

Leitfaden

zum

Einsatz forciertes Trocknungsverfahren für die Applikation von Wasserlacken auf Holz- und Holzwerkstoffen

Der vorliegende Leitfaden ist das Ergebnis des Forschungsvorhabens „Entwicklung technologischer Maßnahmen zur wirtschaftlichen Applikation von Wasserlacken auf Holzoberflächen mit dem Ziel der Quellungsverminderung und Energieeinsparung“, das vom Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH bearbeitet wurde.

Projektleiter: Dr.- Ing. Rico Emmler

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Detlef Kleber, Dr. rer. nat Christane Swaboda.

Das Forschungsvorhaben (Förderkennzeichen: 11639/01) der Forschungsvereinigung DFO e.V. wurde im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Grundlagen.....	4
2.1	Einfluss des Substratwerkstoffes	4
2.2	Einfluss des Lackes.....	5
2.3	Einfluss der Applikationsbedingungen	5
2.4	Grundlagen der Lacktrocknung und Filmbildung.....	6
3	Beschreibung der Trocknungsverfahren und Bewertung	7
3.1	Lufttrocknung (LT).....	7
3.2	Konvektionstrocknung (DKT)	7
3.3	Kondensations- bzw. Adsorptionstrocknung (HYD)	9
3.4	Wärmestrahlungstrocknung	10
3.5	Dielektrische Trocknung.....	12
4	Einfluss von Trocknungsparametern auf die Oberflächenqualität.....	15
5	Anleitung zur Berechnung der Verfahrenskosten.....	16
6	Zusammenfassung.....	17
7	Literaturhinweise	18

Haftungshinweis

Für Vollständigkeit, Aktualität und Korrektheit der Informationen des „Leitfadens zum Einsatz forcierter Trocknungsverfahren für die Applikation von Wasserlacken auf Holz- und Holzwerkstoffen“ wird seitens der Autoren, der DFO und des IHD keine Haftung übernommen. Haftungsansprüche gegen die Autoren, DFO und IHD, die sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, welche durch die Nutzung des dargebotenen Leitfadens verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

1 Einleitung

VOC-Richtlinie und Decopaint-Verordnung können den Einsatz emissionsarmer Lacksysteme erfordern. Wasserlacke sind in vielen Bereichen, wo flüssig lackiert werden muss, die am häufigsten eingesetzte Alternative zu lösemittelhaltigen Systemen. Ihre Applikation auf Holz bringt jedoch verschiedene Probleme mit sich (Abbildung 1), die ein komplexes Herangehen an den Lackierprozess erfordern. Durch Einsatz forcierter Trocknungsmethoden lässt sich die Einwirkzeit des Wassers auf die Oberfläche verringern, was zu geringerer Quellung und vermindertem Schleifaufwand führen und eine schnellere Weiterverarbeitung ermöglichen soll. Inzwischen sind zahlreiche Trocknungsverfahren auf dem Markt, die nach unterschiedlichen Prinzipien arbeiten. Für den Anwender ist es jedoch schwierig, unter den angebotenen Technologien die für ihn optimale herauszufinden.

Probleme bei der Lackierung von Holz mit wasserbasierten Lacksystemen

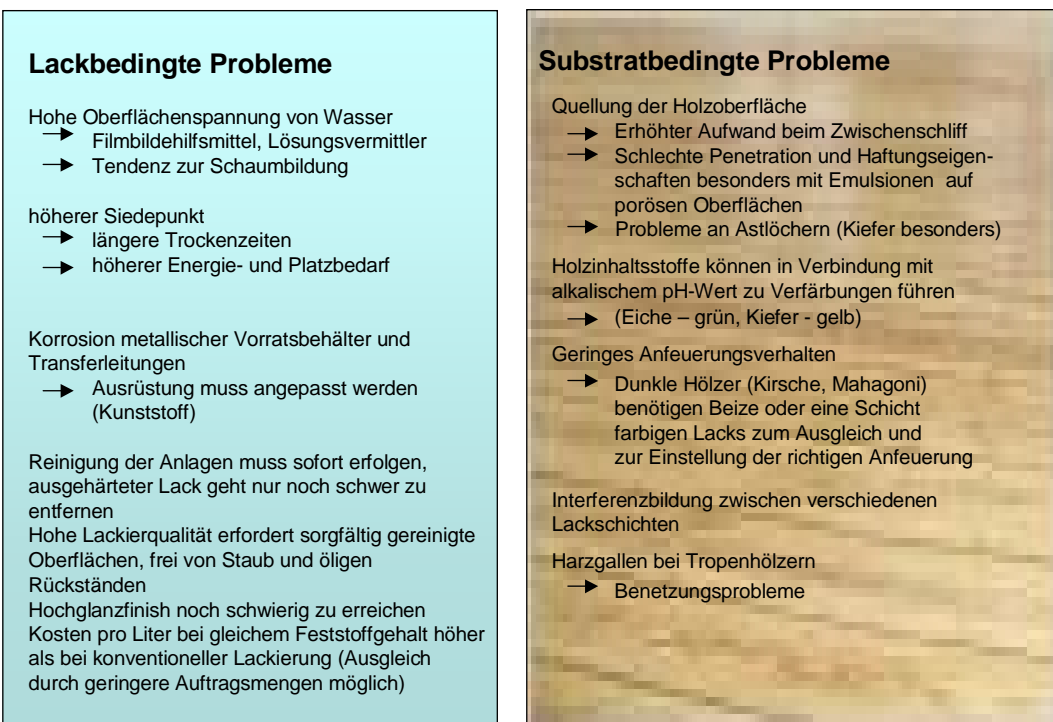


Abb. 1 Probleme bei der Umstellung auf Wasserlack

Der vorliegende Leitfaden basiert auf Ergebnissen eines Forschungsthemas, welches vom IHD in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie bearbeitet wurde /2/.

Darin wurden unter Verwendung von wasserbasierenden Möbellacken die Möglichkeiten für eine forcierte Trocknung mit unterschiedlichen Technologien umfassend verglichen. An verschiedenen praxisrelevanten Substraten wurden durch Variation von

Trocknungsparametern optimale Varianten in Bezug auf Zeiteinsparung, Energieeinsparung und Oberflächenqualität erarbeitet und ein Kostenvergleich angestellt.

Ein optimales Verfahren für alle Einsatzfälle gibt es aber nicht. Eine Übersicht über die eingesetzten Technologien und ihre bevorzugten Einsatzgebiete sowie Schlussfolgerungen zur Einschätzung der Effektivität, des Energiebedarfs und der Wirtschaftlichkeit, die in diesem Leitfaden gegeben wird, sollen dem Anwender jedoch ermöglichen, die für ihn optimale Technologie im Einzelfall abzuleiten.

2 Grundlagen

Um auch mit Wasserlacken hervorragende Oberflächenqualitäten zu erhalten, sind ein komplexes Herangehen und die Abstimmung aller Prozessschritte von der Vorbehandlung über die Applikation und die Trocknung nötig. Dazu soll zunächst dargelegt werden, welchen Einfluss die Ausgangsmaterialien und Umgebungsbedingungen auf den Lackierprozess und das Endprodukt haben können (siehe auch Abb. 2).

