



Staatliche Fachschule  
für Holztechnik und  
Holzbetriebswirtschaft  
Rosenheim

# **Untersuchung einer Infrarot-Lacktrocknungsanlage für einen Handwerksbetrieb**

**Projektarbeit**  
im Fach Fertigungstechnik  
für die Firma Brüderl GmbH & Co. KG

**Verfasser: Johannes Greiner**  
**Semester: T4A**

Betreuender Dozent: Herr Klaus Obermeyer

Bearbeitungszeitraum: 18. Oktober 2005 bis 12. Mai 2006

**brüderl.**  
Schöne Räume



## **Kurzfassung**

Gegenstand der hier vorgestellten Arbeit ist die Untersuchung einer mobilen Infrarot-Lacktrocknungsanlage und die Einplanung der Anlage in eine bereits bestehende Lackiererei einer mittelständischen Schreinerei.

Dabei gilt es, möglichst alle Träger-Beschichtungsmaterial-Kombinationen auf ihre Tauglichkeit zur Infrarot-Trocknung zu testen. Auch soll geprüft werden, ob die Anlage für neue Lacksysteme, die der Decopaint-Richtlinie entsprechen, geeignet ist. Um beim späteren Betrieb der Anlage möglichst geringe Vorbereitungs- bzw. Testzeiten zu haben, muss die Anordnung der zu trocknenden Werkstücke im Hordenwagen sowie die Distanz zwischen Hordenwagen und Strahlungsquelle ermittelt werden. Auf eventuelle Trocknungsfehler durch Wärmestau oder Schattenbildung ist besonders zu achten.

Nach der Analyse der Versuchsergebnisse an sich wird auch das Umfeld analysiert, wie die durch die Anlage entstehenden Mehrkosten, die Reduzierung der Durchlaufzeiten oder die Eignung der vorhandenen Hordenwagen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>2</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>4</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Vorstellung des Betriebs</b> .....	<b>6</b>
1.1 Unternehmensstruktur der Brüderl GmbH & Co. KG .....	6
1.2 Vorstellung der Schreinerei .....	6
1.3 Beschreibung der Lackiererei .....	9
<b>2 Beschreibung des Trockensystems</b> .....	<b>10</b>
2.1 Prinzip der Infrarot-Strahlungstrocknung .....	10
2.2 Physikalische Grundlagen der IR-Strahlungstrocknung.....	11
2.2.1 Elektromagnetisches Spektrum .....	11
2.2.1.1 Einfluss der Farbe.....	12
2.3 Infrarot-Strahlungsquellen .....	13
2.3.1 Technische Strahlungsquellen und Wirkungsgrade.....	13
2.3.2 Strahlertypen .....	13
2.3.2.1 Allgemeines .....	13
2.3.2.2 Elektrische IR-Strahler.....	14
2.3.2.3 Gasstrahler .....	15
2.4 Beschreibung der Versuchsanlage.....	16
<b>3 Versuche an einer Musteranlage der Firma Ott</b> .....	<b>18</b>
3.1 Versuchsplanung .....	18
3.1.1 Die DIN 53150 (abgewandeltes Bandow-Wolff-Verfahren).....	18
3.1.1.1 Begriff „Trockengrad“ laut DIN 53150 .....	18
3.1.1.2 Verwendete Geräte.....	18
3.1.1.3 Durchführung.....	20
3.1.1.4 Prüfung auf Trockengrad 2 .....	20
3.1.1.5 Prüfung auf Trockengrad 3 bis 7.....	20
3.1.2 Muster zur Ermittlung des nötigen horizontalen Abstands von der Wärmequelle zur Werkstückoberfläche .....	21
3.1.3 Muster zur Ermittlung des nötigen horizontalen Abstands von schmalen Werkstücken (Leisten, Blenden etc.) untereinander .....	21
3.1.4 Muster zur Untersuchung der Trocknung von hohen Rahmenbauteilen.....	22

3.1.5	Furnierte Musterplatten zur Untersuchung von Beizen und Lacken ..	23
3.2	Übersicht der verwendeten bzw. untersuchten Lacke/Beizen .....	23
	Die Decopaint-Richtlinie .....	24
3.3	Versuchsdurchführung und Ergebnisse.....	26
3.3.1	Untersuchung der Trocknung verschiedener Werkstücksformen und deren Anordnung im Hordenwagen .....	26
3.3.1.1	Horizontaler Abstand von der Wärmequelle zum Werkstück.....	26
3.3.1.2	Horizontaler Abstand von schmalen Werkstücken (Leisten, Blenden) in einem Fach des Hordenwagens .....	26
3.3.1.3	Trocknung von hohen Rahmenbauteilen (z. B. Schubkasten- Rahmen o. ä.).....	27
3.3.2	Untersuchung von unterschiedlichen Lacken und Lacksystemen auf ihre Eignung zur Infrarot-Trocknung .....	27
3.3.2.1	Trocknung von Beizen auf furnierten Musterplatten .....	27
3.3.2.2	Trocknung von PUR-Isolierfüller auf MDF .....	27
3.3.2.3	Trocknung von PUR-Farblack auf Isolier-Füller .....	28
3.3.2.4	Trocknung von transparentem PUR-Füllgrund .....	28
3.3.2.5	Trocknung von DD-Lack als Grundierung auf furnierten Platten .....	28
3.3.2.6	Trocknung von mattem DD-Lack als Decklackierung .....	28
3.3.2.7	Trocknung von HYDRO-Isolierfüller.....	29
3.3.2.8	Trocknung von HYDRO-Farblack .....	29
3.3.2.9	Trocknung von HYDRO-Klarlack auf farbig lackierten Flächen .....	29
3.3.2.10	Trocknung von HYDRO-Klarlack auf furnierten Platten .....	29
3.4	Zu empfehlende zusätzliche Anschaffung .....	30
3.5	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	31
3.5.1	Untersuchung verschiedener Werkstücksformen und Anordnung im Hordenwagen.....	31
3.5.2	Untersuchung von Beizen und verschiedenen Lacken bzw. Lacksystemen.....	32
<b>4</b>	<b>Kosten-Nutzen-Gegenüberstellung .....</b>	<b>33</b>
4.1	Reduzierung der Durchlaufzeiten .....	33
4.2	Mehrbelastung durch entstehende Stromkosten .....	34
4.3	Mehrbelastung durch Abschreibung der Trocknungsanlage und der Hordenwagen .....	34
4.4	Summe der Mehrbelastung inkl. Stromkosten .....	34
<b>5</b>	<b>Abschließende Betrachtung.....</b>	<b>35</b>
	<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>36</b>
	<b>Erklärung und Dank .....</b>	<b>38</b>
	<b>Anhang: Ablaufplan Fa. Brüderl GmbH &amp; Co. KG, Plan Lackierraum</b>	

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Chaotisches Plattenlager mit CNC-gesteuertem Plattenkran (Quelle: Fa. Brüderl).....	7
Abb. 1.2:	CNC-Bearbeitungszentrum (Quelle: Fa. Brüderl) .....	7
Abb. 1.3:	Horizontale Plattenaufteilsäge (Quelle: Fa. Brüderl) .....	7
Abb. 1.4:	Betriebslayout und Ablaufplan (Quelle: Fa. Brüderl) .....	8
Abb. 1.5:	Spritzstand mit Decken-Einblasung und Bodenabsaugung (Quelle: eigene Aufnahme).....	9
Abb. 2.1:	Spektrum der elektromagnetischen Wellen mit Unterteilung der Infrarotstrahlung in unterschiedliche Wellenlängenbereiche (Quelle: H. Kittel: Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen) .....	11
Abb. 2.2:	Emission und Absorption von Infrarot-Wärmestrahlung (Quelle: H. Kittel: Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen) .....	12
Abb. 2.3:	Abhängigkeit der Objekttemperatur von Farbe, IR-Wellenlänge und Trocknungszeit für zwei Wasserbasislacke (Quelle: BASF) .....	12
Abb. 2.4 a-c:	Unterschiedliche IR-Strahlertypen: a) kurzwelliger, b) mittelwelliger und c) schneller mittelwelliger Strahler (Quelle: Heraeus Noblelight).....	15
Abb. 2.5:	Trocknungsanlage in Betrieb (30% Leistung) (Quelle: eigene Aufnahme).....	16
Abb. 2.6:	Steuerschrank (Quelle: eigene Aufnahme).....	17
Abb. 2.7:	Ansicht eines Trocknungspaneels außer Betrieb (Quelle: eigene Aufnahme).....	17
Abb. 3.1:	Papierscheiben (Quelle: eigene Aufnahme) .....	18
Abb. 3.2:	Gummischeiben (Quelle: eigene Aufnahme).....	19
Abb. 3.3:	Gardner-Rad in der Anwendung (Quelle: BYK-Gardner) .....	19
Abb. 3.4:	Gewichtsstücke (20 g, 200 g, 2 kg, 20 kg) (Quelle: eigene Aufnahme).....	19
Abb. 3.5:	Berührungsloses Infrarotthermometer (Quelle: PCE Mess- und Wägetechnik) .....	20
Abb. 3.6:	Maße Prüfplatte (Quelle: eigene Zeichnung).....	22
Abb. 3.7:	Maße Prüfleiste (Quelle: eigene Zeichnung) .....	22
Abb. 3.8:	Abmessung Schubladen-Muster (Quelle: eigene Zeichnung) .....	22
Abb. 3.9:	Verstellbarer Hordenwagen (Quelle: GESCHA Absauganlagen und Umwelttechnik).....	30
Abb. 3.10:	Verstellbare bzw. demontierbare Auflagegestangen (Quelle: GESCHA Absauganlagen und Umwelttechnik).....	30

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Technische Daten Trocknungsanlage (Quelle: Firma A. H. Ott)..	16
Tab. 3.1:	Kennzeichen der Trockengrade (Quelle: DIN-Datenblatt DIN 53150).....	21
Tab. 3.2:	Untersuchte Beize (Quelle: technisches Merkblatt CLOU kf-Beize) .....	23
Tab. 3.3:	Verwendete bzw. untersuchte Lacke mit organischen Lösemitteln (Quelle: technisches Merkblatt des jeweiligen Lackes der Firma Hesse-Lignal).....	23
Tab. 3.4:	Untersuchte Lacke auf Wasserbasis (decopaint-konform) (Quelle: technisches Merkblatt des jeweiligen Lackes der Firma Hesse-Lignal) .....	24
Tab. 3.5:	Grenzwerte für den VOC-Höchstgehalt von Farben und Lacken (Quelle: Amtsblatt der Europäischen Union (Richtlinie 2004/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates)) .....	25
Tab. 3.6:	Versuchsergebnisse Werkstückformen und Anordnung (Quelle: eigene Erstellung) .....	31
Tab. 3.7:	Versuchsergebnisse Trockenzeiten (Quelle: eigene Erstellung) .....	32

# 1 Vorstellung des Betriebs

## 1.1 Unternehmensstruktur der Brüderl GmbH & Co. KG

Die Firma Brüderl GmbH & Co. KG gliedert sich in drei Untergesellschaften:

- Planungsbüro Brüderl & Namberger
- Brüderl Concept
- Brüderl Einrichtungsausstatter

Das Planungsbüro, welches 2004 gegründet wurde, beschäftigt momentan 3 Mitarbeiter. Diese planen Wohnhäuser, Banken und Geschäftshäuser, aber auch Schulen, Turnhallen oder andere öffentliche Bauten.

