahl ist von entscheidender Bedeutung beim Lagermanagement. Als Lagerumschlag wird folgende Kennzahl ermittelt:

$$\text{Lagerumschlag (LUG)} = \frac{\text{Wareneinsatz (Verbrauch pro Periode)}}{\text{durchschnittlicher Lagerbestand}}$$

Beispiel: Verkauf Dachlatten 5 Meter lang pro Jahr: 300 m³

Durchschnittlicher Lagerbestand: 40 m³ (ca. 10 Pakete)

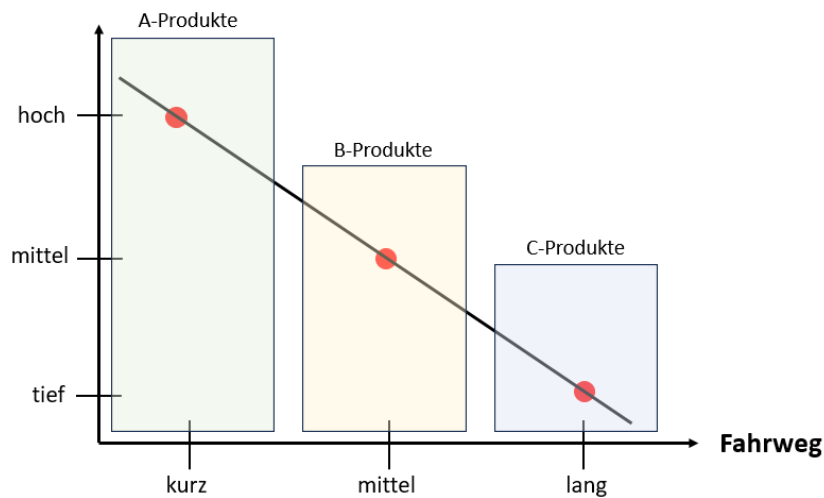
$$\text{Lagerumschlag} = 300 : 40 = 7.5$$

Bei Standardware ist ein Lagerumschlag in der Holzbranche von > 6 anzustreben.

Aus betriebswirtschaftlichen Gründen empfiehlt es sich, die Artikel mit dem höchsten Lagerumschlag (die so genannten A-Produkte) im Lager so zu platzieren, dass sie mit den kürzesten Fahrwegen und Prozesszeiten manipuliert werden können.

Diejenigen Artikel mit der tiefsten Lagerumschlaghäufigkeit sollten am weitesten entfernt eingelagert werden.

Lagerumschlag



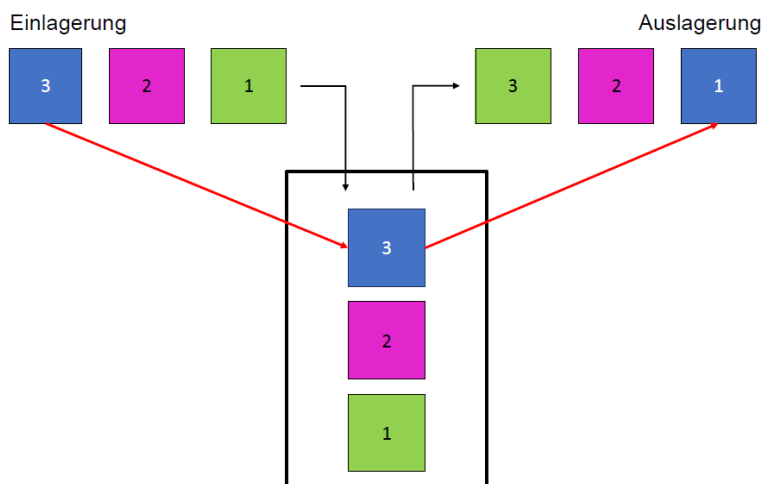
Grafik 4: Produkte mit einem hohen Lagerumschlag sollten aus Effizienzgründen in kurzer Zeit mit dem Stapler erreichbar sein. (Quelle: Sarina Widmer, 2023)

Mit einer guten Artikelverkaufsstatisik können die verschiedenen Produkte in Bezug auf ihre Umschlagshäufigkeit periodisch nachgerechnet werden. Wenn Produkte deutlich unter LUG 6 fallen, empfiehlt es sich, deren Lagermengen zu reduzieren oder sich die Frage zu stellen, ob der Artikel überhaupt lagergeführt werden soll. Die meisten professionellen Lager werden nach Bereichen für sogenannte A-, B- und C-Artikel organisiert.

3.5.3. Bewirtschaftungsprinzipien

Last In – First Out (LiFo)

Bei einem standardmässigen Ablauf ohne vorherige Planung kommt es meist automatisch zum LiFo-Prinzip, da neue Waren aufgestapelt oder vorne ins Regal oder vor den Stapel gelagert werden. Diese Produkte werden bei Bedarf zuerst wieder entnommen.

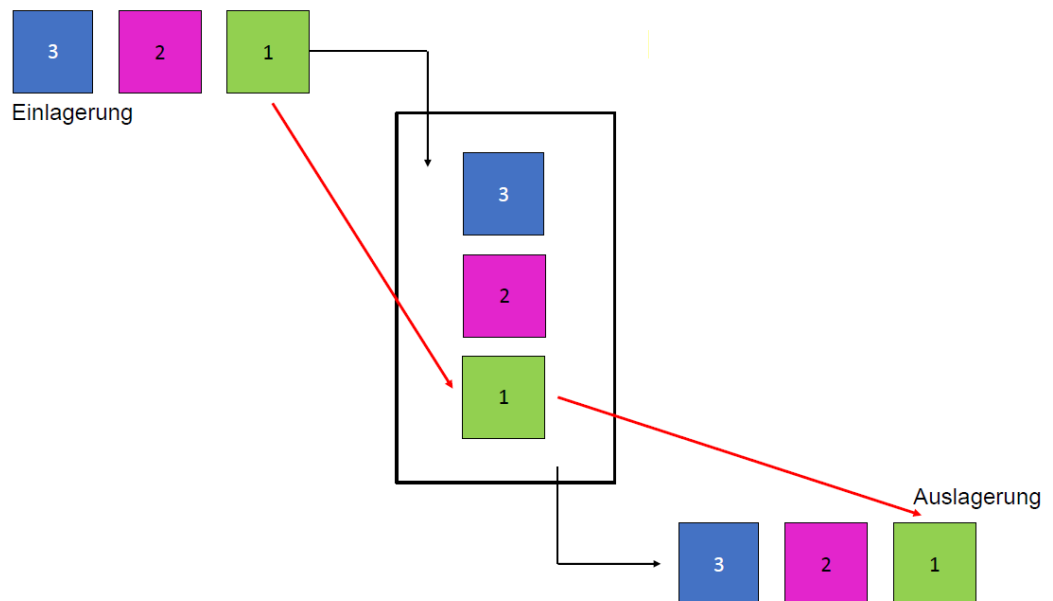


Grafik 5: Die Zahlen zeigen die Reihenfolge der Einlagerung von Waren nach dem LiFo-Prinzip. (Grafik: Sarina Widmer, 2023)

Nachteilig beim LiFo Verfahren ist, dass das älteste Produkt zuhinterst im Lager sich nicht dreht und droht zum Ladenhüter zu werden.

First In – First Out (FiFo)

Bei diesem Prinzip wird durch Organisation sichergestellt, dass das am längsten eingelagerte Produkt als Erstes wieder aus dem Lager ausgelagert wird. Dieses Verfahren ist für Produkte mit Ablaufdatum zwingend (z.B. Lebensmittel, chemische Stoffe, Farben, etc). In der Holzindustrie ist das FiFo-System anzustreben, da sich ein Holzprodukt mit zunehmender Lagerdauer durch UV-Strahlung farblich verändern (es «schießt ab») oder bei unsachgemäßer Lagerung zunehmende Feuchte aufnehmen kann. Damit FiFo funktioniert, muss das Einlagerungsdatum am Paket festgehalten oder in einem EDV-System verwaltet werden.



Grafik 6: Die Zahlen zeigen die Reihenfolge der Einlagerung von Waren nach dem FiFo-Prinzip.
(Grafik: Sarina Widmer, 2023)



Abbildung 31: Durchschubregal (Quelle: OLWO AG)

FiFo kann im Kragarmregal oder mit einem Durchschubregal mechanisch gewährleistet werden. Als Durchschubregal wird ein Regalsystem bezeichnet, welches von der einen Seite beladen und von der anderen Seite entladen wird. Die Anzahl Pakete auf der Lagerebene ist gegeben durch die Tiefe des Regals. Die Lagerpakete sind oft auf leicht geneigten Rollenschienen mit mechanischer Arretierung gelagert, um den Durchschub zu erleichtern. Das System ist häufig bei Waren auf Ladungsträgern (Paletten, Behälter) im Einsatz.

3.6. Abholung und Auslieferung

3.6.1. Prozesse der Übergabe von Waren

Es kann zwischen den folgenden Warenübergaben unterschieden werden:

- Spontane Abholung durch den Kunden im Werk
- Vorbestellung und Abholung im Werk
- Lieferung zum Kunden (oder auf Baustellen)

Die spontane Abholung ist von allen Warenübergaben die unwirtschaftlichste, da sie sich nicht planen lässt und die Lagermitarbeitenden ihren laufenden Arbeitsprozess unterbrechen müssen, um den Kunden bedienen zu können. Die Betriebe der Holzindustrie sind nicht auf Self-Service eingerichtet wie ein Do-It Baumarkt. Obwohl es gegenüber dem Kunden eine sehr kundenfreundliche Variante ist, sollte sie aus betriebswirtschaftlichen Gründen möglichst reduziert werden, ausser der Betrieb organisiert eine spezielle Equipe für den Abholkunden.

Die Vorbestellung und Abholung im Werk kann sehr interessant sein, wenn man dieses Prinzip professionell organisiert. Professionell heisst: klare Frist für das Vorrüsten, klarer Bereich für die Abholung und Lagerregale für die vorkommissionierte Ware, damit der Verlad sehr schnell geht. Für das Unternehmen entstehen keine Kosten für den Transport und bei entsprechender Vorrüstfrist kann der Prozess gut ins Tagesgeschehen eingeplant werden.

Die Lieferung zum Kunden ist aufwändig und verursacht Zusatzkosten für Fahrzeuge und die Planung der Fracht. Daher sollten Lieferungen möglichst nicht franko erfolgen, sondern zumindest teilweise bezahlt sein. Der Vorteil bei Lieferung sind die Zeitverhältnisse. Ein Transport kann terminlich so geplant werden, dass er optimal zu den anderen Betriebsprozessen passt.

Bei allen Arten der Warenübergabe ist es erforderlich, dass die Ware bei Bereitstellung kontrolliert wird, dass sie für den bevorstehenden Transport korrekt verpackt ist, dass die Lieferpariere korrekt ausgefüllt und vollständig sind und der Empfänger mittels Unterschrift die Übernahme oder den Empfang der Ware bestätigt. Die Unterschrift des Kunden ist ein wichtiges Nachweisdokument im Falle einer Reklamation.

Bezüglich der rechtlichen Bestimmungen im Handel mit Holz und Holzwerkstoffen verweisen wir auf die Handelsgebräuche für die Schweiz, Kapitel 6.

3.7. Übergang von Nutzen und Gefahr

Im Schweizer Recht wird der Übergang von Nutzen und Gefahr beim Erwerb von Waren durch die Bestimmungen des Schweizerischen Obligationenrechts (OR) geregelt (Heinzelmann, 2022). Gemäss Artikel 185 OR geht die Gefahr des zufälligen Untergangs und der zufälligen Verschlechterung einer Sache grundsätzlich mit der Übergabe auf den Käufer über. Beim Distanzkauf – also, wenn eine Ware ausgeliefert oder versendet werden muss – trägt der Käufer das Risiko, wenn die Sache während des Transports oder der Lagerung beschädigt wird oder verloren geht. Der Übergang des Nutzens erfolgt in der Regel gleichzeitig mit der Übergabe. Das bedeutet, dass der Käufer ab diesem Zeitpunkt das Recht hat, die Sache zu nutzen und über sie zu verfügen.

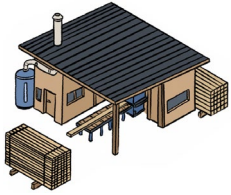
Es ist jedoch möglich, dass die Parteien eines Vertrags abweichende Regelungen treffen. In Verträgen über den Kauf von Holzprodukten können beispielsweise spezifische Vereinbarungen getroffen werden, die den Übergang von Nutzen und Gefahr regeln. Diese können beispielsweise den Zeitpunkt der Übergabe, die Verantwortlichkeiten für den Transport oder die Lagerung sowie die Haftung im Falle von Schäden festlegen.

3.8. Massnahmen zur Optimierung

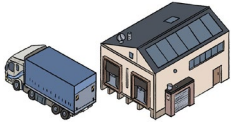
In Bezug auf die Optimierung des Lagerprozesses sind die folgenden Faktoren wesentlich:

- Sicherstellung einer korrekten werthaltenden Lagerung, um Lagerschäden oder Entwertung des Lagers durch klimatische Faktoren zu vermeiden.
- Kontrolle und Überwachung der Lagerbestände und der Umschlagshäufigkeiten mit dem Ziel unnötige Kapitalbindung zu vermeiden, und Alterungsschäden zu vermeiden
- Überwachung der Anordnung im Lager gemäss A-, B-, C-Artikel
- Überwachung der Markt- und Inventarpreise und entsprechende Reaktion, um finanzielle Lagerverluste zu minimieren (Abverkauf bei Preiszerfall, Lageraufbau bei steigender Preistendenz)
- Anpassung der Lagerinfrastruktur im Zuge der technischen Entwicklung von Fördermitteln und IT-Systemen
- Optimierung der Fahrwege im Lager
- Einsatz von Elektrofördermitteln

4. Oberflächenbehandlung



Hobelwerk



Handel

HK d3: Oberflächen der gefertigten Produkte behandeln

Holz ist ein natürlicher Baustoff – entsprechend verändern sich unbehandelte Holzoberflächen mit der Zeit. Um die Produkte von äusseren Einflüssen zu schützen, aber auch um deren Wertigkeit zu erhöhen, können Oberflächenbehandlungen durchgeführt werden.

Dabei ist genau auf die richtige Vorbereitung der Holzprodukte sowie die Wahl der richtigen Applikationsmittel und -verfahren zu achten.



Abbildung 32: Händische Oberflächenbehandlung (Quelle: Mivelaz Bois SA)

Praxisaufträge im Betrieb

Produktionsstufe 2:

- Industrielle Beschichtungsanlagen, Nebenmaschinen bedienen (1. LJ, 2. LJ)
- Qualität der Anstrichstoffe messen, kontrollieren und Messungen gemäss Qualitätsanforderung durchführen, dokumentieren, Rückstellmuster herstellen (2. LJ, 3. LJ)
- Restmengen und Gebinde entsorgen (1. LJ)

Überbetrieblicher Kurs 6

- Holzoberflächen beurteilen
- Anstrichstoffe lagern und entsorgen

Berufliche Situationen

- Sie rüsten Ware, die von einem externen Partnerunternehmen oberflächenbehandelt werden soll.
- Sie überblicken den Prozess der Oberflächenbehandlung von Holzprodukten.
- Sie führen nach der Oberflächenbehandlung durch ein Partnerunternehmen die Eingangskontrolle durch.
- Sie beraten einen Kunden zur Oberflächenbehandlung.

Lernziele

- Sie erläutern den Nutzen und die Systeme für Oberflächenbehandlung von Bretter/Hobelwaren aus Nadelholz: wässrig, lösemittelhaltig, ölbauiert.
- Sie beschreiben Anstrich- und Imprägniersysteme für den Schutz vor Holzfeuchte und Schadorganismen, die Grundierung, den UV-Schutz und für Architekturwünsche (Eignung, Vor- und Nachteile).
- Sie erläutern die Haptik, Anwendung, Aufnahmefähigkeit, Verbrauchsmenge von Anstrichstoffe sowie deren Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt (Imprägnierungen, Lasuren, Lacke, Öle).
- Sie erklären exemplarisch ein technisches Datenblatt in Bezug auf Lagerung, Entsorgung und gesetzliche Vorgaben.
- Sie erläutern die Anwendung der SUVA-Checklisten «gesundheitsgefährdende Stoffe» sowie «gefährliche Stoffe».
- Sie erkennen den Standard-Aufbau einer Beschichtung/Oberflächenbehandlung und können diesen beschreiben.
- Sie unterscheiden den Einsatz von Applikationsverfahren: Pinsel, Rollen, Walzen, Tauchen (manuell); industrielle Verfahren: Druckimprägnierung, Bürsten und Walzen-Anlagen, Vakuumat, Flutverfahren.
- Sie unterscheiden die Verfahren bei nassem und trockenem Imprägnieren und Top Coat.
- Sie beschreiben den Holzschutz gemäss Einsatzort und Bauteile – Nutzungsklasse: vollbewittert/geschützt.

4.1. Grundlagen der Oberflächenbehandlung von Holz

«Vieles ist machbar, aber nicht alles ist sinnvoll»

Lignum Compact: Fassadenbekleidungen aus Holz–Oberfläche

Beschichtungsstoffe, Lacke und Farben haben in der Menschheitsgeschichte eine lange Tradition. Schon vor zehntausenden Jahren haben Menschen Farben und Lacke verwendet. Bekannt sind die Höhlenmalereien in Lascaux und Altamira, die Verwendung von Kalkfarbe an Gebäuden, Bitumen oder Naturharzlacke für Boote und Gebrauchsgegenstände. Vor rund 2000 Jahren entwickelten die Japaner und Chinesen schwarze Hochglanzlacke aus dem Saft der Lackbäume (Schellack). Ab dem Jahr 1100 entstanden erste Rezepturen und Produkte für Ölfarben. Die ersten Lacksiedereien gingen in Europa in Betrieb. 1680 wurde die Lackverkochung entdeckt und ab 1800 entstanden die ersten Lackfabriken und die ersten künstlichen Rohstoffe. Vor knapp hundert Jahren entstand schliesslich die moderne Lack- und Farbenchemie. Heute werden weltweit jährlich ca. 45 Millionen Tonnen Beschichtungsstoffe produziert.

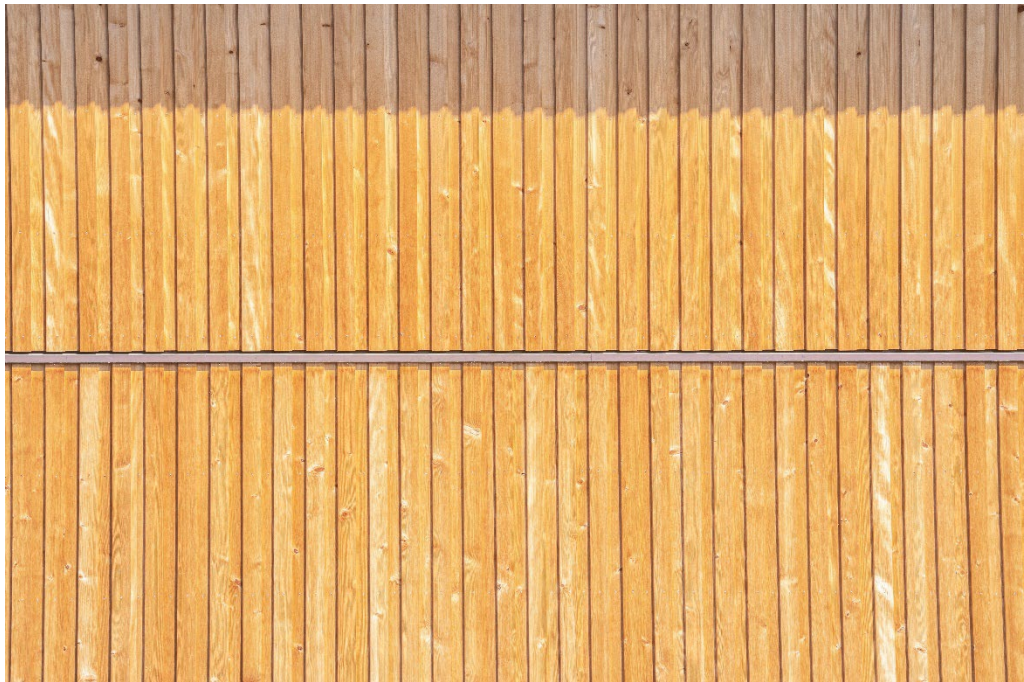


Abbildung 33: Eine korrekte Oberflächenbehandlung ist zentral für eine längerfristig schöne Holzfassade.
(Quelle: Ruedersäge AG)

Gerade wenn Holz verbaut wird, gilt es zwingend immer auch den Holzschutz zu berücksichtigen. Das Material soll langfristig seinen Zweck erfüllen. Ohne wirksamen Schutz können Holzoberflächen kaputt gehen oder verwittern, an Glanz verlieren und aufwendige Holzkonstruktionen an Halt.

Holz wird im Aussenbereich grundsätzlich durch folgende Massnahmen geschützt:

- Konstruktiver Holzschutz (z.B. hinterlüftete Fassaden)
- Chemischer Holzschutz (z.B. chemische Mittel gegen Schädlinge)
- Physikalischer Holzschutz (z.B. Oberflächenbehandlungen)

Die Oberflächenbehandlung kennt dabei zahlreiche Aufgaben:

- Dekoriert und gestaltet die Oberfläche (Farbton, Glanzgrad, Signalisierung)
- Schützt vor Feuchtigkeit (Quellen, Schwinden und Verrotten)
- Vermindert Einflüsse durch Licht und Wärme, wie Temperaturwechsel, Rissbildung, Vergrauung, Vergilbung, Verziehen, Krümmung
- Schützt vor Befall durch Algen, Pilze und Insekten
- Verhindert die Migration von Holzinhaltsstoffen
- Schützt vor mechanischen und chemischen Einwirkungen

Die Erfüllung dieser Aufgaben hängt wiederum von vielen Faktoren ab, so von der verwendeten Holzart, deren Eigenschaften und Brettoberflächen, von den gewählten Oberflächenbehandlungssystemen, von der Verarbeitung der Oberflächenbehandlung, der Montageart sowie der Pflege und dem Unterhalt.

Im **Aussenbereich** ist das Holz einer Vielzahl von Einflüssen ausgesetzt, die mit richtig abgestimmten Oberflächensystemen beherrschbar sind. Diese Oberflächenbehandlungen gilt es richtig auszuwählen und anzuwenden.

Die Haltbarkeit des Holzes ist neben der Beschichtung auch abhängig von der Intensität der Wetterbelastung. Die Wetterbeanspruchung des Holzes an der Nordostseite eines Gebäudes gilt als relativ schwach, während Holz an der Südwestseite einer starken Belastung ausgesetzt ist. Im Gegensatz hierzu ist die Gefahr mikrobiellen Bewuchses an Nordseiten und generell in verschatteten Bereichen höher, als an stärker sonnenbeschienenen Seiten.

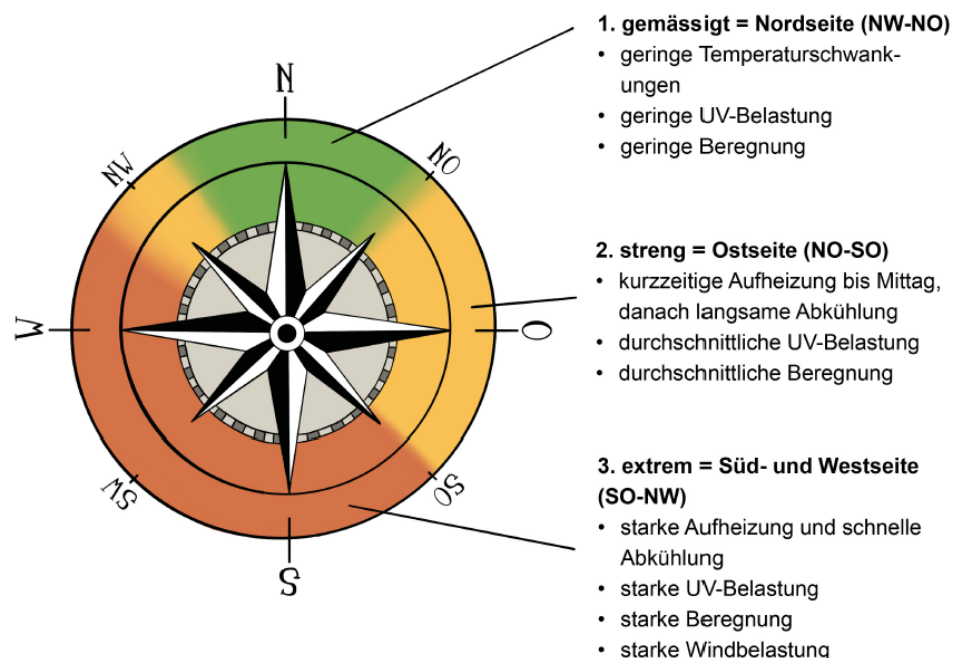


Abbildung 34: Klimabedingungen sind für die Auswahl des richtigen Beschichtungssystems von grosser Bedeutung. (Quelle: HIS)

Nach der Norm DIN EN 927 gelten die Klimabedingungen (Mikro- und Makroklima) und die konstruktive Ausführung der Holzbauteile als massgeblich für die Beanspruchung der Beschichtung. In Anlehnung an DIN EN 927–1 wird zwischen den drei Klimabedingungen «gemässigt», «streng» und «extrem» unterschieden, die sich aus den Expositionsrichtungen ergeben (Oeggerli, 2023).

Im **Innenbereich** steht der dekorative Aspekt der Oberflächenbehandlung im Vordergrund. Innentäfer oder Holzwerkstoffplatten können aufgewertet werden. Funktionelle Oberflächenbehandlungen können zudem die Holzvergilbung verzögern oder verhindern. Parkett und Möbel werden durch Oberflächenbeschichtungen gegenüber mechanischen und chemischen Einflüssen geschützt, gleichzeitig kommt auch der dekorative Nutzen zum Tragen.

Holz im Innenbereich ist vor Witterungseinflüssen geschützt, deshalb können Oberflächenbeschichtungen eingesetzt werden, die z.B. im Aussenbereich nicht angewendet werden können. Insbesondere in Nassbereichen (Badezimmer) müssen geeignete Produkte ausgewählt werden.

Ob im Innen- oder Aussenbereich: Es ist von grosser Bedeutung, dass alle Beteiligten der Holzindustrie und Architektur über das notwendige Fachwissen verfügen, um die Bauherren optimal zu beraten.

Holz verändert sich



Abbildung 35: Holz in der Aussenanwendung ist vielen Umwelteinflüssen ausgesetzt und kann entsprechend Schaden nehmen. (Quelle: Kälin & Co. AG)

Holz kann grundsätzlich ohne Oberflächenbehandlung eingesetzt werden. Man muss aber die Eigenschaften und das Verhalten des Baustoffs kennen, wenn Holz eingesetzt wird.

Im Innenbereich verändert sich insbesondere bei Nadelhölzern die ursprüngliche Holzfarbe, sie werden gelblich bis schlussendlich bräunlich. Möbel und Fussböden ohne Oberflächenschutz sind empfindlich gegenüber Feuchtigkeit, Schmutz und mechanischen Einwirkungen. Im Innenausbau verwendete Täfer oder Holzwerkstoffe werden durch Oberflächenbehandlungen geschützt und erhalten dekorative Oberflächen. Heute sind sogar funktionelle Oberflächenbehandlungen möglich. Gemäss VSH (Verband Schweizerischer Hobelwerke) werden über 70% der Innentäfer mit einer Oberflächenbehandlung ausgeliefert.

Im Ausseneinsatz kann ungeschütztes Holz – der Witterung ausgesetzt und ohne Oberflächenbehandlung – die Farbe und Oberflächenstruktur rasch verändern. Die natürliche Farbe wandelt sich unabhängig von der Holzart. Der ärgste «Feind» für das Holz ist eine dauerhafte Durchfeuchtung. Diese führt Fäulnis und damit die Holzerstörung nach sich. In der Regel wird aber bei korrekter Konstruktion die

Funktionstüchtigkeit nicht gefährdet und es kommt lediglich zu einer ästhetischen Veränderung der Oberfläche.

Unbehandeltes Holz im Aussenbereich unterliegt einem Veränderungsprozess:

- UV-Strahlung führt zu Ligninabbau und Braunfärbung.
- Feuchtigkeit und Niederschläge waschen die Lignin Abbauprodukte aus dem Holz. Es verbleiben weissliche Zellulosefasern.
- Verschmutzungen und Mikroorganismen verfärben die Holzoberfläche.
- Wespenfrass führt zu einer optischen Beeinträchtigung.
- Mechanische Einwirkungen wie Hagelschlag schädigen die Oberfläche.
- Wechselbeanspruchungen durch Feuchte und Trocknung führen zur Rissbildung.
- Bewitterung führt nach Jahren zu einer Oberflächenerosion

Viele Architekten und Bauherren stören sich an Unregelmässigkeiten bei der oberflächlichen Veränderung von unbehandelten Holzfassaden. Deshalb werden heute gemäss dem VSH über 60% der Holzfassaden mit Oberflächenbehandlungen versehen, um optische Veränderungen auszugleichen. Was für das unbehandelte Holz gilt, ist indes auch für die Oberflächenbehandlungen zu beachten. Auch sie unterliegen den Verwitterungsprozessen und müssen deshalb regelmässig kontrolliert und gepflegt werden. Wartungsanstriche erhöhen die Lebensdauer einer Holzfassade. Wenn Holzfassaden durch Verwitterungsprozesse stark in Mitleidenchaft gezogen worden sind, kann die Instandstellung durch geeignete Renovierungsanstriche erfolgen.

Die zielgerichtete Oberflächenbehandlung von Holz und Holzwerkstoffen ist eine zukunftsorientierte Technologie.



QR-Code: Zusatzinformationen zu den Gefährdungsklassen für den chemischen Holzschutz.

4.2. Produkte zur Oberflächenbehandlung

Nur ein Spezialist kann das heutige Angebot an Behandlungen und Beschichtungssystemen für Holzoberflächen überblicken. Beschichtungen können zahlreichen Klassierungssystemen zugeordnet werden. Mancher Fachmann bevorzugt die Einteilung nach Bindemittel (siehe Kapitel 1.2.2), andere wählen nach Farbpigmentierung oder Filmbildung aus. Dann gibt es Behandlungen wie Hydrophobierungen, Imprägnierungen, physikalisch oder chemisch wirksame Vorvergrauungen, Beizen und Holzsättiger (Vertiefung in Kapitel 1.3.).

Es bestehen zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten von Einschichtsystemen bis hin zu Mehrschichtsystemen. Dazu sind alle Anwender angehalten auch die Nachhaltigkeit des ausgewählten Beschichtungssystems zu berücksichtigen.

4.2.1. Beschichtungsstoffe

Farben, Lacke und Anstrichstoffe werden gemäss der Norm DIN EN ISO 4618 und nach der ergänzenden DIN 55 945 unter dem Begriff **Beschichtungsstoffe** zusammengefasst. Dies sind **flüssige**, **pastöse** oder auch **pulverförmige** Stoffgemische (Zubereitungen) die z.B. durch Spritzen, Streichen, Rollen, Giessen, Fluten oder Tauchen auf den Holzuntergrund aufgetragen werden (Kapitel 1.5.3). Durch die anschliessende Trocknung oder Härtung entsteht die fertige Beschichtung. Beschichtungsstoffe sind demnach Halbfertigfabrikate.

Eine Beschichtung für Holz ist eine Oberflächenveredelung, die in flüssiger Form als Grundierung, Lasur, Deckfarbe oder Lack aufgetragen wird.

Beschichtungsstoffe können eingeteilt werden nach:

- **Lichtdurchlässigkeit** lasierend, deckend oder farblos
- **Oberflächeneffekt** Metalliclack, Glanzlack, Mattlack, Strukturlack
- **Lackieraufbau** Grundierung, Füller, Decklack, Imprägnierung
- **Verwendungszweck** Holzlack, Parkettlack, Autolack, Malerlack, Industrielack
- **Umweltfreundlichkeit** Wasserlack, High-Solid-Lack, strahlenhärtende Systeme, Pulverlack
- **Bindemittel** Öle und Wachse, Alkydharzlack, Acrylatharzlack, Cellulosenitratlack, Polyurethanlack etc.
- **Trocknungsart** physikalisch oder chemisch trocknend
- **Auftragsart** Spritzlack, Walzlack, Giesslack, Tauchlack, Pulverlack, etc.
- **Funktionelle Eigenschaften** Lichtschutzlack, antibakterielle Beschichtung etc.

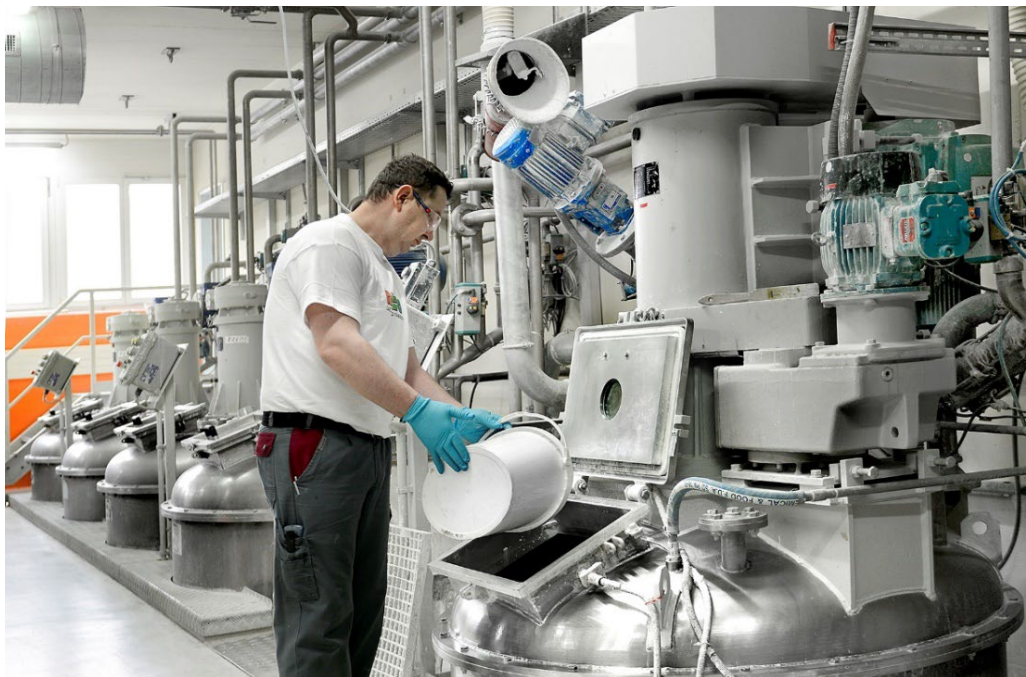


Abbildung 36: Farbherstellung ist eine Wissenschaft. (Quelle: Rupf & Co. AG)

In der Praxis werden verschiedene Produkte als Beschichtungsstoffe verwendet. Dazu gehören:

- Lacke farblos oder pigmentiert
- Baualer-/Industrie-/Autolacke
- Pulverlacke
- Holzschutzgrundierungen, Holzfarben, Holzlasuren
- Ölfarben
- Dispersionsfarben innen und aussen
- Kalkfarben
- Silikatfarben
- Pastöse Putze und Spachtelmassen
- Bodenbeschichtungen
- Spezialbeschichtungen
- Druckfarben
- Schlammfarben
- Holzsättiger

4.2.2. Zusammensetzung der Beschichtungsstoffe

Beschichtungsstoffe bestehen grundsätzlich aus fünf Bestandteilen. Diese werden in der Folge näher erläutert.

Bestandteile der Beschichtungsstoffen

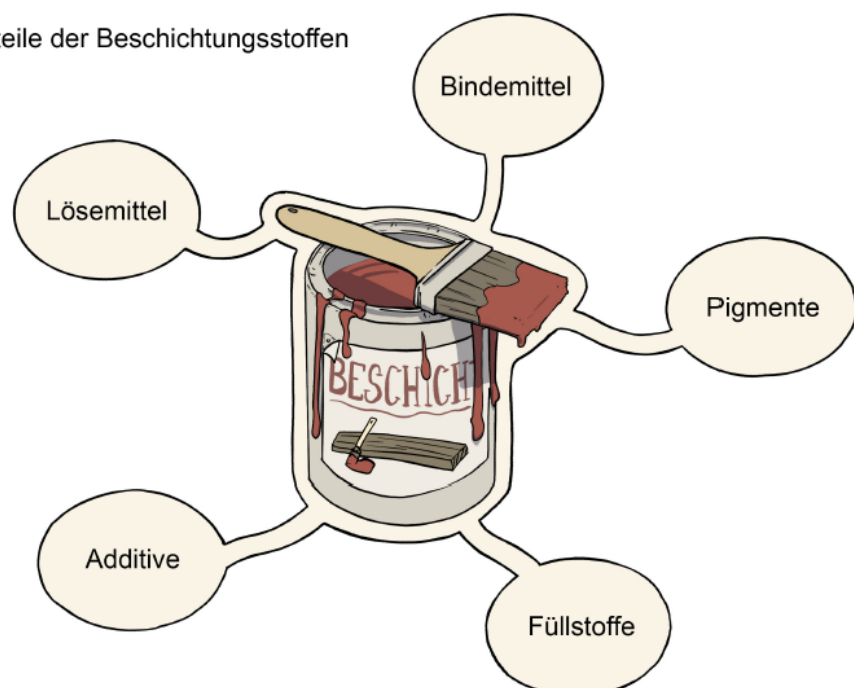


Abbildung 37: Fünf Komponenten sind nötig, um Beschichtungsstoffe herzustellen (Quelle: SMGV, 2023 / HIS)

Bindemittel

Das Bindemittel bestimmt die hauptsächlichen Eigenschaften des Beschichtungsstoffes. Es sorgt für die Filmbildung, Beständigkeit, Bindung und Haftung auf dem Untergrund. Ohne Bindemittel kann kein Beschichtungsfilm entstehen. Heute

verwendet man neben den auf Erdöl aufgebauten Polymeren auch immer mehr Bindemittel auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Diese liegen in fester oder flüssiger Form vor. Grundsätzlich ist das Bindemittel und dessen Gehalt in der Beschichtung neben der Pigmentierung auch für die Schichtdicke verantwortlich. Je geringer die Schichtdicke, desto rascher baut sich die Oberflächenbehandlung ab.

Hier ein **Überblick über Bindemittel für Beschichtungsstoffe**, wobei anorganische Mittel aus metallischen oder mineralischen Ausgangsstoffen hergestellt werden:

Ölige organische	Harzartige organische	Wässrige organische	Wässrige anorganische
Leinöl	Balsamharze	Hautleim	Kalk
Leinölfirnis	Kolophonium	Knochenleim	Zement
Holzöl	Kalkharz	Kasein	Wasserglas
Rizinusöl	Esterharz	Stärke	Kieselsole
Rizinenöl	Dammar	Methylcellulose	
(Dienol)	Schellack	Gummiarabicum	
Soyaöl	Kopale	Emulsion	
Tallöl	Nitrocellulose	Dispersion	
Mohnöl	Chlorkautschuk	Latex	
Standöl	Polymerisatharze		
Geblasene Öle	Phenolharze		
Safloröl	Harnstoff-/		
Distelöl	Melaminharze		
	Alkydharze		
	Polyurethanharze		
	Epoxidharze		
	Silikonharze		
	Bituminöse		
	Bindemittel		

Tabelle 8: Quelle: SMGB Schweizerischer Maler- und Gipserunternehmer-Verband; Referent: Wolfram Selter

Lösemittel

Lösemittel sind Bestandteile der flüssigen Beschichtungsstoffe. Sie lösen und verteilen die Rezeptkomponenten, regulieren die Viskosität (Zähflüssigkeit) und die Trocknungseigenschaften und ermöglichen so, die Beschichtungsstoffe optimal zu verarbeiten. Im vollständig getrockneten Anstrich sind die Lösemittel nicht mehr enthalten. Wir unterscheiden organische Lösemittel und Wasser. Der überwiegende Anteil der Beschichtungsstoffe für Holzoberflächenbehandlungen enthält Wasser als Lösemittel und belastet deshalb die Umwelt nicht.