2.1 Einfluss des Substratwerkstoffes

Holz ist im Vergleich zu Metall, Glas oder Kunststoff ein wesentlich inhomogeneres und vor allem ein hydrophiles Substrat. Die Wechselwirkung mit Wasser und die damit einhergehende Faseraufquellung hängen stark von der jeweiligen Holzart, Holzfeuchte, Anschliff sowie der Dauer des Verbleibs der wässrigen Phase auf dem Substrat ab /1/. Die Zeit bis zur vollständigen Penetration des Wassers kann dabei wenige Sekunden bis zu 15 Minuten betragen. Schwierigkeiten entstehen bei Holzarten, die große Unterschiede in den Dichten der Früh- und Spätholzzonen aufweisen (Eiche). Hier kommt es auf den Frühholzzonen sehr schnell zum Wegschlagen des Verdünnungsmittels Wasser und einem Aufquellen der Oberfläche, auch wenn Lackbindemittel zu einer gewissen Versiegelung derselben führen. So können bei einem lufttrocknenden Wasserlack Frühholzzonen von Eichenholz, ungeachtet des Schleifgrades, in einem Maße aufquellen, dass die Oberflächen als unbrauchbar eingestuft werden müssen.

Einen Einfluss auf die Penetration von Wasser in die Oberfläche haben auch die Holzfeuchte sowie die Rauheit der Oberfläche:

- frisch angeschliffene Oberflächen nehmen mehr Wasser auf als abgelagerte,
- feiner geschliffene Oberflächen (ab 280er Körnung) nehmen weniger Wasser auf als grob geschliffene,
- die optimale Holzfeuchte liegt bei 8 bis 12 %; darunter kann es durch erhöhte Rauigkeit zu Problemen bei der Filmbildung kommen.

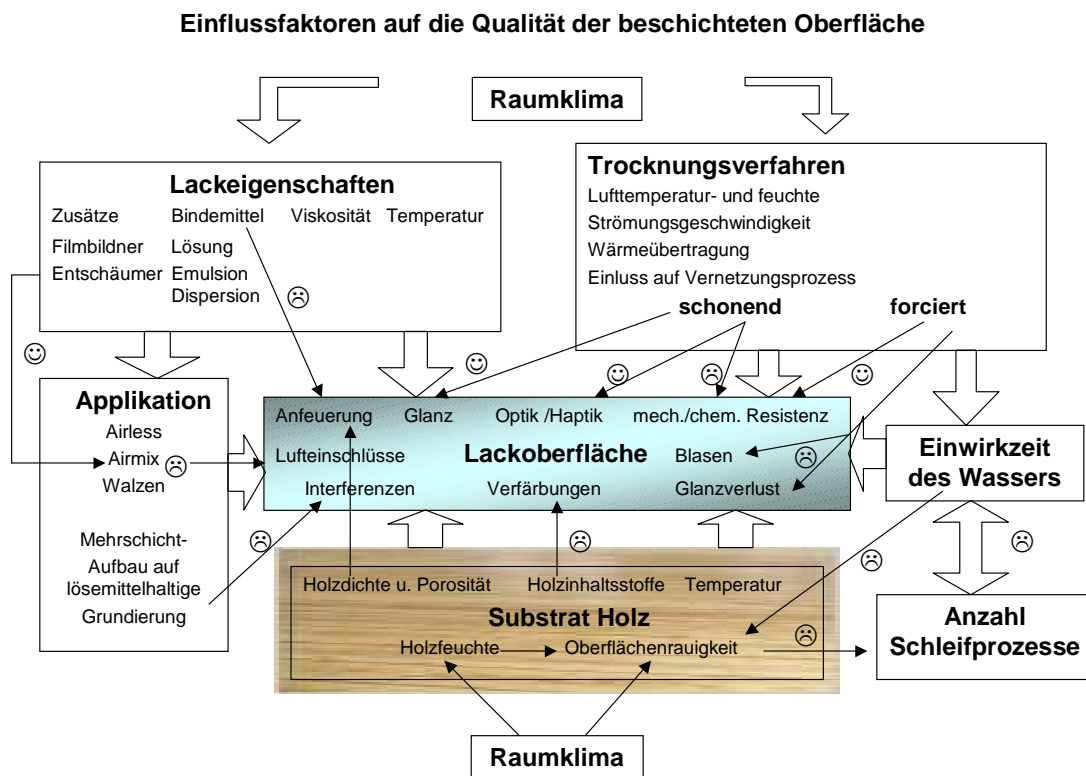


Abb. 2 Einflussfaktoren beim Lackierprozess

2.2 Einfluss des Lackes

Hinsichtlich des Quellungspotentials einzelner Lacksysteme kann davon ausgegangen werden, dass weniger die Art des Bindemittels und der Additive einen Einfluss auf die Aufrauung der Oberfläche haben, sondern vielmehr die Lackviskosität und die Dauer der Einwirkzeit des Wassers [1]. Werden oberflächenaktive Substanzen zugesetzt, die zu einem besseren Verlauf des Lackes auf der Oberfläche führen, verringert sich die Aufrauung der Holzoberfläche. Lack und Substrat sollten eine Temperatur zwischen 20° C und 23 °C haben, darunter verläuft die Verfilmung problematisch.

2.3 Einfluss der Applikationsbedingungen

Um optimale Verarbeitungsbedingungen zu gewährleisten, sollte die Lackapplikation bei 20 ... 23 °C und 40 ... 65 % rel. Luftfeuchte vorgenommen werden [4]. Wasserlacke benötigen aufgrund der höheren Oberflächenspannung höhere Spritzdrücke. Ihre Neigung zur Schaumbildung kann zu Luftfeinschlüssen in der Lackschicht führen, die besonders bei Anwendung forzierter Trocknungsverfahren Bläschenbildung in der Schicht zur Folge haben. Hier bietet sich das Spritzen mit hydraulischen Zerstäubern („Airless“) an. Gegebenenfalls muss mit Entschäumern gearbeitet werden.

Die Applikation muss auf absolut staub-, schmutz- und ölfreien Oberflächen erfolgen, da es sonst zu Einschlüssen und Benetzungsproblemen kommt.

2.4 Grundlagen der Lacktrocknung und Filmbildung

Nach der Applikation des wässrigen flüssigen Beschichtungsmaterials muss der Lack möglichst rasch, staubfrei, fehlerfrei, energiesparend, kostengünstig und umweltfreundlich in den festen Zustand überführt werden. Bei diesem Verfahrensschritt der Filmbildung wird in „Trocknen“ oder „Härten“ unterschieden.

Bei der Trocknung handelt es sich um den physikalischen Vorgang der Verdunstung der Löse- und Verdünnungsmittel. Dieser kann mit Hilfe eines Wärmeeintrags, zum Beispiel durch IR-Strahlung, initiiert beziehungsweise beschleunigt werden.

Härten bezeichnet die chemische Vernetzung der Lacksysteme. Die Vernetzung kann durch Polykondensation, Polyaddition und Polymerisation erfolgen und zum Beispiel durch UV- oder Elektronenstrahlen oder chemische Härter initiiert werden.