Brüderl Concept besteht seit 2002, vormals Architekturbüro Brüderl, seit 1992. Brüderl Concept gilt als Anbieter für Komplettlösungen am Bau und übernimmt sämtliche Leistungen von der Projektentwicklung bis zur Übergabe schlüsselfertiger Bauten.

Einrichtungsausstattung Brüderl bietet Privat- wie auch Geschäftskunden die Möglichkeit, zwischen Möbeln und Objekteinrichtungen aus eigener Fertigung wie auch Einrichtungen und passende Accessoires anderer namhafter Hersteller zu wählen.

Eines der interessantesten Projekte 2005 war wohl die Planung und Fertigung von 23 VIP-Logen der neuen Allianz-Arena in München.

Insgesamt beschäftigt Brüderl momentan ca. 70 Mitarbeiter und erwirtschaftete im Jahr 2005 einen Umsatz von rund 14 Millionen Euro.

## 1.2 Vorstellung der Schreinerei

Die Brüderl GmbH & Co. KG entstand aus der früheren Schreinerei Georg Brüderl. Diese zählt heute zu einer der modernsten Schreinereien im Chiemgau.

Zur Ausstattung der Schreinerei gehören zum Beispiel:

- ein CNC-gesteuerter Plattenkran mit chaotischer Einlagerung der Plattenwerkstoffe
- ein CNC-gesteuertes Bearbeitungszentrum
- eine Kantenanleimmaschine mit automatischer Werkstück-Rückführung
- eine horizontale Plattenaufteilsäge



Abb. 1.1: Chaotisches Plattenlager mit CNC-gesteuertem Plattenkran



Abb. 1.2: CNC-Bearbeitungszentrum



Abb. 1.3: Horizontale Plattenaufteilsäge

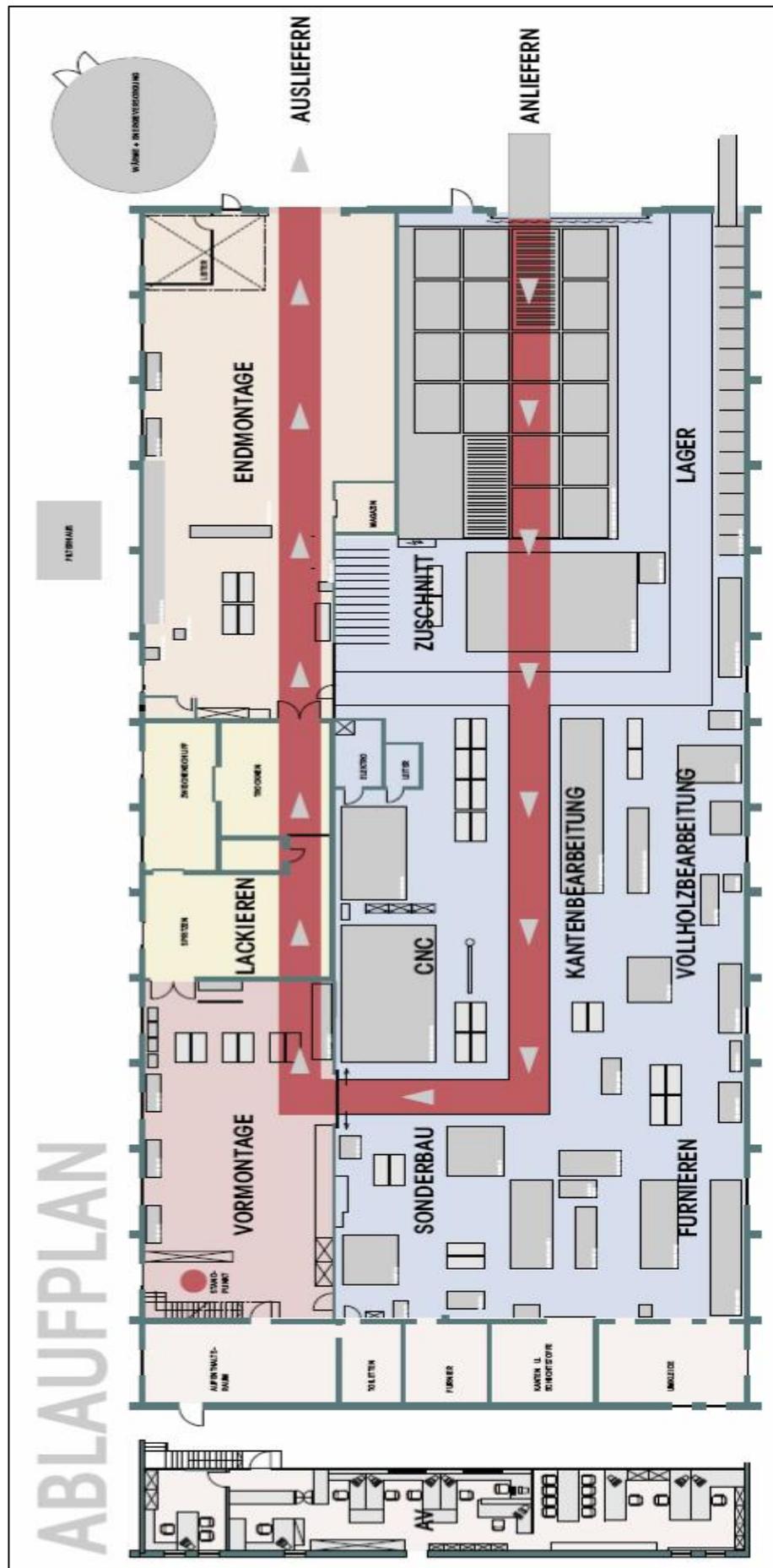


Abb. 1.4: Betriebslayout und Ablaufplan

### 1.3 Beschreibung der Lackiererei

Die Lackiererei ist in vier Räume gegliedert:

- Lackierraum (52 m<sup>2</sup>)
- Trockenraum (34,5 m<sup>2</sup>)
- Schleifraum (29,2 m<sup>2</sup>)
- Lackzwischenlager (5,6 m<sup>2</sup>)

Durch die räumliche Gliederung und Lage in der Schreinerei ergibt sich ein optimaler Materialfluss in der Fertigung.

Vom Bankraum (Vormontage) kommend werden die zu lackierenden Werkstücke in den Lackierraum (Abb. 1.5) gebracht. Dort werden sie mittels Airless- oder Becherpistole lackiert und in den Hordenwagen gelegt. Anschließend, wenn der Hordenwagen voll bestückt ist bzw. eine Kommission abgearbeitet ist, wird der Hordenwagen in den Trockenraum geschoben.

Ist die Grundierung ausgehärtet, wird der Hordenwagen in den Schleifraum transportiert und die Werkstücke zwischengeschliffen.

Nach dem Schleifen und Entstauben kann die Deckschicht bzw. eine weitere Lack-schicht aufgebracht werden und der Hordenwagen wird in den Trockenraum zum Aushärten der Deckschicht gebracht.

Nach dem Aushärten wird der Hordenwagen dann in den Bankraum (Endmontage) geschoben, wo die lackierten Teile dann zusammengebaut und verpackt bzw. verladen werden.

Jeder der drei Räume verfügt über einen separat geregelten und zuschaltbaren Zuluft- und Absaugungskreislauf. Laut Firma Scheuch, die die gesamte Absauganlage installiert hat, verfügt der Trockenraum, in dem später die Trocknungsanlage installiert werden soll, über eine Zuluftmenge von 5000 m<sup>3</sup>/h und eine Absaugleistung von 4500 m<sup>3</sup>/h. Bei Bedarf kann im Zuluft-Kanal ein Heizregister zugeschaltet werden, um z. B. bei niedrigen Außentemperaturen die einströmende Luft vorzuwärmen.

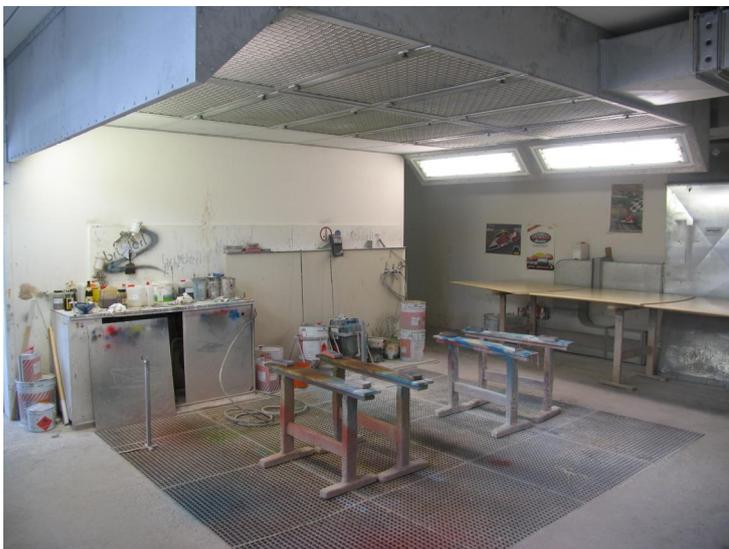


Abb. 1.5: Spritzstand mit Decken-Einblasung und Bodenabsaugung

## 2 Beschreibung des Trockensystems

Die Lacktrocknungsanlage der Firma Ott arbeitet mit kurzwelliger Infrarotstrahlung. Die Anlage ist mit insgesamt 12 Snap-In-Infrarot-Röhren ausgestattet, die sich ähnlich wie Lampen in Halogen-Arbeitsstrahlern wechseln lassen.