Additive

Additive (Hilfsstoffe) werden in kleinen Mengen zugefügt, um gewisse Eigenschaften genauer einzustellen. Sie sorgen für die rasche chemische Trocknung, sie ermöglichen es z.B. Lasuren auf Bretterlackiermaschinen schaumfrei zu verarbeiten oder sorgen für eine einwandfreie Untergrundbenetzung und einen sauberen Verlauf der Beschichtungsstoffe.

Füllstoffe

Füllstoffe verbessern die Füllkraft, Haftung, Mattierung, Trockenschichtdicke, Schleifbarkeit, regulieren die Wasserdampfdurchlässigkeit und verstärken den Beschichtungsfilm.

Pigmente

Sie verleihen der Beschichtung Farbe, Deckvermögen, Licht- und UV-Schutz und Effekte (Metalliclack). Lasuren enthalten spezielle, mikrofeine und transparente Pigmente für die Farbgebung. Diese Spezialpigmente absorbieren die schädliche UV-Strahlung. Deckende Holzfarben enthalten spezielle, deckende anorganische und/oder organische Buntpigmente. Sie schützen ebenfalls vor UV-Strahlung und ermöglichen es, eine grosse Auswahl an Farbtönen zu formulieren.

4.2.3. Trocknungs- und Härtungsmechanismen für Beschichtungsstoffe

Aus dem flüssigen Beschichtungsstoff bildet sich durch die Trocknung die fertige Beschichtung. Dabei gilt es verschiedene Trocknungsarten zu unterscheiden.

Physikalische Trocknung

Das Lösemittel verdunstet und die Filmbildung setzt ein (zum Beispiel: Nitrolacke, Acryllacke). Das in Lösung, Emulsion- oder Dispersionsform vorliegende Bindemittel besitzt dazu bereits alle benötigten technischen Eigenschaften. Ein Nitrolack bildet nach der Verdunstung des Lösemittels den fertigen getrockneten Bindemittelfilm aus. Es ist keine chemische Reaktion erforderlich. Der Bindemittelfilm kann mit Lösemittel an- und aufgelöst werden (reversibel).

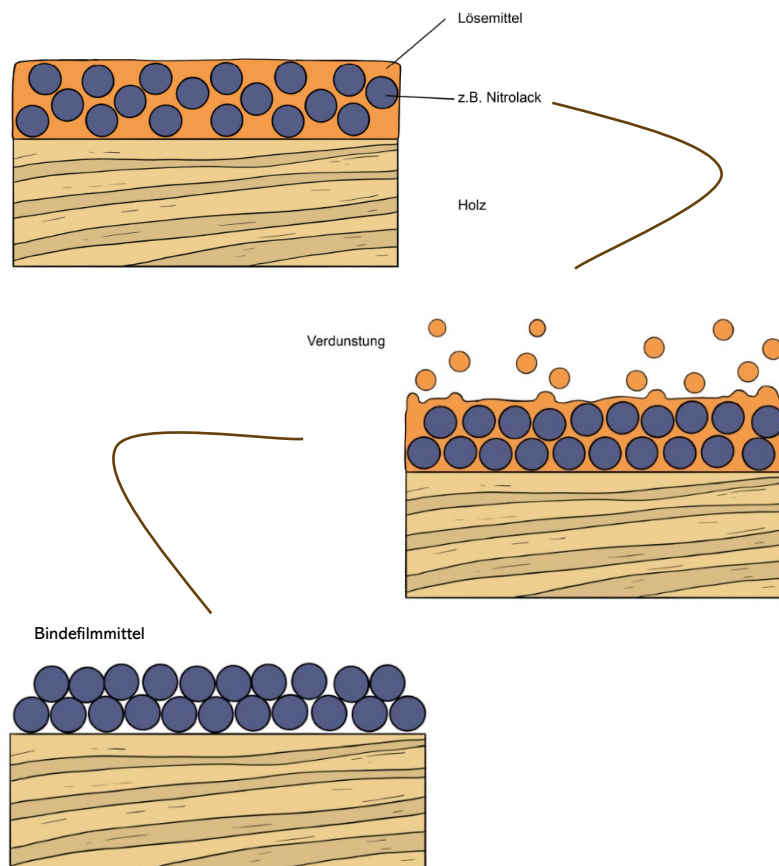


Abbildung 38: Physikalische Trocknung (Quelle: HIS)

Bei der Trocknung von Wasserlacken auf Dispersionsbasis, sprechen wir von Koaleszenz (kalter Fluss). Die im Wasser verteilten Dispersionsteilchen bilden das Bindemittel. Mit der Verdunstung des Wassers fließen diese langsam zusammen und verkleben miteinander. Dieser Vorgang wird auch als Filmbildung bezeichnet. Wasserlacke sind nicht wie ein Nitrolack reversibel. Der Lackfilm wird sonst zerstört.

Die physikalische Trocknung ist immer mit einer **Volumenschrumpfung** verbunden.

Chemische Trocknung (Härtung)

Einige Beschichtungsstoffe enthalten chemische Verbindungen, die miteinander reagieren, um eine polymerartige Struktur zu bilden. Dieser Prozess wird als chemische Trocknung oder Vernetzung bezeichnet. Die oxidative Trocknung mit **Sauerstoff** (Öle, Alkydharzlacke): Zuerst verdunsten die enthaltenen Lösemittel (Schritt 1). Das noch flüssige Bindemittel verbleibt auf der Oberfläche zurück und reagiert mit Sauerstoff aus der Luft. Es kommt zur Erhöhung des Molekulargewichtes durch Vernetzung. Der gehärtete Beschichtungsstoff ist nicht mehr im Lösemittel löslich (irreversibel).

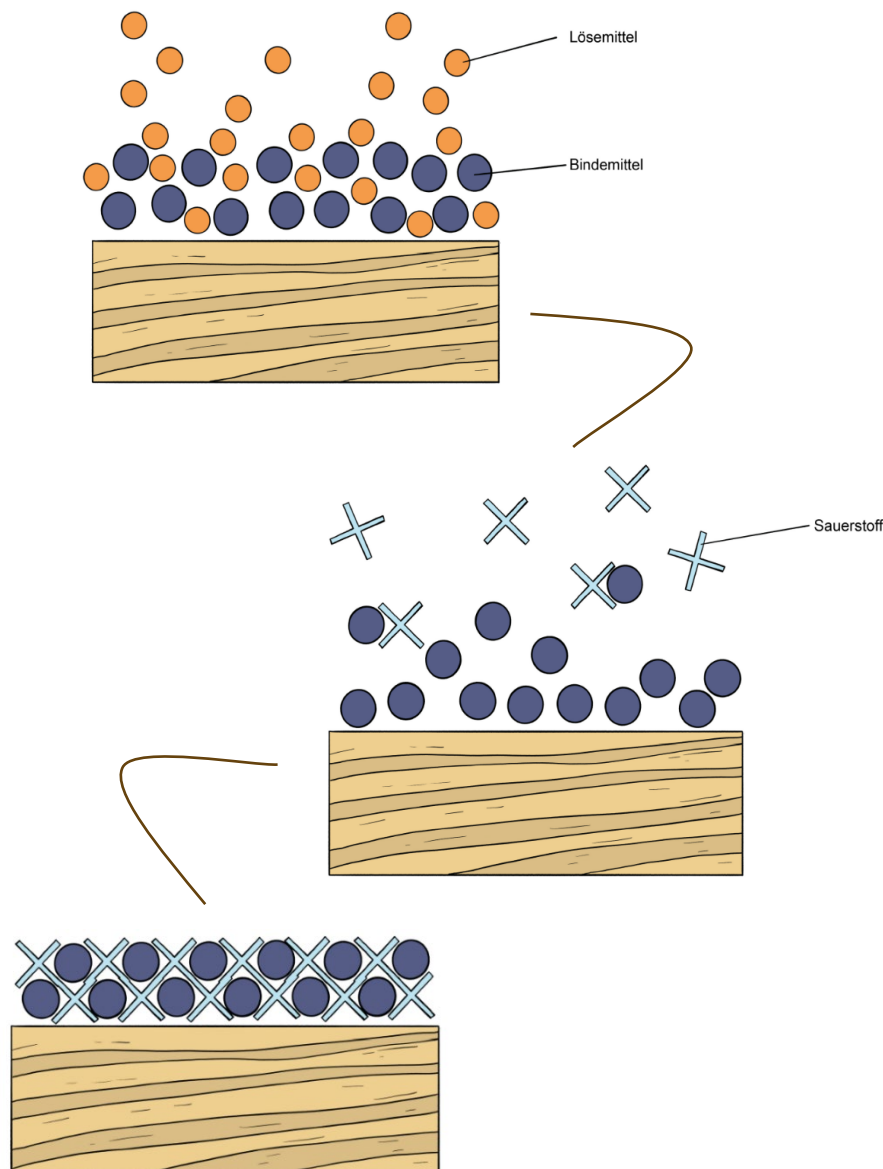


Abbildung 39: Chemische Trocknung (Quelle: HIS)

Die Trocknung mit **Wärme** (Einbrennlacke, Pulverlacke): Der Beschichtungsstoff enthält bereits alle Komponenten für die chemische Härtung. Diese kann aber erst bei höheren Temperaturen (Einbrennbedingungen) stattfinden.

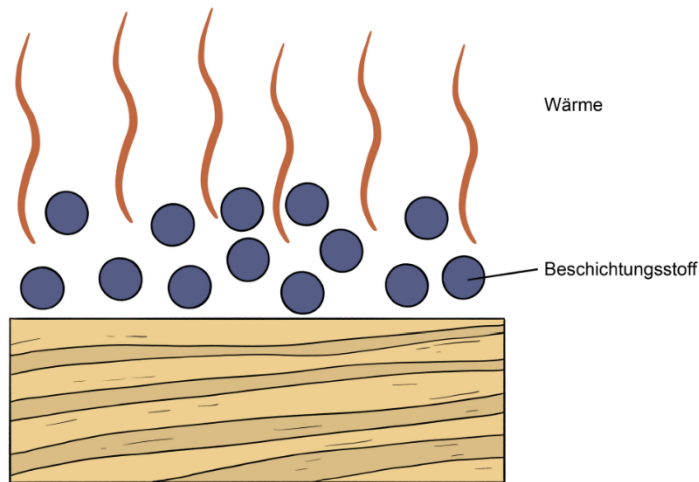


Abbildung 40: Trocknen mit Wärme (Quelle: HIS)

Die Trocknung mit einem **Härter** (Polyurethanlacke, Epoxidharzlacke): Der Stammlack wird vor der Verarbeitung mit einem Härter gemischt und verarbeitet. Nach der Verdunstung der Lösemittel (z.B. Wasser) reagieren die Komponenten miteinander zu einem chemisch neuen Polymer.

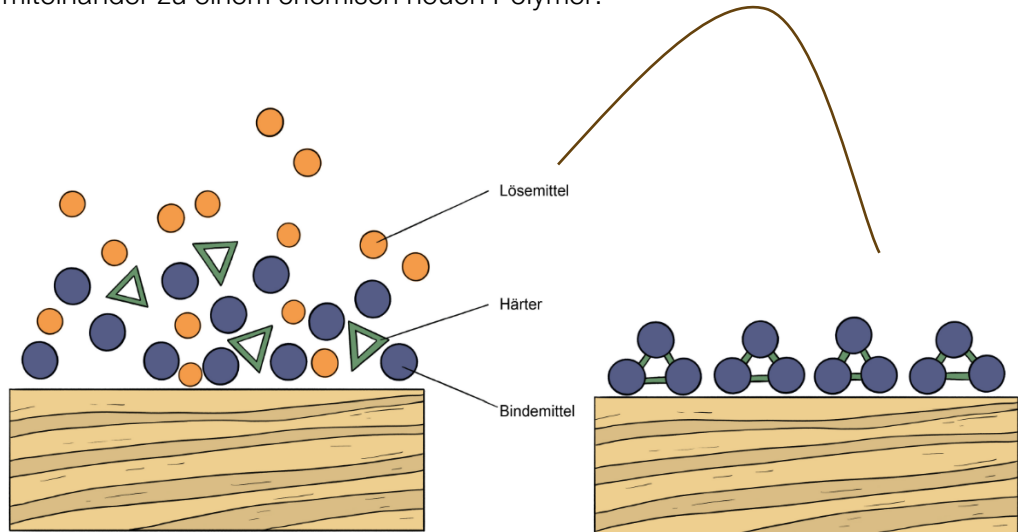


Abbildung 41: Trocknung mit Härter (Quelle: HIS)

Trocknung durch **Strahlung** (UV/ ESH Lacke): UV-härtende Beschichtungsstoffe enthalten reaktive Bindemittel wie z.B. Acrylate, Fotoinitiatoren und Hilfsmittel. Die Fotoinitiatoren bilden bei UV-Bestrahlung Radikale und lösen eine Vernetzungsreaktion aus. Der Lack ist in Sekundenbruchteilen ausgehärtet.

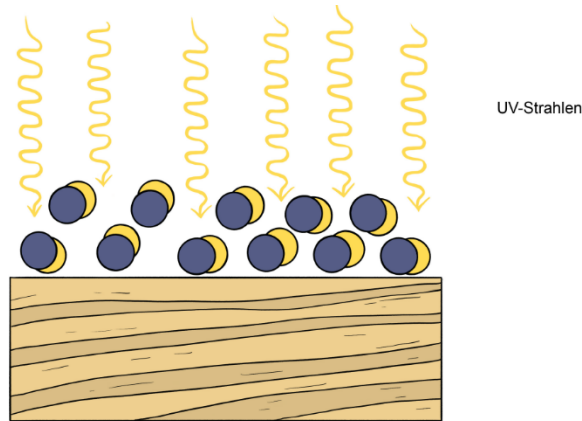


Abbildung 42: Trocknung durch Strahlung (Quelle: HIS)

Die oxidativ härtenden Beschichtungsstoffe wie z.B. Ölfarben nehmen während der Trocknung **im Volumen zu** («Runzelbildung» bei Ölfarben). Viele Beschichtungssysteme trocknen zunächst physikalisch an (Lösemittelverdunstung) und härten dann chemisch aus.

4.2.4. Umweltfreundliche Beschichtungsstoffe

In den letzten Jahren wurde es immer wichtiger, bei Beschichtungsstoffen auch den ökologischen Einfluss zu berücksichtigen. Heute werden in fast allen Anwendungsgebieten wasserverdünnbare Beschichtungsstoffe eingesetzt. Sie gelten bei korrekter Verwendung als umweltfreundlich. Anstelle der ökologisch nachteiligen organischen Lösemittel enthalten diese Produkte hauptsächlich Wasser als Lösemittel. In der Oberflächenbehandlung von Holz sind sie heute die meistverwendeten Beschichtungsstoffe.

Wasserverdünnbare Beschichtungsstoffe bieten einige Vorteile:

- VOC-frei oder arm (flüchtige, organische Stoffe, Gase)
- Bei der Verarbeitung – keine Brand/Explosionsgefahr
- Geruchsmild
- Als 1-Komponenten- und 2-Komponenten-Beschichtungsstoffe verfügbar (unterschiedliche Trocknungseigenschaften)
- Wasser als Lösemittel und Verdünner
- Lichtecht und praktisch keine Vergilbung
- Schnelle Trocknung mit verschiedenen Trocknungstechniken
- Kein Gefahrgut (Transport und Lagerung)
- Vielfältige Beschichtungsaufbauten möglich

Heute ist es auch möglich Holzlasuren- und Farben auf Basis nachwachsender Rohstoffe herzustellen. Die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe leistet einen wichtigen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz, zur Einsparung fossiler Ressourcen und zur Verbreiterung der heimischen Rohstoffbasis. Wichtig ist, dass

bei der Entwicklung solcher Farben nicht nur auf Ökologie, sondern auch auf Schadstofffreiheit geachtet wird.

4.2.5. Nanotechnologie

Mit Hilfe der Nanotechnologie entstehen neue Beschichtungsstoffe, die auch in Bezug auf Nachhaltigkeit neue Perspektiven eröffnen. Die Industrie steht erst am Anfang einer spannenden Entwicklung für ganz neue Oberflächenbeschichtungen. Bereits heute kommen Nanopartikel in Beschichtungen zum Einsatz. Dünnere Schichten bei besserer Funktionalität verringern den Ressourcenbedarf und vermindern Emissionen sowohl bei der Herstellung als auch bei der Verarbeitung und im Gebrauch.



QR-Code: Mehr Informationen zur Nanobeschichtung.

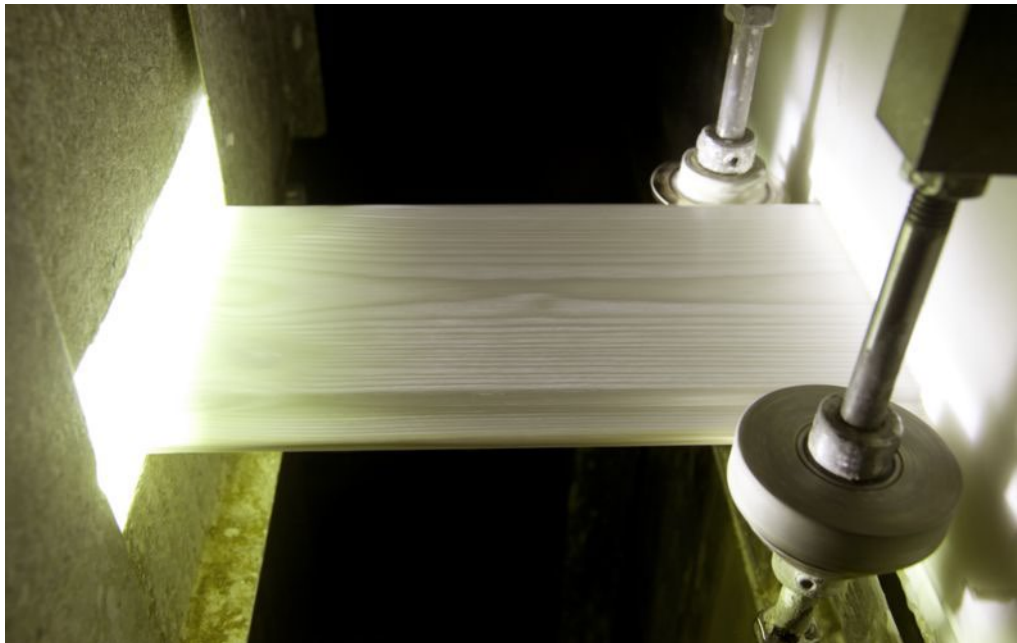


Abbildung 43: Bei der Oberflächenbehandlung ist Präzision gefragt. (Quelle: Eisenring AG)

4.3. Auswahl der passenden Oberflächenbehandlungen

Die Wahl der geeigneten Oberflächenbehandlung ist ausschlaggebend für die Zufriedenheit der Kundschaft. Da diese oftmals nicht weiss, welche Möglichkeiten zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse bestehen, ist es wichtig bei einer Beratung die Auswahlkriterien abzufragen. Die richtige Auswahl ist entscheidend für die Funktionstauglichkeit einer Oberflächenbehandlung, insbesondere im Aussenbereich für Holzfassaden.

Wichtige Auswahlkriterien für Oberflächenbehandlungen sind:

- **Anwendungsbereich** innen oder aussen
- **Erwartungshaltung** an die Behandlung (Nutzen, Kosten, Folgekosten für Kontrolle, Pflege, Unterhalt und Instandsetzungsintervalle)
- **Holzart/Holzwerkstoff** Werkstoffoberfläche- gehobelt, geschliffen, sägerau, feingesägt, strukturgehobelt
- **Leistungsfähigkeit der Beschichtung** bzw. des Systems – Eindringvermögen, Haftung, Feuchteschutz, Applikationsprozess, Farbgebung, Wetterbeständigkeit
- **Art der Beanspruchung** im Innen und besonders Aussenbereich (konstruktiver Holzschutz, chemischer Holzschutz, Wetterbelastung)
- **Farbgestaltung** naturbelassen, vorvergraut, lasierend, deckend
- **Hellbezugswert** beim Farbton
- **Fragen zum Objekt** Höhenlage, Exposition, Umfeld (Waldrand/Bahn/stark befahrene Strasse)

Beim Holz müssen bei der Auswahl der Beschichtung zudem auch Beanspruchungsbedingungen nach der Norm EN 927 herangezogen werden, um geeignete Lösungen zu finden. Dabei richtet sich die Holzbeschichtung nach dem Kriterium der Masshaltigkeit. Diese definiert wie stark ein Bauteil aus Holz seine Abmessungen durch Quellen und Schwinden verändert bzw. verändern darf. Dabei gilt es zu unterscheiden:

Masshaltig

Holzbauteile, bei denen Massänderungen nur in sehr geringem Umfang zulässig sind. Hierzu zählen Fenster, Aussentüren und verzapfte und verklebte Fensterläden.

Begrenzt masshaltig

Massänderungen sind im begrenzten Umfang zugelassen. Hierzu zählen Verbretterungen mit Nut und Feder, Riegel, Dachuntersichten und Kreuzstöcke, sowie Aussentore und Fensterläden (sofern nicht als masshaltig definiert) sowie Fassadenschalungen.

Nicht masshaltig

Bauteile, bei denen die Massänderungen nicht begrenzt sind. Hierzu zählen Fassadenverkleidungen mit offenen Fugen, offenen Stülpschalungen auf Lattenrosten, überlappende Schalungen, Schindeln, Holzdecks, Holzterrassen, Zäune oder Palisaden. (Bosshard, 2023)

Schliesslich ist auch nicht jede Farbe für eine passende Oberflächenbehandlung geeignet. Es gibt hunderte von Farbkarten und tausende von Farbtönen. Diese können sich unter gewissen Klimabeanspruchungen verändern. Für den Aussenbereich sollten beispielsweise Farbtöne eingesetzt werden, die mit anorganischen Pigmenten gemischt werden können.

Der sogenannte Hellbezugswert (HBW) misst die Helligkeit eines Farbtönen und gibt an, welche Energiemenge im Bereich des sichtbaren Lichts von der Fassade reflektiert wird: Der Wert für Schwarz entspricht 0, der für Weiss 100. Durch andauernde Aufheizung (Tag) und Abkühlung (Nacht) sind dunkle Oberflächen – im Gegensatz zu hellen – höheren thermischen Schwankungen ausgesetzt, was wiederum Auswirkungen auf die Schadhafteit hat (Fössle, 2023).

Das nachfolgende Klassifizierungssystem hilft bei der Entscheidung und der Kundenberatung. Das vom deutschen Bundesausschuss Farbe und Sachwertschutz BFS im Juni 2007 herausgegebene Merkblatt Nr. 26 «Farbveränderungen von Beschichtungen im Aussenbereich» informiert über Farbveränderungen, die sich in Abhängigkeit von Zeit, Nutzung und Einwirkungen aus der Umwelt auf Beschichtungen ergeben. Es beschreibt ein Klassifizierungssystem, das zur Prognose der Farbtonstabilität verwendet werden kann. Das Merkblatt ist unter Mitwirkung von Fachleuten des Schweizerischen Maler- und Gipser Unternehmerverbandes entstanden und hat deshalb auch für die Schweiz uneingeschränkte Gültigkeit.

Farbveränderungen von Beschichtungen im Aussenbereich

		1 sehr gute, lichtbestän- dige anorgani- sche Pigmente	2 gut lichtbestän- dige organi- sche und/oder anorganische Pigmente	3 eingeschränkt lichtbeständige organische und/oder anor- ganische Pig- mente
A Silikatfarbe, Dispersions- farbe mit ho- hem Bindemit- telanteil	Acryl-Lack PUR-Lack	A1	A2	A3
B Dispersions- farbe, matt Siliconharz- farbe Dispersions- Silikatfarbe	Alkydharzlack	B1	B2	B3
C Dispersions- füllfarbe Kalkfarbe, farbig	Mischpoly- merisat harz- Lackfarbe Epoxidharz- lack	C1	C2	C3

Tabelle 9: Farbveränderungen Aussenbereich. (Quelle: BFS Merkblatt Nr. 26)

4.3.1. Beschichtungsstoffe im Vergleich

Filmbildende Beschichtungssysteme wie Holzlasuren und deckende Beschichtungen sind durch Normen hinsichtlich ihrer qualitativen Eigenschaften und Anforderungen gut geregelt. Dies ermöglicht eine Qualitätssicherung. Die nicht filmbildenden Oberflächenbehandlungen sind normativ nicht geregelt, die Qualitätssicherung ist schwieriger und sollte deshalb mit dem Systemlieferanten abgesprochen werden.

Bei filmbildenden Produkten ist es besonders wichtig darauf zu achten, dass das aufgetragene System (Grundierung plus Deckschicht) atmungsaktiv bleibt und Dampfdiffusion zulässt. Ein völlig luftdichtes System kann die Haltbarkeit des Holzes gefährden, da bei der kleinsten Ritze Wasser eindringen und im Holz eingeschlossen werden kann. Das Holz wird rasch verrotten und zerfallen, ohne Eingriffs- oder Anpassungsmöglichkeit.

In der Folge werden einzelne Beschichtungssysteme näher beschrieben.

Imprägnierungen

Dies sind in der Regel farblose, lösemittelhaltige oder wasserverdünnbare, wirkstoffhaltige oder wirkstofffreie Produkte mit einem niedrigen Festkörpergehalt (nicht-flüchtiger Anteil). Sie dringen gut bis sehr gut in das Holz ein und transportieren die Wirkstoffe tief in das Holz hinein. Spezielle Additive können das Lignin schützen. Im Fassadenbereich erhöhen sie im Aufbau den Feuchteschutz.

Grundierungen

Die Grundierung sorgt für die sichere Haftung der Lasuren oder Deckfarben auf dem Holzuntergrund. Grundierungen können farblos oder pigmentiert, lösemittelhaltig oder wasserverdünnbar sein. Grundierungen können auch Biozide enthalten. Spezielle Grundierungen enthalten Bestandteile, die ein Durchschlagen wasserlöslicher Holzinhaltsstoffe durch den Anstrichaufbau verhindern können.

Holzlasuren

Sie zeigen die natürliche Maserung des Holzes und bieten einen zeitlich begrenzten Witterungsschutz. Holzlasuren im Aussenbereich lassen einen gewissen Teil der schädlichen UV-Strahlung an die Holzoberfläche gelangen. Dadurch wird die Holzoberfläche geschädigt (Ligninabbau). Bekannt im Markt sind Imprägnier-, Dünnschicht- Mittelschicht- und Dickschichtlasuren. Diese können minimal filmbildend oder filmbildend sein. Es gibt wasserverdünnbare und lösemittelhaltige Produkte. Mittlere bis dunklere Lasurfarbtöne sind haltbarer als helle. Dunkle Lasurfarbtöne erwärmen das Holz an der Sonne auf bis zu 80°C. Bei harzhaltigen Hölzern führt dies zu Harzfluss und dies wiederum kann die Oberflächenbehandlung schädigen. Durch die Hitzeentwicklung trocknet und schwindet das Holz, es kann zu Rissbildungen kommen. Daher sollte jährlich eine Kontrolle und alle 2 bis 7 Jahre gegebenenfalls eine Nachbehandlung durchgeführt werden. Dickschichtlasuren für masshaltige Bauteile werden für Fassaden in der Regel nicht eingesetzt. Geeignete Öllasuren können verwendet werden.

Imprägnier-/Dünnschichtlasuren

Diese Beschichtungen haben einen Festkörper von bis zu 30%. In der Regel dringen sie gut in das Holz ein und gewährleisten einen guten physikalischen Holzschutz. Verwendet man als Bindemittel Alkydharze in organischen Lösemitteln gelöst oder in wässriger Form, so erzielt man eine «kontrollierte» Verwitterung. Die Lasur wittert von der Oberfläche ab, reisst und blättert in der Regel nicht ab.

Acryllasuren auf wässriger Basis zeigen zwar eine im Vergleich zu den Alkydharzlasuren längere «Glanzhaltung», neigen aber bei längerer Bewitterung zum Reissen und Abschuppen. Der erforderliche Renovierungsaufwand ist in der Regel hoch. Dünnschichtlasuren werden bevorzugt auf nicht masshaltigen Aussenflächen wie Dachuntersichten und Fassaden eingesetzt. Für die industrielle Applikation gibt es anlagenspezifisch abgestimmte Produkte. Diese Lasuren trocknen schnell und sind blockfest.

Mittelschichtlasuren

Sie verbinden die Vorteile von Dünn- sowie Dickschichtlasuren, dringen gut in das Holz ein und bilden häufig auf der Oberfläche einen Film aus. Es gibt Mittelschichtlasuren für masshaltige als auch für nicht masshaltige Bauteile.

Dickschichtlasuren

Dickschichtlasuren haben einen Festkörpergehalt von 30 bis 60% und werden hauptsächlich für die Behandlung von Fenstern und Türen eingesetzt. Sie erfüllen die hohen Ansprüche an den Feuchteschutz und damit an die Masshaltigkeit. Vorsicht bei Dickschichtlasuren an Fassaden: Nur spezielle vom Hersteller freigegebene Produkte einsetzen. Neben den klassischen lösemittelhaltigen Dickschichtlasuren gibt es auch hochwertige wasserverdünnbare Dickschichtlasuren auf der Basis von Acryl-, Hybrid- Bindemitteln.

Deckende Holzbeschichtungen

Diese bieten guten bis sehr guten Witterungsschutz, mit zahlreichen Gestaltungsmöglichkeiten, einer grossen Farbtonvielfalt, gleichmässiger Optik, guter bis sehr guter Haltbarkeit bei entsprechender Pflege und Unterhalt. Sie sind in der Regel gut renovierbar. Es gibt wasserverdünnbare und lösemittelhaltige Produkte am Markt. Deckende Holzanstriche bieten praktisch vollen UV-Schutz, decken aber häufig die Holzstruktur auch gänzlich ab. Sie weisen Festkörpergehalte von 40-70% mit einem guten Feuchteschutz auf. Deckende Holzbeschichtungen können heute auch mit imprägnierenden öligen Beschichtungsstoffen erzielt werden.

4.3.2. Verwitterungslasuren und Vorvergrauung

Verwitterungslasuren und Vorvergrauungen sind spezielle Holz-Behandlungen und nehmen die Verwitterung optisch vorweg. Es handelt sich hier nicht um filmbildende Produkte. Sie tragen dazu bei, eine gleichmässige Optik zu erzeugen. Nicht bewitterte Flächen unter Vordächern, Fensterbänken und anderen Bauteilen erhalten so die Optik natürlich vergrauter Fassadenflächen. Sie sind im Prinzip unterhaltsfrei. Bei unbehandelten Holzfassaden stellt sich während der Alterung eine unregelmässige, farbliche Veränderung ein. Der natürliche Farbton des Holzes bleibt im Aussenbereich nicht erhalten. Dies gilt ohne Ausnahme für alle Holzarten. Die daraus resultierenden Farbtöne sind hellgrau bis schwarz.

4.3.3. Technischer UV-Schutz bei Holzlasuren

Bei allen Holzlasuren ist der technische UV-Schutz von grosser Bedeutung. Denn Holzlasuren lassen naturgemäss immer einen Teil des sichtbaren Lichtes und schädliche UV-Strahlung zur Holzoberfläche durchdringen. Die Haltbarkeit, insbesondere bei hellen Holzlasuren, wird dadurch stark verkürzt.

Für Holzlasuren kommen bis zu drei UV-Schutz-Technologien zum Einsatz:

- Transparente Eisenoxidpigmente: Die Klassiker unter den UV-Schutz Additiven. Sie geben der Lasur die Farbe und absorbieren gleichzeitig die schädliche UV-Strahlung.
- UV-Absorber: Absorbieren die schädigenden Anteile der Sonnenstrahlung und wandeln sie in Wärmeenergie um. UV-Absorber funktionieren nach dem Prinzip der Lichtabsorption.
- Radikalfänger (Inhibitoren) absorbieren keine UV-Strahlung, sondern wirken dort, wo der Abbau stattfindet, als Wasserstoffdonatoren. Sie schützen das Bindemittel, das ohne Radikalfänger aufbrechen würde.

4.3.4. Spezielle Beschichtungen /Behandlungen

Nebst den meistverwendeten Produkten gibt es weitere, teils spezielle Beschichtungsmöglichkeiten, welche weniger häufig eingesetzt werden.

Öle

Lasierende oder deckende Produkte auf Ölbasis. Sehr gutes Eindringvermögen. Es gibt minimal bis filmbildende wasserverdünnbare und lösemittelhaltige Produkte, Holzlasurfarbtöne und eine anorganisch pigmentierte Farbtoneauswahl. Periodische Pflege und Unterhalt sind erforderlich.

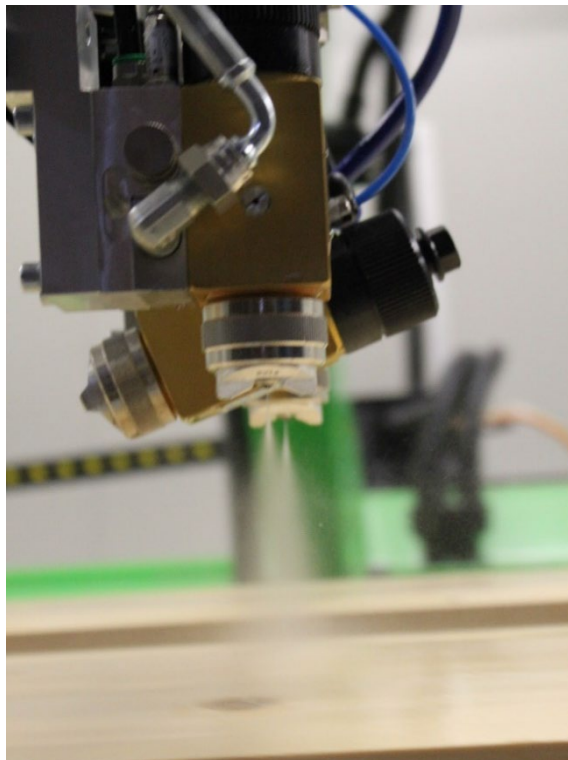


Abbildung 44: Die Wahl des richtigen Beschichtungssystems ist entscheidend.
(Quelle: Mivelaz SA)

Schlammfarben

Wasserverdünnbare deckende, schlammende, mikroporöse hoch pigmentierte Holzfarben. Diese sind in der Regel minimal filmbildend. Periodische Pflege und Unterhalt sind erforderlich.

4.3.5. Wartung und Pflege

Für jedes Produkt gibt es eine bestimmte Pflege, die eingehalten werden muss. Im Innenbereich gibt es vor allem Öle, die eine regelmässige Pflege ermöglichen. Filmbildende Produkte brauchen nur wenig Pflege. Insbesondere bei Parkett ist es wichtig, die technischen Daten der Hersteller zu beachten.

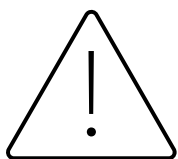
Bei der Aussenfassade ist die Pflege ein sehr wichtiges Thema. Am wichtigsten ist es, den Zustand der Fassade regelmässig zu beobachten, um im richtigen Moment eingreifen zu können. Eine zu späte Pflege erfordert ein komplettes Abschleifen oder Sandstrahlen der Fassade, während eine zum richtigen Zeitpunkt durchgeführte Pflege nur Ausbesserungen oder eine zusätzliche Nachbehandlung erfordern. Die Wartung wird häufig an jenen Stellen durchgeführt, die der Witterung am stärksten ausgesetzt sind (Abbildung 34) und keinen konstruktiven Schutz bieten.

Bei der Pflege ist es wichtig, dass sich die Anwender an die Empfehlungen des Herstellers halten. Ein Maler muss das ursprünglich aufgetragene Produkt kennen. In jedem Fall sollte darauf geachtet werden, kein Produkt zu verwenden, dass die Dampfdiffusion zulässt. Andernfalls besteht die Gefahr der Fäulnis.

Oberflächenbehandlungen für den Aussenbereich (Holzfassaden)

Funktionelle Behandlung (Hydrophobierung)	Vorvergrauungen	Imprägnierlasuren	Imprägnierende deckende Holzfarben	Filmbildende Lasu- ren	Filmbildende deckende Beschichtungen
Schichtdicke 0- <20 µm	Schichtdicke <15 µm	Schichtdicke <20 µm	Schichtdicke <20 µm	Schichtdicke 30-60 µm	Schichtdicke 60-100 µm
nicht filmbildend	nicht filmbildend	nicht filmbildend	nicht filmbildend	filmbildend	filmbildend
sehr guter Feuchteschutz	Geringer Feuchte- schutz	geringer Feuchteschutz	mässiger bis sehr guter Schutz	Guter Feuchteschutz	sehr guter Feuchteschutz
in der Regel kein UV-Schutz	Geringer UV- Schutz	geringer bis sehr guter UV-Schutz	sehr guter UV- Schutz	Guter UV-Schutz	sehr guter UV-Schutz
langsame Abwitterung	soll abwittern	Rasche Abwitterung	mässige bis ge- ringe Abwitterung	Mässige Abwitterung	geringe Abwitterung
Pflege und Unterhalt möglich	Unterhaltsfrei	hoher Pflege- und Unter- haltsaufwand	mässiger Pflege- und Unterhalts- aufwand	mässiger Pflege- und Unterhaltsaufwand	mässiger Pflege- und Un- terhaltsaufwand
mässiger bis hoher Renovie- rungsaufwand	im Renovationsfall hoher Aufwand	mässiger Renovations- aufwand	mässiger Reno- vationsaufwand	Abblättern möglich Höherer Renovie- rungsaufwand	Abblättern möglich Höherer Renovierungs- aufwand
Gute Haltbarkeit	soll abwittern	geringe Haltbarkeit	gute bis hohe Haltbarkeit	gute Haltbarkeit	hohe Haltbarkeit

4.4. Risiken beim Einsatz von Beschichtungsstoffen



Bei der Verarbeitung der Beschichtungsstoffe sind Vorschriften zu beachten. An den Arbeitsplätzen dürfen leicht brennbare Flüssigkeiten nur in Mengen aufbewahrt werden, die für den Arbeitsablauf notwendig sind. Für die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz, darf nur bei laufender Absaugung z.B. gespritzt werden. Dazu sind spezielle anlagentechnische Vorschriften einzuhalten. Gefahrenquelle sind elektrische Anlagen und Installationen, die zu gefährlichen Zündquellen werden können. Radios, Heizstrahler oder Halogenlampen sind im Spritzbereich verboten.

Persönlicher Schutz

Um sich nicht zu gefährden, ist es wichtig, das Sicherheitsdatenblatt des Produkts zu kennen. Dieses enthält alle Informationen über Gefahren und erforderliche Schutzmassnahmen. Die persönliche Schutzausrüstung (PSA), insbesondere der notwendige Atemschutz richtet sich nach dem Beschichtungsstoff. Kommt es zu einem Notfall, ist es wichtig, dass alle Mitarbeitenden wissen, was zu tun ist. Für den Brandfall müssen in unmittelbarer Nähe der Gefahrenzonen gekennzeichnete Löschposten vorhanden sein.

Auch Wasserlacke sind nicht ungefährlich. Gesundheitsgefahren bestehen beim Einatmen der Aerosole und beim Augen- und Hautkontakt mit dem Beschichtungsstoff. Für den Schutz der Umwelt und der Gesundheit sind die Sicherheitsvorschriften zwingend einzuhalten.

Gefahrenklassen

Mit den Gefahrenklassen wird die Art der Gefahr, die von einem Stoff ausgeht, angegeben. Hierbei unterscheidet die GHS zwischen 28 Gefahrenklassen, die drei Gefahrengruppen zugeordnet sind:

- **Physikalischen Gefahren** Die physikalischen Gefahren umfassen 16 Gefahrenklassen (2.1 bis 2.16).
- **Gesundheitsgefahren** Zehn Gefahrenklassen fallen in den Bereich der Gesundheit (3.1 bis 3.10)
- **Umweltgefahren** Zwei Gefahrenklassen sind als Umweltgefahren (4.1 & 5.1) verzeichnet.

Die jeweiligen Gefahrenklassen sind zusätzlich in Kategorien untergliedert, um den Schweregrad der Gefahr zu klassifizieren. Jeder Betrieb sollte über eine Zusammenstellung über die gesetzlichen Vorschriften verfügen. Diese muss laufend aktualisiert werden. Mitarbeiter müssen regelmässig geschult werden.