Viele Lacksysteme sind Mischformen bezüglich ihrer Trocknung und müssen physikalisch trocknen und chemisch härten /4/. Die Trocknung und Härtung kann parallel (2K-Lack) oder nacheinander (UV-Lack) ablaufen.

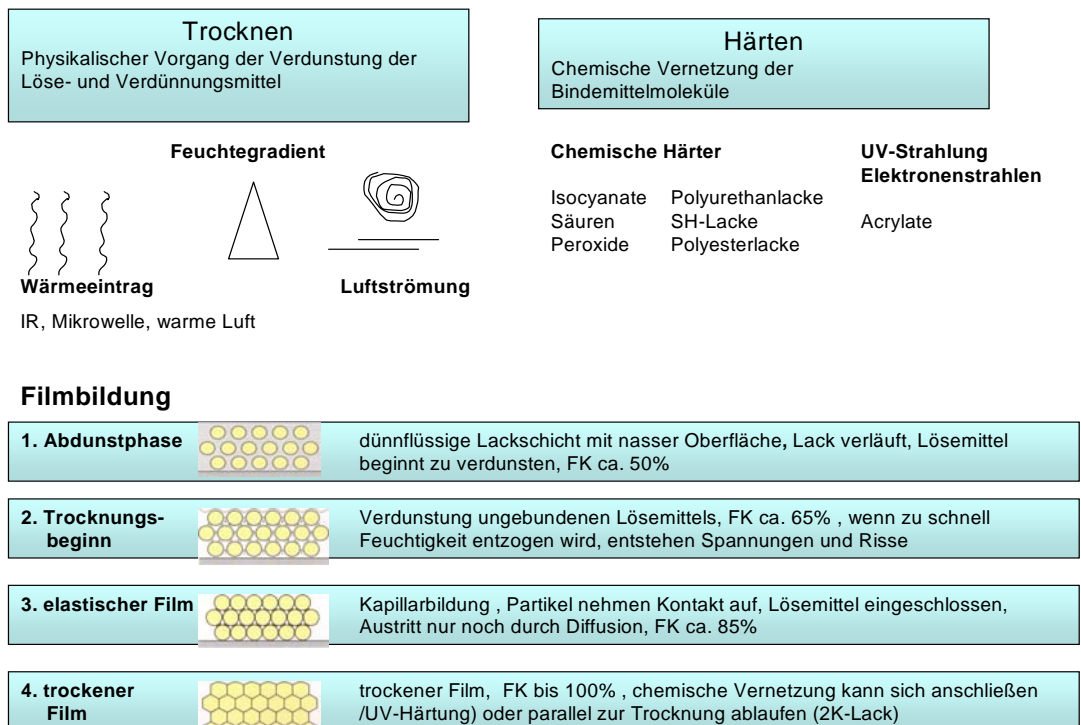


Abb. 3 Lacktrocknungs- und Filmbildungsprozess

3 Beschreibung der Trocknungsverfahren und Bewertung

Aufgrund der enormen Vielfalt an Kombinationsmöglichkeiten unter den einzelnen Trocknungsanlagen werden nachfolgend die für den Praxiseinsatz wichtigsten Varianten näher erläutert.

3.1 Lufttrocknung (LT)

Bei allen Trocknungstechnologien zur Wasserlacktrocknung wird der Lack durch Verdunstung des Wassers getrocknet. Dabei übernimmt die Luft den Abtransport der Feuchtigkeit. Die einfachste Form ist somit die Trocknung in staubfreier Umgebung an Luft ohne zusätzliche Trocknungsgeräte. Das Wasser entweicht entsprechend den klimatischen Umgebungsbedingungen nur langsam (lange Trockenzeiten), aber in der Regel sehr schonend, so dass sich damit Oberflächen mit einer guten Optik und guten haptischen Eigenschaften realisieren lassen.

Für geringere Kapazitäten und einfache Anwendungen stellt die Lufttrocknung insbesondere für physikalisch trocknende Lacksysteme eine wirtschaftliche Alternative mit geringsten Investitionskosten dar, sofern ausreichend Platz für die Trocknung zur Verfügung steht (siehe Tab. 1).

Tab. 1 Vor- und Nachteile der Lufttrocknung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - sehr niedrige Anschaffungskosten für Hordenwagen - vergleichsweise niedriger Energieverbrauch (für Umgebung der Hordenwagen) - oft optisch gute Oberflächen durch schonende Trocknung 	<ul style="list-style-type: none"> - starke Abhängigkeit von äußeren Klimaeinflüssen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) - sehr lange Trockenzeiten - vergleichsweise großer Platzbedarf - geringere Beständigkeiten der Oberflächen, geringere Vernetzung - größere Anquellung der Holzoberfläche führt zu größerem Schleifaufwand

3.2 Konvektionstrocknung (DKT)

Neben dem Flachabdunstkanal zählt zu den klassischen konventionellen Konvektionstrocknern der Düsentrockenkanal. Aus physikalischer Sicht erfolgt die Konvektionstrocknung in drei parallel ablaufenden Schritten. Dabei wird zuerst das Trocknungsmedium von turbulenter, erwärmter Luft überströmt. Die Art der Strömung, insbesondere gezielte Turbulenzen, ist entscheidend für das Trocknungsergebnis. Dabei wird die zu trocknende Oberfläche zunächst erwärmt, bevor die Feuchtigkeit durch Verdunstung entweicht. In praxisrelevanten Ausführungen wird temperierte und gefilterte Luft quer zum Transportband mit Hilfe von senkrecht angeordneten Düsen (Schlitz- oder Runddüsen) auf das Substrat geblasen. Damit können Luftgeschwindigkeiten von 1 bis.

30 m/s erzeugt werden. Für eine schonende Trocknung werden meist mehrere Düsen-trockenkanäle hintereinander installiert, um einen gleichmäßigen Anstieg von Tempe-ratur und Luftgeschwindigkeit zu realisieren.

Die Konvektionstrocknung durch Wärmestrahlung kann mit Hilfe von integrierten Infra-rotstrahlern unterstützt und so mögliche Trocknungszeiten weiter reduziert werden. In vielen Anwendungen wird ein Konvektionstrockner, wie der Düsenkanal, meist mit ei-nem Vortrockner zur schnelleren Trocknung kombiniert. Eine Prinzipdarstellung eines Konvektionstrockners mit integrierter Wärmestrahlung durch IR-Strahler zeigt Abb. 4.