### 2.1 Prinzip der Infrarot-Strahlungstrocknung

In vielen Bereichen der Trocknungstechnik werden heute Infrarot-Wärmestrahler zur Trocknung und Härtung verschiedenartigster Güter eingesetzt, so z. B. in der Textil- und Papierindustrie, bei der Herstellung von Kunststoffen und keramischen Stoffen, in der Lebensmittelindustrie oder beim Trocknen und Härten von Lacken und Farben auf Metall- oder anderen Materialoberflächen.

Aufgrund technologischer und wirtschaftlicher Vorteile kann Infrarottechnik in vielen Bereichen konventionellen Trocknungstechniken wie z. B. die Umlufttrocknung ersetzen oder ergänzen, wie dies auch bei der untersuchten Anlage der Fall sein wird. Ein wesentlicher Vorteil der kurzwelligen Infrarot-Trocknung ist, dass das Werkstück nicht vollkommen durchwärmt wird, sondern im Prinzip nur die zu trocknende Lackschicht. Holzfeuchteänderungen sind daher nahezu komplett auszuschließen.

Die Trocknung und Härtung von Lacken findet unter Verdampfung des Lösemittels bei gleichzeitiger Vernetzung langkettiger Moleküle statt (Polymerisation, -addition und -kondensation). Diese Vorgänge laufen in den meisten Lacksystemen bei höheren Temperaturen (ca. 130-200 °C) unter Zuführung von Wärme ab. Spezielle Lacke härten auch durch besondere Zusatzstoffe (z.B. UV-Lacke mit Photo-Initiatoren) oder durch Strahlenbeschuss. Bei diesen Lacksystemen ist aber meist die Anschaffung von teureren Anlagen und Maschinen notwendig oder sie eignen sich nicht für die Beschichtung von Holz.

Die Ausbreitung von Wärme erfolgt durch Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Wärmeströmung (Konvektion). Die Erwärmung der Lackschichten kann somit auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Genannt seien das am häufigsten eingesetzte Verfahren der Konvektion (Umlufttrocknung), elektrische Verfahren (induktiv, Widerstandsheizung) sowie die Strahlungsheizung (Infrarot, Mikrowellen). Neben der Umlufttrocknung bietet die IR-Trocknung den breitesten Anwendungsbereich. Die anderen Verfahren sind entweder nur auf spezielle Lacksysteme anwendbar oder sind produktionstechnisch auf enge Anwendungsfelder begrenzt.

## 2.2 Physikalische Grundlagen der IR-Strahlungstrocknung<sup>1</sup>

### 2.2.1 Elektromagnetisches Spektrum

Die Infrarot-Strahlung ist wie das gewöhnliche Tageslicht eine elektromagnetische Strahlung aus dem Gesamtspektrum der elektromagnetischen Wellen (Abb. 2.1). Ihre Wellenlängen erstrecken sich von der Grenze zum sichtbaren Licht ( $\lambda = 780$  nm) bis hin zum Bereich der Mikrowellen ( $\lambda = 1$  mm). Die Wellenlängenbereiche der optischen Strahlung sind in der DIN 5031/7 definiert.

Das IR-Spektrum wird in drei Wellenlängenbereiche unterteilt:

**IR-A** (kurzwellig) 780-1400 nm

**IR-B** (mittelwellig) 1400-3000 nm

**IR-C** (langwellig) 3000 nm – 1 mm

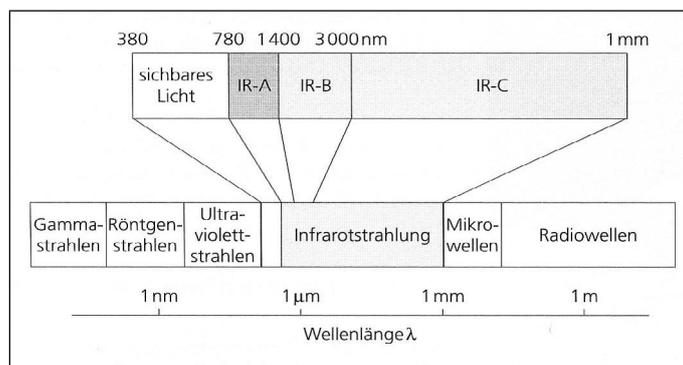


Abb. 2.1: Spektrum der elektromagnetischen Wellen mit Unterteilung der Infrarotstrahlung in unterschiedliche Wellenlängenbereiche

Wie in der Lacktrocknung zwingend erforderlich, erfolgt die Wärmeübertragung vom Strahler auf das zu trocknende Gut ohne direkten Kontakt und ohne Wärmeleitung. Die Energieabgabe oder –aufnahme erfolgt hier durch Emission oder Absorption von Strahlung, die je nach der Temperatur der Werkstücke oder ihrer Umgebung infrarotes, sichtbares und ultraviolettes Licht enthält.

Die Wärmestrahlung ist nur von der Temperatur und der Beschaffenheit des strahlenden Körpers abhängig und unabhängig von der Umgebung, selbst wenn diese kälter ist; allerdings strahlt dann die Umgebung dem Körper weniger zu als umgekehrt, und der Körper kühlt sich ab.

Der Begriff Wärmestrahlung rührt daher, dass sich die Infrarot-Strahlung über die Emission und Absorption der Moleküle in der Luft ausbreitet (Abb. 2.2).

<sup>1</sup> Inhalte und Abbildungen teilweise übernommen aus: H. Kittel: Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, 9. Band

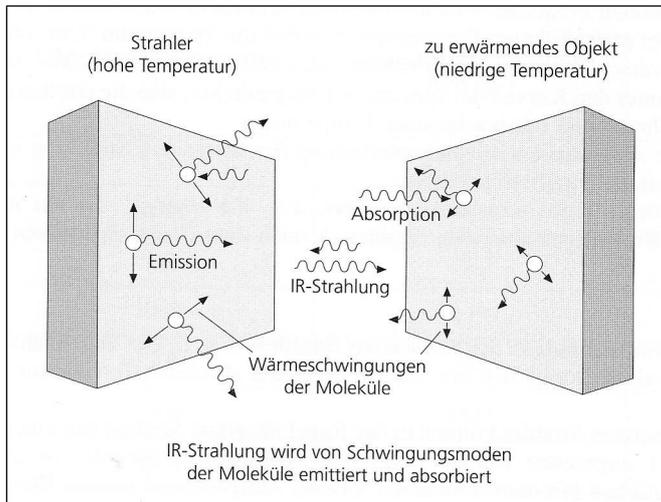


Abb. 2.2: Emission und Absorption von Infrarot-Wärmestrahlung

### 2.2.1.1 Einfluss der Farbe

Ein gewisser Einfluss des Farbtons des Lackes auf die Absorption der IR-Strahlung ist festzustellen, wie sich auch in den durchgeführten Versuchen zeigte (siehe 3.3.2.3). In Abb. 2.3 sind die Temperaturverläufe für einen roten und einen silbernen Lack als Funktion der Trockenzeit und mittlerer Wellenlänge des IR-Strahlers gezeigt. Bei Metallic-Basislacken findet die Erwärmung bei gegebener Strahlerleistung langsamer statt als bei Uni- oder Klarlacken, da die Aluminium-Plättchen einen Teil der Strahlung reflektieren.

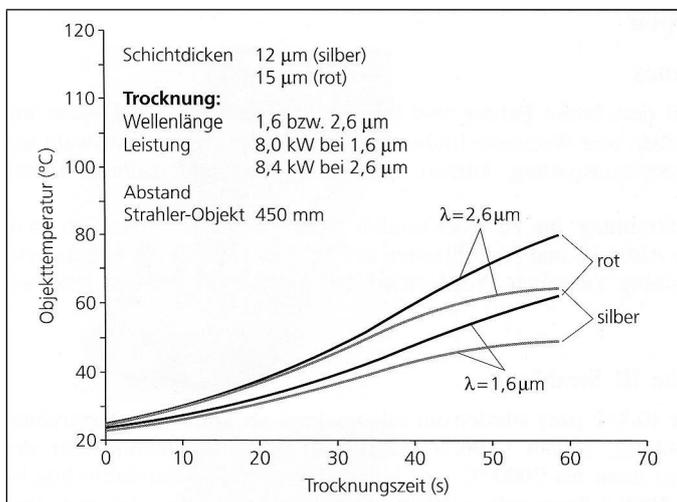


Abb. 2.3: Abhängigkeit der Objekttemperatur von Farbe, IR-Wellenlänge und Trockenzeit für zwei Wasserbasislacke. Metallic-Farben reflektieren die IR-Strahlung aufgrund der Aluminiumplättchen stärker als Unifarben

## 2.3 Infrarot-Strahlungsquellen

### 2.3.1 Technische Strahlungsquellen und Wirkungsgrade

In technischen IR-Strahlungsquellen, wie z.B. den Glühlampen- oder Quarzrohrstrahlern werden Wendeln aus Metallen oder metallischen Legierungen (z.B. Wolfram, Chromnickel) verwendet. Zur Erzielung eines hohen Emissionsvermögens werden diese Strahler bei höherer Temperatur betrieben. Die Strahlerleistung steigt nach dem Stefan-Boltzmann'schen Gesetz proportional zur vierten Potenz der Strahlertemperatur an.

Der Wirkungsgrad von Infrarotstrahlern kann über 90 % betragen, d. h. die aufgenommene elektrische Leistung wird zum größten Teil in Form von IR-Strahlung abgestrahlt. Bei kurzwelligeren Strahlern z. B. mit einer Glühtemperatur von ca. 2100 °C werden ca. 6 % der Leistung in sichtbares Licht umgewandelt; ca. 2 % werden durch Wärmeleitung über Kabel, Quarzrohr und Halterung abgeleitet. Das heißt, dass der IR-Wirkungsgrad des Strahlers ca. 92 % beträgt.

In IR-Anlagen lassen sich Gesamtwirkungsgrade von > 70 % erzielen. Diese Wirkungsgrade sind deutlich höher als bei der Umlufttrocknung, wo auf Grund der starken Erwärmung der Peripherie und Wärmeverlusten durch Leckage in der Regel nur Wirkungsgrade von ca. 10 % erreicht werden.

Der Transmissionsgrad der IR-Strahlung in Luft beträgt ca. 99 %, sodass Strahlungsleistungsverluste vernachlässigbar sind. Jedoch beeinträchtigt die Adsorption der Wassermoleküle zu bedingt durch hohe Luftfeuchtigkeit die Strahlungsleistung wesentlich.