QR-Code: Gesundheitsschutz beim Umgang mit Chemikalien im Betrieb

Besonders zu beachten sind auch die technischen Merkblätter der Hersteller sowie das Sicherheitsdatenblatt (SDB), die Auskunft über die Eigenschaften von und den Umgang mit Beschichtungsstoffen geben.

4.5. Verarbeitung der Beschichtungsstoffe

Wir unterscheiden bezüglich der Verarbeitung der Beschichtungsstoffe in:

- **Manuelle** Verarbeitung im Betrieb oder am Objekt/ Baustelle: Für Bauteile, die nicht industriell beschichtet werden können. Für den allfällig notwendigen Schlussanstrich nach der Montage. Für Pflege- und Renovationsanstriche am Objekt.
- **Industrielle/Maschinelle** Verarbeitung im Betrieb: Diese Verarbeitungstechnik hat zahlreiche Vorteile. Es können je nach Anlage alle Oberflächen in einem Arbeitsgang behandelt werden. Die geforderten Auftragsmengen können genau eingestellt und eingehalten werden. Die Verarbeitung erfolgt unter konstanten klimatischen Bedingungen. Die Trocknung bzw. Härtung kann forciert oder mittels UV- oder Strahlhärtung erfolgen. Es können fast alle Beschichtungsstoffe verarbeitet werden. Die Verarbeitung ist sicherer und umweltfreundlicher durchzuführen.

4.5.1. Oberflächen des Holzes vorbereiten

Für eine erfolgreiche Beschichtung muss die Oberfläche stimmen. Bei der Fertigungstechnik ist zu unterscheiden, ob das Endprodukt im Innenbereich oder im Aussenbereich (höhere Anforderungen) eingesetzt wird. Bei allen Profilen ist zudem die Ausführung der Kanten und die Dimension von grösster Wichtigkeit. Bei Holzfassaden mit filmbildendem Oberflächenschutz müssen alle Kanten eine Rundung von mindestens 2.50 mm aufweisen. Bei Leisten zum Beispiel ist eine Neigung des Profils von 15° Grad zwecks rascher Ableitung des Wassers zu empfehlen. Die Oberflächenbeschichtungen verankern sich an geschliffenen und sägerauen Oberflächen besser als an lediglich gehobelten Oberflächen.

Gehobelte/geschliffene Oberfläche

Gehobelte Oberflächen müssen vor dem Auftrag der Beschichtung geschliffen werden. Der Schliff muss sorgfältig und gleichmässig ausgeführt werden (siehe 1.5.2). So entsteht ein, für die verschiedenen Beschichtungsstoffe geeigneter Untergrund. Für spätere Renovierungen sind diese Oberflächen ideal, da die ursprüngliche Oberflächenstruktur erhalten bleibt.

Sägeraue Oberfläche

Für Aussenschalungen haben sich sägeraue Oberflächen bewährt. Hervorstehende Spriesse/Fasern können allerdings eher Anhaftungen/Verunreinigungen aufweisen und durch mechanischen Abrieb kann es zu Farbauftragslücken/Feuchteunterwanderungen kommen. Hobelmesser können die Fasern leicht eindrücken und die Struktur des Holzes anschneiden. Bei Einwirkung von Wasser quellen diese dann auf und es wird eine stärkere Anfeuchtung erzeugt.

Die technisch optimale sägeraue Oberfläche ist ein mit speziellen Sägeblättern hergestellter Bandsägeschnitt. Sägeraue Oberflächen sind ein idealer Untergrund für nachfolgende Oberflächenbehandlungen. Die grosse Oberfläche nimmt mehr Beschichtungsstoff auf. Bei regelmässiger Kontrolle und rechtzeitiger Applikation

von Pflegeanstrichen lässt sich die Lebensdauer deutlich erhöhen. Für vollständige Renovierungen ist diese Methode komplexer, da die Oberfläche durch Strahlen oder Schleifen optisch verändert wird.

Strukturgehobelte/strukturfeine Oberfläche

Die Strukturhobelung ist eine bewährte Alternative zum Bandsägeschnitt und ideal für Oberflächenbehandlungen. Die Strukturhobelung ermöglicht das Fräsen von mehrseitig passgenauen Schalungen. Durch die aufgeraute Oberfläche haften Oberflächenbehandlungen sicher.

Bürsten, Hacken

Es entstehen Oberflächen, die optisch interessante Möglichkeiten eröffnen. Der Einsatz an bewitterten Fassaden muss indes näher abgeklärt werden.

4.5.2. Schleifen

Eines der wichtigsten Verfahren zur Oberflächenvorbereitung ist das Schleifen. Der Holzschliff reinigt die Holzoberfläche und entfernt z.B. Ablagerungen. Er entfernt unerwünschte Strukturen, kalibriert und strukturiert. Der Schliff beeinflusst die Rauigkeit der Oberfläche, erhöht oder verringert die Saugfähigkeit und sichert oder verbessert die Haftfestigkeit des Beschichtungsaufbaus.

Beim Schleifen wird Holz abgetragen/weggeschnitten/abgeschliffen. Je feiner das Schleifmittel, desto glatter/feiner wird die Oberfläche. Grundsätzlich wird mit gröberen Schleifpapieren mit niedriger Körnung begonnen und mit feinen Schleifmitteln höherer Körnung geendet. Wir unterscheiden:

- **Rohholzschliff:** Kornfeinheit grob. Reinigt die Holzoberfläche.
- **Lackschliff:** Kornfeinheit mittel bis fein
- **Haftungsschliff:** Kornfeinheit fein

Neben den bereits erwähnten Parametern (Schleifmittel, Kornfeinheit) beeinflussen Schleifrichtung, Schleifgeschwindigkeit, Schnittgeschwindigkeit, Schleifdruck und Körnung das Ergebnis. Bei der Schleifrichtung unterscheiden wir:

- **Längsschleifen:** In Richtung der Holzfaser. Weniger Kratzer, Weichholz schleift schneller weg, immer als letzten Schleifvorgang anwenden.
- **Querschleifen:** Quer zur Holzfaser. Besser für Planschliffe, Holzfasern werden besser abgetrennt.

Das Schleifmittel sollte immer offen sein, nicht abgenutzt und/oder seine Oberfläche geschlossen, ansonsten wird die zu bearbeitende Holzfaser gequetscht oder gedrückt, sodass sich die Faser bei Feuchteinfluss wieder aufstellt.

Im Einsatz stehen verschiedene Schleifwerkzeuge bzw. -methoden:

- **Handschliff:** mit Schwamm oder Klotz, Schwingschleifer und Exzenter-schleifer.
- **Maschinenschliff:** Schleifautomaten mit Querband, Längsband oder 3D-Schleifaggregaten, Langbandschleifmaschine, Kantenschleifmaschinen, Schleifbürsten.
- **Bürsten:** dient zur Reinigung, Glätten, Strukturieren oder Polieren.



Abbildung 45: Die Vorbereitung der Oberflächen ist für den späteren Erfolg zentral. (Quelle: Schärer Holz AG)

4.5.3. Beschichtungsstoffe auftragen

Für die zahlreichen möglichen Beschichtungsverfahren müssen die Beschichtungsstoffe eingestellt werden. Dazu wird in der Regel die Viskosität auf das Applikationsverfahren angepasst. Die wichtigsten Verfahren sind:

Streichen

Älteste Applikationsart. Auftragen des Beschichtungsstoffes mittels Pinsel, Rolle oder Bürste. Immer noch eine der wichtigsten Applikationsverfahren.

Vorteile	Nachteile
Preiswerte Werkzeuge	Bei grossen Flächen Zeit-/arbeitsintensiv
Ortunabhängig einsetzbar	Schichtdicken können variieren
Auch für komplizierte Oberfläche geeignet	Handwerkliche Fehler sind sichtbar
Geringer Materialverlust	
Einfache Werkzeugreinigung	

Rollern

Weiterentwicklung bzw. Ergänzung des Streichverfahrens. Es gibt eine Vielzahl an Rollen. Für wässrige oder lösemittelhaltige Beschichtungsstoffe gibt es spezielle Werkstoffe.

Vorteil	Nachteile
Grössere Flächen können gleichmässig beschichtet werden	Bevorzugt für glatte Oberflächen
	Material kann spritzen
	Abdekarbeiten erforderlich

Spritzpistole

Spritzen erlaubt schnelle Applikationen und präzise Ergebnisse. Das Grundprinzip ist die Lackzerstäubung.

Vorteile	Nachteile
Gleichmässige Schichten möglich Auch für komplexe Oberflächen geeignet Für Metallic-Beschichtungen die beste Applikationsmethode	Spritznebel Materialverluste möglich (Overspray) Abdekarbeiten erforderlich Investitionen in Kabinen und Absaug-einrichtungen

Airless-/Airmix-Spritzen

Der Beschichtungsstoff wird mittels Kolben- oder Membranpumpen unter hohem Druck gesetzt. Die Zerstäubung passiert am Ende der Spritzdüse.

Vorteile	Nachteile
Höhere Schichtdicken möglich Weniger Overspray/Spritznebel Aus Liefergebinde pump- und spritzbar Mit Airmix kann Zerstäuberluft genutzt werden Führt zu optisch besseren Oberflächen	Sicherheitsmassnahmen erforderlich Beschichtete Oberflächen sind weniger gleichmässig

Weitere Spritzverfahren: Niederdruck, Heiss-spritzen, 2K-Spritzen, Elektrostatisches Spritzen, Pulverspritzverfahren, Spritzautomaten und Roboter – verfügbar als manuelle und automatische Spritzmaschinen, horizontale Spritzroboter, rotierende oder oval laufende Spritzmaschinen, 3D-Spritzroboter oder Schlittenläufer.

Walzen

Häufig sind Walzgeräte bei UV-Beschichtungsstoffen im Einsatz.

Vorteile	Nachteile
Schnelle Beschichtung von flachen Holzoberflächen Weite Schichtdickenbandbreite Gleichmässige Schichtdicken Geringer Materialverlust	Höhere Investitionskosten Nur für ebene/flache Oberflächen Wiederholungsfehler durch Ablagerungen auf der Rolle möglich

Giessen

Der Auftrag geschieht hier mit einer Giessmaschine.

Vorteile	Nachteile
Schichtdicken zwischen 50 und 400 μm möglich Oberflächen müssen nicht völlig eben sein	Nicht für geringe Schichtdicken geeignet Schwierig zu regulieren

Fluten

Die Holzteile werden mit Beschichtungsstoff übergossen.

Vorteile	Nachteile
Geringe Investitionen Handwerklich bis vollautomatisiert möglich Geringer Materialverlust	Nicht für alle Werkstücke geeignet.

Tauchen

Tauchen gehört zu den ältesten Applikationsverfahren.

Vorteile	Nachteile
Geringe Investitionskosten Wenig Materialverlust	Gleichmässige Beschichtung nur bei geeignet geformten Werkstücken

Vakuumbeschichtung

Die Vakuumbeschichtung wird in speziellen Anlagen ausgeführt. Das Verfahren eignet sich für längliche, gleichförmige Hobelwaren, Leisten etc. Die Teile werden durch eine Vakuumkammer geleitet, in welcher der Beschichtungsstoff verwirbelt wird. Ein- und Ausgang in die Vakuumkammer müssen an das zu beschichtende Teil angepasst werden. Durch einen schmalen Spalt wird Luft von aussen in die Kammer gesaugt. Diese sorgt für die gleichmässige Beschichtung aller Oberflächenseiten.

Elektrostatisches Applikationsverfahren

Für Flüssiglacke: Der Beschichtungsstoff wird beim Durchfluss durch die elektrostatische Spritzeinrichtung aufgeladen und trifft dann auf das geerdete Werkstück. Hohe Wirkungsgrade zeichnen das Verfahren aus.

Für Pulverlacke: Prinzip wie beim Flüssiglack. Das nicht auf dem Werkstück abgeschiedene Pulver kann wiedergewonnen werden.

Pulverlackierung von Holz: Innovatives Verfahren. Aktuell nicht für alle Holzwerkstoffe und nicht für alle Oberflächenbehandlungen einsetzbar. Die Beschichtungspulver bestehen zu 100% aus Feststoffen. Es werden weder Wasser noch Lösungsmittel freigesetzt und es entsteht praktisch kein Abfall.

4.5.4. Trocknung und Aushärtung

Nach der Applikation muss der Beschichtungsstoff in die Beschichtung überführt werden, d.h. trocknen und aushärten.

Die Trocknung

Ist ein physikalischer Prozess. Alle flüchtigen Bestandteile des Beschichtungsstoffes werden abgeführt. Chemisch verändert dieser Prozess nichts in der Beschichtung (Nitrocelluloselacke, Acryllacke, 1K- Wasserlacke). Das Lösemittel verdunstet, zurück bleibt die trockene Beschichtung.

Eine industrielle Trocknung bietet einige Vorteile. So kann der Prozess beschleunigt werden, die Qualität der Oberflächen kann hochgehalten und die Lagerung

effizient gestaltet werden. Im Einsatz stehen dabei spezielle Trocknungsanlagen. Mit diesen werden Temperatur, Luftgeschwindigkeit, Überdruck und Luftqualität eingestellt und konstant gehalten.

Auch in Trockenräumen können die beschichteten Teile zur Trocknung verbleiben. Durch das Öffnen und Schliessen der Räume sind die Parameter für den Prozess allerdings nicht konstant.



Abbildung 46: Trocknen an der frischen Luft (Quelle: Eisenring AG)

Ebenfalls möglich ist der Einsatz von Trocknungskanälen (Längs- oder Hochtrockner). Hier werden die Teile auf Förderbänder geführt und es werden konstante Trocknungsbedingungen ermöglicht.

Dazu gibt es zahlreiche weitere Trocknungsverfahren: Düsentrockner, Paternostertrockner, IR-Trockner, Microwellentrockner etc.

Bei wasserverdünnbaren Beschichtungsstoffen gilt es zu beachten, dass die Luft nur eine limitierte Menge an Wasser enthalten bzw. aufnehmen kann. Somit verläuft der Trocknungsprozess hier langsamer, wenn die Luft feucht ist. Ist die Luft trocken, kann der Prozess beschleunigt werden. Die Trocknung kann auch durch Strahlung verbessert werden. Dazu gehören die Infrarottrocknung und die Mikrowellentrocknung. Im Gegensatz zur Infrarotstrahlung erzeugt die Mikrowelle selber keine Wärme. Sie versetzt die Wassermoleküle im Substrat in Schwingung und diese erzeugen Wärme. Bei Lacken soll die Mikrowelle das Wasser in der Beschichtung an die Oberfläche bringen, wo diese durch einen Düsentrockner abgeführt wird. Zu viel Energieeintrag und zu hohe Schichten bringen den Lack zum Reißen.

Die (Aus)Härtung

Ist ein chemischer Prozess. Dieser beginnt sobald Sauerstoff vorhanden ist (Öle, Alkydharzlasuren), ein Härter dazugegeben (2K-Lacke), eine bestimmte Temperatur erreicht (Einbrennlacke, Pulverlacke), ein Katalysator dazugegeben (Polyesterspachtel oder -lack) oder ein Photoinitiator aktiviert wird (UV-strahlenhärtende Beschichtungsstoffe).

In der industriellen Härtetechnik werden die nachfolgenden Technologien eingesetzt, allerdings praktisch nur für Oberflächenbehandlungen auf Holz im Innenbereich.

- **UV-Härtung:** UV-Lacke härten durch die Einwirkung von UV-Strahlung. Es werden Strahlungen im Bereich von 200–440 nm verwendet mittels Quecksilberdampf-lampen und Galliumstrahler. Dieser Prozess ist schnell und dauert nur wenige Sekunden. Allerdings muss das dabei entstehende Ozon in die Umwelt abgeführt werden.
- **LED-Härtung:** Heute werden daher zunehmend LED-Lampen für die UV-Härtung eingesetzt. Diese sind sehr energieeffizient und entwickeln kein Ozon. Allerdings sind die Anlagen noch vergleichsweise teuer.
- **ESH-Härtung:** Bei der Elektronenstrahlhärtung werden Elektronen auf die Beschichtung gestrahlt. Die ungesättigten Doppelbindungen vernetzen und härten den Lack. Dabei kann eine bessere Beständigkeit erzielt werden. Das Verfahren ist auch für stark deckende Beschichtungen geeignet – für Türen oder Fussbodenprodukte beispielsweise.

4.5.5. Produkt- und Qualitätskontrolle

Betriebe mit Einrichtungen zur Oberflächenbehandlung verfügen teilweise über ein grosses Sortiment an Holzschutzmitteln und Beschichtungsstoffen. Der Prozess der Beschichtung ist mehrschichtig und daher teils anspruchsvoll. Eine Qualitätssicherung von der Eingangsprüfung bis zur Auslieferung ist daher sinnvoll, um Fehler und Reklamationen vorzubeugen.

1. Bei der Kontrolle der angelieferten Beschichtungsstoffe bieten sich Checklisten an, um alle wichtigen Produktinformationen für den Produktionsprozess abzufragen und zu speichern.
2. Vor der Verarbeitung müssen die Beschichtungsstoffe vorbereitet werden. Dazu gehört die Kontrolle des Farbtons. Bei Nachbestellungen ist es wichtig, dass man die Farbtöne anhand von Rückstellmustern miteinander vergleicht. Stellt man Farbtonabweichungen erst nach der Produktion oder Montage am Objekt fest, kann dies teuer werden. Ein gut organisiertes und gepflegtes Farbtonarchiv macht die Kontrolle und Archivierung einfacher.
3. Nach dem Aufrühren der Stoffe kann man die Viskosität überprüfen. Für einige Applikationsverfahren muss diese in einem bestimmten Bereich liegen. Für viele Produkte kann sie mit einem Tauch-Auslaufbecher geprüft und eingestellt werden. Bei 2K-Produkten muss der Härter vor der Verarbeitung beige-mischt werden. Dabei ist nur so viel anzusetzen, wie in der angegebenen Topfzeit verarbeitet werden kann. Im Winter muss bei Wasserfarben eine Frostwächterkontrolle durchgeführt werden. Weder das Lackmaterial noch das zu beschichtende Bauteil sollten unter 15°C sein.
4. Für jedes Produkt und jeden Arbeitsgang sind die vorgegebenen Applikationsbedingungen einzuhalten. Von grösster Wichtigkeit sind die Auftragsmengen. Diese werden üblicherweise in g/m² vorgegeben. Nach der Trocknung bzw. Härtung ergibt sich dann die vorgeschriebene Schichtdicke in μm . Die Raumtemperaturen und Luftfeuchtigkeit sind auf die zu applizierende Oberfläche abzustimmen und möglichst konstant zu halten.

5. Die Auftragsmenge wird mittels einer Kontrollwaage überwacht.
6. Die Nassschichtdicke lässt sich mit einem Messkamm, die Trockenschichtdicke mit einem Messmikroskop bestimmen. Bei imprägnierenden Oberflächenbehandlungen ist die Bestimmung der Schichtdicke nicht sinnvoll. Bei filmbildenden Oberflächenbehandlungen hängt die Messgenauigkeit von der Struktur der Oberfläche ab.
7. Zum Schluss erfolgt die Kontrolle der getrockneten und ausgehärteten Oberflächenbehandlung.
 - Die Gleichmässigkeit wird visuell beurteilt.
 - Dann stellt sich die Frage: ist das Produkt frei von Läufern/ Tropfnasen, Fehlstellen, Verlaufsstörungen, Glanzdifferenzen?
 - Haben wir ein einheitliches Lasurbild und einen gleichmässigen Farbton? Hier lohnt sich ein visueller Vergleich bei Tageslicht mit Farbtonmuster-vorlage. Natürlich können auch preiswerte Farbmessgeräte eingesetzt werden. Der Glanzgrad lässt sich gut mit einem Glanzgradmessgerät kontrollieren.
 - Wird die Haftfestigkeit geprüft, so muss darauf geachtet werden, dass die Oberflächenbehandlung vollständig getrocknet und ausgehärtet ist.

Die produzierten Werkstücke dürfen erst nach den vorgegebenen Trockenzeiten gestapelt werden. Die Informationen dazu liefert in der Regel der Lieferant bzw. diese hat man durch Versuche im Werk ermittelt. Hält man Trockenzeiten nicht ein, können die Werkstücke miteinander verkleben und nicht mehr ohne Schäden getrennt werden. Ein einfacher Zwingentest kann hier Sicherheit geben.

Es gibt über 100 weitere Prüfungen für Beschichtungsstoffe. Viele sind für spezielle Anforderungen entwickelt worden. Auch können Kunden spezielle Prüfvorschriften verlangen. Diese können auch in Instituten und Prüflabors durchgeführt werden.

Viele Hobelwerke verfügen überdies über einen sogenannten Wetterstand, um Oberflächenbehandlungen für den Aussenbereich zu testen und zu kontrollieren.



Abbildung 47: Ein Wetterstand im Freien lässt Rückschlüsse auf die Arbeit mit Farben (Quelle: Mivelaz SA)

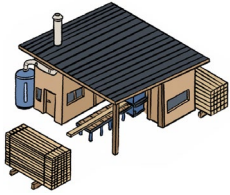
4.5.6. Gesetzliche Vorgaben

Beschichtungsstoffe müssen viele gesetzliche Anforderungen an den Gesundheits- und Umweltschutz erfüllen. Und von der Logistik über die Lagerung bis zur Verarbeitung und Entsorgung, können Beschichtungsstoffe Gefahren bergen. Werden alle Sicherheitsvorschriften eingehalten, können diese Risiken auf ein Minimum reduziert werden. Brand- und Explosionsgefahren, Vorschriften zum Umweltschutz und die gesundheitlichen Aspekte für die Verarbeiter gilt es zu kennen und zu beachten.

Beim Umgang mit Beschichtungsstoffen sind Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Hilfreich sind hier die Suva-Merkblätter:

Downloads und Bestellungen: www.suva.ch/de-ch/download

5. Trennen und Hobeln



Hobelwerk

HK d2: Holzbasierte Produkte fertigen

Immer wenn Holz eine exakt glatte Oberfläche erhalten soll oder Werkstückkanten abgerichtet werden sollen, kommt der Hobel zum Einsatz. Das Werkzeug ist seit mehr als 3000 Jahren im Einsatz und hat sich vom Handhobel zur modernen Maschinenteknik entwickelt.

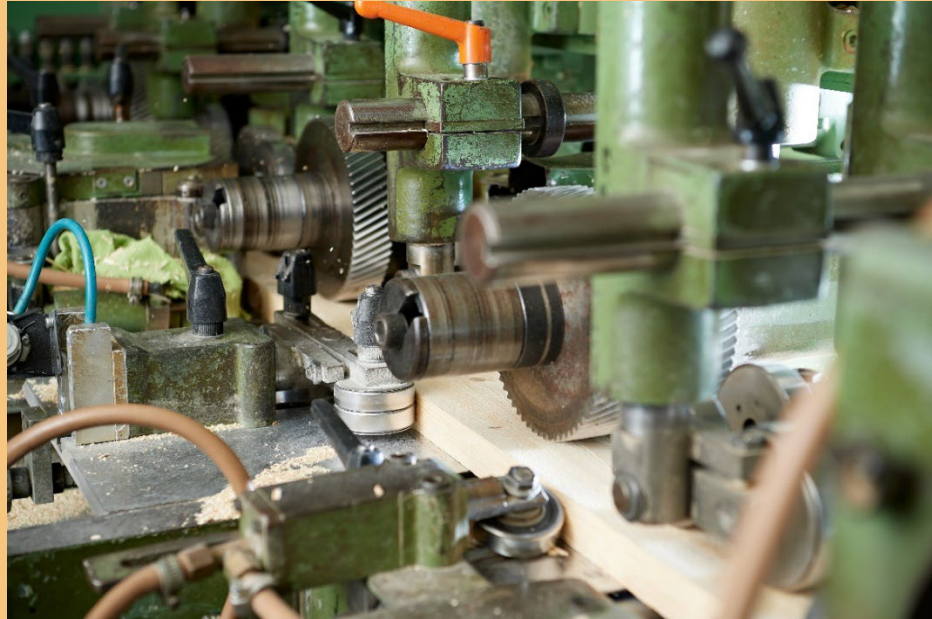


Abbildung 48: Hobelmaschine im Einsatz (Quelle: OLWO AG)

Praxisaufträge im Betrieb

Produktionsstufe 2:

- Einfache Profile produzieren (4-seitig gehobelte Balken, einfache N+K Profile)
- Trennmaschine einstellen und selbstständig bedienen
- Hobelmaschine einstellen und selbstständig bedienen
- Produkte unter Anleitung kontrollieren
- Komplexe Profile, Querschnitte und Profile vermessen
- Ausschuss und Restholz verwerten

Praktikum Produktionsstufe 2 (unter Aufsicht):

- Einfache Profile produzieren
- Produkte kontrollieren

Überbetrieblicher Kurs 6

- Produktion von gehobelten Balken und Bodenprofil N+K Innenausbau
- Maschinen nach Vorgaben rüsten
- Massivholz mit der Trennmaschine bearbeiten
- Massivholz mit der Hobelmaschine bearbeiten

Berufliche Situationen

- Sie trennen Rohhobler zu Halbfertig- oder Fertigprodukten auf.
- Sie realisieren das Abrichten und Dickenhobeln von Schnittwaren gemäss Auftrag.
- Sie hobeln Latten oder Balken auf Mass.
- Sie fertigen auftragsspezifisch profilierte Hobelware an, z.B. eine Aussenschalung.

Lernziele

- Sie beschreiben den Aufbau und Funktion der Trennmaschinen sowie die Sicherheitsbestimmungen für deren Betrieb.
- Sie erläutern den Ablauf des Trennprozesses.
- Sie erkennen Energieeffizienzpotenziale bei Trennmaschinen, Dünnschnittgatter, Trennkreissägen und leiten konkrete, in ihren Zuständigkeitsbereich fallende Möglichkeiten zur Optimierung und Reduktion des Energieverbrauchs im eigenen Betrieb her.
- Sie beschreiben den Aufbau und die Funktion der Hobelmaschine sowie die Sicherheitsbestimmungen für deren Betrieb.
- Sie erläutern das Hobeln von Schnittholz.
- Sie beschreiben die Funktion und Verwendung typischer Werkzeuge, erklären die Abhängigkeit zwischen Vorschub und Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit und führen die entsprechenden Berechnungen aus.
- Sie erkennen Energieeffizienzpotenziale bei der Fertigung von holzbasierten Produkten mit Hobelmaschinen und leiten konkrete, in ihren Zuständigkeitsbereich fallende Möglichkeiten zur Optimierung und Reduktion des Energieverbrauchs im eigenen Betrieb her.

5.1. Hauptprozesse im Hobelwerk

Die Mehrheit der in der Holzindustrie hergestellten Produkte durchlaufen mehrere Prozess- und Veredelungsschritte, bis sie als Fertigprodukt verkauft werden. Im Sägewerk werden für die Weiterverarbeitung im Hobelwerk sogenannte Rohhobler hergestellt (siehe auch Holzhandelsgebräuche HHG 2.5) und getrocknet an das Hobelwerk geliefert. Das Hobelwerk kauft die Rohhobler mehrheitlich in standardisierten Querschnitten (HHG 2.5.2.2 und 2.5.2.3), Qualitäten und Holzfeuchten und veredelt diese in Abhängigkeit vom gewünschten Endprodukt. Die gebräuchlichsten Veredelungsschritte im Hobelwerk sind:

- Trennen vom Rohhobler auf das Hobelrohmass
- Asteinleimen, Harzgallen flicken oder Astkosmetik
- Hobeln und profilieren
- Sortieren nach Erscheinungsklassen nach HHG Kapitel 3
- Ausbeuteoptimierung durch Fehlerrückführung / Erzeugung von Kurzlängen

In den nachfolgenden Ausführungen wird vertieft auf das Trennen und Hobeln eingegangen.

5.2. Trennen

Im Hobelwerk werden mehrheitlich montagefertige Profildressen für die Innen- oder Aussenanwendung, massgenaue Schnittholzprodukte (z.B. Latten) für den Handel oder vorkalibrierte Lamellen für die industrielle Weiterverarbeitung (z.B. Leimwerke) hergestellt. Die Sägewerke können die geforderte Dimensionsvielfalt des Marktes oft nicht herstellen oder würden aufgrund des hohen Bedarfs an dünnen Lamellen aufgrund der Schnittfugen im Sägeprozess eine zu geringe Ausbeute erzielen. Daher werden in den Sägewerken bevorzugt Rohhobler in Standarddimensionen und Standardqualitäten erzeugt, welche auf dem Markt je nach Anforderung angepasst werden können.

Die Hobelwerke kaufen diese Standarddimensionen, führen ein Lagersortiment der gebräuchlichsten Holzarten, -längen und -dimensionen und trennen diese vor dem Hobelprozess auf das gewünschte, individuelle Rohmass auf. Die Rohhobler werden im Hobelwerk aus Gründen der Masshaltigkeit in der nach Anwendungsgebiet erforderlichen Gebrauchsfeuchte aufgetrennt. (HHG 1.2.2 basierend auf der Norm SIA 265). Die heute im Hobelwerk produzierten Produkte sind grossmehrheitlich technisch getrocknet. Der Trocknungsprozess kann sowohl im Sägewerk als auch im Hobelwerk erfolgen. Da die Hobelwerke oft individuelle Spezialitäten in kleinen bis mittleren Mengen orts- und kundenspezifisch fertigen, verfügen viele Werke über eigene Trockenkammern, die ihnen eine sorgfältigere Trocknung erlauben als das im Sägewerk mit den grossen Volumenkammern und dem optimierten Durchsatz möglich ist.

Die Rohhobler werden sowohl stehend aufgetrennt (man spricht dann oft vom «Spalten») oder in der Breite getrennt. Mittengeschnittene Rohlamellen für Schalungen mit Halbriftoptik werden oft in zwei Trennprozessen im Kreuzschnitt erzeugt.

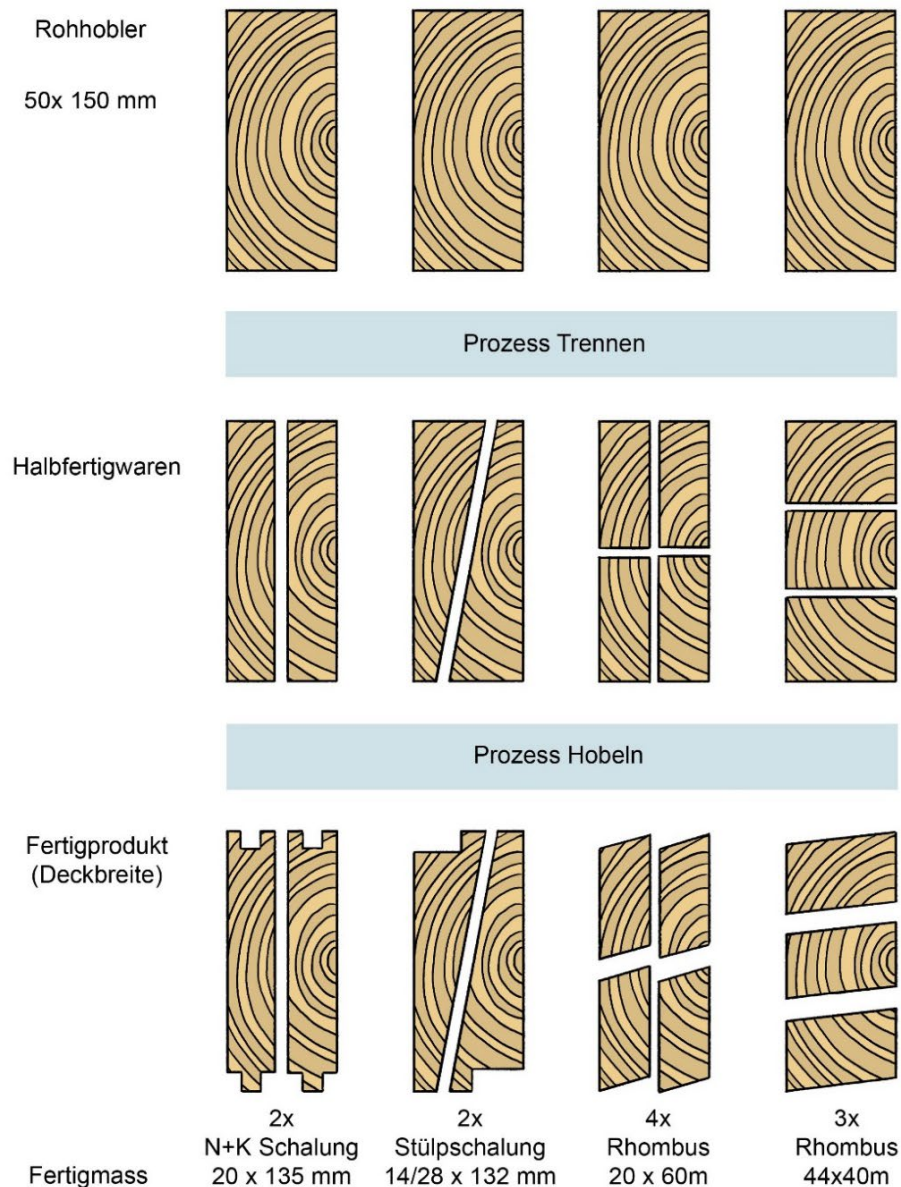


Abbildung 49: Der Prozess des Trennens und Hobelns grafisch dargestellt. (Quelle: HIS)

Durch das Trennen werden auch die möglichen Jahrringstellungen der Hobelwaren vorbestimmt (siehe VSH Merkblatt 1-4-21 Hobelwaren Mittengespalten / Rift-/Halbrift, www.vsh.ch)

Berechnungsbeispiel zur Ausbeute (siehe auch 1. Lehrjahr)

Du erzeugst aus einem Rohhobler 50 x 200 mm im Querschnitt ein 4-seitig gehobeltes Rhombusprofil mit Fertigstärke 20 mm

Der Winkel des abgeschrägten Profils beträgt 15°

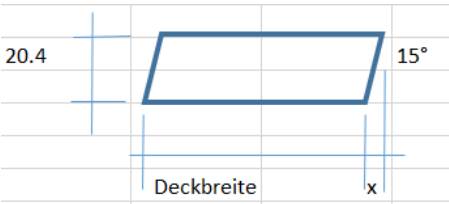
1. Welche Produktionsparameter musst du kennen, um das Produkt zu kalkulieren?
2. Was ist die maximale Deckbreite des Profils (nicht Spitz-Spitz)?
3. Wie gross ist die Ausbeute in der Holzbreite in %?

Beispiel zu
Abbildung 49

Antwort zu Frage 1

Antwort	Annahme
1) Blattstärke der Trennbandsäge	3.2 mm
2) Tischabnahme beim Hobeln (Abrichten) unten	1.8 mm
3) Hobelverlust für Kalibrieren oben	0.8 mm
4) Breitenverlust beim Hobeln Anschlagseite	2.5 mm
5) Breitenverlust beim Hobeln Kammseite	1.5 mm

Antwort zu Frage 2

	Berechnung	Ergebnis
Rohdicke nach 1x trennen	$(50 \text{ mm} - 3.2 \text{ mm}) : 2$	23.4 mm
Breite nach 2x trennen	$(200 \text{ mm} - 3.2 \text{ mm}) : 2$	98.4 mm
Rohmass vor dem Hobeln - Abrichten (1): -1.8 mm - Kalibrieren (3): -0.8 mm - Breitenverlust (4+5): -4 mm 4seiten gehobeltes Brett	$23.4 \text{ mm} \times 98.4 \text{ mm}$ $23.4 \text{ mm} - 1.8 \text{ mm} = 21.6 \text{ mm}$ $21.6 \text{ mm} - 0.8 \text{ mm} = 20.4 \text{ mm}$ $98.4 \text{ mm} - 4.0 \text{ mm} = 94.4 \text{ mm}$ $20.4 \text{ mm} \times 94.4 \text{ mm}$	
Deckbreite 	$x = 20.4 \text{ mm} \times \tan 15^\circ = 1.1 \text{ mm}$ $94.4 \text{ mm} - 1.1 \text{ mm}$	93.3 mm

Das Rhomboidprofil hat maximal die Dicke 20.4 mm und eine Deckbreite von 93.3 mm. In der Praxis würde 20 x 93 mm angeboten.

Antwort zu Frage 3

Die theoretische Ausbeute bezogen auf die Holzbreite rechnet sich wie folgt:

	Berechnung	Ergebnis
Deckbreite zu Rohholzbreite in %	$93.3 : (200:2)$	93.3%

5.2.1. Eigenschaften des Trennprozesses

Erzeugung einer planen Fläche durch den Trennschnitt

Jeder Rohhobler weist nach dem Trocknen eine leichte Verwölbung auf, was die Berechnung der unteren Spanabnahme auf dem Hobeltisch erschwert. Die getrennte Fläche ist plan und erlaubt eine minimale Spanabnahme und eine höhere Präzision des Endprodukts.

Erzeugung von
sägerauhen Ober-
flächen

Die bei Aussenschalungen bevorzugte sägerauhe Oberfläche wird durch das Sägeblatt der Trennbandsäge erzeugt. Die Qualität der sägerauhen Oberfläche ist abhängig von der Blattqualität, der Schrängung, der Zahnanzahl und vom Vorschub beim Trennprozess. Jedes Hobelwerk pflegt da seine eigene Qualitätsdefinition.

5.2.2. Die Trennmaschinen

Einsatzgebiet (siehe auch 1. Lehrjahr, Kapitel 5.7.3)

Die im Hobelwerk gebräuchlichste Maschine ist die Trennbandsäge.

Da die üblichen Rohhoblerdimensionen Breiten bis ca. 225 mm aufweisen (Ausnahmen bis 300 mm), sind diese Maschinen in der Regel kleiner als die Bandsägen im Sägewerk. Die üblichen Rollendurchmesser betragen 800 bis 1200 mm. Die zu trennenden Rohhobler werden auf der Einzugsseite mit Walzenpaaren dem Sägeblatt zugeführt und auf der Auszugseite wiederum mit Walzen ausgezogen. So wird das Holz präzise durch die Maschine geführt und erlaubt eine hohe Genauigkeit der Dicke der getrennten Lamelle.

Die Trennbandsägen im Hobelwerk weisen aus Gründen der Ausbeute Sägeblätter mit möglichst dünnen Blattstärken auf, in der Praxis sind Stärken von 1.8–2.5 mm üblich. Die Holzzuführung und die Blattstärken sind der wesentliche Unterschied zu den im Sägewerk gebräuchlichen Blockbandsägen.

Da das Hobelwerk in der Regel paketweise einheitliche Dimensionen auftrennt, können die Trennbandsägen sowohl bei der Beschickung als auch beim Auszug und der Paketierung mechanisiert oder direkt vor dem Hobelprozess in die Produktionslinie integriert werden. Die üblichen Vorschubgeschwindigkeiten beim Trennen im Hobelwerk betragen 15–60 m/min.



Abbildung 50: Mechanisierte Bandsägenlinie mit Vakuum-Abstapelung im Vordergrund, Vereinzelung und Zuführung zur Trennbandsäge und Ausförderung, Sortierstation und Paketierung im Hintergrund. (Quelle: OLWO AG)

Spezialität Twin-Trennbandsäge

Mit dem Aufkommen des Täfers aus nordischem Schnittholz in den 1960er-Jahren wurden aus Skandinavien stammende Twin-Trennbandsägen in den Hobelwerken eingeführt. Es handelt sich dabei um zwei gegenüberstehende Bandsägenstände, welche auf einer Verschiebebahn montiert sind. Damit lassen sich Rohhobler in einem Durchgang in drei Teile aufschneiden (bsp. 3 x 19 mm Rohmass aus 63 mm Rohhobler). Die Twin-Trennbandsäge kann auch nur mit einem Maschinenständer gefahren werden. Diese Flexibilität macht sie für das Hobelwerk zu einer Standardmaschine.