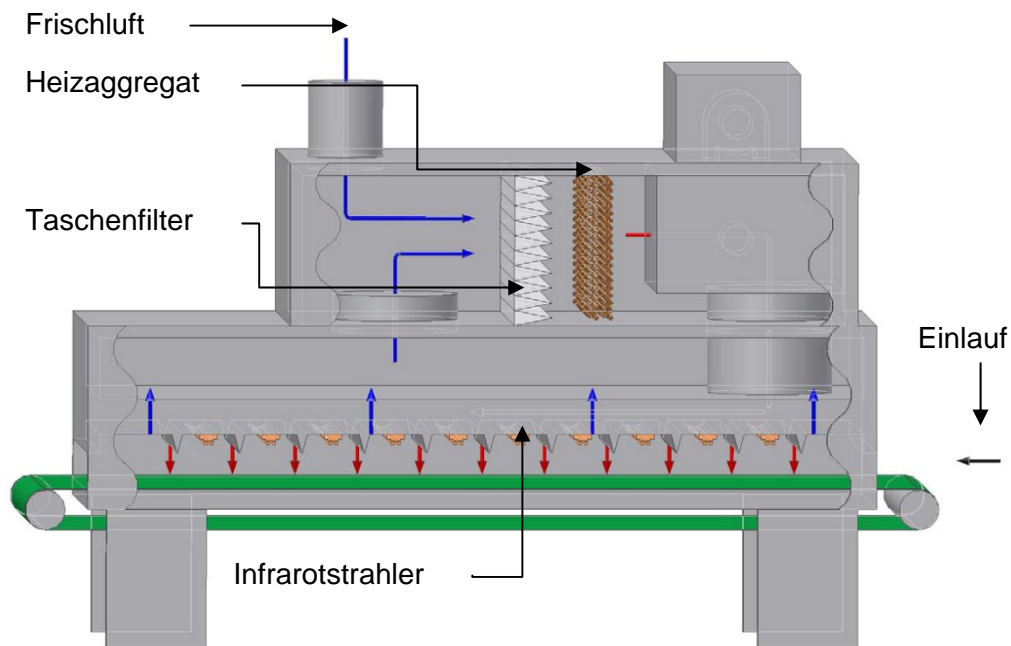


Abb. 4 Schema eines Düsen-trockenkanals mit integrierten Infrarotstrahlern

Tab. 2 Vor- und Nachteile der Konvektionstrocknung mittels Düsenkanaltrocknung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - niedrige Anschaffungskosten - niedriger Energieverbrauch mit weiteren Einsparmöglichkeiten durch die Integration von Wärmetauschern - hohe mechanische und chemische Beständigkeit der erzielten Lackoberflächen - ohne IR-Strahler geeignet für den Einsatz von glänzenden und dunkel pigmentierten Lacksystemen 	<ul style="list-style-type: none"> - eingeschränktes technologisches Verarbeitungsfenster, insbesondere wenn IR-Strahler integriert sind - starke Abhängigkeit von äußeren Klimaeinflüssen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) - Verschlechterung der optischen und haptischen Eigenschaften der lackierten Oberflächen

3.3 Kondensations- bzw. Adsorptionstrocknung (HYD)

Für eine schonende Trocknung von Wasserlacken wurde eine weitere Trocknungsmöglichkeit, die Kondensations- und Adsorptionstrocknung, speziell weiterentwickelt. Dabei wird ebenfalls konvektiv, mit Hilfe von getrockneter und erwärmter Luft, dem Lack das Wasser entzogen. Physikalisch wird mit Hilfe von sehr trockener Luft ein großes Dampfdruckgefälle erzeugt, das den Prozess der Verdunstung unterstützt. Um diesen Effekt zu erreichen, gibt es gegenwärtig zwei wirtschaftliche Verfahren, der Luft die Feuchtigkeit zu entziehen. Das erste Verfahren beruht auf der Kondensation, das zweite arbeitet mit dem Prinzip der Absorptionstrocknung. Die Entfeuchtung der Luft garantiert jederzeit eine gleichbleibende relative Luftfeuchte im Trocknungsraum. Damit ist dieses System unabhängig von den Umgebungsbedingungen und kann sehr flexibel und mit hoher Prozesssicherheit eingesetzt werden. Solche Trockner werden je nach Hersteller auch als Hydrex-, Dryair- oder Hygrextrockner bezeichnet und vorzugsweise in Kombination mit Düsentrocknern eingesetzt. Anwendungen sind aber auch als Einzeltrockner möglich. Die prinzipielle Darstellung eines Trockners zeigt Abb. 5. Im Vergleich zu anderen Verfahren der forcierteren Trocknung werden lange Trockenzeiten benötigt, die jedoch in Kombination mit einem Düsenkanaltrockner deutlich reduziert werden können.

Tab. 3 Vor- und Nachteile der Trocknung mit entfeuchteter Luft

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - lackschonende und energetische günstige Trocknung - unabhängig vom Umgebungsklima (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) - einsetzbar für Glanzlacke und dunkle Farben 	<ul style="list-style-type: none"> - längere Trocknungszeiten führen zu einem erhöhten Risiko von Staubeinschlüssen sowie zu größeren Abmessungen der Trocknungsanlage (hoher Platzbedarf) - vergleichsweise hoher Wartungs- und Reinigungsaufwand - durch eine Trocknung von außen nach innen besteht das Risiko der Hautbildung, die zum Einschluss von Wasser führt