### 2.3.2 Strahlertypen

#### 2.3.2.1 Allgemeines

Von den Herstellern wird eine breite Palette von Infrarot-Strahlern für den Einsatz mit unterschiedlichen Materialien und Prozesstechniken angeboten. Die richtige Auswahl des IR-Strahlertyps kann Energieeinsparung, kürzere Erwärmungszeit und dadurch höhere Produktivität bedeuten.

Die Absorption der Strahlung im zu trocknenden Material hängt wesentlich vom Infrarot-Spektrum ab. Die Aufheiz- und Abkühlzeiten der Strahler sind für die Regeleigenschaften, für die Abschaltung zwischen Prozessschritten und für die Prozesssicherheit wichtig.

### 2.3.2.2 Elektrische IR-Strahler

**Kurzwellige IR-Strahler** ( $0,8 - 2 \mu\text{m}$ ) werden im allgemeinen als Quarzrohrglasrohrstrahler, häufig mit Halogengasfüllung, gebaut (Abb. 2.4 a). Die Oberflächentemperatur der Heizleiter (Wolframdrähte) kann bis  $3000 \text{ }^\circ\text{C}$  und höher betragen. Die durchschnittliche Lebensdauer liegt bei ca. 5000 h. Kurzwellige IR-Strahler erreichen in ca. 1 Sekunde ihre maximale Leistung. Die einfachste Form des kurzwelligen Strahlers ist der Rundrohrstrahler. Er wird mit einem Aluminiumreflektor zu einer Strahlereinheit zusammengesetzt. Eine wirkungsvollere Nutzung der Strahlungsenergie bietet der Zwillingsrohrstrahler mit rückseitigem auf das Quarzrohr aufgetragenem Goldreflektor.

**Mittelwellige IR-Strahler** ( $2 - 4 \mu\text{m}$ ) sind ähnlich wie die kurzwelligen IR-Strahler aufgebaut. Auch hier befindet sich das eigentliche Strahlerelement in einem Quarzglasrohr, das zur Stabilisierung und als Schutz dient (Abb. 2.4 b). Quarzglas ist für mittel- und kurzwellige Strahler als Hüllrohr deshalb besonders geeignet, da es für diese Wellenlängen fast völlig durchlässig ist. Eine merkliche Absorption findet erst bei größeren Wellenlängen statt. Die Oberflächentemperaturen der aus einer Eisen-Chrom-Aluminium- oder Chrom-Nickel-Legierung bestehenden Heizwendeln liegen zwischen  $800$  und  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Aufheiz- und Abkühlzeiten sind länger als bei kurzwelligen Halogen-Strahlern. Je nach Größe des Strahlers werden zwischen 30 und 90 s bis zu vollen Abgabe der Nennleistung benötigt. Beim Abschalten kühlt die Heizwendel innerhalb 10 bis 20 s so weit ab, dass der Hauptstrahlungsanteil nicht mehr vorhanden ist. Da die mittelwelligen Quarzglasrohrstrahler nicht wie die kurzwelligen Strahler gasdicht geschlossen sind, können sie dem jeweiligen Verwendungszweck auf besonders einfache Art optimal angepasst werden.

**Schnelle mittelwellige Strahler** sind als Zwillingsrohrstrahler mit einem Spektrum zwischen kurz- und mittelwelligen Strahlern erhältlich (Abb. 2.4 c). Sie erreichen eine deutlich höhere Flächenheizleistung als mittelwellige Strahler. Die Carbon-IR-Strahler besitzen ein Carbonband als Heizleiter. Diese Strahler erreichen sehr kurze Aufheizzeiten (1,5 s) und sind deshalb gut für schaltbare Prozesse geeignet. Sie haben das Spektrum mittelwelliger Strahler.

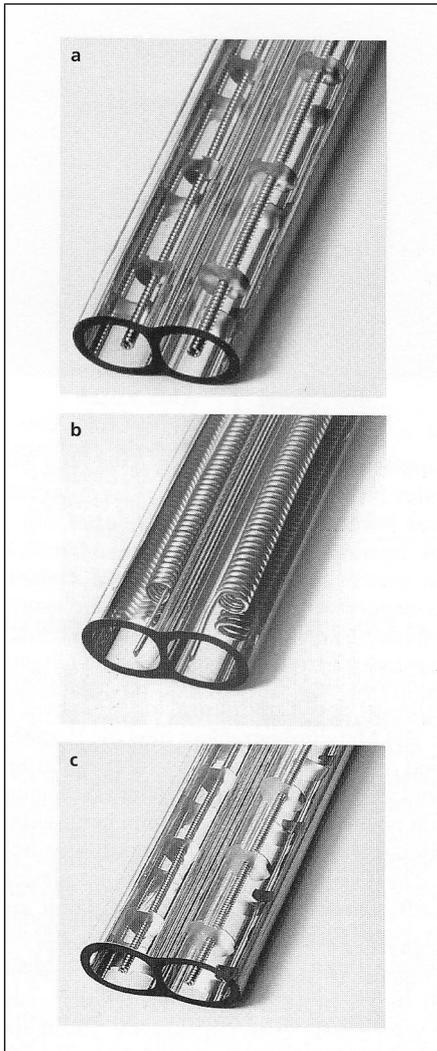


Abb. 2.4 a-c: Unterschiedliche IR-Strahlertypen: a) kurzwelliger, b) mittelwelliger und c) schneller mittelwelliger Strahler

Die maximale Strahlerleistung, die von IR-Strahlern abgestrahlt werden kann, liegt zwischen  $20 - 80 \text{ kW/m}^2$  für mittelwellige Strahler und über  $1 \text{ MW/m}^2$  für kurzwellige Halogenstrahler. Was Baulänge und Stabilität betrifft, können kurzwellige Halogenstrahler bis zu einer beheizten Länge von ca. 1 m hergestellt werden. So genannte Zwillingrohr-Infrarotstrahler können durch ihre mechanische Stabilität in jeder erforderlichen Länge bis zu ca. 6 m angefertigt werden.

Kurzwellige und schnelle mittelwellige Strahler (z. B. Carbonband-Strahler) haben deutlich kürzere Reaktionszeiten als konventionelle mittelwellige und langwellige Strahler und damit die günstigsten Regeleigenschaften.

### 2.3.2.3 Gasstrahler<sup>2</sup>

Neben den elektrisch betriebenen Infrarot Strahlern werden auch gasbeheizte IR-Strahler angeboten. Durch unterschiedliche Bauweisen der Gasstrahler ist es möglich, IR-Strahlung vom kurz- bis zum langwelligen Bereich zu erzeugen.

<sup>2</sup> Näheres zu gasbetriebenen Strahlern ist im Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen von H.Kittel (9. Band, erschienen im S.-Hirzel-Verlag Stuttgart) nachzulesen

## 2.4 Beschreibung der Versuchsanlage

Die Musteranlage besteht aus zwei reflektierenden Paneelen, auf der insgesamt zwölf Strahler montiert sind. Diese werden gegenüberliegend in einem Abstand von ca. 2 m aufgestellt. Gesteuert bzw. geregelt wird die Anlage über einen Steuer-schrank, der durch Kabel mit den beiden Paneelen verbunden ist.

Über einen Temperaturfühler im oberen Drittel der Anlage regelt die Anlage die Leistung der Strahler (falls gewünscht). Die Leistung der Strahler kann auch von vorneherein festgelegt werden (wie bei den durchgeführten Versuchen).

Tab. 2.1: Technische Daten Trocknungsanlage

Anzahl der IR-Röhren	Pro Paneel 6, insgesamt 12
Hauptanschluss der Anlage	400 Volt, 32 Ampere
Gesamtleistung der Anlage	22 Kilowatt
Abmessung einer Trocknerwand (b x h)	200 x 205 cm



Abb. 2.5: Trocknungsanlage in Betrieb (30% Leistung)



Abb. 2.6: Steuerschrank



Abb. 2.7: Ansicht eines Trocknungspaneels außer Betrieb

### 3 Versuche an einer Musteranlage der Firma Ott

Die durchgeführten Versuche sollen ein möglichst großes Spektrum der später verwendeten Materialkombinationen abdecken. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass es nahezu unmöglich ist, jede Lack- bzw. Beizen-Werkstoff-Kombination zu untersuchen. Deshalb werden an der Musteranlage die Beschichtungsarten untersucht, die die Firma Brüderl standardmäßig verwendet bzw. welche durch die immer näher rückende Decopaint-Verordnung für lackverarbeitende Betriebe verpflichtend werden.

#### 3.1 Versuchsplanung

Bei der Planung muss überlegt werden, wie man durch möglichst einfache Prüfexemplare ein präzises, alltagstaugliches Ergebnis erhält. Da es für Trocknungsversuche in Hordenwagen keine genormten Probenabmessungen gibt, wurden die Muster eigenständig geplant. Der Trockengrad wird dann an den jeweiligen Mustern nach DIN 53150 (abgewandeltes Bandow-Wolff-Verfahren) untersucht und bestimmt. Der Trockengrad 1 wird in den Versuchen jedoch nicht geprüft, da er für die Weiterverarbeitung der untersuchten Lacke nicht relevant ist.

##### 3.1.1 Die DIN 53150 (abgewandeltes Bandow-Wolff-Verfahren)

Die DIN 53150 dient zur Bestimmung des Trockengrades von Beschichtungen und Beschichtungssystemen. Sie gestattet auch, die Trocknungsgeschwindigkeit zu beurteilen. Alle Versuche werden, soweit möglich, unter Normklima ( $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $50 \pm 5 \text{ \% RLF}$ ) durchgeführt.

###### 3.1.1.1 Begriff „Trockengrad“ laut DIN 53150

Der Trockengrad bei einer Prüfung nach dieser Norm gibt an, ob eine Beschichtungsfläche nach bestimmten abgestuften Prüfbedingungen nicht mehr klebt oder dass eine sichtbare Veränderung der Beschichtungsfläche nicht feststellbar ist.

###### 3.1.1.2 Verwendete Geräte

###### 3.1.1.2.1 Papierscheiben

von 26 mm Durchmesser aus handelsüblichem Schreibmaschinenpapier mit einem Flächengewicht von  $60 - 80 \text{ g/m}^2$ .



Abb. 3.1: Papierscheiben

### 3.1.1.2.2 Gummischeiben

mit einem Durchmesser von  $22 \pm 1$  mm, einer Dicke von  $5 \pm 0,5$  mm und einer Härte von  $50 \pm 5$  IRHD (internationale Gummi Härtegrade).