Funktion

Die wesentlichen Funktionen wurden bereits im vorigen Text beschrieben. Eine Spezialität in der Mechanisierung ist die Vereinzelung nach dem Trennen. Die zwei getrennten Bretter werden nebeneinander aus der Säge gezogen und müssen für die Qualitätsbeurteilung und die anschliessende Stapelung zuerst in die Horizontale gedreht und vereinzelt werden. In der Praxis werden dazu Abschiebequerrörder mit Höhenbegrenzern oder Vakuumhebevorrichtungen eingesetzt. Hier erfolgt im Gegensatz zum Sägewerk, welches frisches Holz zum Trocknen erzeugt, eine erste Qualitätsbeurteilung und Sortierung nach Klassen für das spätere Hobeln. Immer häufiger erfolgt nach dem Trennen ein weiterer qualitätsfördernder Zusatzprozess, das Asteinleimen. Mit dem Einleimen von Ästen vor dem Hobeln können Astausbrüche und Ausfalläste durch den späteren Hobelprozess markant verringert und dadurch die Qualitätsausbeute über die gesamte Produktionscharge erhöht werden.

Linie oder Solitäranlage?

Trennbandsägen werden im Hobelwerk sowohl als Anlagenteil direkt in die Linie vor der Hobellinie integriert oder auch als solitäre Produktionseinheit eingesetzt.

Die Linienlösung ist vordergründig wirtschaftlicher, da das Holz einmal weniger manipuliert werden muss und die getrennte Lamelle direkt in die Hobelanlage gelangt. Bei grosser Produktvielfalt und den unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten der verschiedenen Produkte beim anschliessenden Hobeln bedingt dies aber grosse Puffer zwischen den beiden Maschinen. Sonst können sie nicht mit ihren optimalen Vorschubleistungen gefahren werden.

Die Lösung als Solitäranlage erlaubt grössere Flexibilität im Produktionsprozess und eine individuelle Optimierung der einzelnen Arbeitsprozesse. Insbesondere für die Nachsortierung nach dem Trennen und bei einer Rohlamellenveredelung (Asteinleimen vor dem Hobeln) bringt die Solitäranlage Vorteile. Dieses Konzept braucht aber mehr Platz in der Produktionshalle und bedingt ein Zusatzlager für getrennte, sortierte und hobelfertige Rohhobler.

Sicherheitsbestimmungen

Es gibt keine generell geltenden Sicherheitsbestimmungen für Trennbandsägen im Hobelwerk. Die Branche orientiert sich an der SUVA-Checkliste: „Holzarbeiten mit der Bandsäge, aber sicher“, welche aber primär für kleinere, freistehende Bandsägen erarbeitet wurde, wo der Bediener das Holz dem Blatt von Hand zuführt. Die meist mechanisierten Trennbandsägenlinien in den Hobelwerken sind individuell an die örtlichen Gegebenheiten angepasst und müssen für den Erhalt der Betriebsbewilligung ein Sicherheitskonzept aufweisen. Aktuelle Sicherheitskonzepte trennen den Bediener vor den laufenden Werkzeugen oder vor Quetschgefahren mittels Sicherheitszäunen oder Lichtschranken. Beim Übertreten der Lichtschranken

stoppt die Steuerung die Mechanisierung und den Sägemotor. Die grösste Gefahr besteht beim Eingreifen in den Werkzeugbereich, solange das Bandsägeblatt noch ausrollt.

Die Sicherheitskonzepte sind in jedem Fall einzuhalten und die Funktion der Gitter und Lichtschranken ist periodisch zu überprüfen.

5.2.3. Dünnschnittgatter

Einsatzgebiet

Diese Maschine wurde in den 70er-Jahren für die Skiindustrie entwickelt und fand Verbreitung in der Massivholzplatten- und Parkettindustrie. Das Funktionsprinzip basiert auf dem im Sägewerk bekannten Gatter, wobei die zu sägenden Hölzer aus endgetrockneten, parallel besäumten, kalibrierten Schnitthölzern kleinerer Dimensionen (max. Schnitthöhe < 260 mm) bestehen und somit die ganze Technik verkleinert und präzisiert werden kann.

Bei der Erzeugung von hochwertigen Holzlamellen in den Stärken von 2–6 mm für Parkett oder Mehrschichtplatten ist der Holzverlust durch die Blattstärke ein entscheidender Faktor. Dünnschnittgatter können mit Präzisionsblättern mit Blattstärke ab 1.1 mm produzieren. Die üblichen Vorschübe bei diesen hochwertigen Lamellenprodukten betragen von 0.2 bis 1.7 m/min (Quelle: www.wintersteiger.com). In Holzindustriebetrieben werden aus Kapazitätsgründen meist mehrere Dünnschnittgatter parallel oder in Serie eingesetzt.

5.2.4. Dünnschnitt-Reduzierbandsäge

Einsatzgebiet

Bei den modernsten Produktionen von Dreischichtplatten mit grossen Produktionsvolumen werden die Lamellen für die Plattenlagen mit Dünnschnitt-Reduzierbandsägen erzeugt. Ähnlich wie beim Dünnschnittgatter werden vorgängig vierseitig kalibrierte Balken in Linie durch eine mehrere, hintereinanderstehende, horizontale Bandsägen gefahren, wobei jede Säge je eine Lamelle schneidet. Der Vorschub erfolgt durch Druckwalzen. Am Ende des Prozesses werden die aufeinanderliegenden getrennten Lamellen als Block ausgefördert und mechanisch vereinzelte. (Quelle: www.fill.co.at)

Diese beiden Maschinentypen haben in den Schweizer Hobelwerken keine Bedeutung.

5.2.5. Trennkreissägen

Einsatzgebiet

Dieser Maschinentyp ist im Hobelwerk kaum im Einsatz. Die Trennkreissäge wird im 1. Lehrjahr, Kapitel 5.7.1 unter dem Begriff Zweiblatt- oder Mehrblattmaschinen behandelt.

Im Hobelwerk können unter bestimmten maschinellen Voraussetzungen Kreissägeblätter auf die Hobelwellen in der Hobelmaschine aufgespannt werden, jedoch nur mit einem fixen Einhang. So werden zum Beispiel aus Parallelbrettern einfache Bauprodukte wie Dachlatten oder Doppellatten erzeugt. Der Blattdurchmesser ist

in der Hobelmaschine jedoch beschränkt, Trennhöhen über 65 mm sind kaum möglich.

5.2.6. Energieeffizienzpotenziale

Trennmaschinen

Die Trennbandsäge ist eine Kompaktmaschine, welche aus einem Schaltschrank angesteuert wird und beim Produktionsprozess „läuft“ oder „nicht läuft“. Wenn die Anlage mechanisiert ist, wird die Mechanisierung aus einem zweiten Schaltschrank angesteuert. Je nach Holzart, Materialstärke und Werkzeugeigenschaft ergibt sich eine optimale Vorschubleistung, welche durch Praxis und in Zusammenarbeit mit den Maschinen- und Werkzeuglieferanten ermittelt werden muss.

Moderne Maschinen mit frequenzgesteuerten Motoren weisen die beste Energieeffizienz auf. Es muss daher geprüft werden, ob sich bei älteren Anlagen ein Umbau lohnen würde.

Bei Anlagen mit Frequenzsteuerung kann durch geringeren Stromverbrauch reduziert werden, was aber direkt negative Folgen auf die Produktionsleistung hat.

In der Praxis muss durch organisatorische Massnahmen wie vorausschauende Arbeitsvorbereitung, Zusammenfassung von möglichst grossen Serien mit minimalen Querschnittswechseln und einer kontinuierlichen Holzzu- und Abfuhr sichergestellt werden, dass die Anlage bei laufenden Motoren möglichst wenig Stillstände und Störungen aufweist. Auf das Thema Störungsbehebung wird beim Kapitel Hobelanlage noch kurz eingegangen.

5.3. Hobeln

Der Hobel ist ein spanabhebendes Werkzeug und entstand etwa um 1200 v. Chr. (Quelle: Wikipedia). Das Arbeitsprinzip ist seitdem unverändert: Durch Bearbeitung eines Holzstücks mit einem Hobel werden mit einem Messer Späne abgetrennt und so das Holzbrett in die gewünschte Form oder auf die gewünschte Dimension gebracht.

Während es eine Vielzahl an Handhobeln für die verschiedensten Anwendungen gibt, welche im klassischen Handwerk immer noch gerne verwendet werden, kamen mit der Industrialisierung die ersten Hobelmaschinen mit rotierenden Wellen und eingesetzten Hobelmessern auf, welche es erlaubten im Längsdurchgang konstante Flächen, Formen und Dimensionen zu erzeugen. Das war der Start der Serienfabrikation. Im Zuge der Weiterentwicklung der Bearbeitungstechnologie hat sich am Hobelprozess grundsätzlich wenig verändert. Die Maschinen sind sicherer, präziser geworden, weisen NC-Steuerungen auf, verfügen über frequenzgesteuerte Elektromotoren, integrieren Lärmschutzmassnahmen und wurden in den letzten Jahrzehnten primär Richtung Maximierung der Vorschubleistung weiterentwickelt. Der aktuelle Weltrekord beim Hobelvorschub in der Grossindustrie liegt bei 1200 m/min.

Die grösste Entwicklung erfolgte über die Jahre bei den Werkzeugen zur Optimierung der Qualitäten der Hobelflächen und der Standzeiten.

In der Holzverarbeitung kennen wir heute vier verschiedene Typen von Maschinen:

- Die Handhobelmaschine, welche in der Werkstatt oder auf dem Bau für Anpassungen im Einsatz ist.
- Die Abrichthobelmaschine zum Ebenen und Glätten von rauhen Brettern und Kanten (Abrichten), Erzeugen von Winkelkanten und Fügen von Kanten für Breitenverleimungen
- Die Dickenhobelmaschine zum Hobeln der abgerichteten Werkstücke auf die gewünschte Dicke
- Die Mehrseitenhobelmaschinen mit der gleichzeitig vier Seiten eines Werkstückes bearbeitet werden können, teilweise auch mit Profilen

In der Holzindustrie sind vornehmlich Mehrseitenhobelmaschinen im Einsatz. In der Folge wird daher im Besonderen auf diesen Maschinentyp eingegangen.

5.3.1. Hobelmaschinen

Einsatzgebiet

Hobelmaschinen werden in der Holzindustrie sehr häufig eingesetzt:

Sägewerke

- Kalibrieren von Schalbrettern
- Hobeln von Balken
- Profilieren von Chaletflecken (Kantholz > Rohhobler)
- Herstellen von Rauhpund (Profilbretter > Nut und Kamm)

Leimholzwerke

- Vorkalibrieren der Lamellen vor der Sortierung/Scanner/Fehlerkappung
- Kalibrieren der keilgezinkten Lamellen vor der Verleimung
- Finalhobeln der verleimten Balken

Hobelwerke

- Kalibrieren von Brettern, Latten, Deckelschalung
- Profilieren von Aussenschalungen und Terrassen
- Profilieren von Innentäfer
- Herstellung von Profileisten

Je anspruchsvoller das Produkt in Bezug auf Präzision und Profilvielfalt umso komplexer werden die Hobelmaschinen gebaut. Hobelmaschinen für Serienproduktion und hohe Vorschubgeschwindigkeiten sind zudem schwerer gebaut als Maschinen für Kleinserien.

Die führenden Hersteller von Profilhobelmaschinen bieten ihre Maschinen im Modulsystem an, so dass der Besteller je nach Anforderung die Anordnung und Anzahl Hobelwellen wählen kann und die Maschine somit modular verlängerbar wird.

Aufbau und Werkzeuge



Abbildung 51: Mehrseitenhobelmaschine mit neun Spindeln, Einzug rechts (Quelle: Weinig)

Legende:

- 1 Maschinenständer
- 2 Abrichttisch, regelt die Spanabnahme
- 3 Spindeln
- 4 Maschinentisch ist immer fix
- 5 Fügelineal, regelt die Spanabnahme
- 6 Vorschubrollen
- 7 Druckelemente

Das Rohholz wird durch geriffelte Vorschubwalzen durch die Maschine gedrückt und an den auf Spindeln montierten rotierenden Werkzeugen vorbeigeführt.

Anordnung der Werkzeuge: Die in der Praxis gebräuchlichsten Spindelarrangierungen sind aus der nachfolgenden Graphik ersichtlich (Produktionsrichtung jeweils von rechts)



Abbildung 52: Anordnung 1 mit 5 Spindeln, unten-rechts-links-oben-unten (Quelle: Weinig)



Abbildung 53: Anordnung 2 mit 6 Spindeln, unten-rechts-links-rechts-oben-unten (Quelle: Weinig)



Abbildung 54: Anordnung 3 mit 7 Spindeln, unten-rechts-links-rechts-links-oben-unten (Quelle: Weinig)



Abbildung 55: Anordnung 4 mit 7 Spindeln, unten-links-rechts-oben-unten-oben-unten (Quelle: Weinig)



Abbildung 56: Anordnung 5 mit 8 Spindeln, unten-rechts-links-rechts-oben-unten-oben-unten (Quelle: Weinig)



Abbildung 57: Anordnung 6 mit 9 Spindeln, unten-rechts-links-rechts-links-oben-unten-oben-unten (Quelle: Weinig)



Abbildung 58: Anordnung 7 mit 9 Spindeln mit Universalwelle (Quelle: Weinig)

Die Anordnung 1 ist der klassische einfache Vierseiter, der oft im Sägewerk oder in einer Zimmerei eingesetzt wird. Die Hobelwerke haben meist Maschinen mit sieben und mehr Wellen (2 vertikale Profilwellenpaare) und haben mindestens eine Maschine mit einer schwenkbaren Universalwelle am Ende der Maschine, mit der auch schräge Flächen gehobelt werden können.

Funktion



Abbildung 59: Hobelkopf (Hydrowerkzeug) für untere Abrichtwelle mit klassischem Hobelmesser
(Quelle: OLWO AG)



Abbildung 60: Hobelkopf mit Bestückung mit Wendemessern, lärmarm und energieeffizient.
(Quelle: OLWO AG)

Die horizontalen Wellen dienen zur Hobelung der Flächen und werden mit Hobelköpfen bestückt. Die Profile werden mit den vertikalen Wellen erzeugt. Bei siebenwelligen Maschinen werden die ersten beiden Vertikalwellen auch mit Hobelköpfen bestückt, um präziser vorkalibrieren zu können und die nachkommenden Profilwerkzeuge weniger zu beanspruchen.

Die erste untere Welle dient der Abrichtung des Bretts und garantiert eine plane Auflagefläche auf dem Maschinentisch. Sie regelt die Spanabnahme.

Die erste Vertikalwelle dient ebenfalls der Abrichtung der Anschlagseite. Die Standard-Anschlagseite bei Hobelmaschinen ist rechts.

Nach dem Durchgang durch die ersten beiden Wellen weist das Brett in der Maschine zwei definierte Referenzflächen auf. Die Brettdimension und die Profilgeometrie werden auf diese Referenzflächen eingestellt. Die nachfolgenden Profilmesser werden so eingestellt, dass sie die Brettbreite nur noch um ein minimales Mass verringern (Ausbeuteoptimierung). Daher müssen die Abrichtwellen auf der ganzen Holzlänge ausgehobelte Flächen erzeugen. Falls die Abrichtwellen auf dem Tisch und auf der Anschlagseite nicht sauber abhobeln, können die nachfolgenden Profilmesser oder die unteren Putzwellen den Fehler nicht mehr korrigieren und es wird Ausschuss erzeugt.

Da die Abrichtseite unten die präzise Seite ist, werden die meisten Hobelwaren mit Sichtseite unten erzeugt. Das bedingt nach dem Hobeln einen automatischen Brettwender, damit die Qualitätskontrolle erfolgen kann. Einzig die sägerauhen Oberflächen werden mit Sichtseite oben gehobelt, damit die Reibung auf dem Tisch die Struktur nicht zerstört. Das bedingt jedoch einen Umbau der geriffelten Vorschubwalzen auf gummierte oberflächenschonende Vorschubwalzen.

Ältere Mehrwellenmaschinen mit Vorschub bis 60 m/min weisen beim letzten unteren Aggregat ein Schleifband auf, damit die gehobelt-geschliffene Oberfläche direkt in der Maschine erzeugt werden kann. In jüngerer Zeit werden Schleifmaschinen ausserhalb der Hobelmaschine in die Mechanisierung eingebaut.

Trennen in der
Hobelmaschine

Viele Hobelwerke nutzen die Mehrseitenhobelmaschine auch zum Auftrennen von Rohhoblern zu Latten oder zu schmalen Lamellen im Innenausbau. Der Vorteil der Hobelmaschine gegenüber einer Trennkreissäge liegt in der Möglichkeit, gleichzeitig sowohl in der Dicke zu kalibrieren als auch mit präzisen Sägeblättern einen sauberen Sägeblattschnitt zu erzeugen. Die Trennhöhe der Sägeblätter ist durch die Tischöffnung für die Hobelwellen und die Leistung des Elektromotors begrenzt. In der Regel können Rohhobler bis ca. 65 mm aufgetrennt werden.



Abbildung 61: Auftrennen mittels Hobelmaschine (Quelle: OLWO AG)

Hobelprofile

Die Herstellung der Profilgeometrie kann auf zwei Arten erfolgen.

Zusammengesetzte Profile (bedingt mindestens sieben Wellen)

- aus dem ersten vertikalen Spindelpaar wird ein eckiges Standard-Nut und Kammprofil gefräst
- das nachfolgende vertikale Spindelpaar profiliert das eckige Profil nach, erzeugt den gewünschten Falz, die Fase oder die Rundung

Festgarnitur

- Das fertige Profil wird auf einem Werkzeugkopf zusammengesetzt und hobelt das Profil nach den Abrichtwellen mit einem Vertikalspindelpaar



Abbildung 62: Profilköpfe (Festgarnituren) für eine Hobelmaschine mit 140 m/min Vorschub (Quelle: OLWO AG)

Der Vorteil der zusammengesetzten Profile liegt in der grösseren Flexibilität bei der grossen Profilvervielfalt. Um beispielsweise eine Schalung mit geringerem Fas zu erzeugen, muss nur ein neuer Fasefräser angeschafft werden, das Standard N+K Profil bleibt fix. Die Werkzeugkosten sind tiefer.

Der Nachteil der zusammengesetzten Profile liegt in der erforderlichen Präzision der Werkzeugeinstellung. Die beiden Spindelpaare liegen bis zu 1m in der Holzlänge auseinander und müssen genau aufeinander abgestimmt werden. Auch kann sich das Holz in der Maschine bei unpräzise eingestellten Druckeinrichtungen durch Eigenspannung zwischen den beiden Werkzeugen verziehen. Schon nur 1/10 mm Überzahn ist sichtbar und führt zu Ausschuss. Diese Werkzeugkombination verlangt viel Erfahrung vom Maschinisten.

Die Festgarnituren garantieren die Profiligenauigkeit, da sie unmittelbar gegenüber das Brett profilieren. Es muss nur sichergestellt werden, dass die gegenseitige Höhe stimmt und die Profilharnitur korrekt geschärft ist. Der Nachteil liegt aber in den Werkzeugkosten. Jede Profیلänderung verlangt die Beschaffung eines neuen Profilkopfs, was rasch sehr kostspielig sein kann.

Hobelmaschinen mit höheren Vorschubleistungen ab ca. 100m/min werden in der Regel nur mit Profilharnituren gefahren. Deren Werkzeuge weisen einen grösseren Flugkreis und Spindeldurchmesser von 60 mm auf und können auf kleineren Maschinen mit 50 mm Spindeln nicht gefahren werden.



Abbildung 63: Werkzeugraum eines Hobelwerks (Quelle: OLWO AG)

Bedeutung der Druckeinheiten, der Absaugung und der Überwachung

Das Brett wird mittels der obenliegenden Walzenpaare durch die Hobelmaschine geführt. Zwischen den Walzen sind oft Druckrollen oder Druckschuhe angeordnet. Die Eigenspannungen eines Holzbretts dürfen nicht unterschätzt werden. Schon kürzeste Distanzen zwischen den Druckelementen können dazu führen, dass sich das Brett vom Tisch abhebt es zu Profیلfehlern kommt. Die korrekte Einstellung und

die Überwachung der Druckanzeigen ist zentral für die Erzeugung von Qualitätsprofilen.

Die beim Hobeln erzeugten Späne oder Ausbruchäste werden durch Absaugvorrichtungen möglichst nahe am Werkzeug abgesaugt. Dennoch kommt es immer wieder vor, dass Spanteile oder kleine Spreisseln auf dem Tisch liegenbleiben und sich zwischen Tisch und Lineal oder bei den Führungsrollen verklemmen können. Sobald ein Brett im Hobel auf einen Widerstand auffährt, kann dies während kurzer Zeit die Druckeinheit anheben, was wiederum zu Profilfehlern führt.

Bedeutung Vorschub und Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit

Der Vorschub in der Hobelmaschine, die Drehzahl der Spindeln und der Flugkreis der Hobelmesser (Durchmesser) müssen aufeinander abgestimmt sein. Es geht einerseits darum, dass die Holzoberfläche eine akzeptierbare Qualität aufweist und andererseits, dass die Schnittleistung der eingesetzten Messerschneide optimal eingesetzt wird. Bei jedem Werkzeug ist ein Messer im Einsatz.

Der Messerschritt

Beim Hobeln mit rotierendem Werkzeug entsteht auf der Hobelfläche ein Wellenmuster. Der Abstand der Wellen entspricht der Distanz zwischen dem Eintritt und Austritt der einzelnen Messerschneiden. Dieser Abstand wird als Messerschritt (evtl. auch als Hobelschritt, Hobelschlag, Vorschub pro Schneide) bezeichnet.

Je länger ein Messerschritt ist, desto deutlicher werden die Wellen auf der Hobelfläche sichtbar. Je kürzer ein Messerschritt ist, desto glatter und feiner wird die Oberfläche des Werkstücks.

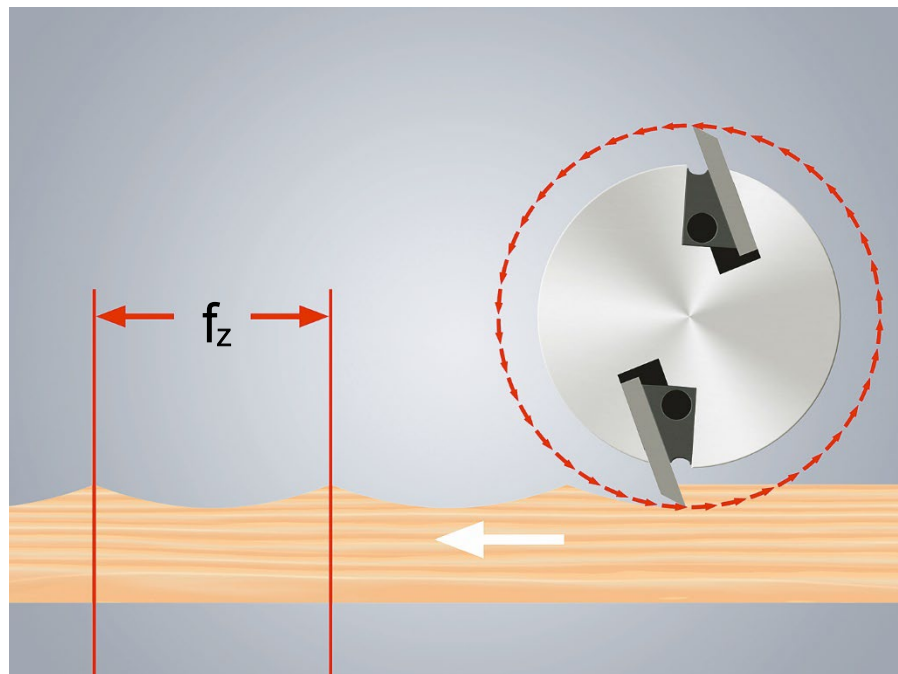


Abbildung 64: Die Messer (rechts) drehen sich – f_z zeigt die Länge des Messerschrittes an. (Quelle: Weinig)

Die Länge des Messerschrittes f_z ist abhängig von der Vorschubgeschwindigkeit v , der Drehzahl n der Spindeln und der Anzahl Messer z im Werkzeugkörper.

Der Messerschritt lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$f_z = \frac{v \times 1000}{n \times z}$$

Mit kürzeren Messerschritten steigt die Oberflächengüte und die Standzeit zwischen den Schärfvorgängen nimmt ab. Dies veranschaulicht die nachfolgende Grafik.

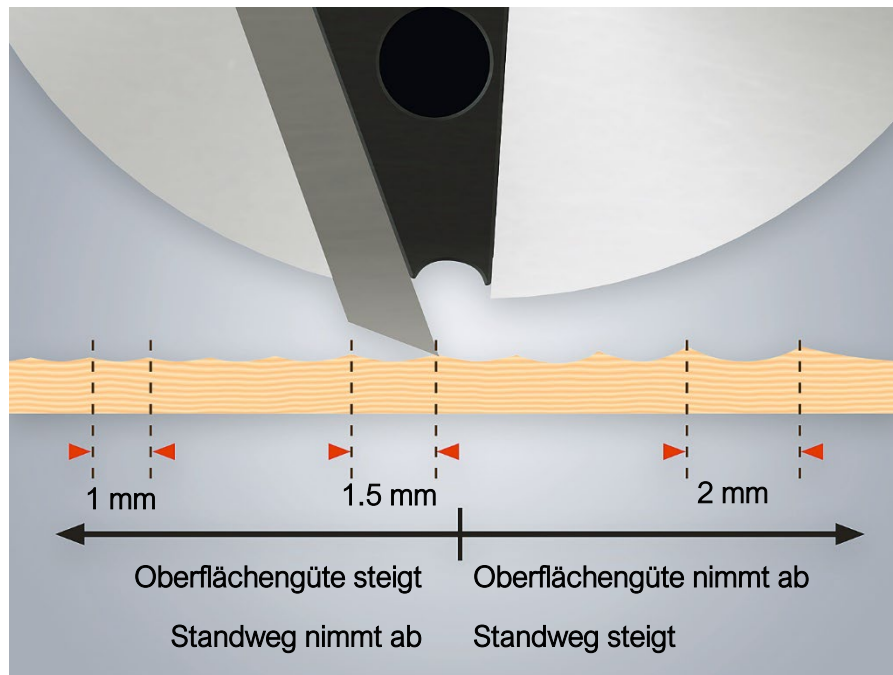


Abbildung 65: Die Wirkung von kürzeren Messerschritten (Quelle: Weinig)

Berechnungs-
beispiel

Du hast ein Bodenprofil aus Fichte gehobelt mit einem Vorschub der Hobelmaschine von 60 m/min. Das Resultat ist unbefriedigend und zeigt auf der sichtbaren Oberfläche auf einer Länge von 20 mm 12 Messerschrittzeichen.

Die Hobelwelle hat $z=6$ (6 Messer), der Flugkreis beträgt 200 mm, die Umdrehung der Welle beträgt 6000 U/min.

Das Muster des Kunden ist auf der Oberfläche viel feiner, auf 2 cm Länge kannst Du 20 Messerschritte erkennen. Was kannst Du verbessern?

1. Welche Produktionsparameter musst du kennen, um die Aufgabe zu lösen?
2. Musst Du den Vorschub vergrößern oder verringern?
3. Mit welchem Vorschub musst du produzieren, um 1 mm Messerschritt zu erreichen?

Antwort zu Frage 1

Vorschubgeschwindigkeit, Anzahl Messer, Umdrehung der Welle

Antwort zu Frage 2

Verringern

Antwort zu Frage 3

tolerierte Messerschrittlänge = 20 mm: 20 = 1 mm

Berechnung: gem. Formel nach v auflösen:

$$V = (f_z \times n \times z) / 1000 = 1 \text{ mm} \times 6000 \text{ m/min} \times 6 / 1000 = 36 \text{ m/min}$$

Der Vorschub muss auf 36 m/min reduziert werden

Jointen

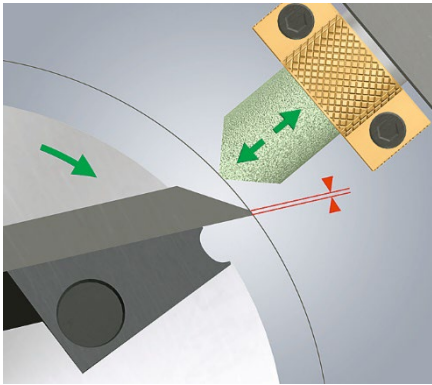


Abbildung 66: Jointen
(Quelle: Weinig)

Beim Jointen werden die Schneiden der einzelnen Schneidmesser innerhalb der Maschine durch Heranführen eines Jointsteins auf einen einheitlichen Flugkreis gebracht bzw. abgezogen oder geschliffen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Werkzeuge selbst schon sehr gut geschliffen werden und das Werkzeugspannsystem nur sehr geringe Rundlauf toleranzen aufweist.

Um eine stets gleichmässig hohe Oberflächengüte des Werkstücks sicherzustellen, darf die an der Messerspitze entstehende Jointfase eine bestimmte Breite nicht übersteigen. Bei Weichholz sollte sie nicht mehr als 0,5 mm, bei Hartholz nicht mehr als 0,7 mm betragen.

Im Arbeitsalltag sind nicht die Lernenden, sondern in der Praxis ausgebildete betriebsinterne Fachkräfte oder externe Dienstleister für dieses wichtige Thema zuständig. Die Maschinenhersteller bieten meist ein geeignetes Werkzeugsystem an. Die Werkzeuglieferanten sind wichtige Partner in der Beratung, wenn es um die Hobelqualität geht.

Es gibt in der Fachliteratur jedoch viele sehr gute Dokumente zum Thema, dazu gehören:

- Weinig: Alles über Werkzeug
(https://m.weinig.com/fileadmin/assets/migrated_zu_verschieben/pdfs_docs/Alles_ueber_Werkzeug_Screen_05.pdf)
- Leitz Lexikon Edition 7 – Hobeln und Profilieren
(https://www.leitz.org/fileadmin/Downloads/Lexikon/DE/Leitz_Lexikon_Edition_7_-_03_Hobeln_und_profilieren.pdf)

Sortierprozess in der Produktion

Nach dem Auszug aus der Hobelmaschine werden die profilierten Lamellen quer abgeschoben und so gedreht, dass der Bediener die sichtbare Oberfläche (Sichtseite) sieht. Hier erfolgt die Qualitätsbeurteilung und die Sortierung nach den Erscheinungsklassen (siehe HHG Kapitel 3.1). Die Sortierung wurde im 1. Lehrjahr detailliert behandelt. Hier geht es lediglich um den Prozess während der Fertigung.

Die grosse Herausforderung für den Bediener ist die kurze Beurteilungszeit für die Qualitätskontrolle. Bei einem Vorschub von üblichen 60m/min und 5-m-Lamellen passieren pro Minute 12 Lamellen stirnseitig beim Sortierer vorbei. Bei einem Vorschub von 100m/min sind es 20 Lamellen pro Minute. Dem Sortierer bleiben also 3 bis 5 Sekunden, um über die Qualität zu entscheiden und um allfällige Fehllamellen mechanisch auszuschleusen.

Bei visueller Kontrolle und anspruchsvollen Produkten werden daher oft zwei Personen an die Maschine gestellt, je an einem Brettende, damit jeder nur die halbe Brettlänge beurteilen muss.

Ziel des Hobelwerks muss es sein, die Rohlamellen in möglichst guter, dem Endprodukt entsprechender Qualität zu beschaffen, nach dem Trennen vorzusortieren, damit die Ausschussrate minimiert wird und der Bediener nur die groben Fehler auf der sichtbaren Oberfläche feststellen muss (Astausbrüche, Brettrisse, Rindeneinwüchse, Buchs). Die Oberflächenqualität, die Masshaltigkeit und das Profil werden periodisch während des Hobelns durch Messen überprüft. Dazu wird entweder eine Lamelle zu einer Messstelle ausgeschleust oder der Vorschub für die Messung gestoppt. Bei Feststellung von Abweichungen muss augenblicklich an der Hobelmaschine korrigiert werden.



Abbildung 67: Scanner WoodEye
(Quelle: OLWO AG)

Die technologische Entwicklung führt dazu, dass für die Qualitätsbeurteilung zunehmend Scanner im Einsatz sind. Die heutige Generation von vierseitigen Farbscannern kann zuverlässig die Merkmale der Sortierklassen gemäss HHG für Fichten und Tannendholz erkennen. Bei Lärche und Thermoholz gibt es aktuell noch Mängel. Der Vorteil des Scanners ist die jederzeit gleichmässige Beurteilung und die mögliche Dokumentation des Sortierresultats. Die betriebsinternen Sortierursachen (die HHG lassen Toleranzen zu) müssen im Scanner für jedes individuelle Produkt parametrisiert werden, was ein nicht zu unterschätzender Initialaufwand bedeutet, sich aber langfristig durch tiefere Personalkosten und zuverlässigere Sortiерergebnisse auszahlt.

Die Systemkosten für einen Scanner sind in den letzten Jahren deutlich gesunken und werden nun auch für den Mittelstandsbetrieb interessant. Eine Herausforderung sind die Schnittstellen eines modernen Scanners mit der bestehenden Mechanisierung des Hobelwerks und oft auch die Einbaumöglichkeiten in die bestehende Mechanisierung bei den häufig sehr engen Produktionssituationen in der Schweiz. Scanner werden daher vorwiegend bei Neuinvestitionen angeschafft.

Oberflächenprobleme: Ursachensuche

Um eine optimale Qualität zu erreichen, ist auf fehlerhafte Stellen an den Lamellen zu achten. Einige der möglichen Oberflächenfehler und die Korrekturmassnahmen sind nachstehend aufgeführt (nicht abschliessende Auflistung).

Problem / Fehler	Ursache	Massnahme
Wellen / Schläge auf der Sichtseite	Zu hoher Vorschub	Vorschub reduzieren
	Messer nicht gleich hoch	Messer richten / Jointen
	Druckelemente zu wenig Druck	Druck erhöhen / einstellen
Rauhe Stellen auf der Sichtseite	Spanabnahme zu gering	Spanabnahme erhöhen
	Zu viel abgerichtet	Abrichtmass reduzieren

Kratzspuren auf der Sichtseite	Ast in den unteren Führungsrollen Schmutz auf den Vorschubrollen	Maschine Reinigen Rollen reinigen
Einschläge unten jeweils am Brettanfang / Brettende	Werkzeug auf der Abbrichtspindel steht zu hoch	Werkzeug zum Tisch einstellen
Einschläge oben jeweils am Brettanfang / Brettende	Federandruck zu gering Druckschuh zu hoch	Federandruck erhöhen Druckschuh einstellen
Fasern stehen auf	Zu hoher Vorschub Werkzeug ist nicht mehr scharf	Vorschub reduzieren Werkzeug schärfen
Brandspuren an den Kanten	Fehlender Freiwinkel Zu langsamer Vorschub	Freiwinkel schärfen (Winkel vergrössern und Werkzeug schärfen) Vorschub erhöhen

Sicherheitsbestimmungen

Die Bedienung einer Hobelmaschine ist nicht ungefährlich. Die kleinste Unachtsamkeit kann böse Folgen haben. Schnittverletzungen sind möglich bis zum Wegschneiden von Gliedern, vorwiegend Finger/Hand. Da die Mitarbeitenden für das Einstellen der Werkzeuge und der Profile an der offenen Maschine kontrollieren müssen (Einstellmodus) ist vom Maschinisten eine besondere Sorgfalt erforderlich.

Nach dem Stopp der Hobelmaschine (sei es durch eine Störung, Auslösung einer Sicherheitseinrichtung oder durch ein aktives Abstellen der Maschine), drehen die Werkzeuge im Freilauf noch weiter und laufen langsam aus. Bei 6000 bis 8000 Touren pro min kann das recht lange dauern. Während dieser Auslaufzeit ist es absolut verboten und höchst gefährlich, sich dem Werkzeug zu nähern. Erst wenn das Werkzeug stillsteht, darf eingegriffen werden. Moderne Maschinen verfügen zunehmend über elektromagnetische Bremsvorrichtungen für die rotierenden Werkzeuge, aber das ist noch lange nicht Standard.

Für die Hobelwerke ist die Suva-Checkliste «Abrichthobelmaschine» relevant. Nachfolgend sind die wichtigsten Regeln daraus aufgelistet:

- Grundsätzlich arbeiten wir gemäss der Checkliste «Abrichthobelmaschine» und der DVD «Holz sicher und effizient bearbeiten».
- Wir arbeiten nie ohne Schutzvorrichtung und tragen beim Arbeiten den Gehörschutz.
- Wir tragen eng anliegende Kleider.
- Beim Fügen schieben wir die Schutzvorrichtung immer ganz an das Werkstück.
- Beim Fügen machen wir den Anpressdruck und den Vorschub des Werkstückes mit geschlossener Handstellung.

- Bei abgesetzten Hobelarbeiten halten wir das Werkstück beim Einfahren so, dass beide Hände über dem Zuführtisch sind.
- Wir halten Ordnung und verlassen die Maschine in einem sicheren Zustand.

Energieeffizienzpotenziale

Hobelmaschinen sind grosse Stromfresser. Jede Spindel und die Vorschubeinheiten haben eigene Motoren, welche heute zwar meist frequenzgesteuert sind, aber dennoch rasch zwischen 8 bis 20 kW Leistung pro Motor aufweisen. Die Anschlussleistung einer neunwelligen Hobelmaschine beträgt rasch 200 kW.

Wie kann dennoch Strom gespart werden?

- Frequenzgesteuerte Motoren
- Neue Werkzeuge sind bezüglich Energieeffizienz optimiert. Sie weisen eine andere Geometrie auf als klassische Werkzeuge.
- Bei einer Neubeschaffung können schräg angeordnete, untere Abrichtwellen dank ziehendem Schnitt weniger Energie verbrauchen.
- Absaugung frequenzgesteuert und in Abhängigkeit mit den hergestellten Produkten variabel einprogrammieren (nicht immer im maximalen Konstantmodus).
- Nicht eingesetzte Spindeln abschalten.
- Vorschub so optimieren, dass das Verhältnis Produktionsmenge/Stromverbrauch /Produktequalität optimiert ist.
- Ev. vorkalibrierte Rohlamellen einsetzen (grosse Massdifferenzen können zu Überbelastungen der Spindeln führen).
- Leerlaufsituationen vermeiden.
- Kontinuierlichen Materialfluss sicherstellen durch Puffer vor- und nach der Hobelmaschine und genügend Ausschleusemöglichkeiten für die deklassierte Ware (sich nicht den Platz zustellen) zur Verfügung halten.
- Abtransport der fertigen Ware durch den Staplerfahrer sicherstellen.
- Grosse Serien fahren, minimale Dimensions- und Profilwechsel vornehmen
- Bei Wechseln die Mechanisierungen und Peripheriegeräte konsequent abstellen.

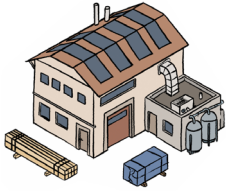
Störungen vermeiden

In vielen Praxisfällen laufen während Störungen in der Maschine oder in der Mechanisierung die Antriebsmotoren unnötig lange leer. Besser wäre es daher, das Risiko von Störungen durch präventive Massnahmen zu minimieren. Störungen erfolgen oft durch:

- Unsorgfältige Wartung
- Schlecht oder lose montierte Sicherheitsvorrichtungen, Sensoren, etc.
- Einsatz von qualitativ minderwertigem Holz
- Grosse Massdifferenzen bei der Rohware
- Ungeschulte Personen im Betrieb, welche in die Sicherheitsbereiche treten

Weiterführende Unterlagen zum Thema Hobelwaren findet man auf der Website des Verbands Schweizerischer Hobelwerke www.vsh.ch unter der Rubrik Technische Unterlagen.

6. Leimen



Leimwerk

HK d1: Fertigung von holzbasierten Produkten vorbereiten

HK d2: Holzbasierte Produkte fertigen

Im heutigen Holzbau spielt sogenanntes Leimholz eine wichtige Rolle. Vom ein- bis zum mehrgeschossigen Haus über Hallenkonstruktionen bis hin zu Brücken werden die Vorteile des Leimholzes genutzt.