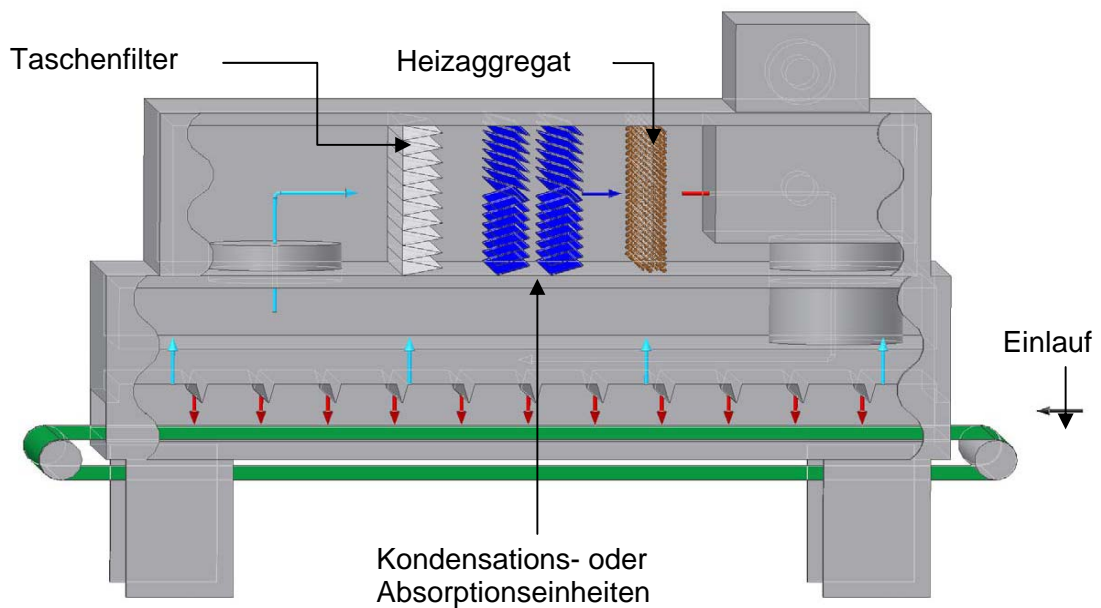


Abb. 5 Schema eines Hydrextröckners

3.4 Wärmestrahlungstrocknung

Wärmestrahlungstrocknung erfolgt in der Regel mit Infrarot (IR-) Strahlung und ist in Kombination oder integriert in einen Düsentrockner und/oder in Kombination mit Mikrowellentrocknung einsetzbar. Bei der Infrarotstrahlung handelt es sich wie beim Licht um elektromagnetische Strahlung. Ihre Wellenlängen erstrecken sich von der Grenze zum sichtbaren Licht (780 nm) bis zum Bereich der Mikrowellen (1 mm). Der nicht reflektierte Anteil der auf eine Oberfläche treffenden Strahlung wird im bestrahlten Objekt absorbiert. Dadurch werden Molekülverbindungen in Schwingungen versetzt und es kommt zur Wärmebildung. Alle Materialien unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Strahlungsabsorption. Wasser zum Beispiel absorbiert die Strahlung bei einer Wellenlänge von 3,4 μm am besten. Der mit Wärmestrahlung erreichbare Wirkungsgrad ist durch die Nutzung der gezielten Strahlung deutlich höher als bei der Konvektionstrocknung, wobei jedoch die Strahlung in Abhängigkeit vom Farbton der Beschichtung unterschiedlich stark absorbiert wird.

In der Anlagentechnik wird die Infrarotstrahlung nur in sehr seltenen Fällen allein zum Trocknen von Lacken eingesetzt. Zumeist wird diese in Kombination mit einem Düsentrockenkanal oder Flachabdunstkanal betrieben. Hierbei übernimmt die Infrarotstrahlung die Erwärmung des Trockengutes beziehungsweise des Lackes. Der Abtransport der Feuchtigkeit erfolgt durch die zirkulierende Luft im Düsentrockenkanal oder Flachabdunstkanal.

Optimierte Infrarotstrahlungstrocknung mit selektiver IR-Strahlung (OIR)

Herstellerabhängig werden auch Wärmestrahlungstrockner angeboten, die speziell für Wasserlacksysteme konzipiert wurden. Die Trocknung erfolgt mittels speziell beschichteter Infrarotstrahler (selektive STIR-Strahler), welche in regelmäßigen Abständen oberhalb der Trockenstrecke angebracht sind und deren Emissionsspektrum gezielt auf die Absorptionskurve von Wassermolekülen abgestimmt ist. Gleichzeitig wird kühle Luft mit geringer Geschwindigkeit über das Substrat geblasen. Die Luftströmung verläuft im Gleichstrom parallel zur Transportrichtung mit Geschwindigkeiten von 0,5 bis 1,5 m/s. Durch die Abkühlung der Luft in einem separaten Kühlaggregat wird die Luftfeuchtigkeit auf bis zu 90 % erhöht. Aufgrund dieser hohen Luftfeuchtigkeit im Trockner kann die Konvektion nur sehr langsam ablaufen. Auf diese Weise kann der Lack schonend von innen nach außen trocknen, wodurch ein vorzeitiger Verschluss der Oberfläche verhindert werden soll. Eine prinzipielle Darstellung des Trockners zeigt Abb. 6.

Tab. 4 Vor- und Nachteile der Trocknung mit optimierter Infrarotstrahlung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - kostengünstigere Kombination aus Vortrocknung und Trocknung (z.B. gegenüber Mikrowelle) - schonende Trocknung des Lackfilms durch die Trocknung der Lackschicht von innen nach außen - nur Erwärmung der Oberfläche, geringe thermische Belastung des Substrates - unabhängig vom Umgebungsklima (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) - auch für lösemittelhaltige Systeme einsetzbar (kein Ex-Schutz erforderlich) - keine Strahlungsabschirmung notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - vergleichsweise höhere Anschaffungskosten - relativ hohe Energiekosten - Aufwärmphasen müssen eingehalten werden - IR-Energie konstant und unabhängig von der zu trocknenden Menge

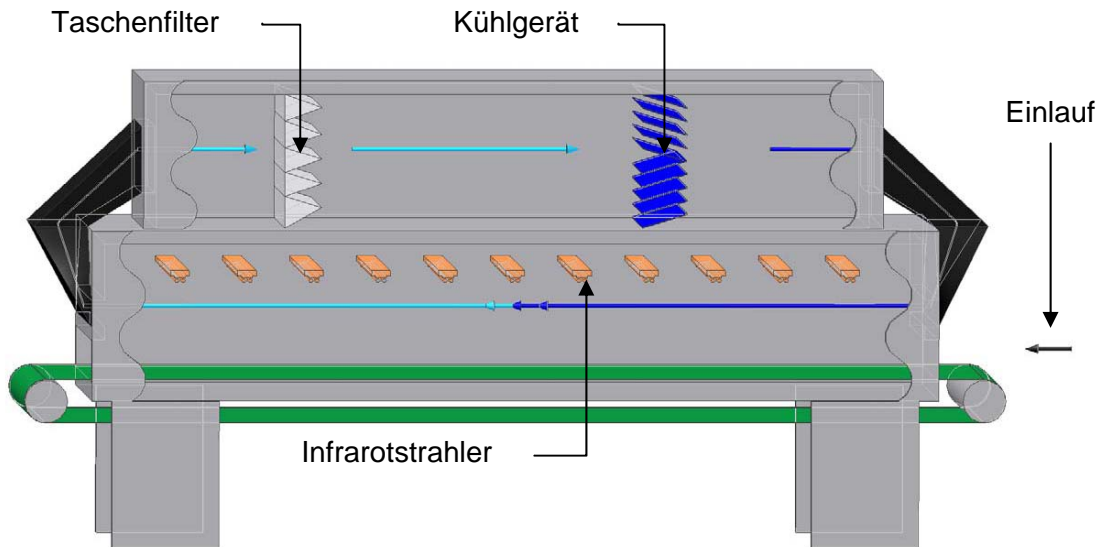


Abb. 6 Schema eines Trockners mit optimierter Infrarotstrahlung

3.5 Dielektrische Trocknung

Die dielektrische Trocknung mit Mikrowellen- und Hochfrequenztrocknern unterscheidet sich von der Infrarotstrahlung in den Frequenzen, wobei hier Moleküle und nicht nur Molekülverbindungen aktiviert werden können. Voraussetzung hierfür ist eine polare Molekülstruktur, wie sie zum Beispiel das Wassermolekül durch die zwei Wasserstoffbrücken aufweist. Die Dipole richten sich im elektrischen Wechselfeld aus und beginnen zu rotieren, wobei Wärme erzeugt wird. Beispiele für dielektrische Trocknungsmethoden sind die Mikrowellentrocknung (MIW) und die Trocknung im hochfrequenten elektrischen Feld (HF-Kondensatorfeld), die sich in der Wellenlänge voneinander unterscheiden. Diese liegt bei 2,45 GHz bzw. 12 cm Wellenlänge für die Mikrowelle und 27,12 MHz bzw. 11 m Wellenlänge für die HF-Trocknung. Während die Mikrowellen das gesamte Substrat auch in der Tiefe erwärmen, gelingt es mit einer speziellen Variante des HF-Feldes, dem elektrischen HF-Streifeld, ausschließlich die Oberfläche anzuregen. Auch diese Technik dient nur zur Wärmeübertragung und muss, wie bei der Infrarot-Trocknung, mit einem Verfahren für die Beseitigung des Wassers gekoppelt werden.