Abb. 3.2:Gummischeiben

### 3.1.1.2.3 Schichtdickenmessgerät

Als Nassschichtdickenmessgerät wird ein Gardnerrad mit einem Messbereich von  $0 \mu\text{m}$  bis  $250 \mu\text{m}$  verwendet.



Abb. 3.3: Gardner-Rad in der Anwendung

### 3.1.1.2.4 Gewichtsstücke

von 20 g, 200 g, 2 kg, 20 kg



Abb. 3.4: Gewichtsstücke (20 g, 200 g, 2 kg, 20 kg)

### 3.1.1.2.5 Infrarotthermometer

zur Kontrolle der Oberflächentemperatur der Strahler und der Prüfstücke.



Abb. 3.5: Berührungsloses Infrarotthermometer

### 3.1.1.3 Durchführung

Zur Ermittlung der erforderlichen Trockenzeit für den gewünschten Trockengrad (in diesem Fall Trockengrad 5 – 7) werden in bestimmten Zeitintervallen die Trockengradbestimmungen durchgeführt.

### 3.1.1.4 Prüfung auf Trockengrad 2

Auf die Probenplatte wird eine Papierscheibe (3.1.1.2.1) und darüber eine Gummischeibe (3.1.1.2.2) gelegt. Daraufhin wird die Gummischeibe mit einem Gewichtstück von 20 g belastet. Nach 60 s wird das Gewichtstück und die Gummischeibe abgenommen und die Probenplatte aus ca. 30 mm Höhe auf eine Holzunterlage (ca. 20 mm Dicke) fallengelassen. Fällt die Papierscheibe dabei von der Probenplatte ab, so ist der Trockengrad 2 (siehe Tab. 3.1) erreicht.

### 3.1.1.5 Prüfung auf Trockengrad 3 bis 7

Den Versuch nach 3.1.1.4 durchführen

- bei Prüfung auf Trockengrad 3 mit 200 g Belastung
- bei Prüfung auf die Trockengrade 4 und 5 mit 2 kg Belastung
- bei Prüfung auf die Trockengrade 6 und 7 mit 20 kg Belastung

Feststellen, ob die Beschichtung den Anforderungen des jeweiligen Trockengrades nach Tab. 3.1 entspricht.

Tab. 3.1: Kennzeichen der Trockengrade

Trockengrad	Art der Prüfung	Prüfergebnis
2	Belastung mit 20 g (spez. Belastung ca. 5 g/cm <sup>2</sup> )	Das Papier klebt nicht auf der Beschichtung
3	Belastung mit 200 g (spez. Belastung ca. 50 g/cm <sup>2</sup> )	Das Papier klebt nicht auf der Beschichtung
4	Belastung mit 2 kg (spez. Belastung ca. 500 g/cm <sup>2</sup> )	Das Papier klebt nicht auf der Beschichtung. An den belasteten Stellen ist eine Veränderung der Beschichtungsoberfläche erkennbar.
5	Belastung mit 2 kg (spez. Belastung ca. 500 g/cm <sup>2</sup> )	Das Papier klebt nicht auf der Beschichtung. An den belasteten Stellen ist keine Veränderung der Beschichtungsoberfläche erkennbar.
6	Belastung mit 20 kg (spez. Belastung ca. 5000 g/cm <sup>2</sup> )	Das Papier klebt nicht auf der Beschichtung. An den belasteten Stellen ist eine Veränderung der Beschichtungsoberfläche erkennbar.
7	Belastung mit 20 kg (spez. Belastung ca. 5000 g/cm <sup>2</sup> )	Das Papier klebt nicht auf der Beschichtung. An den belasteten Stellen ist keine Veränderung der Beschichtungsoberfläche erkennbar.

### 3.1.2 Muster zur Ermittlung des nötigen horizontalen Abstands von der Wärmequelle zur Werkstückoberfläche

In diesem Versuch soll geprüft werden, wie weit die IR-Strahler vom Werkstück entfernt sein müssen und ob der Lack auf der gesamten Oberfläche gleichmäßig trocknet. Dazu werden vier MDF-Platten (800 x 550 x 22 mm) kreuzförmig genutet (Abb. 3.6), um die Platten in einzelne Sektoren zu unterteilen. Die Maße entsprechen ungefähr einer Korpusseite eines Küchenunterbauschanks.

### 3.1.3 Muster zur Ermittlung des nötigen horizontalen Abstands von schmalen Werkstücken (Leisten, Blenden etc.) untereinander

Hier soll geprüft werden, welchen Abstand man zwischen den Werkstücken einhalten muss, um stehende Flächen von Leisten oder Blenden gleichmäßig zu trocknen. Dazu werden 8 MDF-Leisten (40 x 22 x 1500 mm) mit PUR-Lack beschichtet und hochkant in ein Fach in der Mitte des Hordenwagens gelegt und gleichmäßig verteilt. Nach einer Trocknungsdauer von 5 min wird der Trocknungsgrad an den stehenden Flächen der Leisten nach DIN 53150 bestimmt. Nach und nach wird immer eine Leiste aus dem Fach genommen und somit der Abstand zwischen den verbleibenden Leisten erhöht. Die Platten werden mit dem jeweils zu prüfenden Lack beschichtet und dann in den Hordenwagen gelegt.

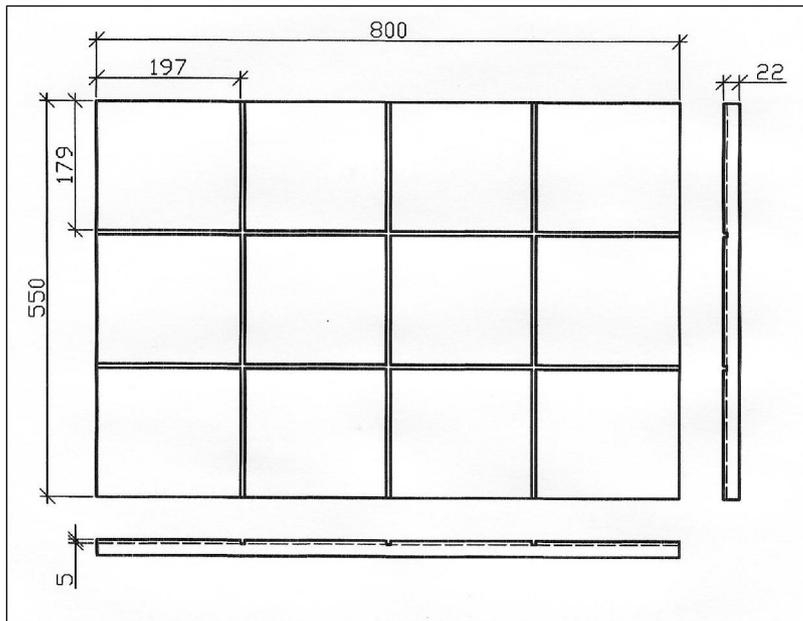


Abb. 3.6: Maße Prüfplatte

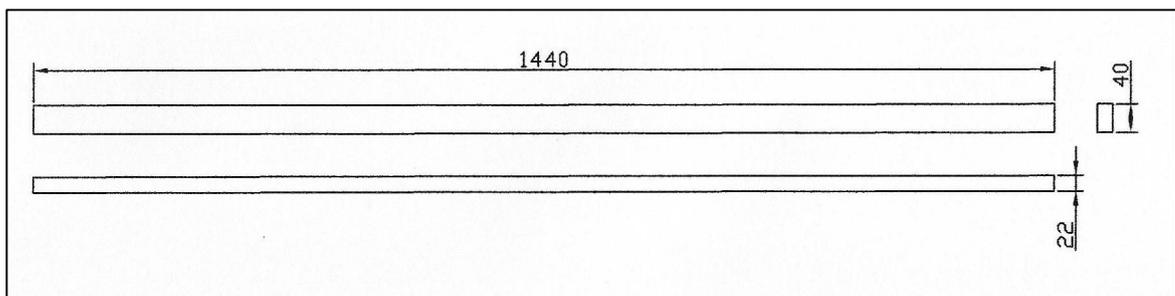


Abb. 3.7: Maße Prüfleiste

### 3.1.4 Muster zur Untersuchung der Trocknung von hohen Rahmenbauteilen

Hier soll geprüft werden, inwieweit es möglich ist, hohe Rahmenbauteile (z.B. Schubladenrahmen) im Hordenwagen liegend zu trocknen.

Als Prüfmuster dienen Rahmen aus Fichtenholz, die Schubladenrahmen nachempfunden sind.

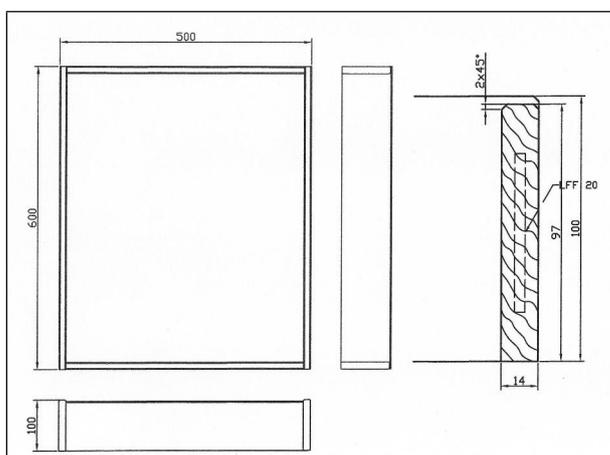


Abb. 3.8: Abmessung Schubladen-Muster

### 3.1.5 Furnierte Musterplatten zur Untersuchung von Beizen und Lacken

Diese Muster dienen dazu, Auswirkungen der Trocknung auf die Werkstückoberfläche zu ermitteln. Auch soll kontrolliert werden, ob es durch die entstehende Wärme zu eventuellen Schäden bei bestimmten Holzarten kommt.

Bei den Mustern handelt es sich um furnierte Spanplatten mit den Maßen 640 x 400 x 19 mm. Als Furnier wurde Eiche, Esche und Kiefer verwendet.

## 3.2 Übersicht der verwendeten bzw. untersuchten Lacke/Beizen

Die Firma Brüderl verwendet hauptsächlich Möbellacke der Firma Hesse-Lignal, für farbige Decklackierungen auch gelegentlich Autolacke der Firma MIPA. Untersucht werden aber auch Hydro-Lacke (wasserverdünnbar, decopaint-konform), da diese ab 1. Januar 2007 für lackverarbeitende Betriebe verpflichtend werden.