Die Bretter und Bohlen lassen sich gut und relativ schnell trocknen. Miteinander verklebt sind aus den Brettern und Bohlen grössere Querschnitte mit gleichmässiger Holzfeuchte möglich, wo ein gleich grosser Vollholzquerschnitt nur schwer zu trocknen wäre. Der Aufbau des grossen Querschnitts aus den kleinen Teilquerschnitten der Bretter und Bohlen mit unterschiedlichen Jahrringstellungen führt ausserdem zu einer besseren Formstabilität, geringerer Rissanfälligkeit und ausgeglicheneren Eigenschaften. Auch einachsig gekrümmte stabförmige Bauteile lassen sich einfach herstellen. Selbst gekrümmte Schalenelemente aus Brettsperrholz werden heute von spezialisierten Unternehmen hergestellt.



Abbildung 68: Der 22 Meter hohe Aussichtsturm ist mit Bauteilen aus gekrümmtem, kreuzweise verleimtem Holz konstruiert und mit vertikal angebrachten, 20 mm starken Massivholzpaletten aus Lärche hinterlüftet verkleidet. (Quelle: Blumer Lehmann)

Praxisaufträge im Betrieb

Verarbeitungsstufe 2:

- Holzbasierte Produkte kommissionieren, nach Qualitäten sortieren und bereitstellen
- Holz nach Erscheinungsklassen (Qualitäten) ausflicken
- Hergestellte Produkte bei jedem Arbeitsschritt unter Anleitung kontrollieren

Praktikum Verarbeitungsstufe 2 (unter Aufsicht):

- Holzbasierte Produkte kommissionieren, nach Qualität Industrie, Normal N1 und N2 sowie Auslese klassieren und bereitstellen
- Holz in Sichtqualität ausflicken
- Hergestellte Produkte bei jedem Arbeitsschritt kontrollieren

Überbetrieblicher Kurs 6 & 7

- Qualität gem. Holzhandelsgebräuchen beurteilen
- Holzfeuchte gem. Einsatzzwecken
- Festigkeits- und Erscheinungssortierung
- Qualitätssicherung, Keilzinken-Biegeprüfungen, Scherprüfungen (Delaminierungsprüfung)
- Qualitätskontrolle, Kommissionieren, Lieferungen zusammenstellen, Endkontrolle
- Produktionslisten nachtragen und Lieferungen dokumentieren

Berufliche Situationen

- Sie beurteilen Rohlamellen und markieren Kappstellen zur Festigkeitssortierung an der Kappstation in der Produktion.
- Sie stellen Kappkreissäge und Keilzinkenmaschine ein und überwachen den Prozess. Sie entnehmen dabei sporadisch Prüfkörper aus der laufenden Produktion gemäss WPK/QM-Handbuch.
- Sie rüsten und bedienen die Leimauftragsmaschine und die Leimpresse und überwachen den Prozess.
- Sie bearbeiten das Leimholz gemäss Auftrag.

Lernziele

- Sie beschreiben die geschichtliche Entwicklung des Leimholzes in groben Zügen.
- Sie erläutern die wichtigsten Grundlagen und Begriffe zu den Klebverbindungen.
- Sie beschreiben den Produktionsprozess von der Leimholzprodukte.
- Sie beschreiben den Aufbau, die Funktion und die Sicherheitsmassnahmen der Produktionsanlagen.
- Sie erläutern vorgegebene Massnahmen zur Qualitätssicherung / werkseigenen Produktionskontrolle.

6.1. Leimholz

Produktionsprozess

Obwohl in den Leimwerken unterschiedliche Anlagen für die Herstellung der Leimholz-Produkte verwendet werden, ist der grundlegende Prozess immer gleich und wird nach den Vorgaben der Produktnorm durchgeführt. In diesem Kapitel lernen Sie die allgemeinen Grundlagen kennen. Die spezifischen Vorgaben sind in der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) für die eigene Produktion zusammengestellt.

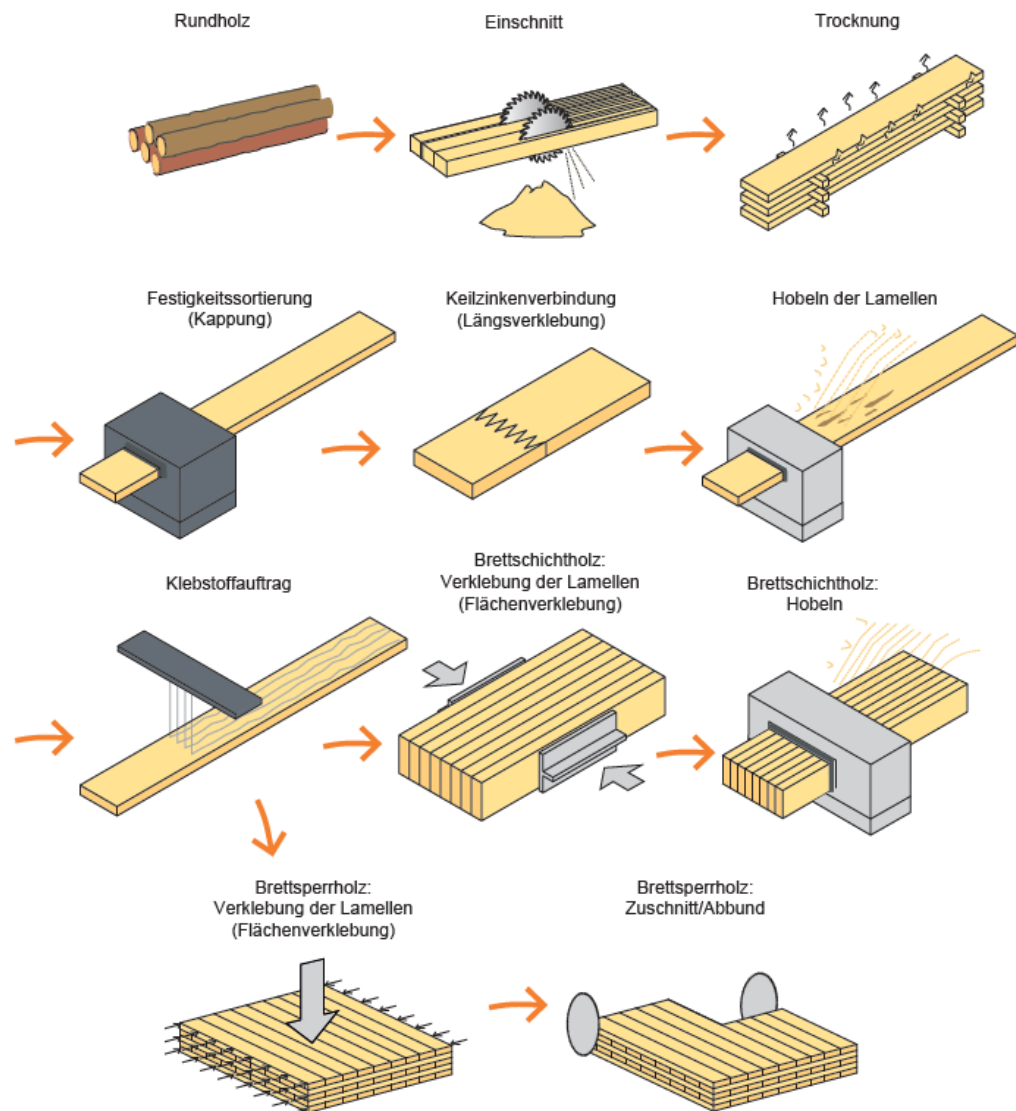


Abbildung 69: Herstellungsprozess (schematisch) von geradem Brett-schichtholz und von Brett-sperholz, Skizzen. (Quelle: Svenskt Trä)

Leimholz-Produkte

Als Grundlage für Ihre Tätigkeit im Leimholzwerk haben Sie unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr die normierten Leimholz-Produkte mit ihren Erscheinungs- und Festigkeitsklassen, einem Überblick zur Herstellung und Zertifizierung sowie ihren Regeln und Gebräuchen bereits kennengelernt.

6.2. Geschichtliche Entwicklung

Durchmesser und Länge des Rundholzes begrenzen die möglichen Abmessungen der daraus herstellbaren Bauteile. Die Überwindung dieser natürlichen Grenzen durch das Zusammenfügen von Brettern, Bohlen und Kanthölzern zu Bauteilen mit grösseren Querschnitten und/oder Längen beschäftigte die früheren Baumeister und Zimmerleute. Die Entwicklung zum Brettschichtholz dauerte über mehrere Jahrhunderte. Ausgehend von den verzahnten Balken wurden im 18. Jahrhundert bogenförmige Träger aus mehrlagig übereinanderliegenden Bohlen hergestellt.

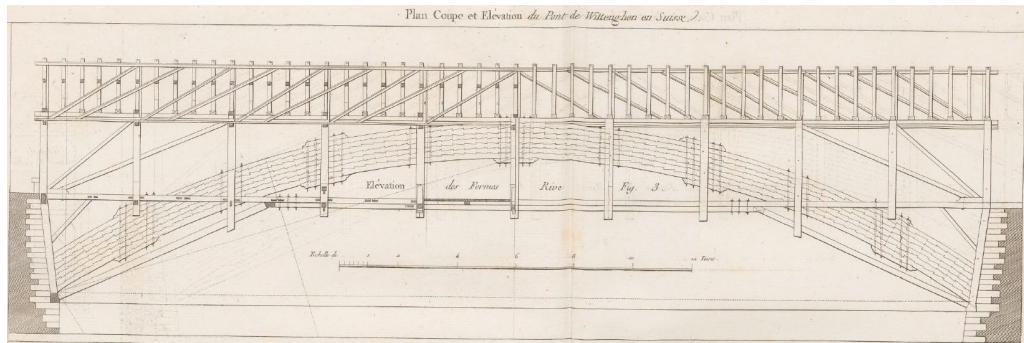


Abbildung 70: Ansicht der aus miteinander verzahnten Bohlen hergestellten Bogenträger der 1765/66 von Hans Ulrich Grubenmann erbauten Limmatbrücke in Wettingen. (Quelle: Krafft, 1805)

Erstmals wurden verleimte Bogenträger im Jahr 1809 für den Bau einer Brücke in Bayern beschrieben. Später im 19. Jahrhundert folgten weitere verleimte Bogenträger bei Brücken und Dachtragwerken in Grossbritannien.

Patent von Otto
Hetzer

Otto Hetzer hat 1906 ein «Gebogener Holz-Bauteil für vereinigte Dach-Pfosten und -Sparren, der aus mehreren in die gewünschte Form gebogenen Langholzstäben unter Zwischenfügung eines in Feuchtigkeit nicht löslichen Bindemittels zusammengesetzt ist» patentieren lassen, siehe Abbildung 71. Hetzer wird deshalb oft in Unkenntnis der früheren Entwicklungen die Erfindung des Brettschichtholzes zugeschrieben. Daraus entstand die in der Praxis während langer Zeit gebräuchliche Bezeichnung «Hetzerträger» für Brettschichtholz-Träger.

Die Lamellen wurden in Längsrichtung noch stumpf gestossen und mit Kaseinleim zum «Hetzerträger» verklebt. Weil Verklebungen mit Kaseinleim feuchtempfindlich sind, wurden die Lamellen teilweise zusätzlich zur Verklebung vernagelt, um bei einer allfälligen Schädigung der Leimfugen einem Versagen vorbeugen zu können.

Hetzer-Bauweise
in der Schweiz

Wesentlich zur Verbreitung und Weiterentwicklung der Hetzer-Bauweise trugen die Ingenieure Terner und Chopard aus Zürich mit ihren Bauten bei. Es entstanden rasch zahlreiche Tragwerke, beispielsweise im Jahr 1912 die Lokomotivremise Ae-bigut der SBB in Bern, siehe Abbildung 72.

Einführung der
Kunsthartz-Kleb-
stoffe

Ab den 1930er Jahren standen neu entwickelte Kunsthartz-Klebstoffe zur Verfügung und lösten über die folgenden Jahrzehnte die Kaseinleime im Holzleimbau ab. Gegenüber den Kaseinleimen war vor allem die Wasser- und Schimmelfestigkeit ein wesentlicher Vorteil der Kunsthartz-Klebstoffe.

Einführung der Keil-
zinkenverbindung

Die Keilzinkenverbindung für den Längsstoss der Lamellen wurde ab Ende der 1930er-Jahre entwickelt. Die Einführung in der Brettschichtholzproduktion folgte erst einige Zeit später. Die Produktionsanlagen zur Herstellung der Keilzinkenverbindung werden bis heute laufend weiterentwickelt und optimiert, insbesondere für Laubholz.

Ab Mitte der 1990er-Jahre wurden grossformatige Platten aus gekreuzten Brettlagen hergestellt. Diese werden als Brettsper Holzplatten oder kurz als CLT (abgekürzt aus dem Englischen für Cross Laminated Timber) bezeichnet.

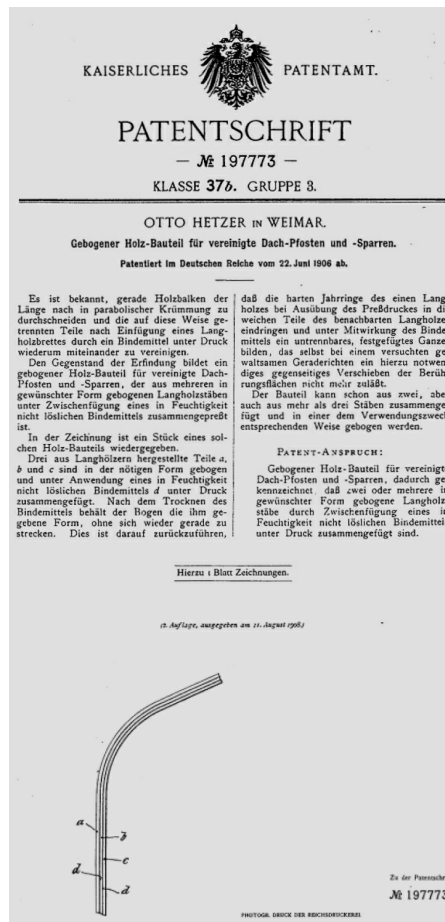


Abbildung 71: Hetzers Patent von 1906 (Quelle: Rug, 2006)

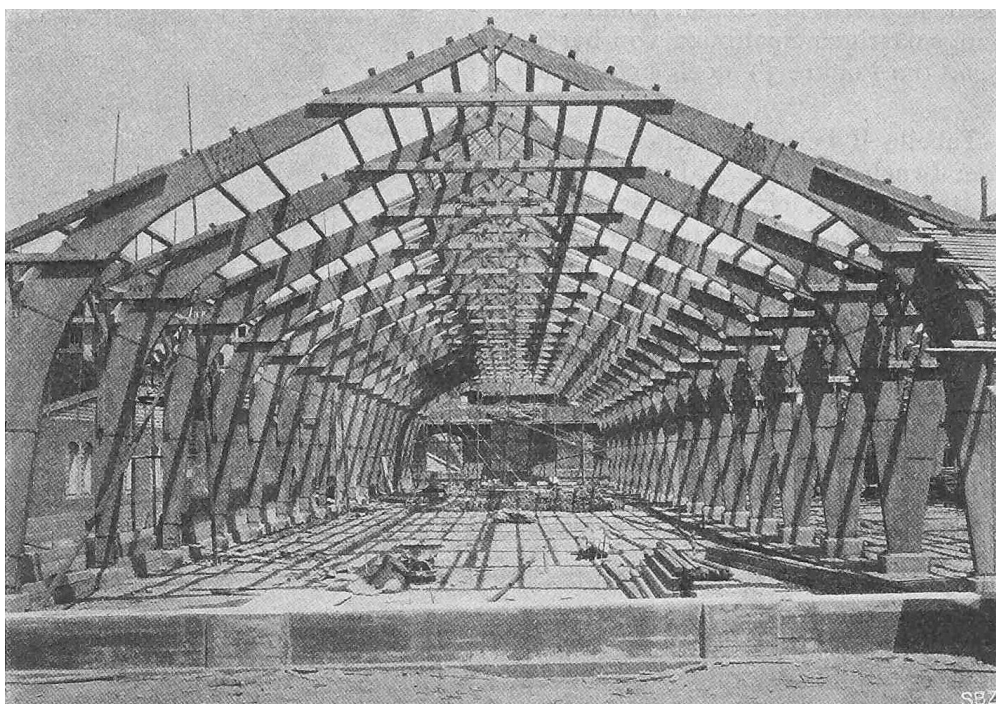


Abbildung 72: Blick in die Halle 1 der Lokomotivremise Aebigut in Bern während des Baues. (Quelle: Chopard, 1913)

6.3. Grundlagen zum Kleben im Holzleimbau

Die Produkte des Holzleimbaus werden als tragende Bauteile eingesetzt, bei denen die Tragsicherheit langfristig zu gewährleisten ist. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für ihre Tätigkeit im Holzleimbau ist deshalb die Kompetenz, dauerhafte Klebverbindungen herstellen zu können. Dafür sind ausreichende Kenntnisse der Klebeverbindung und deren Herstellung sowie das Bewusstsein der Empfindlichkeit des Herstellprozesses erforderlich. Bereits kleinere Abweichungen von den Vorgaben des Klebstofflieferanten können Mängel in der Klebeverbindung oder sogar deren Auflösung mit der Zeit verursachen.

Im folgenden Teil erfahren Sie die wesentlichen Grundbegriffe über das Prinzip der Verklebung und die Herstellung der Verklebung.

6.3.1. Prinzip der Verklebung

Klebverbindung

Beim Kleben werden Fügeile mithilfe eines Klebstoffs verbunden. Klebstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie während des Auftrags auf die Fügeile flüssig sind und sich deshalb gut auf der (rauen) Oberfläche der Fügeile verteilen lassen. Dann härten sie aber zu einer festen Zwischenschicht aus. Der Klebstoff verbindet dabei die Fügeile durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) und innere Festigkeit (Kohäsion). Die Adhäsionskräfte wirken in den Grenzschichten, während die Kohäsionskräfte in der Klebschicht selbst wirken, siehe Abbildung 73.

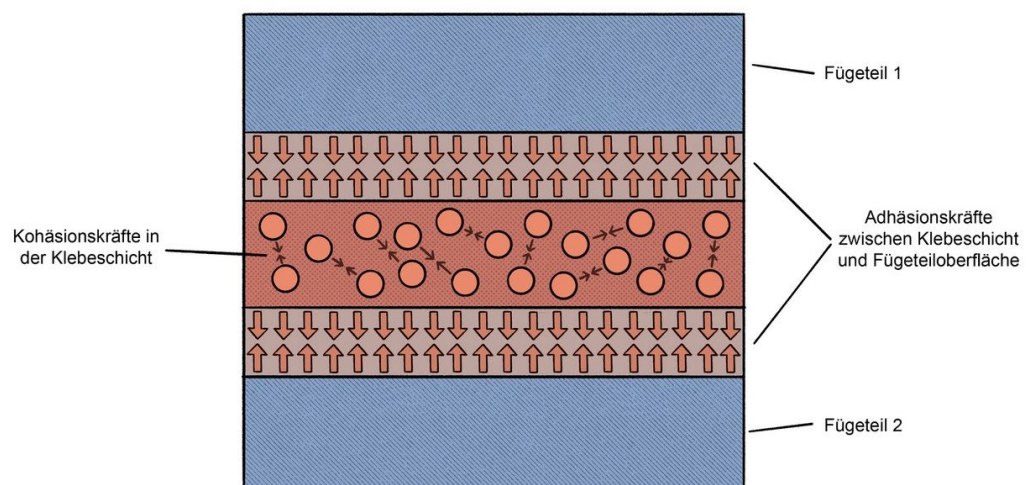


Abbildung 73: Adhäsions- und Kohäsionskräfte in einer Klebung (Quelle: HIS nach Habenicht)

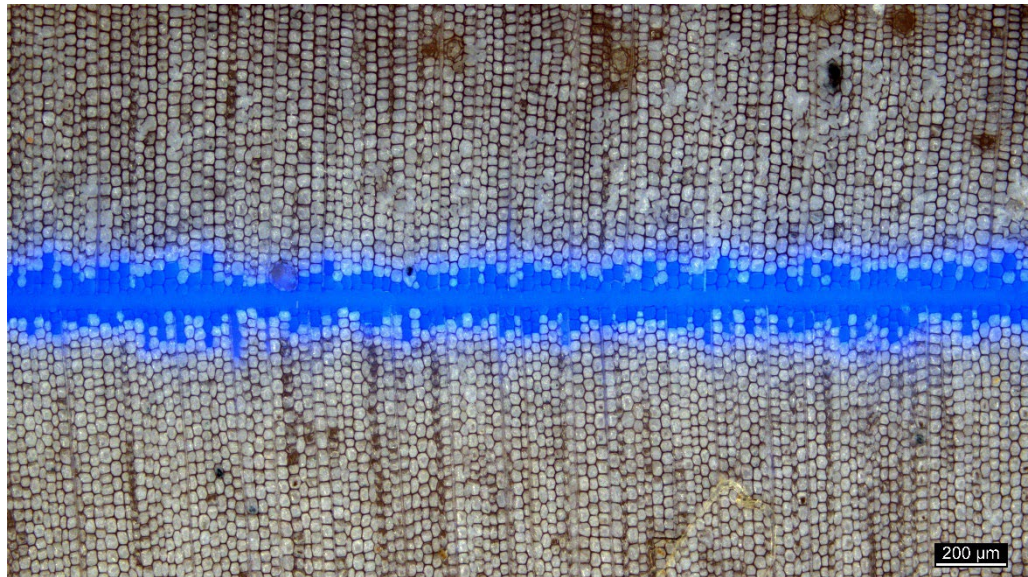


Abbildung 74: Mikroskopische Aufnahme einer Klebfuge (1K-PUR) in Brettchichtholz aus Fichte.
(Quelle: Adrian Wick, BFH-AHB)

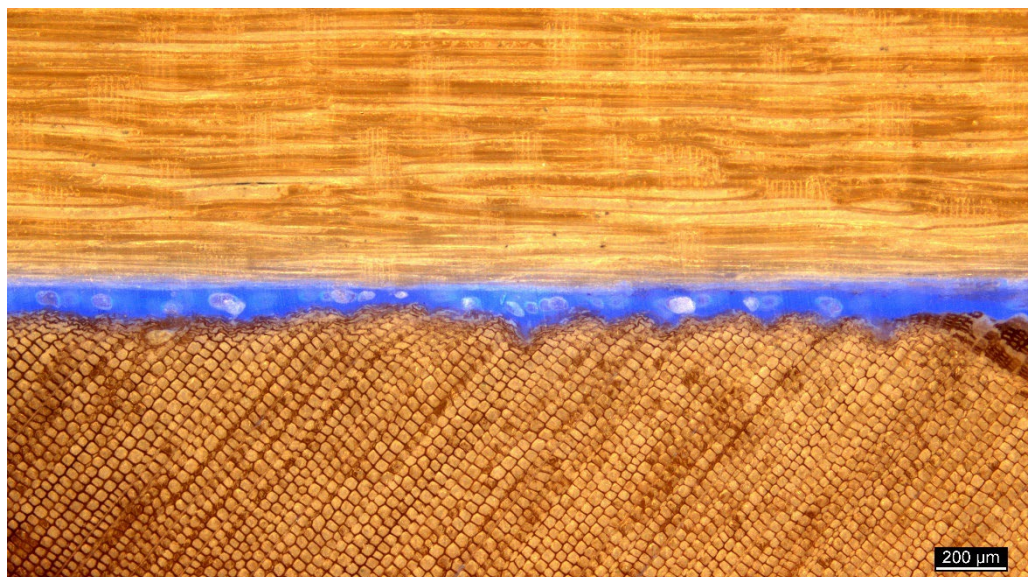


Abbildung 75: Mikroskopische Aufnahme einer Klebfuge (1K-PUR) in Brettsperrholz aus Fichte.
(Quelle: Adrian Wick, BFH-AHB)

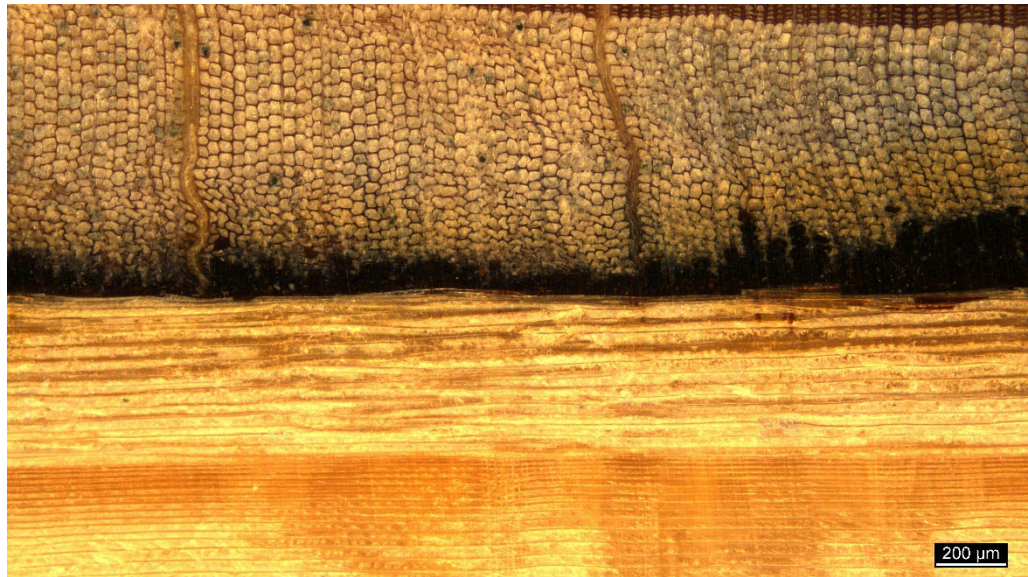


Abbildung 76: Mikroskopische Aufnahme einer Klebfuge (PRF) in Furnierschichtholz aus Fichte.
(Quelle: Adrian Wick, BFH-AHB)

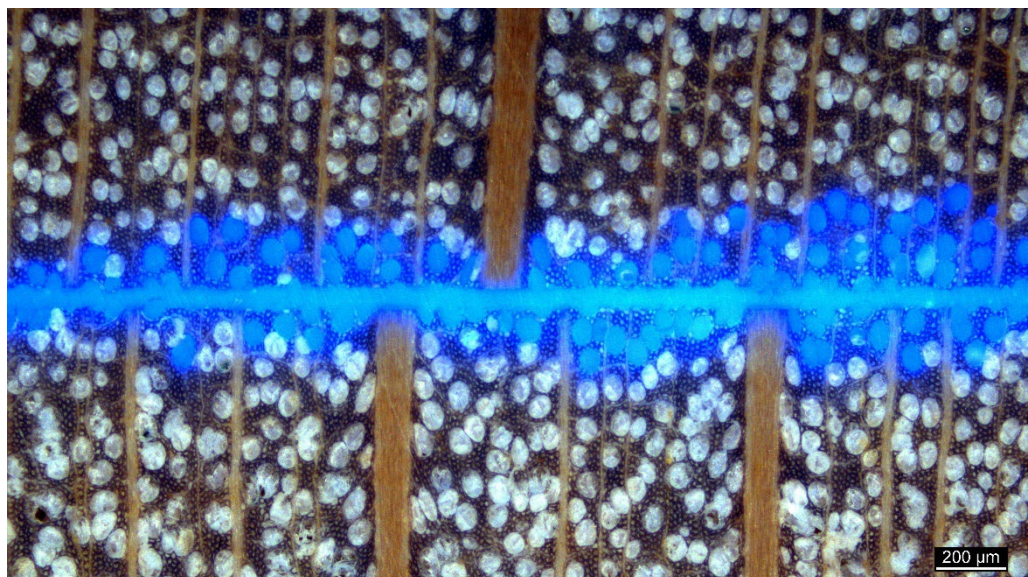


Abbildung 77: Mikroskopische Aufnahme einer Klebfuge (1K-PUR) in Brettschichtholz aus Buche.
(Quelle: Adrian Wick, BFH-AHB)

Leimen oder Kleben

In der Holzbranche wird oft der Begriff «Leimen» anstatt «Kleben» bzw. «Leim» anstatt «Klebstoff» verwendet. Das geht auf die ursprünglich verwendeten, wasserbasierten Klebstoffe (also Leim) zurück und ist genaugenommen heute nicht mehr zutreffend.

Die Begriffe zur Verklebung sind in der Norm SN EN 923:2016 wie folgt festgelegt:

KLEBSTOFF	nichtmetallischer Stoff, der Werkstoffe durch Oberflächenhaftung (Adhäsion) so verbinden kann, dass die Verbindung eine ausreichende innere Festigkeit (Kohäsion) besitzt
LEIM	wasserbasierter Klebstoff, insbesondere zum Kleben von Holz und anderen porösen Werkstoffen entwickelt

ADHÄSION	Zustand, in dem zwei Oberflächen durch Grenzflächenbindungen zusammengehalten werden
KOHÄSION	Zustand, in dem die Teile eines Stoffes durch intermolekulare Kräfte zusammengehalten werden

Tabelle 10: Begriffe zur Verklebung (SIA, 2016)

Adhäsion

Der Begriff Adhäsion leitet sich vom lateinischen Wort „adhaerere“ (anhaften) ab. Unter Adhäsion versteht man das Anhaften gleicher oder verschiedenartiger Stoffe aneinander. Die Adhäsionskräfte (Haftungskräfte) resultieren aus mehreren Ursachen. Beim Kontakt entstehen physikalische Wechselwirkungen zwischen Molekülen oder Atomen an den Oberflächen der beiden Materialien. Diese Kräfte sind jedoch sehr klein. Deshalb ist Wirkung der sogenannten mechanischen Adhäsion aufgrund der faserig-porösen Struktur des Holzes wesentlicher. Der Klebstoff bildet dabei formschlüssige Verklammerungen in den mikroskopisch kleinen Poren und Vertiefungen an der Holzoberfläche. In einigen Fällen können Holz und Klebstoff auch eine chemische Bindung miteinander eingehen, beispielsweise bei Polyurethan und Holz. Dabei entsteht in der Regel eine besonders feste und dauerhafte Verbindung.

Kohäsion

Der Begriff Kohäsion leitet sich vom lateinischen Wort «cohaerere» (zusammenhängen) ab und beschreibt die Bindungskräfte, die innerhalb eines Stoffes wirksam sind. Die Kohäsionskräfte in der Klebschicht resultieren aus chemischen Bindungen innerhalb der Klebstoffmoleküle (zwischen den einzelnen Atomen) sowie aus physikalischen Wechselwirkungen zwischen den Molekülen des Klebstoffs. Zusätzlich können sich grosse Klebstoffmoleküle untereinander verschlaufen, was zu einer mechanischen Verklammerung führt.

Festkörper besitzen im Vergleich zu Flüssigkeiten eine deutlich höhere Kohäsion, Gase hingegen nahezu keine. Fast alle Klebstoffe sind beim Auftrag flüssig und werden während der Aushärtung fest. Die Kohäsion nimmt also bei der Verfestigung zu.

Bei unausgehärtetem Klebstoff bestimmen die Kohäsionskräfte das Fließverhalten. Diese Eigenschaft ist für die Verarbeitung sehr wichtig.

Festigkeit der Klebverbindung

Durch das Kleben entsteht ein Verbundsystem aus den Fügeteilen und dem Klebstoff. Die Gesamtfestigkeit wird bei diesem Verbundsystem durch das schwächste Glied begrenzt. Im Detail sind dafür folgende Festigkeiten relevant, siehe Abbildung 78:

- Festigkeit der Fügeteile 1 und 2
- Festigkeit der Grenzschichten 1 und 2
- Festigkeit der Klebschicht

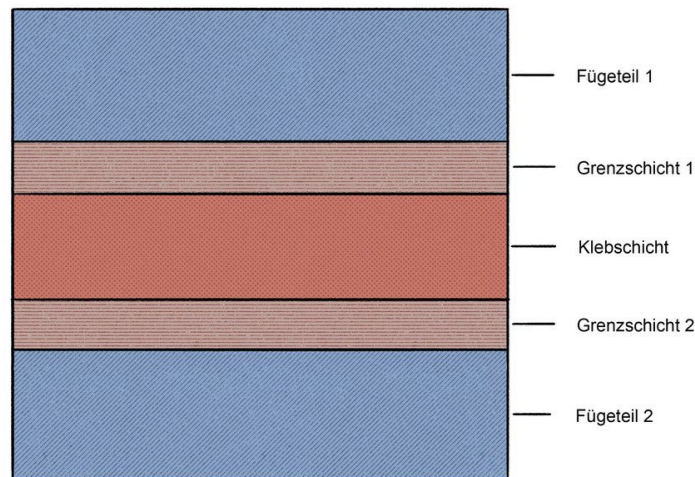


Abbildung 78: Aufbau einer Klebung (schematisch) (Quelle: HIS nach Habenicht)

Bei tragenden Verklebungen im Holzleimbau wird das Versagen in den Fügeteilen angestrebt, also ein Holzbruch. Dieses Ziel lässt sich nur durch die einwandfreie Ausführung des Klebprozesses erreichen.

Die Begriffe zum Bruch bzw. Versagen der Verklebung sind in der Norm SN EN 923:2016 wie folgt festgelegt:

BRUCHFLÄCHENSCHAFFENHEIT BRUCHBILD	Aussehen der Bruchflächen nach dem Bruch einer Klebung Anmerkung 1 zum Begriff: Das Bruchbild lässt sich nach dem Umfang (oder Prozentanteil) an Adhäsions- und Kohäsionsbruch klassifizieren (EN ISO 10365).
FÜGETEILBRUCH	Bruch einer Fügeverbindung im Werkstoff eines Fügeteils
ADHÄSIONSRUCH	Bruch einer Klebung, der eine Trennung an einer Klebstoff-/Fügeteil-Grenzfläche erkennen lässt
KOHÄSIONSRUCH	Bruch einer Klebung, der nicht an einer Klebstoff-/Fügeteil-Grenzfläche, sondern in der Klebschicht selbst eingetreten ist
DELAMINIERUNG	Trennung von Schichten in einem Schichtstoff Anmerkung 1 zum Begriff: Delaminierung ist das Ergebnis eines Versagens in der Klebschicht, entweder im Klebstoff selbst oder an der Grenzfläche zum Fügeteil.

Tabelle 11: Begriffe zum Bruch bzw. Versagen der Verklebung (SIA, 2016)

6.3.2. Klebstoffe

Im Kapitel 6.14 finden Sie einige Grundlagen zu den Klebstoffen im Holzleimbau.

Bei der Anlieferung von Klebstoffen ist eine Wareneingangskontrolle durchzuführen. Dabei kontrolliert der Verantwortliche die Übereinstimmung der Lieferung mit den Angaben des Lieferscheins in folgenden Punkten:

- Klebstofftyp,
- Menge,
- Charge und
- Ablaufdatum auf der Etikette des angelieferten Klebstoffs.
(Das Ablaufdatum ist auf dem Lieferschein festzuhalten).

Bei kälteempfindlichen Klebstoffen ist in der Regel ein irreversibler Temperaturaufkleber auf dem Transportbehälter angebracht. Anhand dieses Aufklebers kann festgestellt werden, ob der Klebstoff während des Transports zu niedrigen Temperaturen ausgesetzt war.

Bei Übereinstimmung des angelieferten Klebstoffes mit den Angaben des Lieferscheins bestätigt dies der Verantwortliche mit seinem Visum auf dem Lieferschein und gibt den Lieferschein im Büro des Produktionsleiters ab.

Bei Nicht-Übereinstimmungen ist der Produktionsleiter sofort zu informieren. Der Produktionsleiter entscheidet über die Annahme der Lieferung und die weitere Abwicklung der Reklamation mit dem Lieferanten. Angenommene Lieferungen, welche die Qualitätsanforderungen nicht erfüllen, sind nach Vorgabe des Betriebes (z.B. mit roter Sprühfarbe) zu markieren.

Durch eine kontinuierliche Klebstoff-Lagerverwaltung wird sichergestellt, dass eine Zuordnung der Klebstoffcharge zum Endprodukt möglich ist und dass der Klebstoff vor dem Ablaufdatum verwendet wurde.

Bei der Verwendung des Klebstoffes (bzw. seiner Komponenten) sind die Vorgaben des Klebstoffherstellers zwingend einzuhalten. Dies gilt ebenfalls für die Entsorgung von Klebstoffen (bzw. seiner Komponenten), verunreinigten Gegenständen. Schutzmassnahmen sind gemäss dem Sicherheitsdatenblatt des Klebstoffes zwingend einzuhalten.

Welchen Klebstoff verwenden Sie in Ihrem Lehrbetrieb? Falls Sie kein Leimholz produzieren: Recherchieren Sie im Internet bei den Klebstoffherstellern (z.B. Henkel, Jowat, Türmerleim usw.). Lesen Sie das Sicherheitsdatenblatt und das Produktdatenblatt des Klebstoffes in Ihrem Lehrbetrieb bzw. eines Klebstoffes für den Holzleimbau.

6.3.3. Verklebung

Mit dem Ziel, einwandfreie Verklebungen zu erreichen, stellen die Produktnormen umfangreiche Anforderungen an das Personal, die Ausrüstung und die Herstellung der Verklebungen.

Es sollten folgende Ausrüstungen vorhanden sein, um:

- die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte in Herstellungs- und Aushärtungsbereichen kontinuierlich zu überwachen und zu dokumentieren,
- die Holztemperatur zu messen,
- die Luft zu befeuchten, falls erforderlich,
- den Feuchtegehalt des Holzes zu messen,
- Harz und Härter zu wägen und in den erforderlichen Anteilen zu mischen (falls relevant),
- die erforderliche Klebstoffmenge gleichmässig aufzutragen,
- den erforderlichen Druck in der Klebfuge (Pressdruck) aufzubringen und zu steuern,
- die erforderliche Lufttemperatur und relative Luftfeuchte während der Aushärtung des Klebstoffs zu erreichen,
- die Dicke der Klebfuge zu messen.

Das Personal muss über nachgewiesene Fachkenntnisse und die entsprechende Ausbildung verfügen.

Für die Herstellung müssen unter anderem:

- ausreichende klimatisierte Lagermöglichkeiten vorhanden sein, damit die erforderliche Temperatur des Holzes für den jeweiligen Herstellungsabschnitt erreicht werden kann.
- geeignete klimatisierte Lagerungsmöglichkeiten für die Komponenten der Klebstoffe (Harz und Härter) bestehen.
- die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte in den Herstellungs- und Aushärtungsräumen sicherstellen, dass die erforderliche Temperatur an der Klebfuge zuverlässig erreicht wird und dass vor der vollständigen Aushärtung des Klebstoffes keine unzulässige Änderung des Feuchtegehalts der Bauteile eintritt.

Deshalb muss die Lufttemperatur in den Herstellungsräumen mindestens 15°C und die relative Luftfeuchte zwischen 40% und 75% betragen, falls die Anweisungen des Klebstoffherstellers keine anderslautenden Vorgaben enthalten.

Während der Aushärtung der Klebfugen unter Druck sowie während der Nachhärtung muss die Lufttemperatur mindestens 18°C und die relative Luftfeuchte mindestens 30% betragen. Wird die Klebfuge direkt erwärmt, z.B. mithilfe einer Hochfrequenzausrüstung, genügt eine Lufttemperatur mindestens 15°C.

Die Begriffe zur Verklebung sind in der Norm SN EN 923:2016 wie folgt festgelegt:

LAGERFÄHIGKEIT	Zeitspanne, in der von einem unter vorgeschriebenen Bedingungen gelagerten Klebstoff zu erwarten ist, dass er seine Verarbeitungseigenschaften beibehält.
VISKOSITÄT	Quotient aus Schubspannung und Schergeschwindigkeit bei gleichbleibender einfacher Scherströmung. Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Eigenschaft ist qualitativ als dynamische Viskosität oder Viskositätskoeffizient definiert und wird oft als Synonym für scheinbare Viskosität verwendet.
TOPFZEIT	maximale Zeitspanne, in der ein Mehrkomponentenklebstoff nach dem Mischen verarbeitet werden kann.