Mikrowellentrocknung (MIW)

Der Mikrowellentrockner (siehe Abb. 7) erzeugt hochfrequente, elektromagnetische Wellen mittels Magnetfeldröhre (Magnetron). Der Wirkungsgrad des Trockners wird von der Feldstärke des Mikrowellenfeldes, der Frequenz und dem entsprechenden Verlustwert des Lacksystems beeinflusst. Die Feldstärke lässt sich im Leistungsspektrum des Magnetrons stufenlos regeln. Die Strahlungsabschirmung bei Durchlaufanlagen im Einlauf- und Auslaufbereich erfolgt durch Reflexionsvorhänge oder Absorpti-

onselemente. Die Strahlungsabschirmung ist durch die Vorschrift IEC 705 geregelt. Danach muss der Grenzwert der maximalen Abstrahlung in 5 cm Entfernung von 2,5 mW/cm² eingehalten werden. Der Transport erfolgt mit einem dielektrisch verlustarmen Förderband. Übliche Förderbänder bestehen aus Polypropylen oder Teflon. Der Mikrowellentrockner ist meist als Vortrockner in Kombination mit einem Düsenkanal im industriellen Einsatz.

Tab. 5 Vor- und Nachteile der Trocknung mit Mikrowelle

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - stark verkürzte Trockenzeiten - Trocknung der Lackschicht von innen nach außen - keine Hautbildung - keine Aufheizphase 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Anschaffungskosten - inhomogene Feldverteilung und damit ungleichmäßige Erwärmung - komplette Substratdurchwärmung - Mobilisierung von Feuchtigkeit aus dem Inneren des Substrates - Anbau von metallischem (leitfähigem) Zubehör nicht möglich - aufwendige Abschirmung

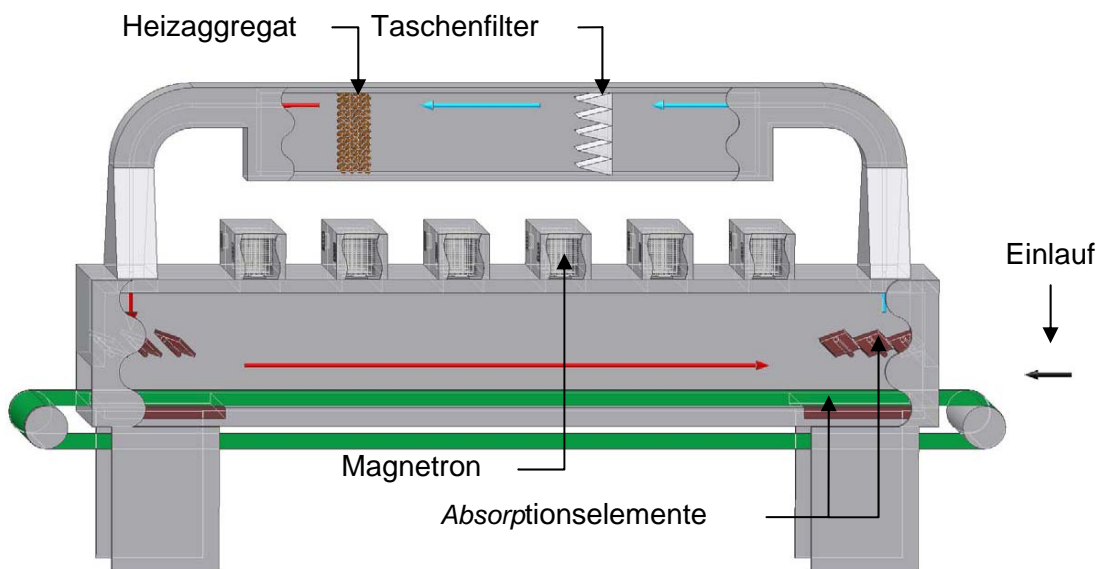


Abb. 7 Schema eines Mikrowellentrockners

Im Gegensatz zu klassischen Mikrowellentrocknern bieten seit kurzem auf dem Markt verfügbare variable Mikrowellengeräte mit integrierter Düsentrocknung eine deutlich höhere Flexibilität und Anwendungsbreite (auch für Glanzlacke einsetzbar).

Hochfrequenztrochnung (HF)

Ein neuartiger Hochfrequenztrochner (siehe Abb. 8) besteht aus dem eigentlichen Hochfrequenzgenerator, der Übertragungseinheit und den entsprechenden Elektroden. Die Erwärmung der Lackschicht erfolgt bei diesem Verfahren kapazitiv. Auch hier müs-sender Ein- und Auslauf abgeschirmt werden, was aufgrund der größeren Wellenlänge konstruktiv einfacher auszuführen ist als bei der Mikrowelle. Der Transport erfolgt genau wie beim Mikrowellentrockner mit einem dielektrisch verlustarmen Förderband. Der Gesamtwirkungsgrad dieses Trocknungssystems liegt bei circa 65 bis 70 %.

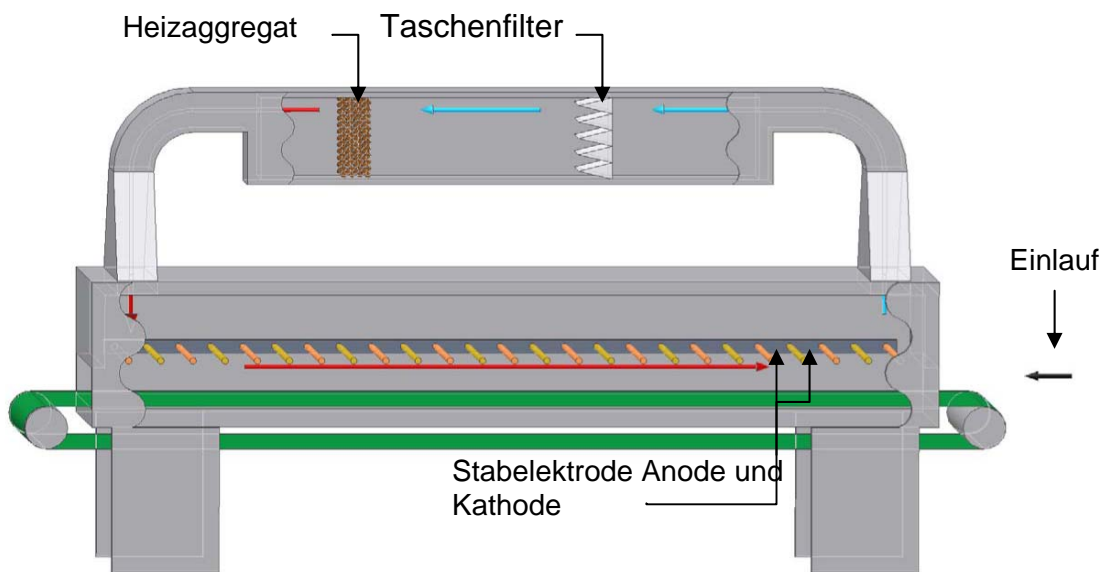


Abb. 8 Schema eines Hochfrequenz-Streufeldtrochners

Tab. 6 Vor- und Nachteile der Hochfrequenz-Streufeldtrochnung

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - hohe Energieeffizienz, geringere Stromkosten - keinerlei Aufheizphasen notwendig - wesentlich gleichmäßigere Erwärmung gegenüber MIW - nur Lackschicht wird erwärmt - schonende Trocknung von innen nach außen - bei gleichmäßiger, hoher Belegung sehr wirtschaftlich 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Anschaffungs- und Instandhaltungskosten - nur für nichtleitfähige Substrate - stark abhängig vom Lack (sollte z.B. leitfähig sein) - Restlösemittel werden nicht angeregt, nur als Vortrockner einsetzbar