Tab. 3.2: Untersuchte Beize

Hersteller	Bezeichnung	Art	Farbton
CLOU	KF-Beize	Lichtechte, farbstoffhaltige Beize auf Wasserbasis	2208 dunkelbraun

Tab. 3.3: Verwendete bzw. untersuchte Lacke mit organischen Lösemitteln

Hersteller	Bezeichnung	Art	Flüchtiger Anteil	Empf. Auftragsmenge
Hesse-Lignal	UNA PUR matt	2K-PUR-Acrylharzlack	72 - 74 %	100 – 150 g/m <sup>2</sup>
Hesse-Lignal	UNA PUR Grund	Füllkräftiger 2K-PUR-Acrylharzlack	65 – 70 %	100 – 150 g/m <sup>2</sup>
Hesse-Lignal	PUR-Isolier-Füller	Füllkräftige, pigmentierte 2K-PUR-Grundierung	34 – 36 %	180 – 220 g/m <sup>2</sup>
Hesse-Lignal	UNA-COLOR	Pigmentierter, halbmatter 2K-PUR-Acrylharzlack	58 - 68 %	80 – 150 g/m <sup>2</sup>

Tab. 3.4: Untersuchte Lacke auf Wasserbasis (decopaint-konform)

Hersteller	Bezeichnung	Art	Flüchtiger Anteil	Empf. Auftragsmenge
Hesse-Lignal	HYDRO TOP Siegel	Wasserverdünnbarer 1K-Hydro-Acrylat-PUR-Lack	66 - 68 %	80 – 120 g/m <sup>2</sup>
Hesse-Lignal	HYDRO Treppenlack	Thixotrop eingestellter, wasserverdünnbarer 1K-Hydro-Acrylat-PUR-Lack	65 %	100 – 120 g/m <sup>2</sup>
Hesse-Lignal	HYDRO Isolier-Füller	Wasserverdünnbare, sehr füllkräftige, pigmentierte 1K-Hydro-Grundierung	35 – 45 %	180 – 220 g/m <sup>2</sup>
Hesse-Lignal	HYDRO Color	Wasserverdünnbarer, pigmentierter Hydro-Acryl-PUR-Lack mit hoher Deckkraft	56 – 67 %	100 – 150 g/m <sup>2</sup>

### Die Decopaint-Richtlinie

Die Decopaint-Richtlinie (chemikalienrechtliche Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) durch Beschränkung des Inverkehrbringens lösemittelhaltiger Farben und Lacke (kurz ChemVOCFarbV)) besagt, dass jeder lackherstellende wie auch –verarbeitende Betrieb den Verbrauch an organischen Lösemitteln drastisch reduzieren muss. Diese Richtlinie wird in zwei Stufen umgesetzt. Die erste Phase tritt am 1.01.2007 in Kraft, die zweite am 1.1.2010.

Tab. 3.5: Grenzwerte für den VOC-Höchstgehalt von Farben und Lacken

	Produktkategorie	Typ	VOC g/l	
			Stufe 1 ab 1.1.2007	Stufe 2 ab 1.1.2010
a	Matte Beschichtungsstoffe (Glanzmaßzahl von $\leq 25$ Einh. im 60° Messwinkel) für Innenwände und -decken	Wb	75	30
		Lb	400	30
b	Glänzende Beschichtungsstoffe (Glanzmaßzahl von $> 25$ Einh. im 60° Messwinkel) für Innenwände und -decken	Wb	150	100
		Lb	400	100
c	Beschichtungsstoffe für Außenwände aus mineralischen Baustoffen	Wb	75	40
		Lb	450	430
d	Beschichtungsstoffe für Holz-, Metall- oder Kunststoffe für Bauwerke, ihre Bauteile und dekorativen Bauelemente (innen und außen)	Wb	150	130
		Lb	400	300
e	Klarlacke und Lasuren für Bauwerke, ihre Bauteile und dekorativen Bauelemente (innen und außen) einschl. sog. deckender Lasuren	Wb	150	130
		Lb	500	400
f	Minimal filmbildende Lasuren	Wb	150	130
		Lb	700	700
g	Absperrende Grundbeschichtungsstoffe	Wb	50	30
		Lb	450	350
h	Verfestigende Grundbeschichtungsstoffe	Wb	50	30
		Lb	750	750
i	Einkomponenten-Speziallacke	Wb	140	140
		Lb	600	500
j	Zweikomponenten-Speziallacke	Wb	140	140
		Lb	550	500
k	Multicolorbeschichtungsstoffe	Wb	150	100
		Lb	400	100
l	Beschichtungsstoffe für Dekorationseffekte	Wb	300	200
		Lb	500	200

Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, muss bis spätestens 1. Januar 2010 der Verbrauch an organischen Lösemitteln drastisch reduziert werden, was wiederum zur Folge hat, dass auch die Trocknungsanlage auf alle Fälle für Wasserlacke geeignet sein muss.

### 3.3 Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Sämtliche Versuche wurden bei ca. 20°C Raumtemperatur und 63 % RLF durchgeführt. Die Trocknungsanlage wurde bei allen Versuchen nur mit 30 % ihrer max. Leistung betrieben, da die erzielten Trockenzeiten bei weitem ausreichen und es ansonsten zu einem Materialstau im Schleifraum bzw. in der Endmontage führen würde. Eine zu „aggressive“ Trocknung würde auch evtl. zu Trocknungsfehlern (Blasenbildung, schlechter Verlauf, speckiger Glanz der Oberfläche) führen.

#### 3.3.1 Untersuchung der Trocknung verschiedener Werkstücksformen und deren Anordnung im Hordenwagen

##### 3.3.1.1 Horizontaler Abstand von der Wärmequelle zum Werkstück

Aus Erfahrungswerten der Firma Ott ergab sich ein Abstand von 1,0 – 1,20 m zwischen Strahlervorderkante bis zur Vorderseite Hordenwagen. Daraus ergibt sich ein Abstand zwischen den beiden Paneelen von 2,80 – 3,0 m.

Dieser Abstand ist nötig, um evtl. Blasenbildung bzw. Hitzestau zu vermeiden. Bei großflächigen Werkstücken, wie z. B. Tischplatten, die über den Hordenwagen hinausragen, sollte der Abstand min. 1,0 m von der Wärmequelle zur Werkstückkante unbedingt nachkontrolliert und evtl. eine Strahlerwand verschoben werden.

Die Beschichtung der Prüfplatten (siehe Abb. 3.6) (DD-Lack Hesse-Lignal UNA PUR matt, ca. 110 g/m<sup>2</sup>) trocknete über die gesamte Fläche gleichmäßig, ohne feuchte Stellen (z. B. durch Schatten des Hordenwagens) zu hinterlassen.

Beim Grundierungsauftrag wurde bereits nach 6 Minuten in allen Sektoren der Prüfplatte der Trockengrad 7 erreicht

Bei der Decklackierung betrug die Trockenzeit 9 Minuten, bis Trockengrad 7 erreicht wurde.

##### 3.3.1.2 Horizontaler Abstand von schmalen Werkstücken (Leisten, Blenden) in einem Fach des Hordenwagens

Acht Stück der vorbereiteten Leisten (siehe Abb. 3.7) wurden in ein Fach des Hordenwagens mit ca. 10 cm Abstand zueinander gelegt. Dabei stellte sich heraus, dass sich durch den geringen Abstand der Leisten Schatten auf der jeweils nächsten Leiste bildeten und diese im unteren Drittel nicht ordentlich trockneten.

Die Anzahl der Leisten je Fach wurde dann auf sechs Stück reduziert, so dass sich ein Abstand von ca. 15 cm ergab. Diese Distanz war ausreichend, um eine Schattenbildung zu verhindern. Es wurde bei der Grundierung bereits nach 4 Minuten der Trockengrad 7 erreicht. Bei der Decklackierung dauerte es 8 Minuten, bis sich der Trockengrad 7 – 8 einstellte.

Es sollte jedoch darauf geachtet werden, dass über den Leisten oder Blenden ein bis zwei Fächer frei gelassen werden, damit es nicht zu einer Schattenbildung durch darüber liegende Werkstücke kommt.

### 3.3.1.3 Trocknung von hohen Rahmenbauteilen (z. B. Schubkasten-Rahmen o. ä.)

Die Schubladenrahmen aus Fichte (siehe 3.1.4) wurden liegend mit DD-Lack (Hesse-Lignal UNA PUR matt, ca. 95 g/m<sup>2</sup>) innen und außen lackiert. Danach wurden sie so in den Hordenwagen gelegt, dass nach oben hin immer zwei Fächer frei bleiben, damit es zu keiner Schattenbildung kommt und der entstehende Lösemittel-Dampf entweichen kann.

Es wurde auch darauf geachtet, dass die Schubladenrahmen leicht schräg in das Fach gelegt werden, damit sowohl die Längs- als auch die Querfrieze gleichmäßig bestrahlt werden.

Bei der Trocknung der Grundierung wurde bei einer Trocknungszeit von 3 Minuten bereits der Trockengrad 7 erreicht und die Rahmen waren somit schleiffähig.

Nach einem weiteren Lackauftrag dauerte es bei 30 % der Strahlerleistung ca. 10 Minuten, bis der maximal mögliche Trockengrad 7 erreicht wurde.

An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Trockenanlage bei solchen Bauteilen an ihre Grenzen stößt. Die liegende Trocknung von Rahmen funktioniert bis zu einer Frieshöhe von ca. 12 cm. Ab 12 cm empfiehlt es sich, die Rahmen entweder hochkant auf dem vorderen Fries liegend (z. B. bei Schubkästen, da dieses durch das Vorderstück verdeckt wird) oder bei einer nicht sichtbaren Innenseite hängend zu trocknen.

## 3.3.2 Untersuchung von unterschiedlichen Lacken und Lacksystemen auf ihre Eignung zur Infrarot-Trocknung

### 3.3.2.1 Trocknung von Beizen auf furnierten Musterplatten

Die verwendete Wasserbeize (Clou Kf-Beize Farbton 2208 dunkelbraun, ca. 90 g/m<sup>2</sup>) wurde auf eine mit Kiefer furnierte Probenplatte aufgetragen, ausgetrieben und dann in den Hordenwagen zum Trocknen gelegt.