BENETZBARKEIT	Fähigkeit einer Flüssigkeit (Klebstoff), sich auf einer bestimmten Feststoffoberfläche auszubreiten. Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ausmass, in dem eine Flüssigkeit einen Feststoff benetzt, kann durch den Kontaktwinkel gemessen werden. Wenn eine Flüssigkeit mit einer Feststoffoberfläche in Kontakt kommt, bildet sich eine typische Kantenform aus. Der Kontaktwinkel ist dann der Winkel zwischen der am Berührungspunkt Feststoff–Flüssigkeit–Luft an die Flüssigkeit gelegten Tangente und der Feststoffoberfläche unterhalb der Flüssigkeit. Ein kleiner Kontaktwinkel weist auf gute Benetzbarkeit der Feststoffoberfläche hin.
VORSTREICHEN PRIMERN	Auftragen eines Vorstrichs (Primer), der vor dem Klebstoffauftrag zur Verbesserung der Adhäsion und/oder der Beständigkeit einer Klebung auf eine Füge-teiloberfläche aufgebracht wird.
GRUNDIEREN	Auftragen eines Mittels (Grundiermittel) auf die Oberfläche eines Füge-teils vor dem Klebstoffauftrag, um die Aufnahmefähigkeit (Absorptionsvermögen) des Füge-werkstoffs zu vermindern.
KLEBZEIT	Zeitspanne, in der ein Klebstoffaufstrich unter festgelegten Bedingungen in der Lage ist, eine Klebung zu bilden. Anmerkung 1 zum Begriff: Die Klebzeit gibt die Zeitspanne zwischen der kürzesten und der längsten offenen Wartezeit eines speziellen Klebstoffes an.
WARTEZEIT	Zeitspanne zwischen dem Ende des Klebstoffauftrags auf die Füge-teile und dem Beginn der Anwendung von Wärme und/oder Druck zum Abbinden einer Klebung
OFFENE WARTEZEIT OFFENE ZEIT	maximale Zeitspanne zwischen dem Ende des Klebstoffauftrags auf die Füge-teile und dem Fügen einer Klebung ohne Verlust der Klebfestigkeit.
MAXIMALE OFFENE WARTEZEIT MAXIMALE OFFENE ZEIT	maximale Zeitspanne, nach der ein Klebstoff nach seinem Auftragen seine Fähigkeit verliert, eine Klebung zu bilden.
GESCHLOSSENE WAR- TEZEIT	Zeitspanne zwischen dem Fügen einer Füge-teilanordnung und dem Beginn der Anwendung von Wärme und/oder Druck zum Abbinden einer Klebung.
PRESSEN	eine Klebung während der Abbindung des Klebstoffes in einer Presse unter Druck halten.
PRESSZEIT	Zeitspanne, während der eine Klebung gepresst wird.
ABBINDEN	Vorgang, bei dem ein Klebstoff seine Kohäsionsfestigkeit gewinnt und die Klebung ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften entwickelt.
ABBINDEZEIT	Zeitspanne, die unter vorgegebenen Bedingungen zum Abbinden eines Klebstoffes erforderlich ist
KONDITIONIERZEIT	Zeitspanne zwischen dem Ende der Anwendung von Wärme, Druck, Strahlung usw. auf eine Klebung und dem Erreichen der geforderten Eigenschaften.

Tabelle 12: Begriffe zur Verklebung (SIA, 2016)

Viskosität

Viskosität ist das Fließverhalten von Flüssigkeiten (dünn-, dick- oder zähflüssig). Je dünner die Flüssigkeit, umso niedriger deren Viskosität:

- dünnflüssig – niedrigviskos
- dickflüssig – mittelviskos
- zähflüssig – hochviskos

Zur Messung der Viskosität dient beispielsweise ein Auslauf-Viskosimeter. Das ist ein Becher mit einer Öffnung. Gemessen wird die Zeit bis zum vollständigen Auslaufen des anfänglich mit einer bestimmten Menge der Flüssigkeit gefüllten Bechers. Dünnflüssige Flüssigkeiten laufen in kürzerer Zeit aus und werden deshalb als niedrigviskos bezeichnet.

Benetzbarkeit

Unter der Benetzbarkeit versteht man die Fähigkeit einer Flüssigkeit, sich auf einer bestimmten Oberfläche auszubreiten. Für eine feste Verklebung ist eine vollständige und gleichmässige Benetzung erforderlich. Die Viskosität eines Klebstoffes beeinflusst das Benetzungsverhalten, siehe Abbildung 79. Je nach Viskosität des Klebstoffes und dem Benetzungsvermögen einer Oberfläche unterscheidet sich die Erscheinungsform eines auf die Oberfläche gegebenen Flüssigkeitstropfens. Der sich zwischen der Flüssigkeit und der Oberfläche sich ausbildende Winkel α ist charakteristisch. Je geringer dieser Winkel ist, desto besser ist die Benetzung.

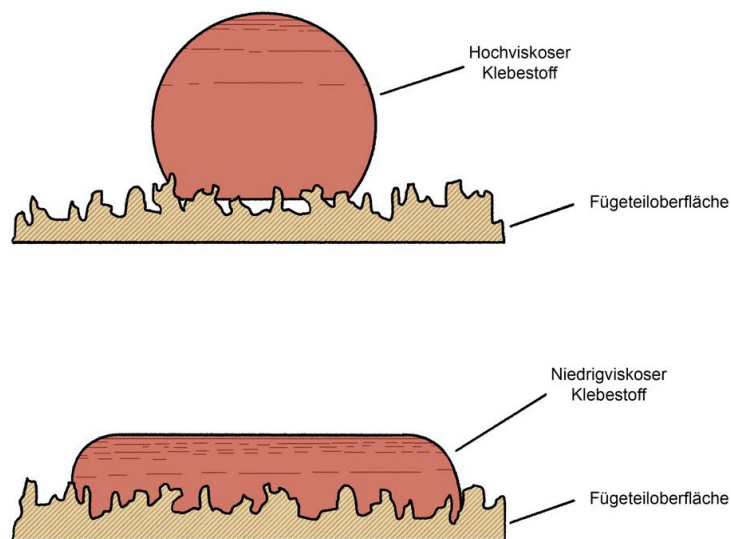


Abbildung 79: Benetzungsverhalten eines hoch- und niedrigviskosen Klebstoffs. (Quelle: HIS nach Habenicht)

Die Erscheinungsform eines Tropfens auf einer Oberfläche hängt von der Viskosität der Flüssigkeit und der Benetzbarkeit der Oberfläche ab. Ein charakteristisches Merkmal ist der Winkel α , der sich zwischen der Flüssigkeit und der Oberfläche bildet. Bei kleinerem Winkel α ist die Benetzung besser, siehe Abbildung 80.

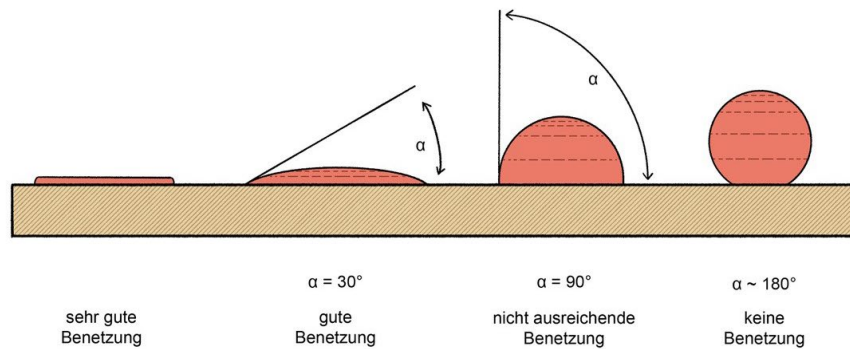
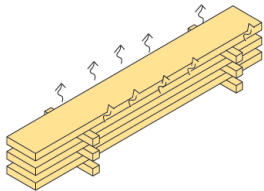


Abbildung 80: Benetzungsarten von Flüssigkeiten auf Oberflächen. (Quelle: HIS nach Habenicht)

6.4. Rohmaterial

Vorprodukte



Vorprodukte für die Herstellung von Leimholz sind Vollholz (Bretter, Bohlen und Kanthölzer), siehe unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr und dabei speziell Brettschichtholzlamellen. Brettschichtholzlamellen müssen mindestens die grundlegenden Anforderungen der vereinbarten Festigkeitsklasse insofern erfüllen, dass diese Anforderungen mit dem üblichen Auskappen einzelner Strukturstörungen (Holzmerkmale, z.B. Äste) bei der Brettschichtholzproduktion vollständig erfüllt sind.

Die Standardbreite von Brettschichtholzträger beträgt 100 bis 280 mm, abgestuft on 20 zu 20 mm. Im Herstellungsprozess wird ein Zumass von 15 mm benötigt. Die Rohbreite von Lamellen beträgt somit 115 bis 295 mm, abgestuft in 20mm-Schritten.

Für Brettschichtholz werden standardmässig Lamellen mit einer Rohdicke vom 46 mm eingesetzt. Im Herstellungsprozess werden diese auf die fertige Lamellendicke von 40 mm gehobelt. Die Standardhöhe eines Brettschichtholzträgers beträgt ein Vielfaches von 40mm (80 mm, 120 mm, 160 mm, 200 mm usw.). Bei gebogenen Bauteilen müssen je nach Krümmungsradius auch dünnere Lamellen verwendet werden. Die fertige Lamellendicke darf nicht dicker als 1/200 des Krümmungsradius sein.

Wareneingangskontrolle Schnittholz

Bei der Anlieferung von Schnittholz ist eine Wareneingangskontrolle durchzuführen. Dazu prüft der Verantwortliche das angelieferte Schnittholz visuell (Pakete ungeöffnet von aussen) und misst stichprobenartig die Holzfeuchte. Dabei ist die Übereinstimmung der Lieferung mit den Angaben des Lieferscheins in folgenden Punkten zu kontrollieren:

1. Kontrolle von Querschnittsabmessungen, Länge und Menge (m^3 oder Stück)
2. Kontrolle der Sortierklasse (Festigkeit und Erscheinung) visuell anhand folgender Merkmale: Baumkante, Astigkeit, Jahrringbreite, Risse, Verfärbungen usw.
3. Kontrolle der Holzfeuchte stichprobenartig pro Paket/Dimension mittels Handmessgerät. Die gemessenen Werte sind auf dem Lieferschein festzuhalten.

Bei Übereinstimmung des angelieferten Schnittholzes mit den Angaben des Lieferscheins bestätigt dies der verantwortliche Staplerfahrer mit seinem Visum auf dem

Lieferschein und gibt den Lieferschein im Büro des Produktionsleiters ab. Eine all-fällige Differenz von gelieferter Menge zur auf dem Lieferschein angegebenen Menge ist auf dem Lieferschein zu vermerken und dem Produktionsleiter zu melden.

Bei allen anderen Nicht-Übereinstimmungen ist der Produktionsleiter sofort zu informieren. Der Produktionsleiter entscheidet über die Annahme der Lieferung und die weitere Abwicklung der Reklamation mit dem Lieferanten. Angenommene Lieferungen, welche die Qualitätsanforderungen (Sortier- bzw. Festigkeitsklasse, Holzfeuchte) nicht erfüllen, sind nach Vorgabe des Betriebes (z.B. mit roter Sprühfarbe) zu markieren.

Trocknung der Vorprodukte

Vor der Verarbeitung zum Leimholz müssen die Vorprodukte getrocknet werden. Wenn der Hersteller des Leimholzes dies selbst ausführt, müssen Trocknungsmöglichkeiten in ausreichender Grösse vorhanden sein. Zur Trocknung des Holzes siehe Kapitel Trocknen, 2. Lehrjahr.

Zwischenlagerung der getrockneten Vorprodukte

Nach der Trocknung bis zur Verarbeitung muss die erforderliche Holzfeuchte aufrechterhalten werden. Neben der Holzfeuchte ist die Temperatur des Holzes für die Qualität der Verklebung wesentlich. Beim Hersteller der Leimholzprodukte müssen deshalb ausreichende Lagermöglichkeiten vorhanden sein, damit die erforderliche Feuchte und Temperatur des Holzes für den jeweiligen Herstellungsschnitt aufrechterhalten bzw. erreicht werden kann. Die Norm gibt vor, dass in den Herstellungsräumen die Lufttemperatur mindestens 15°C und die relative Luftfeuchte zwischen 40% und 75% betragen muss. Um das sicherzustellen, ist in Lagerungs- und Herstellungsbereichen die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte kontinuierlich zu überwachen (z.B. Thermo-Hygrograph oder Messsysteme mit Datenloggern). Falls erforderlich, ist die Luft zu befeuchten. Wenn die Vorgaben der Lufttemperatur oder der relativen Luftfeuchtigkeit nicht erfüllt sind, ist üblicherweise sofort der Produktionsleiter zu informieren.



Abbildung 81: Steuerung Befeuchtung und Heizung in Produktionsbereich. (Quelle: Roth Burgdorf AG)

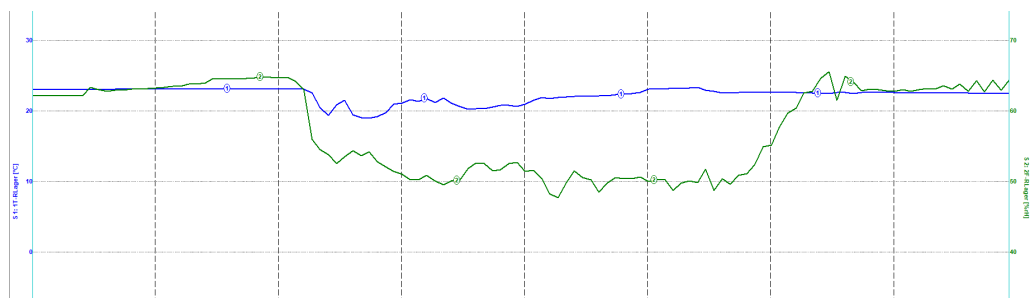


Abbildung 82: Beispiel Tagesverlauf Temperatur und Feuchtigkeit in Lamellenlager. (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Markier-/Kappstation, Festigkeitssortierung

In der Leimholzproduktion wird die eigentliche Festigkeits- und Erscheinungssortierung der Lamellen üblicherweise bei der Markier-/Kappstation vorgenommen. Bei visueller Sortierung markiert der Mitarbeiter vor der Kappfräse diejenigen Stellen, welche die Kriterien der erforderlichen Sortierklasse nicht erfüllen und deshalb «ausgekappt» (also herausgeschnitten) werden müssen. Die eigentliche Lamelle bzw. das Kantholz wird an diesen Stellen mittels Keilzinkenverbindung danach wieder verklebt. Die Regeln für die Auskappungen bei der spezifischen Festigkeitssortierung der Bretter, Bohlen und Kanthölzern in der Leimholz-Produktion haben Sie bereits kennengelernt, siehe unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr. Die Grundlagen für die Festigkeitssortierung und die zugehörige Qualitätssicherung sind ebenfalls im Kapitel «Holzbasierte Produkte» zusammengestellt.

Erscheinungssortierung

Neben den Festigkeitseigenschaften der Lamellen müssen auch die Oberflächeneigenschaften erfüllt sein. Es wird grundsätzlich unterschieden, ob ein Bauteil im eingebauten Zustand Anforderungen an eine Sichtoberfläche (Normal – sicht) oder eine Nicht-Sichtoberfläche (Industrie – nicht-sicht) erfüllen muss, siehe unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr. Die Anforderungen an die Lamellen Erscheinungseigenschaften sind in der Dokumentation «Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau» (Handelsgebräuche für die Schweiz) der Lignum/ SIA festgehalten.



Abbildung 83: Markier-/Kappstation (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Holzfeuchtemessung

Nach Norm ist der Feuchtegehalt jedes Bretts (bzw. Bohle, Kantholzes) zu messen. Zum Zeitpunkt der Verklebung muss der Feuchtegehalt zwischen 6 % und 15 % (bzw. zwischen 11% und 18 % bei mit Schutzmitteln behandeltem Holz) liegen. Darüber hinaus sind die Anweisungen des Klebstoffherstellers zu befolgen. Der Feuchtegehalt von zwei Brettern (bzw. Bohlen, Kanthölzern), die verklebt werden sollen, darf um nicht mehr als 5% schwanken.

Üblicherweise ist der ausführende Mitarbeiter an der Markierstation für die Holzfeuchtemessung verantwortlich. Die Messstation misst von jedem Brett (bzw. Bohle, Kantholz) die Holzfeuchte sowie die Holztemperatur und zeigt die Messwerte im Display an. Sind die Vorgabewerte nicht erfüllt, wird das Brett (bzw. Bohle, Kantholz) ausgeworfen.

Die Messung hat in folgender Weise zu erfolgen:

- Das Gerät ist für jede Produkte-Gruppe gemäss Vorgabe einzustellen. Bretter, Bohlen und Kanthölzer mit einer Holzfeuchte bzw. Holztemperatur ausserhalb des zulässigen Bereichs müssen ausgeworfen werden.
- Ausgeworfene Bretter, Bohlen und Kanthölzer mit zu hoher Holzfeuchte (zu nass) oder zu tiefer Holzfeuchte (zu trocken) sind nach Vorgabe der Arbeitsanweisung (WPK/QM-Handbuch) zu behandeln.

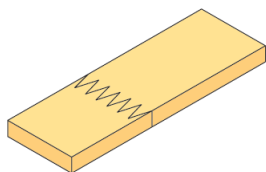
Werden grössere Mengen der Bretter, Bohlen und Kanthölzer ausgeworfen, ist die Holzfeuchte mit dem Handmessgerät zu prüfen und der Produktionsleiter ist zu informieren.

Die Messstation zeichnet die Messwerte auf. Diese Werte werden nach Vorgabe der Arbeitsanweisung (WPK/QM-Handbuch) gespeichert bzw. archiviert. Die durchschnittliche aktuelle Holzfeuchte ist im Keilzinkauftrag (Leimbuch) einzutragen.

Die Messstation ist einmal pro Monat mittels Darmmethode oder Kalibrierstab gemäss Arbeitsanweisung (WPK/QM-Handbuch) zu kontrollieren.

6.5. Keilzinkenverbindung in Lamellen

Keilzinkenverbindung



Die Bretter weisen unterschiedliche Längen auf, nachdem diejenigen Stellen, welche die Kriterien der erforderlichen Sortierklasse nicht erfüllen, «ausgekappt» (also herausgeschnitten) wurden. Mittels der Keilzinkenverbindung werden die Bretter jetzt in Längsrichtung wieder miteinander zu einer Lamelle verklebt. Diese Lamelle wird nach Bedarf auf die Länge des herzustellenden Bauteils gekappt.

Der ausführende Mitarbeiter muss über ausreichende Kenntnisse der Keilzinkenanlage verfügen und für die Arbeit befähigt sein. Er ist für die Eigenüberwachung und die Qualität der Keilzinkenverbindung direkt verantwortlich. Abweichungen vom vorgegebenen Prozess werden durch den jeweiligen Mitarbeiter festgestellt und dem Produktionsleiter gemeldet. Dieser legt die entsprechenden Korrekturen fest.

Anforderungen an die Holzfeuchte

Beim Zusammenfügen muss die Holzfeuchte der Bretter im vorgegebenen Bereich nach den Anweisungen des Klebstoffherstellers liegen. Der Feuchtegehalt von zwei Brettern, die verklebt werden sollen, darf um nicht mehr als 5 % voneinander abweichen. Üblicherweise wird die Holzfeuchte und die Holztemperatur bereits vor der Kappstation gemessen, damit Bretter zu hohen bzw. zu tiefen Holzfeuchten vor der Verarbeitung ausgeschieden werden können, siehe Kapitel 6.1.3.

Auskappen Äste und Faserabweichungen

In der Keilzinkenverbindung selbst dürfen keine Äste oder ausgeprägten Faserabweichungen vorhanden sein (SIA, 2013b). Die Normen stellen deshalb Anforderungen für das Auskappen, welche ebenfalls unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr beschrieben sind.

Keilzinkengeometrie

Das Profil der Keilzinkenverbindung mit den üblichen oder empfohlenen Geometrien ist in den Produktnormen festgelegt. Es ist zu beachten, dass die idealen Geometrien für Nadel- und Laubhölzer unterschiedlich sind. Für verklebte Laubholzprodukte, die tragend eingesetzt werden sollen, existieren derzeit noch keine Produktnormen. In der Schweiz hat die Fachgruppe Leimholz jedoch eine

Herstellerrichtlinie veröffentlicht. Die Begriffe zur Keilzinkenverbindung sind unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr erläutert.

Keilzinkenanlage

In der Keilzinkenanlage wird die Keilzinkenverbindung hergestellt. Dabei werden die Keilzinken in die Stirnseite der gekappten Bretter gefräst, der Klebstoff aufgetragen, die Verbindungen zusammengefügt und verpresst.

Es gibt unterschiedliche Keilzinkenanlagen von verschiedenen Herstellern. Wie ist die Keilzinkenanlage in ihrem Lehrbetrieb aufgebaut? Falls Sie kein Leimholz produzieren: Recherchieren Sie im Internet bei den Maschinenherstellern (z.B. Howial, Ledinek, Weinig usw.). Wie unterscheiden sich die Herstellungsabläufe der verschiedenen Keilzinkenanlagen?



Abbildung 84: Keilzinkenanlage (Quelle: R. Näf)

Der Keilzinkenfräser nutzt sich während des Betriebs ab, insbesondere bei Laubhölzern stärker als bei Nadelhölzern. Mit dem Abstumpfen der Fräser nimmt tendenziell die Festigkeit der hergestellten Keilzinkenverbindungen ab. Um sicherzustellen, dass die Festigkeitsanforderungen an die Keilzinkenverbindung erfüllt werden können, ist es erforderlich, die Fräser regelmässig nachzuschärfen. Die sogenannte Standzeit bezeichnet die übliche Einsatzdauer der Fräser, bevor sie ausgetauscht und neu geschärft werden müssen.



Abbildung 85: Keilzinkenfräser (Quelle: Leitz)

Klebstoffauftrag

In modernen Anlagen werden die Keilzinkenverbindungen nach dem Fräsen des Profils umgehend verklebt. Das Auftragsverfahren des Klebstoffes muss sicherstellen, dass alle Zinkenflächen der zusammengefügte Verbindung mit Klebstoff überzogen sind. Es kann grundsätzlich wie folgt ausgeführt werden:

- von Hand
- mit Kamm- oder Walzauftragssystem (gemischt oder Harz und Härter separat)
- berührungslos

Für diese Verfahren bestehen in den Produktnormen spezifische Anforderungen, die zu erfüllen und zu kontrollieren sind. Wenn der Klebstoff berührungslos nur auf ein Holzende aufgetragen wird, muss kontinuierlich kontrolliert und dokumentiert werden, dass alle Oberflächen der Keilzinken in der zusammengefügte Verbindung mit Klebstoff bedeckt sind.

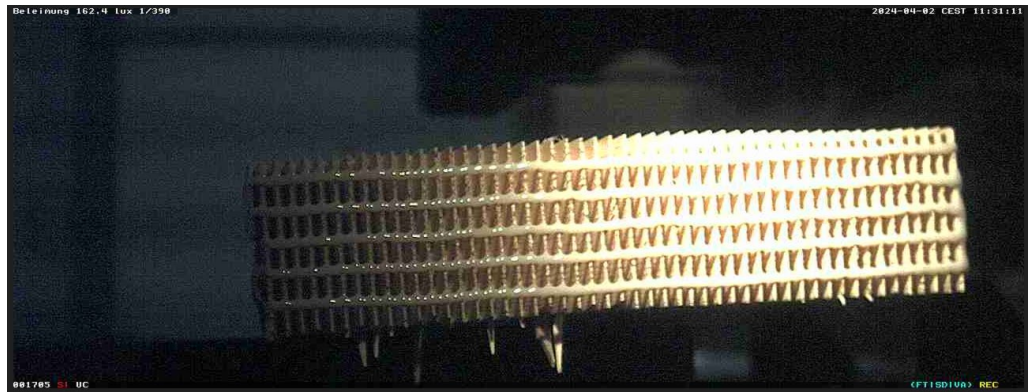


Abbildung 86: Klebstoffauftrag (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Verpressen

Beim Verpressen der Keilzinkenverbindung von Nadelhölzern mittels Taktpresse muss die Presszeit mit dem vollen Druck bei der Herstellung von Lamellen für Brettschichtholz jeweils mindestens 1 Sekunde und bei der Herstellung von Lamellen für Balkenschichtholz sowie von keilgezinktem Vollholz jeweils mindestens 2 Sekunden betragen.

Der Wert für den vollen Druck wird in Abhängigkeit der Zinkenlänge bzw. der Keilzinkengeometrie festgelegt. In den Produktnormen sind Diagramme für die empfohlenen Werte enthalten. Abbildung 87 zeigt das Diagramm aus Norm EN 14080 für Brettschichtholzlamellen und Bohlen für Balkenschichtholz aus Nadelholz.

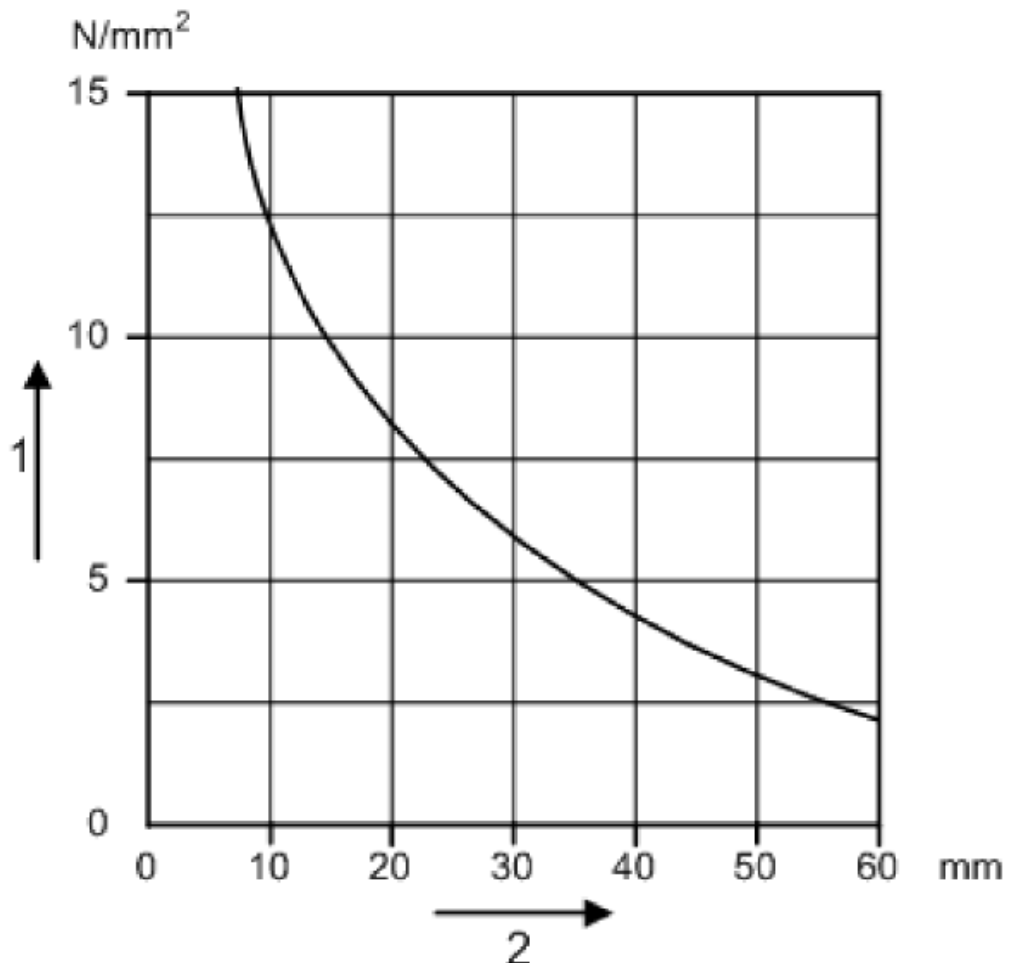


Abbildung 87: Empfohlene Werte für den vollen Druck beim Verpressen der Keilzinkenverbindung. (Bild I.2 aus SIA, 2013b).

In Abbildung 87 bedeuten:

- 1 voller Druck
- 2 Zinkenlänge

Ablesebeispiel für den empfohlenen Wert des vollen Drucks:

Bei einer Zinkenlänge von 20 mm ist der empfohlene Wert des vollen Drucks 8,2 N/mm². Die erforderliche Kraft beim Verpressen ergibt sich mit der Multiplikation des vollen Drucks mit der Querschnittsfläche des Bretts, also $F = \text{«voller Druck»} * \text{«Brettdicke»} * \text{«Brettbreite»}$.

Mit welcher Kraft F muss die Keilzinkenverbindung (Zinkenlänge von 20 mm) des Bretts 46/175 mm verpresst werden?

(Lösung: $F = 8.2 \text{ N/mm}^2 * 46 \text{ mm} * 175 \text{ mm} = 66010 \text{ N} = 66 \text{ kN}$)

relatives Zinkens-
spiel

Als relatives Zinkenspiel e wird der Verhältniswert vom Zinkenspiel l_t zur Zinkenlänge l_j bezeichnet, siehe Abbildung 88.

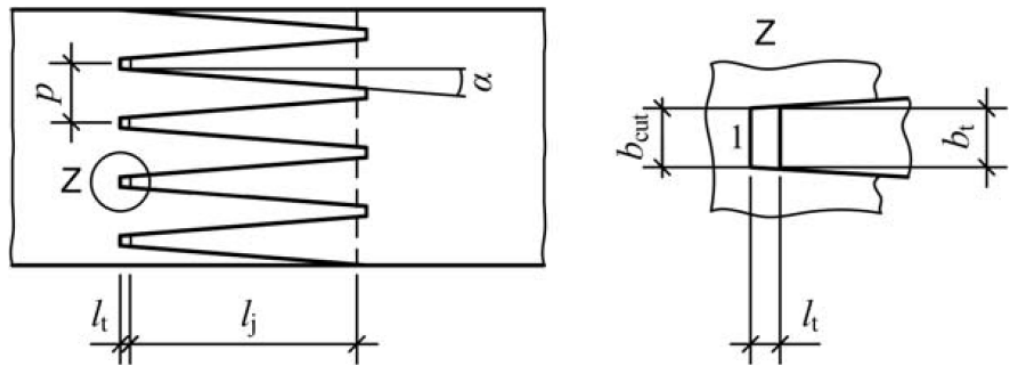


Abbildung 88: Typisches Profil einer Keilzinkenverbindung und Zinkenspiel. (Bild 3 aus SIA, 2013b)

In Abbildung 88 bedeuten:

- 1 Zinkengrund
- l_j Zinkenlänge
- l_t Zinkenspiel

Nach dem Verpressen sollte das relative Zinkenspiel $e = l_t/l_j$ im Bereich von 0,01 bis 0,08 liegen, die entsprechenden Werte für übliche Zinkenlängen sind in Tabelle 13 aufgeführt:

ZINKENLÄNGE	ZINKENSPIEL	
	MINIMAL	MAXIMAL
15 mm	0.15 mm	1.2 mm
20 mm	0.20 mm	1.6 mm
30 mm	0.30 mm	2.4 mm

Tabelle 13: Zulässige Grösse des Zinkenspiels in Abhängigkeit der Zinkenlänge.

Aushärtung

Die Aushärtung findet im Pufferbereich zwischen der Keilzinkenanlage und der Presse statt. Die verklebten Lamellen und Kanthölzer dürfen erst nach Ablauf der Abbindezeit des Klebstoffes weiterverarbeitet werden. Die Abbindezeit des Klebstoffes und die Zeitdauer bis zum Erreichen der Endfestigkeit der Klebverbindung ist den Angaben des Klebstoffherstellers zu entnehmen.

Probenahme Biegeprüfung

Für die Qualitätssicherung sind regelmässig Proben der Keilzinkenverbindungen aus der Produktion zu entnehmen, zu kennzeichnen und zu prüfen. Üblicherweise werden mit den Proben Biegeprüfungen durchgeführt. Das Verfahren ist in den Produktnormen vorgeschrieben und wird nach der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) umgesetzt. Dabei gibt es unterschiedliche Vorgaben für Keilzinkenverbindungen in Lamellen für Brett-/Balkenschichtholz und in Kanthölzern für keilgezinktes Vollholz.

Die Entnahme der Proben während einer Schicht muss möglichst in gleichen zeitlichen Abständen erfolgen. Die Proben müssen für die während der Schicht hergestellten Lamellen- bzw. Kantholzabmessungen repräsentativ sein. Die einzelnen Proben müssen vor der Weiterbearbeitung mindestens 24 Stunden zur vollständigen Aushärtung ruhig gelagert werden.

Wie ist die Probennahme in der Arbeitsanweisung Ihres Lehrbetriebs vorgeschrieben (Abmessungen und Anzahl pro Tag bzw. Schicht, Holzart, Festigkeitsklasse, Klebstoff und Fertigungslinie)?

Biegeprüfung

Die Biegeprüfung ist nach der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) durchzuführen und zu dokumentieren. Die Keilzinkenverbindung muss bei der Prüfung längs in der Mitte liegen.

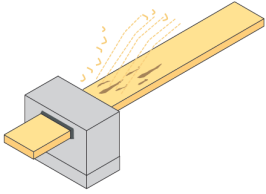


Abbildung 89: Biegeprüfung einer Keilzinkenverbindung (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Die Daten des Prüfkörpers und der Biegeprüfung mit den Ergebnissen müssen nach Vorgabe erfasst werden. Das Ergebnis der Biegeprüfung muss bewertet werden. Prüfkörper, die den vorgegebenen Mindestwert (Anforderung charakteristische Biegefestigkeit der Lamelle) erreicht haben, dürfen entsorgt werden. Bei Prüfkörpern, die den vorgegebenen Mindestwert (Anforderung charakteristische Biegefestigkeit der Lamelle) nicht erreicht haben, ist die Art des Bruches als Scherbruch, Grundbruch oder Bruch ausserhalb der Keilzinkenverbindung sowie der Faserbruchanteil auf 10% genau zu beurteilen. Danach sind sie mit der Bruchlast und

dem Faserbruchanteil zu beschriften, zu kennzeichnen, aufzubewahren und sofort dem Produktionsleiter zu melden.

6.6. Lamellen hobeln



Die Lamellen werden nach der Aushärtung der Keilzinkenverklebungen auf den Breitseiten gehobelt. Die Grundlagen der Hobeltechnik sind in Kapitel «Trennen und Hobeln» zusammengestellt. Die Hobelmesser nutzen sich während des Betriebs ab und müssen deshalb regelmässig ausgewechselt und nachgeschärft werden. Moderne Hobelmaschinen haben gegenüberliegend schwimmende Vertikalspindeln, die der Krümmung der Lamelle folgen. Dadurch wird die Spanabnahme minimiert und Material eingespart.



Abbildung 90: Lamellenhobelmaschine (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Masshaltigkeit

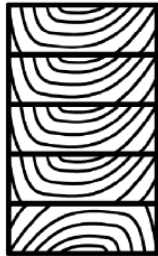
Die Masshaltigkeit der Lamellen ist für die Qualität nachfolgenden Flächenverklebung von Bedeutung. Deshalb sind die Anforderungen für Massabweichungen der Lamellen in den Produktnormen je nach verwendetem Klebstofftyp für die Flächenverklebung festgelegt und in der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) aufgeführt. Der zuständige Maschinist prüft die Masshaltigkeit der Einzella-mellen nach den Vorgaben dieser Arbeitsanweisung und protokolliert die Messung im entsprechenden Formular. Üblicherweise wird die Messung nach dem Hobeln einmal pro Schicht, nach jeder Dimensionsumstellung an der Hobelmaschine sowie nach jedem Wechsel der Hobelmesser durchgeführt.

6.6.1. Flächenverklebung der Lamellen

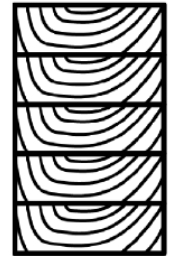
Nach dem Hobeln der Lamellen erfolgt ihre Flächenverklebung an den Breitseiten zum Brettschichtholz. Die Regeln für homogene und kombinierte Aufbauten des Querschnitts und die entsprechenden Festigkeitsklassen sind unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr erläutert.

Ausrichtung
der Lamellen
im Querschnitt

Für die Flächenverklebung müssen die Lamellen im Querschnitt so ausgerichtet werden, dass alle Jahrringstellung in gleicher Richtung liegen und bei den beiden äussersten Lamellen die Markseiten nach aussen gerichtet ist, siehe Abbildung 91 a). Dabei gilt folgende Ausnahme: Bei Brettschichtholz für Nutzungsklasse 1 oder 2 dürfen die Jahrringstellungen der beiden äussersten Lamellen in dieselbe Richtung weisen, siehe Abbildung 91 b).



a)



b)

Abbildung 91: Ausrichtung der Lamellen im Querschnitt. (Bild I.3 aus SIA, 2013b))

Klebstoffauftrag

Der Klebstoffauftrag erfolgt nach den Anweisungen des Klebstoffherstellers. Die aufgetragene Klebstoffmenge muss eine gleichmässige Benetzung der Fügeiteiloberfläche gewährleisten. Üblicherweise erfolgt der Klebstoffauftrag einseitig und automatisch mit einem speziellen Auftragssystem im Durchlaufverfahren.

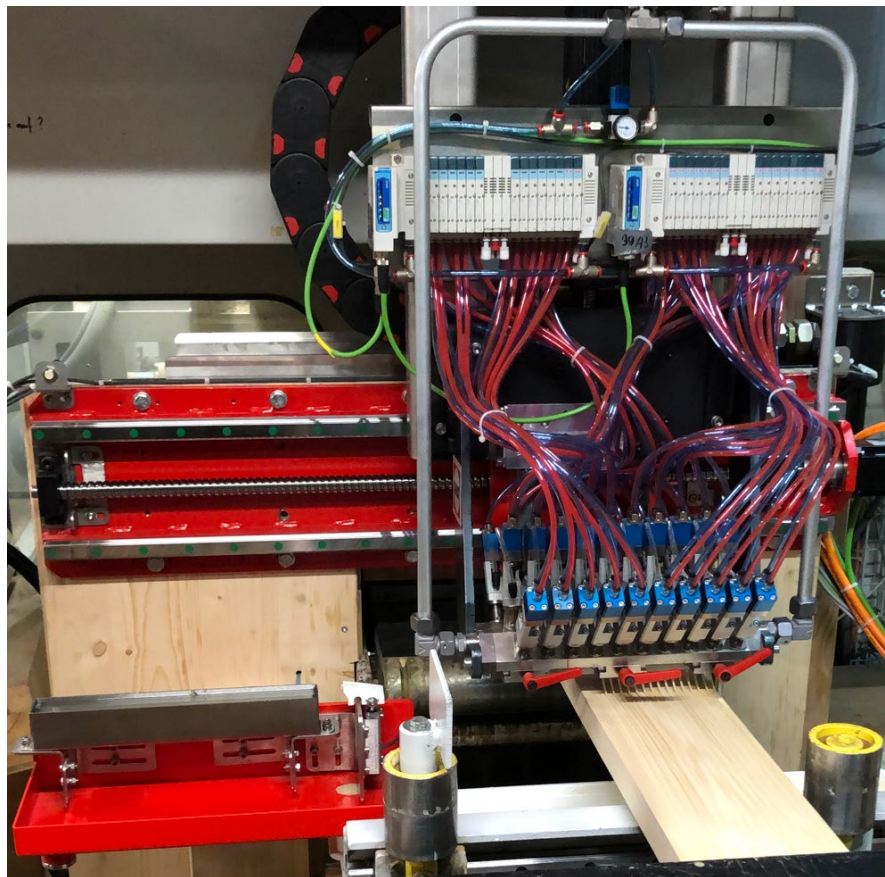
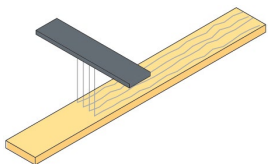


Abbildung 92: Klebstoffauftrag (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Die Klebstofffördermengen der Flächenauftragsgeräte sind den Vorgaben in der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) durchzuführen und zu protokollieren (üblicherweise mindestens einmal pro Monat).

Bei 1K-PUR-Klebstoffen darf die Holzfeuchte der Lamellenoberflächen üblicherweise nicht weniger als 8% betragen. Um sicherzustellen, dass genügend Feuchtigkeit für die Aushärtung des 1K-PUR-Klebstoffs vorhanden ist, kann gegebenenfalls vor dem Klebstoffauftrag gemäss den Vorgaben des Klebstoffherstellers Wasser aufgesprüht werden.