4 Einfluss von Trocknungsparametern auf die Oberflächenqualität

Die Temperaturverteilung an der Oberfläche beeinflusst den Trocknungs- und Aushärtprozess der Lackschicht und damit die Homogenität und Qualität der Oberflächeneigenschaften (z.B. Glanzgrad). Eine zu hohe Aufheizung des Substrates kann zu Formänderungen / Delaminierungen führen. Beispielhaft sind in Abb. 9 – 12 Unterschiede der Temperaturverteilung auf Ober- und Unterseiten der Substrate dargestellt.

Beispiele für die Temperaturverteilung auf der Substratoberseite

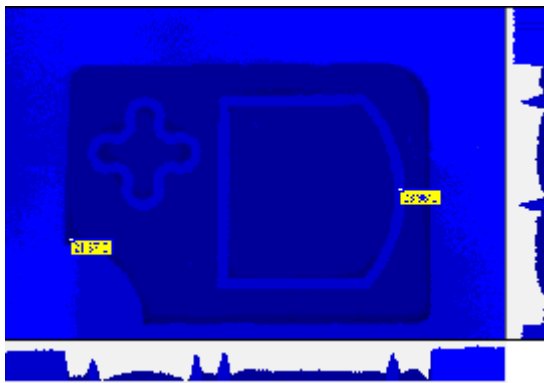


Abb. 9 Thermografiebild der profilierten mitteldichten Faserplatte aus dem HYD

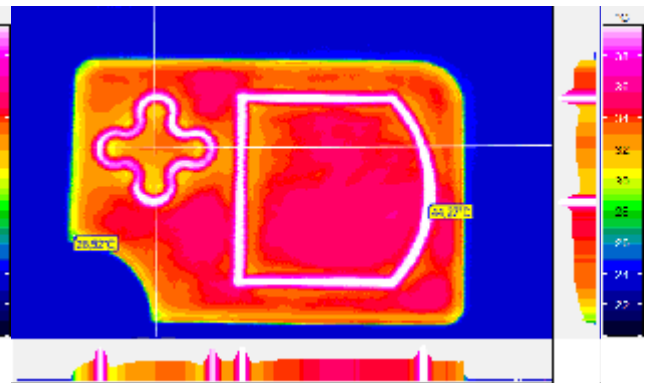


Abb. 10 Thermografiebild der verleimten Kiefern-vollholzplatte aus der MIW

Beispiele für Temperaturverteilungen an den Substratunterseiten

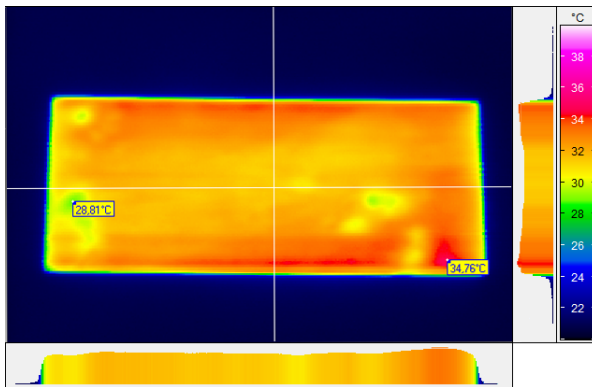


Abb. 11 Rückseite Kiefernvollholz HF-Trocknung

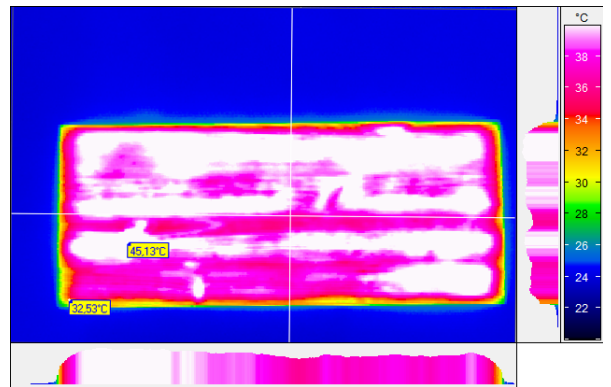


Abb. 12 Rückseite Kiefernvollholz nach MIW + DTK-Trocknung

Die Trocknungsverfahren mit niedrigen Trockentemperaturen (Optimiertes Infrarot-, Hochfrequenzfeld- oder Hydrexrocknung) führen zu Oberflächen mit der besten Optik und Haptik. Bei dunkel pigmentierten und Glanzlacken ist eine schonende Trocknung mit niedrigen Temperaturen von großer Wichtigkeit, da ansonsten Glanzverlust, Blasen und „Aufkocher“ als Auswirkungen auftreten können.

Mit höheren Trockentemperaturen durch den Einsatz von Infrarot-Strahlung können ein höherer Vernetzungsgrad und damit bessere Beständigkeiten, insbesondere gegen Chemikalien sowie gegen mechanische Einflüsse (Kratzer), erzielt werden.

5 Anleitung zur Berechnung der Verfahrenskosten

Die Anwendung forcierter Trocknungsverfahren verursacht höhere Kosten für die Fertigung lackierter Oberflächen. Um diese Betriebskosten für den eigenen Anwendungsfall kalkulieren zu können, wird nachfolgend an einem Beispiel die Ermittlung des Maschinenstundensatzes beziehungsweise die Kosten je m² lackierter Oberfläche demonstriert. Dabei wurden der gemessene Energieverbrauch bei der Trocknung und die damit verbundenen Energiekosten sowie Raumkosten, Instandhaltungskosten sowie Investitionskosten (geschätzt) berücksichtigt und auf einen praxisrelevanten Lackierprozess mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 4 m/min (Standardarbeitsbreite von 1,3 m, Belegungsfaktor von 50 %) bei einschichtigem Betrieb bezogen. Für einen UV-härtbaren Lack, der im Düsentrocknungskanal getrocknet wurde, ist das Ergebnis der Kostenrechnung beispielhaft dargestellt (Tab. 7).