Nach drei Minuten wurde der DIN-Trockentest durchgeführt und der Trockengrad 6 ermittelt. Der Trockengrad 7 konnte bei dieser Prüfung nicht erzielt werden, da sich, bedingt durch den hohen Pigmentanteil der Beize und das hohe Gewicht des Prüfkörpers (20 kg) Abdrücke in der Oberfläche zeigten.

### 3.3.2.2 Trocknung von PUR-Isolierfüller auf MDF

Die Trocknung vom verwendeten PUR-Isolierfüller (FKG 65 %, Auftragsmenge 195 g/m<sup>2</sup>) wie auch die spätere Untersuchung eines Füllgrundes mit hohem Festkörpergehalt zeigten, dass Lacke mit hohem Festkörpergehalt wesentlich längere Trockenzeiten in Anspruch nehmen als Lacke mit geringem bzw. normalem FKG (25 – 30 %).

So dauerte es bei einer Auftragsmenge von 195 g/m<sup>2</sup> 25 Minuten, bis Trockengrad 6 erreicht wurde und der Zwischenschliff vorgenommen werden konnte.

### 3.3.2.3 Trocknung von PUR-Farblack auf Isolier-Füller

Bei diesem Farblack handelt es sich um einen speziellen 2K-PUR-Lack (MIPA Decklack RAL 9006 Aluminium), der normalerweise für Reparaturlackierungen an Kraftfahrzeugen eingesetzt wird. Die Firma Brüderl setzt diesen Lack ein, um in nur einem Lackauftrag eine ringfeste Oberfläche zu erhalten. Zum Einstellen des Glanzgrades bei Uni-Lackierungen wird später noch mit einem 2K-PUR-Klarlack überlackiert.

Bei einer Auftragsmenge von ca. 130 g/m<sup>2</sup> und trotz der stark reflektierenden Oberfläche (Aluminium-Splitter im Lack) wurde nach 6 Minuten der Trockengrad 6 erzielt. Damit war die Probenplatte für die anschließende Decklackierung ausreichend getrocknet.

### 3.3.2.4 Trocknung von transparentem PUR-Füllgrund

Um bei grobporigen Hölzern (z. B. Esche, Eiche) eine glatte Oberfläche zu erhalten, werden diese mit einem füllkräftigen 2K-PUR-Lack grundiert (Hesse-Lignal UNA-PUR Grund, Auftragsmenge ca. 100 – 120 g/m<sup>2</sup>).

Wie unter 3.3.2.2 schon erläutert, kam es auch bei diesem Lack bedingt durch den höheren Festkörpergehalt zu längeren Trocknungszeiten als bei herkömmlichen PUR-Lacken. Die Trocknungszeit betrug bei 30 %iger Strahlerleistung 10 – 12 Minuten bis Trockengrad 7. Außerdem war ein leicht speckiges Oberflächenbild zu erkennen. Dies bleibt aber ohne Bedeutung, da nach abgeschlossener Trocknung zwischengeschliffen und mit normalem PUR-Klarlack überlackiert wird.

### 3.3.2.5 Trocknung von DD-Lack als Grundierung auf furnierten Platten

Auf die furnierte Flächen wurde DD-Lack (Hesse-Lignal UNA-PUR matt, Auftragsmenge 100 g/m<sup>2</sup>, Eichen-, Esche- bzw. Kiefer-Furnier) aufgetragen und anschließend zur Trocknung in den Hordenwagen gelegt.

Bei 30 %iger Strahlerleistung ergab sich eine Trockenzeit von 7 – 8 Minuten bis zum Trockengrad 7. Die Holzart des Furniers wirkte sich dabei nicht auf die Trockenzeiten aus.

### 3.3.2.6 Trocknung von mattem DD-Lack als Decklackierung

Vor der Decklackierung wurden die unter 3.3.2.5 genannten Platten mit Körnung P 240 zwischengeschliffen und anschließend wieder mit Hesse-Lignal UNA-PUR (Auftragsmenge 115 g/m<sup>2</sup>) decklackiert.

Aufgrund der stark reduzierten Saugfähigkeit des Furniers ergaben sich erhöhte Trockenzeiten von ca. 10 – 12 Minuten, bis Trockengrad 7 bei allen Probenplatten erreicht wurden.

Besonders bei der Decklackierung mit erhöhter Auftragsmenge bzw. bei großflächigen Werkstücken konnte festgestellt werden, dass ohne ausreichenden Abluft-raum über der Platte das Lösemittel nicht richtig entweichen konnte und sich „Feuchtenester“ auf der lackierten Fläche abzeichneten.

### 3.3.2.7 Trocknung von HYDRO-Isolierfüller

Im Unterschied zum PUR-Isolierfüller trocknete der HYDRO-Isolierfüller bedeutend schneller. Bei einer Auftragsmenge von 190 g/m<sup>2</sup> trocknete der Wasserlack in 8 Minuten bis zum Trockengrad 7.

Bei Wasserlacken ist die reduzierte Strahlerleistung von 30 % der Maximalleistung besonders von Bedeutung, da die Gefahr der Bläschenbildung durch zu große Wärmeentwicklung und zu schnelles Entweichen des Lösemittels wesentlich höher ist als bei Lacken mit organischen Lösemitteln.

### 3.3.2.8 Trocknung von HYDRO-Farblack

Als Farblack auf Wasserbasis wurde Hesse-Lignal HYDRO-Color RAL 9010 (reinweiß, Auftragsmenge ca. 110 g/m<sup>2</sup>) verwendet. Die Farbe Weiß wurde absichtlich gewählt, da helle weißliche Farben ein schlechteres Trockenverhalten aufweisen als stark absorbierende dunkle Farben.

Bei dieser Lackierung dauerte es ca. 6 Minuten bei 30% Strahlerleistung, bis Trockengrad 6 erreicht wurde und das Werkstück für die Weiterverarbeitung geeignet war.

### 3.3.2.9 Trocknung von HYDRO-Klarlack auf farbig lackierten Flächen

Abschließen wurde auf die weiß lackierte Probenplatte ein besonders widerstandsfähiger Treppenlack auf Wasserbasis (Hesse-Lignal HYDRO-Treppenlack, ca. 110 g/m<sup>2</sup>) aufgetragen.

Bedingt durch den höheren Festkörpergehalt als bei einem Standard-Hydro-Schichtlack stellte sich eine leichte Farbverfälschung der weißen Platte ein.

Nach einer Trockenzeit von 9 Minuten stellte sich bei dieser Lackierung der Trockengrad 7 ein. Mit ein Grund für diese längere Trockenzeit ist, dass die vorher aufgetragenen Lackschichten (Hydro-Füller und -Farblack) nur Trockengrad 6 erreichten und in diesem letzten Trockenzyklus mitgetrocknet werden mussten, um bei der DIN-Prüfung auf Trockengrad 7 keine Abdrücke in der Lackschicht zu erhalten.

### 3.3.2.10 Trocknung von HYDRO-Klarlack auf furnierten Platten

Als Grundierung für die Eichen-furnierte Probenplatte wurde Hesse-Lignal HYDRO Siegellack verwendet (Auftragsmenge 90 g/m<sup>2</sup>).

Bedingt durch die hohe Saugfähigkeit des Furniers und den niedrigen Festkörpergehalt des Lackes dauerte es bei diesem Muster nur 3 – 4 Minuten, bis sich der maximal mögliche Trockengrad 7 einstellte.

Nach dem Zwischenschliff wurde als widerstandsfähige Deckschicht wieder der HYDRO-Treppenlack mit erhöhtem Festkörpergehalt aufgebracht.

Ähnlich wie bei der Lackierung von furnierten Platten mit DD-Lack dauerte es bei der Deckschicht bedingt durch die verminderte Saugfähigkeit des Untergrunds erheblich länger, bis sich der gewünschte Trockengrad einstellte. Erst nach 9 Minuten wurde Trockengrad 6 – 7 erreicht.

### 3.4 Zu empfehlende zusätzliche Anschaffung

Bei den Versuchen wurde festgestellt, dass sich bedingt durch die starre Ausführung der Hordenwagen die mögliche Kapazität der Anlage nicht voll ausnutzen ließ. Deshalb empfiehlt sich neben der Anschaffung der Anlage auch die Investition in neue Hordenwagen, die sich durch einstellbare Auflagen an das jeweilige Werkstück anpassen lassen.



Abb. 3.9: Verstellbarer Hordenwagen



Abb. 3.10: Verstellbare bzw. demontierbare Auflagegestangen

## 3.5 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

### 3.5.1 Untersuchung verschiedener Werkstücksformen und Anordnung im Hordenwagen

Tab. 3.6: Versuchsergebnisse Werkstückformen und Anordnung

Art der Untersuchung	ermittelter Wert	Besonderheiten	siehe:
Horizontaler Abstand von der Wärmequelle zum Werkstück	1,0 – 1,20 m (Werkstückkante bis Strahlervorderkante)	Der Abstand von 1,0 m sollte keineswegs unterschritten werden (↯Blasenbildung durch Hitzestau↯)	Kap. 3.3.1.1
Abstand zwischen mehreren Werkstücken in einem Fach	bei hochkant trocknenden Leisten min. 15 cm	Unterschreitung des Abstands führt zu Schattenbildung und evtl. Feuchtenestern	Kap. 3.3.1.2
Trocknung von hohen Rahmenbauteilen (z. B. Schubkästen)	Rahmen schräg auf Ablagen legen, zwei Fächer darüber frei lassen	45°-Schräge optimal, damit alle Innenseiten gleichmäßig bestrahlt werden und keine Schatten (↯Feuchtenester in Innenecken↯) entstehen	Kap. 3.3.1.3

### 3.5.2 Untersuchung von Beizen und verschiedenen Lacken bzw. Lacksystemen

Tab. 3.7: Versuchsergebnisse Trockenzeiten

Beschichtung	Untergrund	Schliff	Trockenzeit (min)	DIN-Trockengrad	siehe:
Clou Kf-Beize	Kiefer-Furnier auf FPY	P 220	3	6	Kap. 3.3.2.1
PUR-Isolierfüller	MDF roh	-	25	6	Kap. 3.3.2.2
PUR-Farblack	PUR-Isolierfüller	P 400	6	6	Kap. 3.3.2.3
transparenter PUR-Füllgrund	Esche-Furnier auf FPY	P 180	10 – 12	7	Kap. 3.3.2.4
PUR-Lack als Grundierung	Esche-, Eiche- und Kieferfurnier auf FPY	P 180	7 – 8	7	Kap. 3.3.2.5
PUR-Lack matt als Decklackierung	mit Füllgrund oder PUR-Decklack grundiert	P 240	10 – 12	7	Kap. 3.3.2.6
HYDRO-Isolierfüller	MDF roh	-	8	7	Kap. 3.3.2.7
HYDRO-Farblack	HYDRO-Isolierfüller	P 400	6	6	Kap. 3.3.2.8
HYDRO-Treppenlack	HYDRO-Farblack	-	9	7	Kap. 3.3.2.9
HYDRO-Siegellack	Eichen-Furnier auf FPY	P 180	3-4	7	Kap. 3.3.2.10
HYDRO-Treppenlack	HYDRO-Siegellack	P 240	9	7	Kap. 3.3.2.10

## 4 Kosten-Nutzen-Gegenüberstellung

Bei der Berechnung wird von folgenden Daten ausgegangen:

Anschaffungspreis Trocknungsanlage	19.720,00 €
Nutzungsdauer (laut AfA-Tabelle)	5 Jahre
Anschaffungspreis 3 Hordenwagen	2.040,00 €
Nutzungsdauer (laut AfA-Tabelle)	10 Jahre
Aufnahmeleistung	6,6 kW bei Leistungsstufe 30 %
Strompreis/kWh	12,33 ct/kWh
Durchschnittliche Lebensdauer der Lampen bei Leistungsstufe 30%	15.000 bis 20.000 Std.
Arbeitstage/Jahr	220
Tägliche Betriebsdauer der Anlage	3,0 Std.