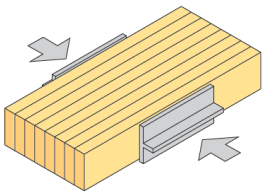
Die Zeit beim Beginn des Klebstoffauftrags, der Klebstofftyp allenfalls mit Mischungsverhältnis und die aufgetragene Klebstoffmenge sind zu protokollieren.

«offene Zeit» und
Pressen

Das Pressen der zusammengestellten Lamellen erfolgt anschliessend. Spätestens vor Ablauf der «offenen Zeit» nach Beginn des Klebstoffauftrages müssen die zu verklebenden Lamellen zusammengefügt und vor Ablauf der Wartezeit der Pressdruck aufgebracht sein. Die «offene Zeit» wird vom Raumklima beeinflusst. Höhere Temperatur und höhere Luftfeuchte verkürzen die «offene Zeit». Wird die «offene Zeit» nach den Vorgaben des Klebstoffherstellers für das vorhandene Raumklima überschritten, ist das unverzüglich dem Produktionsleiter zu melden.

Die Zeit des Beginns und Ende des Pressvorgangs (=Presszeit) und der Pressdruck sind zu protokollieren.

Pressdruck



Der Pressdruck ist nach den Anweisungen des Klebstoffherstellers in Abhängigkeit des Lamellenquerschnitts und der Holzart zu wählen. Üblicherweise sind die einzuhaltenden Werte des Pressdruckes in einem Merkblatt bei der Presse aufgeführt. Während des Pressvorgangs ist der Druck konstant aufrechtzuerhalten. Je nach Bedarf und auf jeden Fall sofort nach dem ersten Pressen muss nachgespannt werden. Beim Pressen muss am Rand der Klebfugen durchgehend Klebstoffaustritt vorliegen.

Die Mindestpresszeit ist abhängig vom verwendeten Klebstoff, dem Raumklima und der Holzfeuchte. Die entsprechende Vorgabe des Klebstoffherstellers ist einzuhalten.

Die Zeit beim Ende des Pressvorgangs ist zu protokollieren.

Es gibt unterschiedliche Pressen von verschiedenen Herstellern. Wie ist die Presse in ihrem Lehrbetrieb aufgebaut? Falls Sie kein Leimholz produzieren: Recherchieren Sie im Internet bei den Maschinenherstellern (z.B. Ledinek, Minda usw.) Wie wird der Pressdruck erzeugt? Wie erfolgt die Beschickung/Entleerung?



Abbildung 93: Gekrümmte, satteldachförmige Bauteile im Leimbett (Quelle: Roth Burgdorf AG)

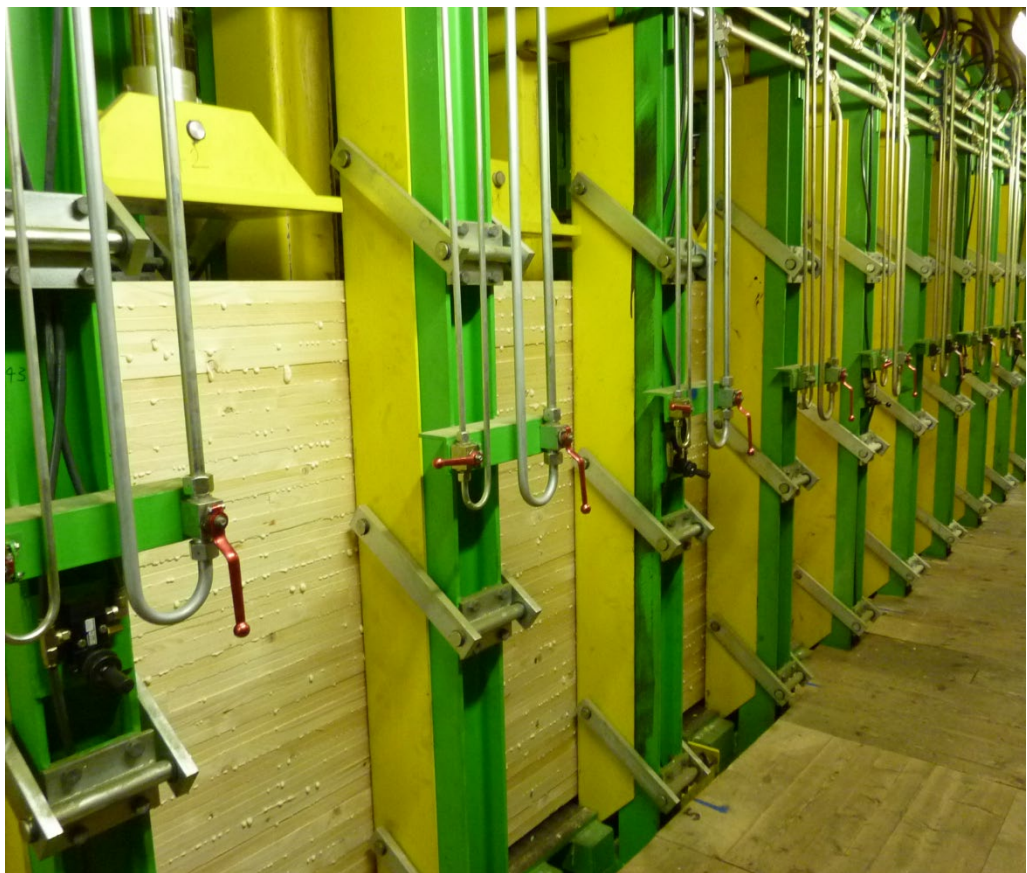


Abbildung 94: hydraulische Presse (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Nachhärtung

Die Nachhärtung der verklebten Teile erfolgt entweder im Zwischen- oder im Fertigwarenlager. Auch hier sind die Vorgaben des Klebstoffherstellers einzuhalten.

Klebfugendicke

Die Klebfugendicke muss gemäss den Anforderungen der Produktnormen eingehalten werden. Für die möglichen Klebstoffe sind zulässige Höchstwerte der Klebfugendicke vorgegeben. Üblicherweise wird die Klebfugendicke im Rahmen der Scher- bzw. Delaminierungsprüfung kontrolliert. Das genaue Vorgehen ist deshalb im entsprechenden Abschnitt der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) beschrieben. Die Klebfugendicke muss mit einem Vergrösserungsglas gemessen werden, mit dem die Dicke mit einer Genauigkeit von 10% ermittelt werden kann. Einzelne örtliche Überschreitungen, z.B. infolge von Hobelschlägen, dürfen bei der Bewertung unberücksichtigt bleiben.

Probennahme Scherprüfung Delaminierungs- prüfung

Für die Qualitätssicherung sind regelmässig Proben der Flächenverklebungen aus der Produktion zu entnehmen, zu kennzeichnen und zu prüfen. Die Vorgaben sind in der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) festgelegt.

Üblicherweise werden dafür Scherproben (Brett- und Balkenschichtholz) durchgeführt. Dazu werden pro Schicht bzw. Tag für jeden eingesetzten Klebstoff 1 Scherprobe pro 20m³ oder einen Teil davon pro Fertigungslinie entnommen. Diese Proben werden mit vollem Querschnitt in Bereichen des Brett- bzw. Balkenschichtholzes entnommen, wo ein ausreichender Pressdruck aufgebracht wurde. Die Proben müssen so gekennzeichnet sein, dass folgende Informationen zugeordnet werden können:

- Datum und Uhrzeit der Verklebung (TT.MM.JJJJ / hh.mm)
- Klebstofftyp
- Fertigungslinie (Bezeichnung)
- Maschinist (Initialen)
- Chargennummer oder Auftragsnummer / Kommissionsnummer inkl. Positionsnummer
- Produktbezeichnung (BSH usw.)

Die einzelnen Proben müssen vor der Weiterbearbeitung zur vollständigen Aushärtung mindestens 24 Stunden ruhig gelagert werden.



Abbildung 95: Scherprobe nach Prüfung (Quelle: Roth Burgdorf AG)



Abbildung 96: Scherprüfung (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Alternativ zu den Scherproben bzw. zwingend bei Brett- und Balkenschichtholz für die Nutzungsklasse 3 sind Delaminierungsproben zu entnehmen. Die Probenahme ist grundsätzlich gleich (Lage, Umfang und Kennzeichnung) wie bei den Scherproben. Aber die Proben müssen in Faserrichtung eine Mindestlänge von 7,5 cm aufweisen und mindestens 20 cm vom Holzende entfernt entnommen werden.



Abbildung 97: Entnommene Proben für die Delaminierungsprüfung. (Quelle: Roth Burgdorf AG)



Abbildung 98: Anlage für die Delaminierungsprüfung. (Quelle: M. Lehmann, BFH-AHB)

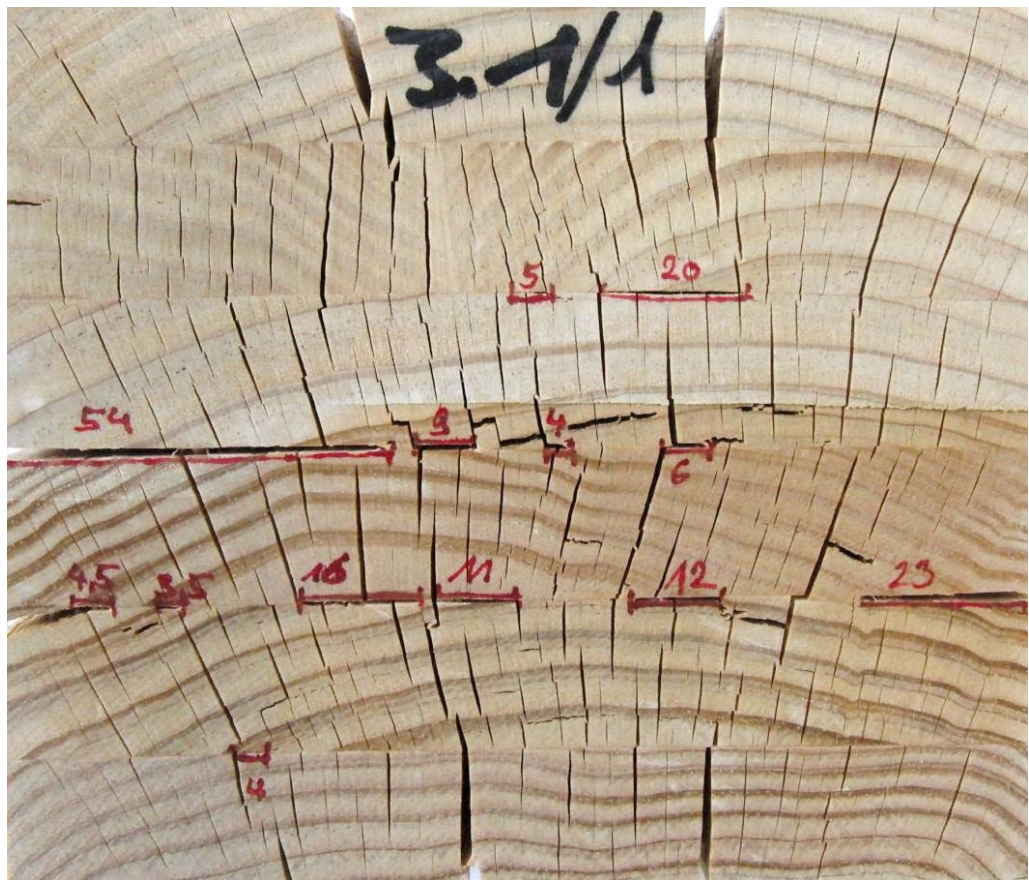
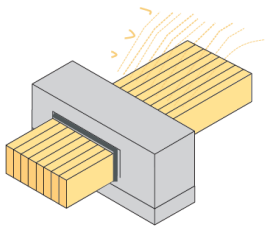


Abbildung 99: Prüfkörper nach der Delaminierungsprüfung mit negativem Ergebnis. (Quelle: M. Lehmann, BFH-AHB)

6.7. Bauteile Hobeln, Ausflicken/Abbund, Bereitstellung

Hobeln der Bauteile



Die rohen, flächenverklebten Bauteile werden auf den Breitseiten oder allenfalls auf allen Seiten gehobelt damit in die fertige Querschnittsform gebracht. Je nach Bauteil und Anlage kommen dafür unterschiedliche Hobelmaschinen zum Einsatz.



Abbildung 100: Hobeln eines gekrümmten Bauteiles in einer drehbar gelagerten Dickenhobelmaschine. (Quelle: Roth Burgdorf AG)



Abbildung 101: Hobeln eines Bauteiles im Vierseiter. (Quelle: Roth Burgdorf AG)

Masshaltigkeit,
Erscheinungsklas-
sierung, Ausflicken

Für die Masshaltigkeit des fertigen Bauteils (Querschnitt) bestehen Anforderungen der Produktnorm oder der Holzhandelsgebräuche. Die Vorgaben sind in der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) zusammengestellt. Der zuständige Maschinist kontrolliert die Masshaltigkeit des fertigen Bauteils nach dem Hobeln jeweils nach jeder Dimensionsumstellung an der Hobelmaschine sowie nach jedem Wechsel der Hobelmesser.

Je nach bestellter Erscheinungsklasse werden die Oberflächen ausgeflickt, siehe unter «Holzbasierte Produkte» im 2. Lehrjahr. Der ausführende Mitarbeiter ist für die Erscheinungsklassierung verantwortlich.

Sind die Abmessungen eines Produkts nicht innerhalb der zulässigen Abweichungen oder können die Kriterien der bestellten Erscheinungsklasse auch mit dem für diese Erscheinungsklasse zulässigen Ausflicken nicht eingehalten werden, ist das Produkt nach den Vorgaben in der Arbeitsanweisung des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) zu markieren, für die Auslieferung zu stoppen und umgehend dem Produktionsleiter zu melden. Er entscheidet über die auszuführende Massnahme.

Abbund

Im sogenannten Abbund werden Bauteile nach Planvorgabe bearbeitet.



Abbildung 102: Abbund eines gekrümmten, satteldachförmigen Brettschichtholzträgers.
(Quelle: Roth Burgdorf AG)

Kennzeichnen,
Verpacken

Um die Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten, ist eine Kennzeichnung (z.B. in Form einer Etikette) direkt am Produkt oder an dessen Verpackung anzubringen.

6.8. Arbeitsvorbereitung und Qualitätssicherung (WPK)

Arbeitsvorbereitung

«Der Hersteller muss die Produktion unter kontrollierten Bedingungen planen und ausführen» (SIA, 2013b). Diese Anforderungen stellen die Produktnormen. In den Leimwerken wird die Arbeitsvorbereitung mit unterschiedlichen Instrumenten durchgeführt. Letztlich diktiert die mögliche bzw. optimierte Befüllung der Presse zur Flächenverklebung der Lamellen die Planung im Detail.

Werkseigene Pro-
duktionskontrolle
WPK

«Der Hersteller muss ein WPK-System erarbeiten, dokumentieren und aufrechterhalten, um sicherzustellen, dass die auf den Markt gebrachten Produkte mit den angegebenen Leistungseigenschaften übereinstimmen und dass die Mindestanforderungen an die Herstellung ... erfüllt sind» (SIA, 2013b). Im WPK/QM-Handbuch des Betriebes ist alles, was dazu erforderlich ist festgelegt.

- Biegeprüfung für Keilzinkenverbindungen
- Scherprüfung und / oder Delaminierungsprüfung für die Flächenverklebung.

Die Durchführung, Auswertung und Bewertung dieser Prüfungen sind in den entsprechenden Arbeitsanweisungen des Betriebes (WPK/QM-Handbuch) festgelegt.

Wer führt diese Prüfungen in ihrem Lehrbetrieb durch?

6.9. Grundlagen Bauproduktrecht und EN-Normen

Bauproduktrecht

Ein kurzer Überblick zum Bauproduktrecht in der Schweiz ist mit Bezug auf die Produkte der Säge-, Hobel- und Leimwerke in der Schweiz zusammengestellt in «Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau – Handelsgebräuche für die Schweiz, Ausgabe 2021» (Lignum, 2021).

EN-Normen

Auf der Basis von vereinheitlichten Prüf-, Produkte- und Ausführungsnormen sowie der europäischen Tragwerksnormen Eurocode werden innerhalb der EU (bzw. des EWR) die Voraussetzungen für einen freien Markt für Waren (z.B. Bauprodukte) und Dienstleistungen geschaffen. Ein kurzer Überblick ist ebenfalls zusammengestellt in «Qualitätskriterien für Holz und Holzwerkstoffe im Bau und Ausbau – Handelsgebräuche für die Schweiz, Ausgabe 2021» (Lignum, 2021).

6.10. Aufgetrennte Träger aus Brettschichtholz

Für die Herstellung schmaler Bauteile aus Brettschichtholz ist es in der Regel wirtschaftlicher, zunächst breite Bauteile herzustellen und diese dann mit einer Bandsäge aufzutrennen. Es ist jedoch zu beachten, dass dies je nach angewandtem Verfahren zur Sortierung der Lamellen die Festigkeitseigenschaften reduzieren kann und dies deklariert werden muss. Der Grund dafür ist, dass sich die Kriterien der Festigkeitssortierung auf die Querschnittsabmessungen des Brettes zum Zeitpunkt der Sortierung beziehen. Wird das Brett als Teil des Brettschichtholzes später aufgetrennt, können beispielsweise vorhandene Äste, bezogen auf den nun kleineren Querschnitt, die Sortierkriterien nicht mehr erfüllen.



Abbildung 104: Auftrennen eines BSH Trägers mit Bandsäge. (Quelle: Roth Burgdorf AG)

6.11. Verbundbauteile aus Brettschichtholz

Zur Herstellung von Bauteilen aus Brettschichtholz, deren Breite grösser ist als die mögliche Breite eines direkt herstellbaren Bauteils, werden einzelne Bauteile blockverleimt. Diese sogenannten Verbundbauteile aus Brettschichtholz sind in der massgebenden Norm (SIA, 2013b) als eigenständiges Produkt wie folgt definiert: «tragendes Bauteil mit massivem rechteckigem Querschnitt aus zwei oder mehr Brettschichtholz-Komponenten, die mit einem fugenfüllenden Klebstoff verklebt werden». Bei der Herstellung von Brettschichtholz-Verbundbauteilen sind besondere Anforderungen zu beachten. Für die Verklebung der Verbundbauteile dürfen nur dafür zugelassene fugenfüllende Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe verwendet werden.



Abbildung 105: Verpressen von Verbundbauteilen (Quelle: Roth Burgdorf AG)

6.12. Brettschichtholz mit Universal-Keilzinkenverbindung

Die sogenannten keilgezinkten Verbindungen (z.B. Rahmenecken) einzelner Bauteile aus Brettschichtholz sind in der massgebenden Norm (SIA, 2013b) als eigenständiges Produkt «Universal-Keilzinkenverbindung» wie folgt definiert: «Keilzinkenverbindung über die gesamte Querschnittsfläche an den Enden von Brettschichtholz-Komponenten, die unter beliebigen Winkeln β von 45° bis einschliesslich 90° verklebt sind». Bei der Herstellung von Brettschichtholz mit Universal-Keilzinkenverbindung sind besondere Anforderungen zu beachten. So muss die Zinklänge mindestens 45 mm betragen und die Querschnittsbreite der Bauteile muss mindestens das Fünffache der Zinkenteilung betragen. Für die Verklebung der Universal-Keilzinkenverbindung dürfen nur dafür zugelassene Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe verwendet werden.

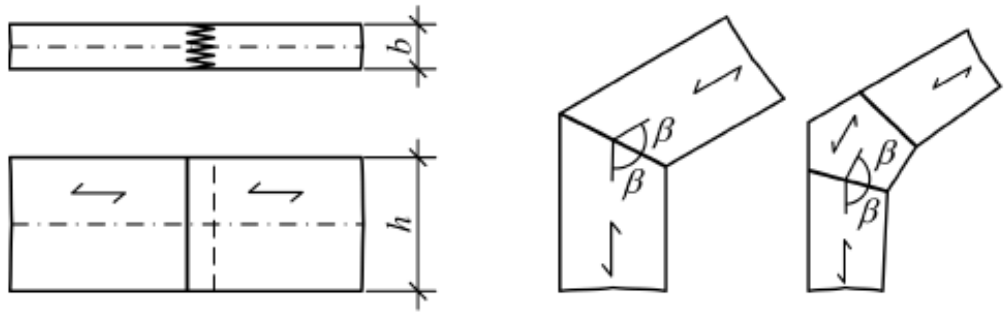


Abbildung 106: Universal-Keilzinkenverbindungen in einem Balken und in Rahmenecken. (Bild 6 aus SIA, 2013b)

6.13. Brettschichtholz aus Laubholz

Die langsame Veränderung im Schweizer Wald hin zu höheren Laubholzbeständen, insbesondere die Zunahme bei der Buche, hat seit Beginn der 2000er Jahre zu intensiven Forschungsanstrengungen zur Herstellung von Brettschichtholz aus Buche geführt. Der Einsatz dieses hochfesten Laubholzes im konstruktiven Holzbau war bisher aufgrund der geringen Dauerhaftigkeit und der starken Neigung zum Quellen und Schwinden auf wenige Ausnahmen beschränkt. Durch die Entwicklung geeigneter Klebstoffe, Methoden und Kriterien zur Festigkeitssortierung sowie geeigneter Keilzinkengeometrien ist es gelungen, Brettschichtholz aus Buche zu entwickeln, das für filigrane Tragwerke oder hoch belastete Unterzüge und Stützen eingesetzt werden kann. Eine Übersicht ist im Lignatec Nr. 33 «Verklebte Laubholzprodukte für den statischen Einsatz» (Lignum, 2021) enthalten.

Da diese Produkte noch nicht genormt sind, hat die Fachgruppe Leimholz von Holzindustrie Schweiz (HIS) eine «Richtlinie zur Herstellung von verklebten Produkten aus Laubholz» (Fachgruppe Leimholz, 2021) als einheitliche Grundlage für die Produktion herausgegeben. Die Fachgruppe Leimholz führt ein Verzeichnis der Hersteller, welche die Anforderungen dieser Richtlinie erfüllen.

6.14. Klebstoffe im Holzleimbau

Natürliche Leime

Ursprünglich wurden im Holzleimbau natürliche Leime aus den Eiweissverbindungen Glutin und Kasein verwendet. Glutin wurde aus tierischen Häuten, Knochen, Sehnen und Knorpeln gewonnen und deshalb oft als Knochenleim bezeichnet. Kasein wurde aus Magermilchprodukten gewonnen. Diese natürlichen Leime weisen eine geringe Feuchtebeständigkeit auf.

Einführung der
Kunstharz-Klebstoffe

Erste neu entwickelte Kunstharz-Klebstoffe standen ab den 1930er-Jahren zur Verfügung und lösten über die folgenden Jahrzehnte die damals üblicherweise verwendeten Kaseinklebstoffe im Holzleimbau ab. Gegenüber den Kaseinklebstoffen war vor allem die Wasser- und Schimmelfestigkeit ein wesentlicher Vorteil der Kunstharz-Klebstoffe. Nach dem Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe (UF) folgten Phenol- bzw. Resorcin- und die Melamin-Formaldehyd-Klebstoffe (PF bzw. RF und MF) in den 1950er-Jahren. Nach der Zulassung des ersten Einkomponenten-Polyurethanklebstoffes (1K-PUR) in der Mitte der 1990er-Jahre, verbreiten sich diese Klebstoffe rasch in der Leimholzproduktion.

Klebstoffe sind
Kunststoffe

Im Holzleimbau werden hauptsächlich Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe sowie feuchtigkeitsvernetzende Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis verwendet. Möglich sind auch Emulsion-Polymer-Isocyanat-Klebstoffe (EPI).

Für das Einkleben von Gewindestangen und die Sanierung von Rissen werden hauptsächlich Epoxidharzklebstoffe, vereinzelt auch Zweikomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis, verwendet.

Alle diese Klebstoffe sind synthetische Kunststoffe.

Polymere

Im ausgehärteten Zustand sind diese Kunststoffe chemisch gesehen Polymere. Der Begriff Polymer kommt aus dem Griechischen und bedeutet so viel wie «aus vielen Teilen bestehend». Bei den Polymeren handelt es sich um «Riesenmoleküle», sogenannte Makromoleküle. Grundbausteine der Polymere sind Monomere. Das sind einfachere gleichartige Moleküle. Sie verbinden durch chemische Reaktionen zu den Polymeren. Im einfachsten Fall ist ein Polymer aus immer der gleichen Art Monomer aufgebaut, siehe Abbildung 107. Möglich ist aber auch ein Aufbau aus verschiedenen Arten von Monomeren.

Wenn sich nur eine begrenzte Anzahl von Monomeren durch eine chemische Reaktion verbindet, spricht man von Prepolymeren. Das ist eine Vorstufe der Polymere, die aber noch chemisch reaktionsbereite Gruppen aufweist.

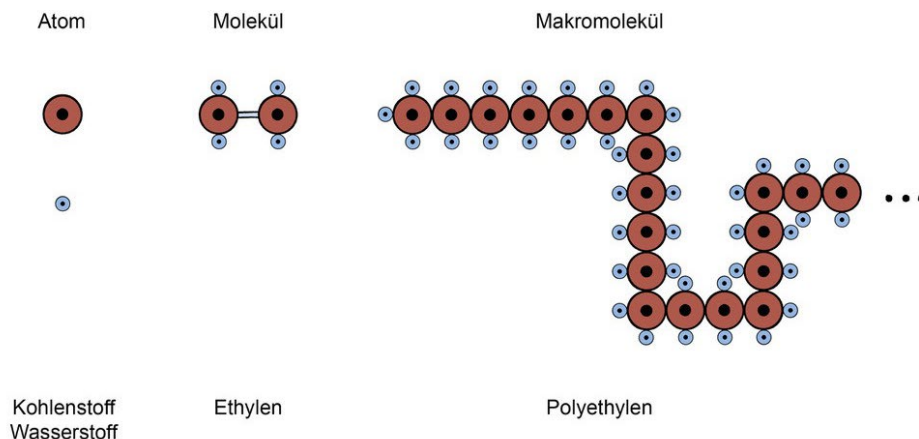


Abbildung 107: Polyethylen (PET) als Beispiel für ein Polymer: vom Atom (Kohlenstoff und Wasserstoff) zum Molekül (Ethylen) und Makromolekül (Polyethylen) (Quelle: HIS nach Pröbster)

Bildhaft lässt sich die Polymerbildung mit dem Zusammenstellen eines Zuges vergleichen. Durch die an den einzelnen Wagen vorhandenen «Kupplungen» können sich beliebig viele Wagen (Monomere) zu einem Zug (Polymer) zusammenhängen (Habenicht, 2016).

Polymere können fadenförmig, verzweigt oder vernetzt sein, siehe Abbildung 108. In Abhängigkeit davon haben sie unterschiedliche Eigenschaften und es lassen sich folgende Klassen bilden:

- **Thermoplaste:** die Polymere liegen je nach Art der Monomere fadenförmig oder verzweigt vor. Thermoplaste schmelzen bei Erwärmung und neigen unter anhaltender mechanischer Beanspruchung zum Kriechen, d.h. sie verformen sich langsam und dauerhaft unter Belastung.
- **Elastomere:** die Polymere sind weitmaschig, locker miteinander vernetzt. Elastomere sind gummielastisch-flexibel.
- **Duromere:** die Polymere sind engmaschig miteinander vernetzt. Duromere (lateinisch «durus» = hart) sind hartelastisch und spröde. Bei Erwärmung sind sie nicht schmelzbar, über einem bestimmten Temperaturbereich zersetzen sie sich.

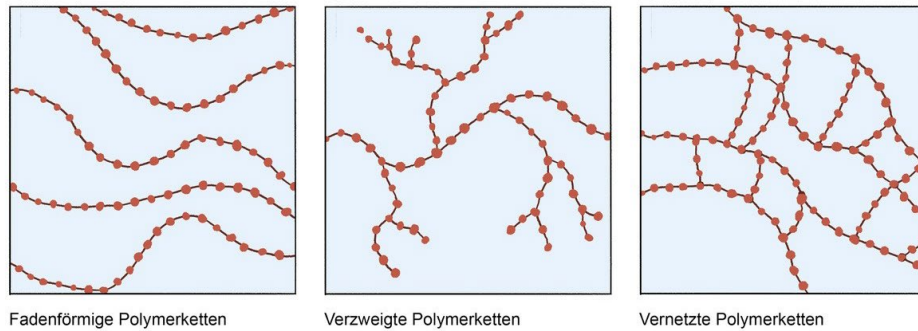


Abbildung 108: Fadenförmige (a), verzweigte (b) und vernetzte (c) Polymerketten (schematisch)
(Quelle: HIS nach Felixberger)

Wichtige Begriffe zu den Kunststoffen sind:

MOLEKÜLE	Chemische Substanzen, aufgebaut aus gleichen oder verschiedenen Atomen.
MONOMER	Ausgangsprodukt eines Klebstoffs, aus dem durch chemische Reaktionen polymere Molekülstrukturen (Klebschichten) entstehen. Dieser Begriff leitet sich aus der griechischen Sprache ab (monos = einzeln, allein) und bezeichnet die entsprechenden «Einzelteile», die sich über eine chemische Reaktion zu einem Polymer verbinden.
POLYMER	Ebenfalls griechischen Ursprungs (polys = viel, meros = Anteil, Teil) und bedeutet so viel wie ein System aus «vielen Teilen». Aus Monomeren oder Prepolymeren durch Polyaddition, Polykondensation oder Polymerisation aufgebaute chemische Verbindungen, die in der Regel im festen Zustand vorliegen. Klebstoffe bestehen im ausgehärteten Zustand grundsätzlich aus Polymeren.
POLYADDITION	Eine chemische Härtingsreaktion, bei der sich zwei verschieden aufgebaute Monomere A und B aneinander anlagern, um ein Polymer AB zu bilden.
POLYKONDENSATION	Im Unterschied zu Polyadditions- und Polymerisationsklebstoffen entsteht bei der Härtung ein Nebenprodukt, z.B. Wasser. Aus diesem Grund ist bei der Aushärtung neben Wärme ein entsprechend hoher Druck auf die Fügeteile aufzubringen (siehe Autoklav).
POLYMERISATION	Polymerbildung aus Monomeren oder Prepolymeren, die über eine C=C-Doppelbindung verfügen, z.B. bei Acrylatklebstoffen.

Tabelle 14: Begriffe zu Kunststoffen (SIA, 2016)

Als Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe werden Formaldehyd-Kondensate bezeichnet. Diese Klebstoffe entstehen aus der Verbindung der Kunstharze Phenol, Resorcin, Harnstoff oder Melamin mit Formaldehyd. Sie härten nach dem Prinzip der Polykondensation, bei der chemischen Reaktion der Monomere zum Polymer entsteht als Nebenprodukt Wasser. Der ausgehärtete Klebstoff ist ein duromeres Polymer, also hartelastisch und spröde.

In der Praxis sind folgende Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe üblich:

- Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe (UF)
- Melamin-Formaldehyd-Klebstoffe (MF)
- Melamin-Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe (MUF)
- Resorcin-Formaldehyd-Klebstoffe (RF)

Bei Resorcin-Formaldehyd ist die Farbe der Klebfuge dunkelbraun, bei allen Klebstofftypen sind die Klebfugen hell bzw. transparent.

Diese Klebstoffe werden üblicherweise in vorkondensiertem Zustand (Resol-Zustand) angeliefert. Der Klebstoff-Hersteller unterbricht dazu die Polykondensation, wenn die Mischung gerade noch ausreichend wasserlöslich ist. Für die Verwendung dieser Klebstoffe wird der unterbrochene Abbindeprozess durch die Zufuhr reaktionsfördernder Mittel (Härter und/oder Wärme) wieder aktiviert und der Klebstoff härtet vollständig aus. Bei der Kondensation werden drei Phasen unterschieden:

- Resol-Zustand
In diesem Zustand wird die Aushärtung vom Hersteller unterbrochen. Das Kunstharz-Formaldehyd-Gemisch ist als Vorkondensat wasserlöslich.
- Resitol-Zustand
In diesem Zustand wird der Aushärtungsprozess beim Verarbeiten fortgesetzt. Der Klebstoff wird dickflüssig und zäh.
- Resit-Zustand
In diesem Zustand bindet der Klebstoff als Endkondensat ab.

Harz und Härter werden heute üblicherweise in flüssiger Form in speziellen Gebinden geliefert und müssen für die Verwendung nach den Vorgaben des Klebstoffherstellers gemischt werden. Das geschieht meistens in automatischen Dosier- und Mischgeräten der Klebstoffauftragsanlage. Einige Produkte eignen sich auch für den separaten Auftrag von Harz und Härter.

Die Norm EN 301 teilt Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe in Klebstoffklassen ein. Diese Klassen basieren auf ihrer Eignung für den Einsatz in unterschiedlichen Klimabedingungen und dem vorgesehenen Verwendungszweck. Für diese Klebstoffklassen sind codierte Bezeichnungen festgelegt, die eine normgerechte Zuordnung ermöglichen.

Für die Verwendung im Holzleimbau müssen Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe den Anforderungen der Norm EN 301 und den spezifischen Anforderungen der Produktnormen entsprechen. Die MPA Universität Stuttgart führt eine Liste mit Klebstoffen, die den Anforderungen entsprechen.

Bei der Herstellung von Brett- und Balkenschichtholz darf die Dicke der Klebfuge bei Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffen, die vor der Verwendung gemischt werden, die vom Klebstoffhersteller angegebene maximale Dicke oder 0,6mm (der

kleinere Wert ist massgebend) nicht überschreiten. Es sind nur einzelne örtliche Abweichungen zulässig, z.B. infolge von Hobelschlägen.

Für Klebfugen zwischen Brettschichtholz-Komponenten von Verbundbauteilen aus Brettschichtholz nach EN 14080 (also für sogenannte Blockverklebungen) sind ausschliesslich fugenfüllende Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffe zugelassen. Die Dicke der Klebfugen darf die vom Klebstoffhersteller angegebene maximale Dicke oder 1,5 mm (der kleinere Wert ist massgebend) nicht überschreiten.

1K-PUR-Klebstoffe

Feuchtigkeitsvernetzende Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis (1K PUR) bestehen aus Prepolymeren, die aus Isocyanaten und Polyolen hergestellt werden. Diese weisen noch reaktive Isocyanat-Gruppen auf. Im Abbindeprozess bei Raumtemperatur finden mehrere chemische Reaktionen statt. Für die erste chemische Reaktion ist Wasser erforderlich. Das benötigte Wasser stammt aus der Umgebung (Luftfeuchte) und der Feuchte der Füge Teile (Holzfeuchte). Falls es zu trocken ist, muss vorgängig zusätzlich Wasser in Form von Sprühnebel aufgebracht werden. In einer zweiten chemischen Reaktion spaltet sich Kohlendioxyd (CO_2) ab, wodurch der Klebstoff aufschäumt. Schliesslich bildet sich das Polymer durch Polyaddition. Der ausgehärtete Klebstoff ist ein duromeres Polymer. Im Vergleich zu den Phenoplast- und Aminoplast-Klebstoffen ist die Klebschicht weniger hart, weniger spröde und weist geringere Festigkeiten auf.

1K-PUR-Klebstoffe werden vom Hersteller in flüssiger oder pastöser Form in speziellen Gebinden gebrauchsfertig geliefert.

Die Norm EN 15425 teilt 1K-PUR-Klebstoffe in Klassen ein. Diese basieren auf ihrer Eignung für den Einsatz in unterschiedlichen Klimabedingungen und dem vorgesehenen Verwendungszweck. Für diese Klebstoffklassen sind codierte Bezeichnungen festgelegt, die eine normgerechte Zuordnung ermöglichen.

Für die Verwendung im Holzleimbau müssen 1K-PUR-Klebstoffe den Anforderungen der Norm EN 15425 und den spezifischen Anforderungen der Produktnormen entsprechen. Die MPA Universität Stuttgart führt eine Liste mit Klebstoffen, die den Anforderungen entsprechen.

Bei der Herstellung von Brett- und Balkenschichtholz ist die maximale Klebfugendicke der aktuell zugelassenen 1K-PUR-Klebstoffe je nach Produkt bis zu 0,3 mm.

Durch das Aufschäumen kann der Eindruck entstehen, dass 1K-PUR-Klebstoffe auch Dicke Fugen füllen. Tatsächlich führt dieser Effekt jedoch dazu, dass der Klebstoff aus der Fuge herausgedrückt wird und die Klebeschicht ungenügende Eigenschaften aufweist. Für Klebfugen zwischen Brettschichtholz-Komponenten von Verbundbauteilen aus Brettschichtholz nach Norm EN 14080 (für sogenannte Blockverklebungen) sind 1K-PUR-Klebstoffe deshalb nicht zugelassen. Ebenso sind sie für Universal-Keilzinkenverbindungen nach Norm EN 14080 nicht zugelassen.

EPI-Klebstoffe

Emulsion-Polymer-Isocyanat-Klebstoff (EPI) sind Emulsionspolymer auf Wasserbasis oder eine Mischung aus Emulsionspolymeren auf Wasserbasis, die mit einem Isocyanat als Härter vernetzt werden.

Harz und Härter in flüssiger Form in speziellen Gebinden geliefert und müssen für die Verwendung nach den Vorgaben des Klebstoffherstellers gemischt werden.

Das geschieht in automatischen Dosier- und Mischgeräten der Klebstoffauftragsanlage.

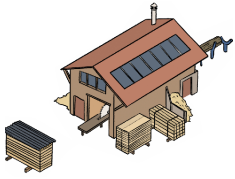
Die Norm EN 16254 teilt EPI-Klebstoffe in Klassen ein. Diese basieren auf ihrer Eignung für den Einsatz in unterschiedlichen Klimabedingungen und dem vorgesehenen Verwendungszweck. Für diese Klebstoffklassen sind codierte Bezeichnungen festgelegt, die eine normgerechte Zuordnung ermöglichen.

Für die Verwendung im Holzleimbau müssen EPI-Klebstoffe den Anforderungen der Norm EN 15425 und den spezifischen Anforderungen der Produktnormen entsprechen. Die MPA Universität Stuttgart führt eine Liste mit Produkten, die den Anforderungen entsprechen.

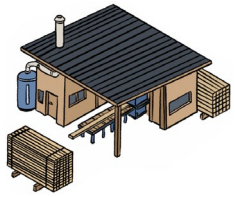
Bei der Herstellung von Brett- und Balkenschichtholz ist die maximale Klebfugendicke der aktuell zugelassenen EPI-Klebstoffe je nach Produkt bis zu 0,3 mm.

Für Klebfugen zwischen Brettschichtholz-Komponenten von Verbundbauteilen aus Brettschichtholz nach Norm EN 14080 (für sogenannte Blockverklebungen) sind EPI-Klebstoffe nicht zugelassen. Ebenso sind sie für Universal-Keilzinkenverbindungen nach Norm EN 14080 nicht zugelassen.

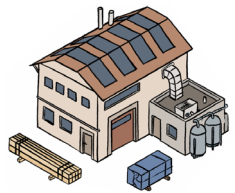
7. Restholzverwertung und Holzabfall



Sägerei



Hobelwerk



Leimwerk

HK c4: Behandlung von Holznebenprodukten aus der Schnittholzproduktion

HK d4: Beseitigung und Verwertung von Nebenprodukten aus der Herstellung von Holzprodukten

In der Holzindustrie fallen in der gesamten Produktionskette Nebenprodukte wie Hackschnitzel, Späne und Sägemehl an. Diese Nebenprodukte müssen jedoch nicht unbedingt entsorgt werden. Die Holzindustrie hat immer wieder Innovationen hervorgebracht, um ihre Nebenprodukte erfolgreich aufzuwerten und ihnen einen höheren Wert zu verleihen, indem sie weiterverwendet werden können.



Abbildung 109: Aus Hobelspänen kann ein neues Produkt entstehen. (Quelle: Schilliger Holz AG)

Praktische Übung in einem Unternehmen

Produktionsstufe 1 & 2:

- Verarbeiten Sie die verwandten Produkte gemäss den Richtlinien
- Verwenden Sie die verwandten Produkte zur Energiegewinnung

Produktionsstufe 2:

- Verwandte Produkte gemäss den Richtlinien verarbeiten
- Verwendung von Nebenmaschinen wie Zerkleinerer, Kompressor

Berufliche Situationen

- Beim Hobeln müssen die Späne abgesaugt werden
- Der Häcksler muss mit Holzresten beschickt werden
- Verwandte Produkte sollten zur späteren Verwendung geladen oder zur internen Verwendung bewegt werden.