Folgende Annahmen wurden bei der Kostenrechnung getroffen:

- Die Investitionskosten sind realitätsnah abgeschätzt, können jedoch herstellerabhängig variieren.
- Die Wiederbeschaffungskosten entsprechen den Investitionskosten.
- Die Nutzungsdauer beträgt 8 Jahre (zur Ermittlung des Abschreibungszeitraumes der fixen Kosten).
- Kalkulatorischer Zinssatz: 10 %
- Raumkosten für Platzbedarf des Trockners: 4,00 €/m² im Monat (geschätzt)
- Variable Instandhaltungskosten (abhängig von garantierter Nutzungsdauer und Neubeschaffungskosten)
- Energiekosten: 0,12 €/kWh (Beispiel, kann abweichend sein)
- Kosten für Löhne und Materialien wurden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Eine detailliertere Beschreibung einschließlich des Kostenvergleiches verschiedener Trocknungstechnologien enthält der Abschlussbericht zum AiF-Forschungsprojekt (14967/BR/1) der Deutschen Forschungsgesellschaft für Oberflächenbehandlung e. V. (DFO) [1], der am IHD Dresden (Kontakt: Frau Kühne, E-Mail kuehne@ihd-dresden.de) zum Preis von 100,00 € zzgl. Mehrwertsteuer + Versandkosten erhältlich ist.

Tab. 7 Berechnung der Verfahrenskosten (Maschinenstundensatz) am Beispiel der Trocknung eines UV-härtbaren transparenten Wasserlackes mit Düsenkanal

			DTK *)
1	Investitionskosten	€	96000
2	Erstausrüstung	€	In 1 enthalten
3	Wiederbeschaffungswert	€	96000
4	Anlagenlänge	m	12,5
5	Abschreibungszeitraum	Jahre	8
6	Jährliche Abschreibung ((3)/(5))		12000
7	Zinssatz (kalkulatorische Zinsen)	%	10
8	Jährliche Zinskosten (0,5 x (3) x (7))	€/Jahr	4800
9	Jährliche Instandhaltungskosten ((3) X 2%)	€	1920
10	Platzbedarf (Länge x Breite)	m ²	20
11	Jährliche Raumkosten ((19) x 4 €/m ² x 12)	€	960
12	Fixe Maschinenkosten je Jahr ((6)+(8)+(9)+(11))	€/Jahr	19680
13	Nutzungszeit je Jahr (235 AT x 8 Std.)	h/Jahr	2008
14	Fixer Maschinenstundensatz (12) / (13)	€/Std.	9,80
15	Energieverbrauch Vortrocknung		
16	Energieverbrauch Trocknung		14,16
17	Energieverbrauch Härtung		15,35
18	Gesamtverbrauch pro Std. (15)+(16)+(17)	kWh	29,51
19	Energiekosten pro Std. ((17) x 0,12 €)	€/Std.	3,54
20	Variable Instandhaltungskosten	€/Std.	0,66
21	Variabler Maschinenstundensatz ((19) + (10))	€/h	4,20
22	Maschinenstundensatz ((14) + (21))	€/h	14,00
23	Trocknungsleistung (Vorschub x 1 h x 0,5)	m ² /h	156
24	Kosten pro m ²	€/m ²	0,090

*) DTK: Düsentrocknungskanal

6 Zusammenfassung

Es existiert kein Universalverfahren, was anderen vergleichbaren Verfahren in allen Kriterien überlegen ist. Eine hinsichtlich Investitionskosten, Trockenzeit und erzielbarer Oberflächenqualitäten sowie der einsetzbaren Materialvielfalt überwiegend positiv bewertete Variante ist die Trocknung mit optimiertem Infrarot. Eine sehr effektive Variante mit niedrigem Energieverbrauch bei hoher erreichbarer Oberflächenqualität, insbesondere für hohe Flächenleistung, ist die Hochfrequenz-Streifeldtrocknung. Sie ist industriell zur Zeit aber noch nicht verfügbar. In speziellen Anwendungsfällen wird aber auch die Trocknung mit Mikrowelle oder mit entfeuchteter Luft die richtige Alternative sein. Hohe mechanische und chemische Beständigkeiten wiesen lackierte Oberflächen auf, die durch verstärkte Wärmeeinwirkung mittels IR-Unterstützung getrocknet wurden. Für geringere Kapazitäten und einfache Anwendungen stellt der Düsenkanal eine wirtschaftliche Alternative dar. Nachfolgende Checkliste (Tab. 8) ist als Übersicht für die Auswahl des Trocknungsverfahrens gedacht.

Tab. 8 Checkliste zur Auswahl der Trocknungsverfahren für Wasserlacke

Problemstellung	Lösungsvorschlag
Die zu lackierenden Bauteile enthalten Metalle oder die Substrate sind leitfähig.	Mikrowellenverfahren und Hochfrequenzstrefeldverfahren sind nicht einsetzbar.
Es sind hohe chemische und mechanische Beständigkeiten der Oberflächen, z.B. für horizontale Flächen, gefragt	Trocknungskombinationen mit Infrarot wählen
Es sind optisch sehr hochwertige Flächen, z.B. im Innenausbau, erforderlich.	Schonende Trocknungsverfahren mit niedrigen Oberflächentemperaturen, z.B. HYD oder HF, einsetzen
Es sind sowohl wässrige als auch lösemittelhaltige Systeme forciert zu trocknen.	Verfahren mit Infrarottrocknung als auch Düsenkanal sind die Verfahren der Wahl.
Es sind Hochglanzlacke zu verarbeiten.	Die Unterstützung des Trocknungsprozesses mit Infrarotstrahlern kann kritisch sein, HYD, HF oder MIW mit integrierter Düsentrocknung einsetzen
In der Fertigung schwanken die Umgebungsklimate sehr stark.	Düsenkanaltrocknung ist nur sehr schwierig einzusetzen, besser OIR, HYD, MIW wählen.
Die Lieferzeiten sind kurz, oft sind zerlegte Möbel zu liefern.	Forcierte Trocknungsverfahren anwenden, da nur so akzeptable Oberflächenhärte garantiert wird.
Das Platzangebot für Trockner ist gering.	Trockner mit geringem Platzbedarf (DTK+IR, OIR +DTK), MIW+DTK) wählen
Die Anzahl der zu trocknenden Bauteile ist vergleichsweise gering, aber vielfältig, Trocknungsfläche ist ausreichend vorhanden.	Lufttrocknung ist vermutlich immer ausreichend, ansonsten ist die Düsenkanaltrocknung anwendbar.

7 Literaturhinweise

- [1] Swaboda, Ch.: Untersuchungen zur Wechselwirkung von Holzoberflächen und Wasserlacken, Forschungsprojekt 11639/01 (AiF/BMWI/DFO), 2004, ihd Dresden
- [2] Emmeler, R. Swaboda, Ch., Kleber, D.: Entwicklung technologischer Maßnahmen zur wirtschaftlichen Applikation von Wasserlacken auf Holzoberflächen mit dem Ziel der Quellungsverminderung und Energieeinsparung, Forschungsprojekt 14967/BR/1 (AiF/ BMWI/DFO), 2008, IHD, Dresden
- [3] Härtel, Ch.: Untersuchungen zum Einfluss des Trocknungsverfahrens bei wasserbasierenden Möbellacken auf die erzielbare Oberflächenqualität, Diplomarbeit FHS Lippe und Höxter, 2007
- [4] Prieto, J., Kiene, J.: Holzbeschichtung. Vincentz-Verlag 2007, Hannover