### 4.1 Reduzierung der Durchlaufzeiten

Die momentanen Durchlaufzeiten in der Lackiererei setzen sich folgendermaßen zusammen:

- Grundieren der Teile/Hordenwagen komplett bestückt: ca. 45 min
- Trocknen der Grundierung im Trockenraum: ca. 2,5 h
- Zwischenschliff im Schleifraum: ca. 1,5 h
- Deckschichtauftrag: ca. 45 min
- Trocknen der Decklackierung im Trockenraum: ca. 8 h

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Durchlaufzeit von ca. **13,5 h**.

Im Vergleich dazu ergeben sich durch Verwendung der Trocknungsanlage folgende Durchlaufzeiten:

- Grundieren der Teile/Hordenwagen komplett bestückt: ca. 45 min
- Trocknen der Grundierung in der Trocknungsanlage: ca. 8 min
- Zwischenschliff im Schleifraum: ca. 1,5 h
- Deckschichtauftrag: ca. 45 min
- Trocken der Decklackierung in der Trocknungsanlage: ca. 11 min

Es ergibt sich folglich eine durchschnittliche Durchlaufzeit von ca. **3,32 h**.

Folglich ergibt sich eine Reduzierung der Durchlaufzeiten von ca. **75,04 %**.

## 4.2 Mehrbelastung durch entstehende Stromkosten

Geht man von einem täglichen Betrieb der Anlage von 3 Stunden mit 30 % der Maximalleistung von 22 kW aus, so entstehen bei einem momentanen Bezugspreis von 12,33 ct/kWh und 220 Arbeitstagen/Jahr folgende Mehrkosten:

$$3h * 220 \text{ AT/Jahr} * 22 \text{ kW} * 0,3 * 12,33 \text{ ct/kWh} = \underline{537,09 \text{ €/Jahr}} \text{ (variable Kosten)}$$

## 4.3 Mehrbelastung durch Abschreibung der Trocknungsanlage und der Hordenwagen

Laut AfA-Tabelle beträgt die Nutzungsdauer für Lacktrockner 5 Jahre, für Trocken-Horden beträgt die Nutzungsdauer 10 Jahre.

Durch die Lacktrocknungsanlage entsteht somit eine finanzielle Mehrbelastung von  $\frac{19.720,00\text{€}}{5\text{Jahre}} = \underline{3944,00 \text{ €/Jahr}}$  (fixe Kosten)

Durch die drei Hordenwagen entsteht eine finanzielle Mehrbelastung von  $\frac{2.040,00\text{€}}{10\text{Jahre}} = \underline{204,00 \text{ €/Jahr}}$  (fixe Kosten)

## 4.4 Summe der Mehrbelastung inkl. Stromkosten

Für die ersten 5 Jahre ergibt sich folgende jährliche Mehrbelastung für die Firma Brüderl:

jährliche Abschreibung der Lacktrocknungsanlage:	<b>3944,00 €</b>
jährliche Abschreibung der Hordenwagen:	<b>204,00 €</b>
jährliche zusätzlich entstehende Stromkosten:	<b>537,09 €</b>
Summe der jährlichen Mehrbelastung:	<b><u>4.685,09 €</u></b>

Für die darauf folgenden 5 Jahre ergeben sich folgende Kosten für die Firma Brüderl:

jährliche Abschreibung der Hordenwagen:	<b>204,00 €</b>
jährliche zusätzlich entstehende Stromkosten:	<b>537,09 €</b>
Summe der jährlichen Mehrbelastung:	<b><u>741,09 €</u></b>

Nach 10 Jahren Nutzung bleiben lediglich die durch die Anlage verursachten Stromkosten von ca. **537,09 €**

## 5 Abschließende Betrachtung

Durch die Lacktrocknungsanlage der Firma OTT ist es auch kleinen und mittelständischen Handwerksbetrieben möglich, lange Durchlaufzeiten in der Oberflächenbehandlung zu verkürzen und Verzögerungen in der Endmontage zu reduzieren.

Ein wesentlicher Vorteil der Infrarot-Lacktrocknung ist, dass das System für nahezu jedes Lack- oder Beschichtungssystem geeignet ist. Eine Umstellung auf Speziallack-Systeme (z.B. UV-härtende Lacke) ist nicht nötig.

So wurde auch die Eignung der Anlage zum Trocknen von Wasserlacken, die der Decopaint-Richtliche entsprechen, untersucht und als äußerst positiv bewertet.

Durch die geringe Abmessung und Masse der Anlage findet diese in nahezu jeden Lackierraum Platz und kann bei Bedarf auch schnell zur Seite geschoben werden.

Mögliche Gegenargumente für die Anschaffung einer solchen Anlage sind vielleicht der Anschaffungspreis von knapp 20.000 € und die durch die Anlage entstehenden Stromkosten.

Jedoch ergibt sich durch die Verwendung einer solchen Anlage eine Verkürzung der Durchlaufzeiten in der Lackiererei um ca. 75%, was sich auch auf die Gesamtdurchlaufzeiten positiv auswirken dürfte.

## Quellenverzeichnis

**Kittel, H.; Prof. Dr. Helmut Fobbe (Hrsg.):** *Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen*; Band 9: Verarbeitung von Lacken und Beschichtungsstoffen. 2. Auflage (2004); S. Hirzel Verlag Stuttgart, - ISBN 3-7776-1120-4

**Kröll K., Kast W. (Hrsg.):** *Trocknungstechnik; Dritter Band: Trocknen und Trockner in der Produktion (1989)*; Springer-Verlag Berlin, - ISBN 3-540-18472-4

**Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.):** *Bestimmung des Trockengrades von Beschichtungen (Abgewandeltes Bandow-Wolff-Verfahren)*; 6. Ausgabe (2002); Beuth Verlag GmbH Berlin, - Ref.-Nr. DIN 53150:2002-09

**Vincentz Network (Hrsg.):** *Besser lackieren!*; Internet-Portal der gleichnamigen Fachzeitschrift für alle Lack-herstellenden und –verarbeitenden Betriebe mit aktuellen Tipps rund um die Oberfläche, DIN-Normen, Gesetzestexten (insbesondere VOC- und Decopaint-bezogen) und technischen Neuerungen.  
<http://www.besserlackieren.de>

**Friedrich Freek (Hrsg.):** *Herstellung, Verkauf und Vertrieb von elektrischen Heizelementen für Haushalt und Industrie*. U. a. Anbieter für Snap-in-Infrarot-Röhren.  
<http://www.freek.de> ; Link zu den kurzweiligen Strahlern:  
<http://www.freek.de/produkte/keramikstrahler.html#nr332>

**Brüderl: Schöne Räume:** Internet-Seite der Firma Brüderl GmbH & Co. KG  
<http://www.bruederl.de>

**OTT-Gruppe:** Internet-Seite der Firma A. H. OTT Schleiftechnik  
<http://www.ott-gruppe.com>

**PRIME HEAT:** Internet-Seite des amerikanischer Herstellers, unter dessen Lizenz die Firma OTT ihre Trocknungsanlagen herstellt. (englischsprachige Seite)  
<http://www.primeheat.biz>

**SCHEUCH Abluft- und Umwelttechnik:** Herstellung, Vertrieb und Montage von Absauganlagen für die Holz-, Stein-, Erden- und Metallindustrie  
[www.scheuch.com](http://www.scheuch.com)

**Hesse-Lignal Lacke und Beizen:** Hersteller von Lacken und Beizen für die holzverarbeitende Industrie. Bietet bereits jetzt als einziger deutscher Hersteller eine komplette Decopaint-Produktlinie an.  
<http://www.hesse-lignal.de>

**CLOU:** Hersteller von Lacken und Beizen sowohl für Industrie und Handwerk als auch für Heimwerker und DIY.  
<http://www.clou.de>  
Link zum Merkblatt der verwendeten kf-Beize:  
[http://www.clou.de/frontend\\_live/files/B3C88A4B-1F03-11D7-92620050DA450B89\\_03\\_kf-Beize.pdf](http://www.clou.de/frontend_live/files/B3C88A4B-1F03-11D7-92620050DA450B89_03_kf-Beize.pdf)

**BYK-Gardner:** Herstellung und Vertrieb von Oberflächenprüfgeräten (Farbton-, Glanz-, Schichtdicken-, Rauhtiefenmessgeräte etc.)(englischsprachige Seite)  
<http://bykgardner.com/index.php?content=/englisch/home.php&service=englisch/service.php>

Link zum verwendeten Nassschichtdickenmessgerät:

<http://bykgardner.com/englisch/products.php?lv3=3>

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Projektarbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei folgenden Personen bzw. Firmen bedanken:

Bei Herrn Gasser von der Firma Brüderl für die Bereitstellung von betrieblichen Daten und die Zeit, die er für mich zur Verfügung stand.

Bei Herrn Ott für die kostenfreie Bereitstellung der Musteranlage und die fachliche Beratung während der Versuchsdurchführung.

Bei der Firma Hesse-Lignal für die kostenfreie Bereitstellung der decopaint-konformen Wasserlacke.