Lernziele

Bildung und Verwendung von Holznebenprodukten:

- Sie stellen den Herstellungsprozess von Nebenprodukten dar.
- Sie erfassen die Anforderungen an die Sortimente, die Verwendungsmöglichkeiten und die Vertriebswege.
- Sie beschreiben insbesondere die konkreten Möglichkeiten der energetischen Verwertung von Holznebenprodukten.
- Sie erklären die wirtschaftliche und ökologische Bedeutung der Wiederverwertung von Holznebenprodukten.
- Sie entsorgen Nebenprodukte, die als Sondermüll eingestuft werden.

Vorbereitung von Nebenprodukten:

- Sie bedienen die Verarbeitungsanlagen zur Reduzierung der Nebenprodukte des Holzes.
- Sie erklären den Aufbau, die Funktion und den Einsatzbereich von Hilfsmaschinen, die für Holznebenprodukte geeignet sind.
- Sie führen relevante Berechnungen zu Holznebenprodukten durch (Wassergehalt, Umrechnungsfaktoren, Wert).
- Sie vermitteln dem Kunden die Energieeffizienzpotenziale bei der Herstellung und Verwendung von Holznebenprodukten.

Lagerung von Holznebenprodukten:

- Sie setzen die Anforderungen um an die Lagerung von Holznebenprodukten, die Bedingungen für die Werterhaltung, mögliche Gefahren und die zu treffenden Sicherheitsmassnahmen.

7.1. Bildung und Nutzung von Holzresten

Holz ist eine natürliche und erneuerbare Ressource. Da ist es wichtig, alle seine Möglichkeiten zu nutzen. Auf dem Weg vom Baum im Wald bis zum fertigen Produkt wird das Holz verarbeitet, wobei in jeder Phase Nebenprodukte entstehen. Diese lassen sich mehr oder weniger leicht wiederverwerten. Ob Rinde, Spreissel, Sägemehl oder Hobelspäne - jedes Produkt hat seinen Nutzen und es gibt in diesem Bereich noch viel zu entdecken.

Holz ist ein CO₂-neutrales Produkt (siehe nachfolgende Grafik) und damit ökologisch wertvoll. Daher ist es aus Sicht der Umwelt eine sehr interessante Quelle für die Herstellung von Massivholzteilen, die Produktion von Papier, Wärme oder Energie. Ausserdem wird durch die Verwendung von Holz im Bauwesen langfristig CO₂ gespeichert.

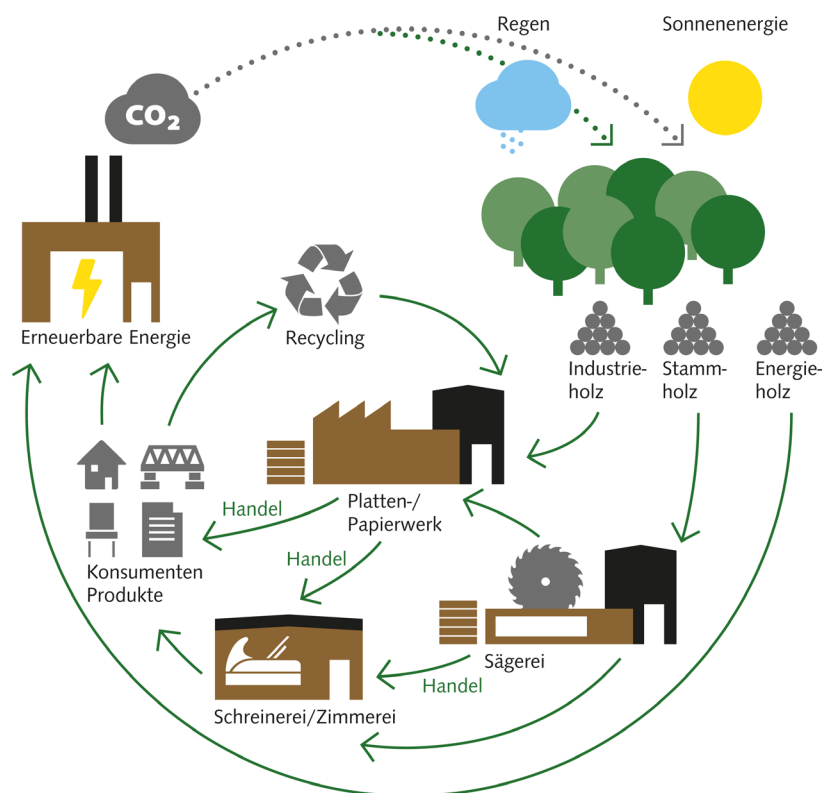


Abbildung 110: Holzkreislauf (Quelle: Lignum)

7.1.1. Kaskadennutzung von Holz

Aus ökologischen Gründen ist die Bauwirtschaft heute und in Zukunft aufgefordert die verbauten Produkte mehrfach zu verwenden. Die so genannte Kreislaufwirtschaft zielt auf die Werterhaltung begrenzter Ressourcen, Materialien und Produkte über einen möglichst langen Zeitraum. Um eine optimale Verwertung von Holz zu ermöglichen, ist die Kaskadennutzung von grosser Bedeutung. Dabei wird das Holz möglichst lange und häufig verwendet. Die ökologischen Vorteile der Kaskadennutzung kommen dann voll zur Geltung, wenn das Holz am Anfang der Kaskade energieintensive Baustoffe (wie Beton) ersetzt und am Ende der Kaskade energetisch in der Holzheizung verwertet wird. Der sinnvollste Ansatz ist zum Beispiel die Verwendung von Holz zunächst als Material wie ein massiver Fussboden,

dann im Rahmen des Recyclings als Partikelplatte und schliesslich als Energiequelle bei der Verbrennung.

7.1.2. Entstehung von Holznebenprodukten

Beginnen wir im Wald, wo ein Baum gefällt wird. Dieser wird zunächst nach Qualität, Volumen und Verwertbarkeit sortiert. Wenn er aus Krankheitsgründen gefällt wurde oder nicht mehr genutzt werden kann, wird er entweder zu einer Wiederverwertungsanlage gebracht oder vor Ort zu **Hackschnitzel** zerkleinert.

Nachdem der Stamm in ein Sägewerk gebracht wurde, wird er zunächst entrindet. Dabei wird, wie der Name schon sagt, **Rinde** gewonnen. Dieses Nebenprodukt ist schwierig zu verwerten (siehe 1.1.4). Daran wird aktuell viel geforscht. Der entrindete Stamm wird dann in Kanteln und Bretter gesägt, wodurch **Sägemehl** und Abfallprodukte wie **Schwarten** entstehen.

Überhänge, Randbretter, Schnittabfälle und Stücke, die aus Qualitäts- oder Ausbeutegründen nicht verwendbar sind, werden meist zu **Hackschnitzeln** zerkleinert und geschreddert, um den Transport und die Wiederverwertung zu erleichtern.

Die Bretter und Kanteln werden schliesslich getrocknet und gehobelt. Beim Hobeln fallen **Späne** an und bei der Oberflächenbearbeitung, die oft mit einem Schleifvorgang endet, entsteht **Staub**.



Abbildung 111: Da fallen Späne, die kein Abfall sein müssen: Holzbearbeitung im Hobelwerk. (Quelle: deligno AG)

7.1.3. Anforderungen an die Sortierung

Die **Rinde** aus dem Sägewerk wird nach ihrer Holzart sortiert. Eine Nadelholzrinde hat nicht denselben Wert oder dieselbe Verwendung wie eine Hartholzrinde. Die Sortierung erhöht die Absatzmöglichkeiten, wenn die Produkte nicht zur Verbrennung bestimmt sind.

Holzchnitzel werden nach verschiedenen Arten unterschieden, die in unterschiedlichen Phasen des Produktionsprozesses entstehen: Zunächst einmal gibt

es **Holzschnitzel aus dem Wald**. Die Anforderungen an Waldholzschnitzel sind recht niedrig, da sie aus der ersten Stufe der Holzverarbeitung stammen. Sie können eine Mischung aus verschiedenen Holzarten, Hartholz, Nadelholz, Grünabfällen wie Blättern und anderen Schlagabraum enthalten.

Holzschnitzel aus Sägewerken sind frei von Grünabfällen und kalibriert. Je nach Anlage können sie einen Anteil an Rinde und Staub enthalten, was die Wiederverwertung beeinträchtigt. Es ist daher wichtig, zwischen Holzschnitzel mit und ohne Rinde zu unterscheiden, da dies einen direkten Einfluss auf ihre Wiederverwertung hat. Je nach Ausgangsmaterial können Holzschnitzel grün (+30%), lufttrocken (18-20%) oder trocken (-15%) sein, was sich ebenfalls auf die Wiederverwertung auswirkt. Die Qualität der Holzschnitzel wird auch durch ihre Grösse bestimmt, die mit Hilfe von Sieben gemessen wird. Je nach Käufer wird die Qualität der Holzschnitzel anhand anderer Kriterien wie Färbung, Fäulnis, Insektenbefall usw. beurteilt. Die Holzschnitzel dürfen keine Zweige, Nadeln, Blätter oder Fremdkörper enthalten.



Abbildung 112: Frische Holzschnitzel aus dem Sägewerk. (Quelle: OLWO AG)

Sägemehl, ob trocken oder feucht, ist ein erstklassiges Produkt. Man sollte jedoch darauf achten, zwischen Sägemehl aus Hartholz und Sägemehl aus Nadelholz zu unterscheiden, sie erfüllen nämlich nicht denselben Zweck.

Beim Hobeln und Schleifen von Holz entstehen **Späne und Staub**. Das sind beides Produkte, die einen interessanten Energiewert haben, da das bearbeitete Holz meist trocken ist. Hier sollte ebenfalls zwischen Nadelholzspänen und Hartholzspänen unterschieden werden, um den Wert und die endgültige Bestimmung sicherzustellen. Ausserdem ist darauf zu achten, dass die Produkte frei von Leim, Farbe oder anderen äusseren Einflüssen sind, die ihre Wiederverwertung einschränken könnten.

7.1.4. Nutzungsmöglichkeiten

Nebenprodukte können auf verschiedene Weise wiederverwertet werden. Dabei unterscheidet man zwischen natürlichen Produkten, die direkt aus der Bearbeitung von Rohholz stammen, und Produkten aus der Zerkleinerung, die Klebstoff- und Farbreste enthalten können.

Rinde ist, wie bereits erwähnt, ein besonders schwer wiederzuverwertendes Nebenprodukt. Denn bei der Verbrennung kann sich das in der Rinde enthaltene Chlor mit Wasserstoff verbinden und Salzsäure bilden, das Metallteile rosten lässt. Rinde produziert auch viel Asche und feste Stücke, die den Heizkessel beschädigen können. Sie ist schwer zu trocknen und absorbiert aufgrund der enthaltenen Feuchtigkeit einen grossen Teil der Wärmeenergie. Aus diesem Grund wird sie nur in grossen Anlagen mit über 1 Megawatt als Brennstoff verwendet, oft in Kombination mit anderen Nebenprodukten.



Abbildung 113: Rinde ist ein anspruchsvolles Nebenprodukt. (Quelle: OLWO AG)

Ein interessanter Absatzmarkt für Rinde ist der Garten. Die Rinde von Nadelbäumen wie Kiefer oder Lärche ist in Gartencentern beliebt und wird in Form von Mulch oder bei der Herstellung von Blumenerde verwendet. Sie zersetzt sich sehr langsam und hat eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit. Die Rinde verhindert zudem Erosion und Bodenverdichtung, hält den Boden lange frisch und feucht und fördert die biologische Aktivität des Bodens. Rinde ist aufgrund von möglichen Holznebenstoffen, die es absondert, indes nicht für alle Pflanzen gleich gut geeignet.



Abbildung 114: Interessanter Absatzmarkt: Holzschnitzel für den Garten. (Quelle: MW)

Da **Holzschnitzel** einige Elemente enthalten können, die mit dem Holzeinschlag zusammenhängen, werden sie hauptsächlich als Verbrennungsquelle für Fernwärme oder in grossen Anlagen verwendet. Auch Holzvergasungsanlagen können diesen Rohstoff nutzen.

Holzschnitzel aus Sägewerken lassen sich viel leichter aufwerten. Sie haben je nach Holzart, Qualität, Sortierung und Luftfeuchtigkeit einen unterschiedlichen Anschnitt. Holzschnitzel können als Brennstoff zum Heizen, zur Herstellung von Spanplatten, Dämmstoffen, Papier und Pellets verwendet werden.

Sägemehl ist ebenfalls ein beliebtes Nebenprodukt. Es kann als Brennstoff für Heizungen, als Rohstoff für die Herstellung von Pellets und als Einstreu für Tiere verwendet werden. In einigen Kompostierungsanlagen wird es auch zur Herstellung von Dünger und Blumenerde verwendet.

Späne und Staub werden meist zu Heizzwecken verwendet, da es sich um ein Produkt handelt, das oft trocken ist, einen guten Energiewert hat und leicht zu verbrennen ist. Es gibt jedoch auch andere Wege der Wiederverwertung, wie die Herstellung von Platten, Briketts und Pellets.

Die beim **Schreddern** anfallenden Nebenprodukte müssen in zwei Kategorien unterteilt werden. Die erste Kategorie besteht aus sauberem Holz, das frei von Leim und Farbe ist und als Heizmaterial oder als Rohstoff für die Herstellung von Platten, Briketts und Pellets wiederverwertet werden kann. Die zweite Kategorie enthält das behandelte, gestrichene oder leimhaltige Holz. Das muss in speziellen Anlagen verbrannt werden.



QR-Code: YouTube Video: Trennung von grossen und kleinen Holzresten.

7.2. Fokus: Energetische Verwertung

Holz ist in der Schweiz nach der Wasserkraft die zweitwichtigste einheimische Energiequelle. Im Jahr 2020 macht Holz als Brennstoff in der Schweiz 12% des gesamten Endverbrauchs aus. Das Potenzial für Holzenergie wird auf mindestens 7,4 Millionen m³ geschätzt. Die Schweiz nutzte 2020 etwa 5,9 Millionen m³. Das zusätzliche nutzbare Potenzial ist also nicht zu vernachlässigen. Hierzulande gibt es mehr als 580'000 Kamine und kleine Heizkessel. Indem Holz aus der Region verwendet wird, ist für eine lokale Wertschöpfung gesorgt, die sich positiv auf die Umwelt und die Arbeitsplätze auswirkt.

Die Nebenprodukte können häufig direkt an ihrem Entstehungsort in einem geeigneten Kessel zur Erzeugung von Wärme und/oder Strom genutzt werden.

Bei der Verarbeitung zu Pellets wird das Holz in eine lager- und transportierbare Form mit hohem Energiegehalt gepresst. Die Verwendung ist sehr einfach und benutzerfreundlich, sowohl in kleinen als auch in grossen Anlagen. Pellets sind ein interessanter Ersatz für Heizöl.

Auch die Holzvergasung ist ein zunehmend umweltfreundlicher Prozess, dessen Potenzial bislang nur wenig genutzt wird. Aus Holzschnitzeln wird in der Anlage Gas erzeugt, das als Brennstoff z.B. für die Stromerzeugung dient.

Die Verwendung von Holz als Brennstoff kann jedoch nicht beliebig erfolgen. Es gibt Gesetze und Verordnungen, die eingehalten werden müssen, insbesondere die Luftreinhalte-Verordnung (LRV). Holz muss optimal verbrannt werden, um eine zu starke Rauchentwicklung und eine übermässige Freisetzung von Feinstaub zu vermeiden. Für jedes Nebenprodukt gibt es einen spezifischen Heizkessel. Nur grosse, spezialisierte Anlagen können verschiedene Arten von Nebenprodukten verbrennen.

Es sei noch einmal festgehalten, dass Holz im Sinne einer Kaskadennutzung zuerst in verschiedenen Bereichen genutzt werden soll, bevor es verbrannt wird.

7.2.1. Entsorgung als Sondermüll

Holz kann nicht immer auf einfache Weise in einem Kamin oder in einer Holzheizung entsorgt werden. Nur rohes Holz, das frei von Chemikalien ist, darf verwendet werden. Altholz aus Abriss, Umbau oder Renovierung von Gebäuden, Baustellenabfälle, alte Möbel, einschliesslich Paletten, und Mischungen aus Alt- und Brennholz gelten nicht als Brennholz. Auch Altholz oder Holzabfälle, die mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, wie z.B. kesseldruckimprägniertes Holz, behandelte Fassadenverkleidungen usw., gelten nicht als Brennholz.

Diese Rückstände sind als Sondermüll zu betrachten und dürfen nur in Verbrennungsanlagen mit speziellen Partikelfiltern entsorgt werden, die auch die Emissionen giftiger Schwermetalle zurückhalten.

Bei der Verbrennung von behandeltem Holz, wie z.B. kesseldruckimprägniertem Holz, können giftige Gase wie Dioxin freigesetzt werden. Es ist wichtig, dass man die Vorsichtsmassnahmen beachtet und im Zweifelsfall die Verwendung solcher Holzreste als Brennholz vermeidet.

Holzfeuerungen richtig betreiben Brennstoffe und Ascheentsorgung

Der richtige Umgang mit den verschiedenen Brennholzsortimenten sowie die sachgerechte und vorschriftsgemässe Entsorgung von Holzabfällen und Aschen sind wichtig für Menschen, Umwelt und Heizungen. Geeignete Heizungen, mögliche Entsorgungsarten sowie die Konsequenzen illegaler Verbrennung werden hier beschrieben. Die Deponietypen und Angaben, welcher Stoff wo abgelagert werden kann, legt die Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen VVEA fest.

Holz- und Nicht-Holzbrennstoffe nach LRV

Wer Holzmaterialien vorschriftsgemäss verbrennt oder entsorgt, leistet nicht nur einen wertvollen Beitrag zur Luftreinhaltung und zum Bodenschutz, sondern schont auch die Heizungsanlagen und vermeidet kostspielige Strafverfahren.

Das unsachgemässe Verbrennen von Holz beeinträchtigt unsere Umwelt und uns Menschen. Die Luft wird durch Schadstoffe im Abgas unnötig belastet.

Gesetzgeber und Behörden haben aufgrund des Belastungsrisikos die Holzmaterialien in der Luftreinhalte-Verordnung LRV in folgende Kategorien eingeteilt:

Holzbrennstoffe nach LRV

Naturbelassenes Holz: Holz aus dem Wald, naturbelassene Abschnitte aus Sägereien.

Restholz: Produktionsabfälle aus der Holzindustrie und aus Holz verarbeitenden Betrieben.

Unbehandeltes Altholz: Unbehandeltes Altholz in Form von Zaunpfählen, Bohnenstangen, Einwegpaletten aus Massivholz.



Konsequenzen illegaler Verbrennung

Wer Restholz, Altholz oder problematische Holzabfälle illegal in einer ungeeigneten Anlage verbrennt, macht sich strafbar und muss neben einer Busse auch unrechtmässig erwirtschaftete Gewinne aus entfallenen Entsorgungsgebühren zurückerstatten. Mit einer Laboranalyse von Rückständen aus der Verbrennung lässt sich illegale Abfall- oder Altholzentsorgung nachweisen.



Abbildung 115: Merkblätter geben Aufschluss darüber, welches Holz verbrannt werden darf.
(Quelle: Holzenergie Schweiz)

Eine nicht ordnungsgemässe Entsorgung dieser Abfälle verunreinigt die Luft, schädigt die Natur, den Boden und das Wasser. Darüber hinaus ist sie gesetzlich strafbar. Jeder Kanton hat seine eigenen Vorschriften und Empfehlungen, die es zu beachten gilt (siehe auch hier: https://www.bfb-cipi.ch/fileadmin/user_upload/bfbcipi/Dokumente/Merkblaetter/holzheizungen-richtig-betreiben_01.pdf).

7.3. Aufbereitung der Nebenprodukte

Holzreste können auf unterschiedliche Weise aufbereitet werden, je nach gewünschter Endverwendung oder dem Ort, an dem sie verarbeitet werden sollen. Es kommt darauf an, wie sich das Produkt verhält, wenn es verarbeitet wird, welches Volumen es einnimmt, wie hoch die Luftfeuchtigkeit ist und welches Energiepotenzial es hat.

7.3.1. Maschinen und Anlagen

Um Holzreste aufzubereiten und wiederzuverwerten, sind verschiedene Mittel und Einrichtungen erforderlich. Die wichtigsten sind folgende:

Trommelhacker, die mit einem Rotor mit Messern ausgestattet sind, die lange, dünne Stücke in gleichmässige Plättchen zerkleinern. Es handelt sich hierbei um eine laute Maschine, die viel Energie verbraucht.



Abbildung 116: Trommelhacker im Einsatz. (Quelle: Mivelaz SA)

Ein **Reststoffrecycler** ist eine Anlage, die Holzreste zerkleinert, um ihre Lagerung und ihren Transport zu erleichtern.

Es gibt zwei Haupttypen von Schreddern:

- 1) **Der Langsamhäcksler** ist in der Holzindustrie am weitesten verbreitet. Er hat einen oder mehrere Rotoren, die sich langsam drehen (zwischen 40 und 50 U/min). Diese Rotoren sind mit Messern ausgestattet, die das Holz zerkleinern, bis es eine bestimmte Korngrösse erreicht hat. Sie haben den Vorteil, dass sie weniger Lärm machen als Schnellzerkleinerer und auch weniger Energie verbrauchen. Sie werden hauptsächlich zum Zerkleinern von Reststoffen aus Säge- und Hobelwerken, Zimmereien und Schreinereien verwendet.
- 2) **Der Schnellzerkleinerer** arbeitet mit kinetischer Energie bei hohen Drehzahlen von 1000 U/min und mehr. Er bietet den Vorteil eines grossen Durchsatzes mit einer mehr oder weniger feinen Körnung. Er wird vor allem zur Zerkleinerung von Waldrestholz und zur industriellen Herstellung von Blumenerde eingesetzt.

Die **Hammermühle** besteht aus einem Rotor, an dem die Messer befestigt sind. Die Messer drehen sich mit hoher Geschwindigkeit und zerkleinern die Rückstände zu feinem Sägemehl, das hauptsächlich für die Herstellung von Pellets bestimmt ist. Diese Art von Mühle kann nur bereits vorzerkleinerte Nebenprodukte wie Hack-schnitzel oder Späne verarbeiten. Bei Rinde findet die **Rindenmühle** Anwendung.

Die zu Holzschnitzeln, Spänen oder Sägemehl zerkleinerten Rückstände müssen zu ihrem Lagerort transportiert werden. Während Holzschnitzel mit einfachen **Förderbändern** transportiert werden können, werden Späne in der Regel mit Hilfe von Ventilatoren durch **Absauganlagen** befördert. Diese Anlagen befördern die Holzschnitzel in spezielle Silos.

Bei der pneumatischen Förderung von trockenen Produkten wie Spänen oder Sägemehl schreiben einige Kantone vor, dass die Förderleitungen mit einem Funkenmelder und einer Löschanlage ausgestattet sein müssen, um das Explosionsrisiko zu verringern. Diese Anlagen spritzen einen Wassernebel in die Transportleitung, wenn ein Funke erkannt wird.

7.3.2. Berechnung der Feuchte

Die **Holzfeuchte** ist das Verhältnis zwischen dem im Holz enthaltenen Wasser und seiner Trockenmasse, während die Masse des im Holz enthaltenen Wassers das Verhältnis zwischen dem im Holz enthaltenen Wasser und der Gesamtmasse des Holzes ist. In beiden Fällen unterscheidet sich die Berechnungsformel wie folgt:

$$\text{Luftfeuchtigkeit in \%} = \frac{\text{Wassergehalt des Holzes}}{\text{Masse in wasserfreiem Zustand}}$$

$$\text{Wassergehalt in \%} = \frac{\text{Wassergehalt des Holzes}}{\text{Gesamtmasse des Holzes (feucht)}}$$

Meistens wird die Luftfeuchtigkeit verwendet, da sie mit handelsüblichen Messgeräten leicht ermittelt werden kann. Mithilfe von zwei Stiften, die in das Holz gesteckt werden, misst das Gerät den elektrischen Widerstand zwischen den beiden Stiften. Je trockener das Holz ist, desto weniger elektrischer Strom fließt und desto größer ist folglich der Widerstand. Diese Geräte sind nützlich, um Holz mit einer Luftfeuchtigkeit zwischen 5% und 30% zu messen. Bei mehr als 30% ist die Messung nicht mehr zuverlässig, da die Fasern gesättigt sind.



Abbildung 117: Hygrometer im Einsatz. (Quelle: zvg)

Nebenprodukte werden in der Regel nach dem tatsächlichen Volumen, dem Rauminhalt, als Schüttgut, dem Liefergewicht (lutro) oder dem wasserfreien Gewicht (atro) gemessen.

Das Volumen des Restholzes ist nicht nur für die Planung, sondern auch für den Transport, den Verkauf und die Wiederverwertung von grosser Bedeutung. Aufgrund der Aufspaltung ist das Volumen des Restholzes grösser als das ursprüngliche Vollholz, daher ist es wichtig, die folgenden Umrechnungsfaktoren zu kennen:

Masseinheit: e. = entrindet, n.e. = nicht entrindet

Vom vollen Volumen zum losen Volumen:

(frisch gegossen, der Transport kann das lose Volumen verringern)

Produkt	Volles Volumen	Volumen in loser Schüttung
Holzschnitzel aus dem Wald	1 m ³ n.e.	= 2.8 m ³ n.e.
Holzschnitzel aus dem Wald	1 m ³ e	= 2.8 m ³ e.
Holzschnitzel aus Sägewerken	1 m ³ n.e.	= 2.7 m ³ n.e.
Sägewerksspäne / Sägemehl	1 m ³ e	= 3 m ³ e.
Hobelspäne	1 m ³ e	= 5 m ³ e.

Vom Trockengewicht zum Schüttvolumen:

(frisch gegossen, der Transport kann das Schüttvolumen verringern)

Produkt	Volumen anhydr.	Volumen in loser Schüttung
Hackschnitzel aus Sägewerken	1 t atro e.	= 7 m ³ e.
Sägewerks-/Sägespäne (Ep.,Sa.)	1 t atro e.	= 7.7 m ³ e.
Hobelspäne	1 t atro e.	= 12.3 m ³ e.

Industrieholz wird hauptsächlich nach Darrgewicht oder atro (absolut trocken) gekauft. Bei Bedarf kann das Gewicht in m³ oder Ster umgerechnet werden. Für nicht entrindetes Industrieholz gilt: 1 Ster (1 Meter Länge) = 0,75 m³ oder 1 m³ = 1,33 Ster. Um den Trockenwert einer Holzladung tatsächlich zu messen, wird wie folgt vorgegangen:

1. Der LKW mit Rohholz wird auf einer Brückenwaage gewogen.
2. Nach dem Entladen wird der LKW leer gewogen, um sein Taragewicht zu bestimmen.
3. Die Differenz zwischen den Wägungen ergibt das Nettogewicht der Ladung.
4. An verschiedenen Stellen der Ladung werden Proben entnommen, bei Rohholz mithilfe einer Kettensäge.
5. Die Proben werden gemischt und auf einer Feinwaage gewogen, um das Nettogewicht Gu zu erhalten.
6. Die Proben werden dann getrocknet, bis das Wasser vollständig verdunstet ist, und dann gewogen, um den Trockenmassegehalt T
7. Multipliziert man das Nettogewicht Gu der Ladung in Kilogramm Grünholz mit dem Trockenmassegehalt T, erhält man das Trockengewicht G0 der Ladung:

$$G0 = Gu \times T/100 \text{ (kg)}.$$

Hier sind einige grundlegende Umrechnungsfaktoren für die gängigsten Holzarten:

Rohstoff	m³/t atro	Ster/t atro
Buche	1.58	2.10
Harte Laubbäume (Buche, Hainbuche, Esche usw.)	1.60	2.15
Weiches Laubholz (Erle, Weide, Linde, etc.)	2.05	2.75
Nadelholz (Tanne, Fichte, Kiefer, Lärche, Douglasie)	2.25	3.00

7.3.3. Kosten-/Nutzenverhältnis und Energiewert

Grundsätzlich gilt: Je stärker das Nebenprodukt bearbeitet wird, desto einfacher und effizienter ist seine Verbrennung. Allerdings verbraucht jeder Prozess der Verarbeitung oder Gewinnung von Material auch Energie, die als graue Energie bezeichnet wird.

Bei der Verwendung von Holzschnitzeln als Brennstoff ist ein gewisser gleichmässiger Wärmebedarf erforderlich, da der Verbrennungsprozess eine erste Phase umfasst, in der das Rohmaterial getrocknet wird, bevor es verbrennt und die für die Wärmeerzeugung erforderliche Energie freigesetzt wird. Wenn der Wärmebedarf zu gering ist, wird die Verbrennung nicht optimal ablaufen. Daher werden sowohl Waldholzschnitzel als auch feuchte Holzschnitzel hauptsächlich in grossen Fernwärmanlagen eingesetzt.

Die bei der Produktion anfallenden Nebenprodukte wie Späne, trockenes Sägemehl und Staub werden manchmal an ihrem Entstehungsort zu Heizzwecken und manchmal auch in Kraft-Wärme-Kopplung zur Stromerzeugung verwendet.

Pellets wurden entwickelt, um ihre Verwendung in kleinen Anlagen zu erleichtern. Da es sich um ein trockenes, genormtes und leicht zu handhabendes Produkt handelt, sind sie eine gute Alternative zu fossilen Brennstoffen. Der Anteil der grauen Energie bei der Herstellung von Pellets liegt jedoch unter 20% der gelieferten Wärme, was Pellets vor anderen konventionellen Heizanlagen stellt.



Abbildung 118: Fertige Pellets (Quelle: Mivelaz SA)

Zum Vergleich: Eine Erdwärmepumpe hat einen Anteil an grauer Energie von über 60%, während diese bei Erdgas über 110% und bei Heizöl über 120% beträgt. Dies lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass weder der Energieträger noch die Energie zu seiner Gewinnung erneuerbar sind.

Hier einige grundlegende Daten zum Energiewert von Holzresten:

Verwandter Produkttyp	Heizwert kWh
Massivholz (1 m ³)	2250 – 2950
Holzschnitzel, Rinde (1 m ³)	800 – 1100
Trockene Hackschnitzel (1 m ³)	900 – 1150
Feuchtes Sägemehl (1 m ³)	600 – 800
Sägemehl und trockene Holzspäne (1 m ³)	650 – 850
Briketts (1 m ³)	4400 – 7700
Pellets (1 m ³)	4600 – 5000

7.4. Lagerung von Holzresten

Die Vorschriften des Bundes zum Verkehr mit Abfällen können das Sortieren bestimmter Rückstände verpflichtend machen. Kleine Holzfeuerungen sind davon besonders betroffen, da es ihnen gesetzlich nicht erlaubt ist, alle Arten von Holzrückständen zu verbrennen.

Während die Trennung von Holzstücken und Sägespänen keine grossen Probleme bereitet, ist die Sortierung von Sägespänen und Staub aus Massivholz oder verschiedenen Platten sehr viel schwieriger. Die Trennung der Rückstände sollte so früh wie möglich in der Produktionskette erfolgen, um eine Vermischung bestimmter Rückstände zu vermeiden, die die Qualität des Nebenprodukts beeinträchtigen könnte.

Je nach Art der Rückstände kann die Lagerung nicht nur die schwankende Marktnachfrage befriedigen. So kann beispielsweise bei Holzschnitzeln die Wertschöpfung durch natürliche Trocknung gesteigert werden, sofern diese fachgerecht durchgeführt wird. Bestimmte Produkte wie Holzschnitzel hingegen erfordern aufgrund der von ihnen ausgehenden Explosionsgefahr besondere Anforderungen.

7.4.1. Grundlegende Anforderungen

Frische Holzschnitzel können entweder im Freien, unter Dach oder unter einer Vliesabdeckung gelagert werden. Im Freien kann Regenwasser bis zu 50 cm eindringen und regelmässige Niederschläge können das Wachstum von Schimmelpilzen begünstigen, was zu einem Substanzverlust führt. Es wird daher empfohlen, die Plättchen abzudecken. Frische Holzschnitzel verlieren pro Monat der Lagerung im Freien 2-4% an Substanz, da sie von holzerstörenden Pilzen und Bakterien besiedelt werden. Sobald die Luftfeuchtigkeit unter 30% sinkt, wird dieser Abbau stark eingeschränkt.

Frisches Sägemehl sollte nicht im Freien gelagert werden. Die äussere Schicht trocknet aus und wird sehr flüchtig, was je nach Lagerort zu Problemen führen kann.

Trockenes Sägemehl, Späne und Staub müssen in einem separaten Raum oder Silo gelagert werden, sobald ihre Menge 0,8 m³ übersteigt. Die Silos müssen nach den Regeln der Technik gebaut werden, wobei insbesondere die Brand- und Explosionsschutzmassnahmen zu berücksichtigen sind. Insbesondere müssen die Türen mit einem System aus horizontal verlegten Brettern geschützt werden, um zu verhindern, dass das gesamte Material beim Öffnen der Tür herausspringt.

7.4.2. Bedingung für die Werterhaltung

Wenn die Lagerung einmal festgelegt ist, ist es wichtig, sie dauerhaft zu gewährleisten. Die Lagerung von frischem Holz kann langfristig problematisch sein, da das Holz austrocknen wird.

Bei einigen Rohprodukten wie Holzschnitzeln, Spänen oder Sägemehl wirkt sich die Feuchtigkeitsaufnahme vor allem auf die Verbrennung und sogar auf den Preis aus, wenn das Material für den Verkauf bestimmt ist. Bei verarbeiteten Produkten wie Briketts oder Pellets hingegen wird die Feuchtigkeitsaufnahme das Produkt zersetzen und zu Staubbildung führen, was bei dieser Art von Produkt nicht erwünscht ist. Diese gepressten Produkte sind besonders feuchtigkeitsempfindlich und müssen unbedingt trocken gelagert werden.

7.4.3. Gefahren und Sicherheitsmassnahmen

Die Lagerung von Holz in einem geschlossenen Raum kann verschiedene Gefahren mit sich bringen, die es zu beachten gilt:

Bei der Lagerung von Holz wird **Kohlenmonoxid (CO) freigesetzt**. In einem geschlossenen Raum ohne gute Belüftung stellt dieses Gas eine Lebensgefahr dar. Da dieses Gas geruchlos ist, ist die Unfallgefahr umso grösser. Daher wird dringend davon abgeraten, ein Silo ohne vorherige Belüftung zu betreten. Im Zweifelsfall erfolgt der Zugriff nur mit einem entsprechenden Erkennungsgerät.

Holzstaub ist auch deshalb besonders gefährlich, weil er eine erhöhte Explosionsgefahr darstellt. Eine Zündquelle wie ein Funke, ob elektrisch, statisch oder mechanisch, kann zu einer Explosion führen. Die ATEX-Norm (Explosionsgefährdete Atmosphäre) legt fest, wie die Explosionsgefahr begrenzt und verhindert werden kann.

Bei der Planung und dem Bau von Silos ist es wichtig, die Vorgaben des Verbandes der kantonalen Institutionen für Feuerversicherungen AIA einzuhalten. Sie legt die einzuhaltenden Abstände, die Art der zu verwendenden Baustoffe und die vorgeschriebenen Löschvorrichtungen fest. Vor jedem Zugang zu einem Silo muss darauf geachtet werden, dass die Anlage ausser Betrieb ist, unabhängig davon, ob es sich um die Belüftung handelt, die das Gerät in das Silo bläst, oder um das Späneabsaugsystem.

In Bezug auf die Gefahren helfen hauptsächlich drei Arten von Geräten:

1. Installation einer automatischen Sprühflutanlage (Sprinkler), die im Brandfall das Silo auslöst und überflutet. Es besteht aus einer Glaskappe, die ab einer bestimmten Temperatur schmilzt oder explodiert und so das Wasser aus dem Rohr freisetzt, das sich über das Feuer ergiesst.
2. Trockene Kolonnen-Sprühflutinstallation, die es Feuerwehrlenten ermöglicht, eine Einrichtung von einem sicheren Ort aus mit trockenen Rohrleitungen zu versorgen. Es besteht aus einem leeren Rohr, das von einem sicheren Ort zu dem zu schützenden Ort führt. Alles, was Sie tun müssen, ist, ihn im Brandfall mit Wasser zu versorgen.
3. Funkenlöschgerät, das darauf abzielt, das Risiko von Funken in den Saugleitungen zu verringern, indem es diese stromaufwärts erkennt, wodurch automatisch ein Sprühnebel in der Leitung ausgelöst wird, um den Funken zu löschen.

Es gibt auch Brandmeldegeräte, die einen Alarm auslösen, um einen Brandausbruch zu verhindern, Es gibt die folgenden Melder:

1. Rauchmelder
2. Wärmemelder
3. Kombinierte Melder, Rauch und Wärme
4. Wärmebildkameras
5. Laser

Die in der Holzindustrie am häufigsten eingesetzten Detektoren sind kombinierte Detektoren. Das blosse Vorhandensein von Hitze ist nicht immer ein Zeichen für Feuer, weshalb der kombinierte Melder am besten geeignet ist.

Gemäss kantonaler Gesetzgebung müssen die Melder an eine Alarmstation angeschlossen werden, die ihrerseits mit der Feuerwehr und der Polizei verbunden ist, damit diese im Alarmfall schnell Personen zum Einsatzort schicken können.

Index

Holzkreislauf	2
1. Kundenberatung und Reklamationen	4
1.1. Das Beratungsgespräch.....	6
1.2. Gesprächs- und Kundentypen	6
1.3. Reklamationen	10
2. Auftragsprozess und Optimierung	16
2.1. Holzverarbeitung.....	18
2.2. Auftragsannahme	19
2.3. Auftragsdokumentation	20
2.4. Ausführungsvarianten	22
2.5. Preiskalkulation.....	24
2.6. Die Ausbeute aus Kostensicht	34
2.7. Weitere Optimierungsmöglichkeiten.....	37
3. Logistik.....	54
3.1. Warenfluss und Logistik.....	57
3.2. Kennzeichnung der Ware	60
3.3. Verpackung von Produkten	64
3.4. Lagerung der Produkte	66
3.5. Lagertechniken und Lagerprinzipien	74
3.6. Abholung und Auslieferung.....	81
3.7. Übergang von Nutzen und Gefahr	82
3.8. Massnahmen zur Optimierung.....	82
4. Oberflächenbehandlung	83
4.1. Grundlagen der Oberflächenbehandlung von Holz	85
4.2. Produkte zur Oberflächenbehandlung.....	88
4.3. Auswahl der passenden Oberflächenbehandlungen	97
4.4. Risiken beim Einsatz von Beschichtungsstoffen.....	104
4.5. Verarbeitung der Beschichtungsstoffe	105
5. Trennen und Hobeln.....	114
5.1. Hauptprozesse im Hobelwerk	117
5.2. Trennen.....	117
5.3. Hobeln.....	123

6. Leimen	136
6.1. Leimholz.....	139
6.2. Geschichtliche Entwicklung	140
6.3. Grundlagen zum Kleben im Holzleimbau	142
6.4. Rohmaterial	151
6.5. Keilzinkenverbindung in Lamellen	154
6.6. Lamellen hobeln.....	160
6.7. Bauteile Hobeln, Ausflicken/Abbund, Bereitstellung.....	167
6.8. Arbeitsvorbereitung und Qualitätssicherung (WPK)	168
6.9. Grundlagen Bauproduktrecht und EN-Normen	170
6.10. Aufgetrennte Träger aus Brettschichtholz	170
6.11. Verbundbauteile aus Brettschichtholz	171
6.12. Brettschichtholz mit Universal-Keilzinkenverbindung	171
6.13. Brettschichtholz aus Laubholz	172
6.14. Klebstoffe im Holzleimbau.....	172
7. Restholzverwertung und Holzabfall	178
7.1. Bildung und Nutzung von Holzresten	180
7.2. Fokus: Energetische Verwertung	185
7.3. Aufbereitung der Nebenprodukte.....	186
7.4. Lagerung von Holzresten	191
Index.....	194