

# **Abschlußbericht**

**zum Projekt**

**„Verfahren zur industriellen Beschichtung von  
Möbeloberflächen mit umweltfreundlichen  
Hartwachsen“**

**durchgeführt von:**

**Hartmann Möbelwerke GmbH  
Hörster Str. 20  
48361 Beelen**

## Ausgangssituation des Projektes

Die Firma Hartmann Möbelwerke GmbH ist ein mittelständischer Hersteller von Wohn-, Schlaf- und Esszimmern. Das Unternehmen hat sich in den letzten Jahren verstärkt dem Bio-Möbel-Markt zugewandt.

Diese Bio-Möbel zeichnen sich dadurch aus, daß von ihnen geringe, bzw. keine Wohngifte in das Wohnumfeld gelangen. Flüchtige Inhaltsstoffe wie Formaldehyd dürfen nicht emittiert werden.

Um dies zu erreichen, setzen die Anbieter in diesem Marktsegment Massivholz als Basiswerkstoff ein. Die Firma Hartmann Möbelwerke setzt hauptsächlich die heimischen Holzarten Eiche, Kirschbaum und Buche ein.

Einer der wesentlichen Problembereiche bei Biomöbeln sind die verwendeten Holzoberflächen. Vielfach werden lösemittelhaltige Holzlacke eingesetzt. Es wird dabei in Kauf genommen, daß sowohl bei der Herstellung des Möbels als auch bei der späteren Verwendung flüchtige Lösungsmittel aus den Möbeln ausgasen.

Anbieter, die an dieser Stelle keine Kompromisse eingehen wollen, sind gezwungen alternative Holzoberflächen zu verwenden. Verfügbar sind dafür

- \* Öle, mit denen das Möbelstück getränkt wird. Diese Oberflächen benutzen Leinölfirnisse für die Oberflächenversiegelung. Dabei treten sowohl produktionstechnische als auch ästhetische Probleme auf. Öloberflächen dringen tief in das Holz ein und feuern dadurch das Holz sehr unterschiedlich an. So wird die Oberfläche sehr bunt und scheckig. Für eine industrielle Anwendung sind Öle kaum geeignet, da ihr Trocknungsverhalten sehr problematisch ist.
- \* Bienenwachse, mit denen eine Holzfläche versiegelt werden kann. Diese Wachse sind mit Pinseln, Lappen und ähnlichem zu applizieren. Sie weisen eine sehr geringe Abriebfestigkeit auf und sind sehr empfindlich bei Kontakt mit Wasser und anderen Flüssigkeiten. Diese Wachse werden häufig als Antikwachse betitelt und dienen im Grunde nur der Möbelpflege
- \* Flüssigwachse auf Basis natürlicher oder künstlicher Harze. Der Vorteil dieser Wachse ist die Möglichkeit einer Spritzapplikation, ähnlich der

Techniken, die vom Lackspritzen her bekannt sind. Das Problem dieser flüssigen Wachse ist ihre schlechter Oberflächenschutz. Diese Wachse ziehen tief ins Holz ein und bilden praktisch keinen Schutzfilm an der Oberfläche. Außerdem gelingt es nicht eine glatte Fläche zu erzeugen.

All die vorgenannten verschiedenen Bio-Oberflächen haben entweder ein Problem mit der Schutzwirkung oder ein Problem bei der maschinellen Applikation oder mit beidem.

Vor Beginn des Projektes erschienen neue Produkte am Markt, die die Lösung vorstehender Probleme zu ermöglichen schienen. Es handelte sich dabei um Hartwachse der Fa. Naturhaus Naturfarben, die in den Problembereichen Ästhetik und Oberflächenschutz den Vergleich mit Lackflächen nicht scheuen mußten.

Dieses Produkt wurde bis dahin ausschließlich im Handwerksbereich manuell appliziert. Eine Technologie für die industrielle Anwendung war jedoch nicht vorhanden.

Die wesentlichen Vorteile eines solchen Wachssystems gegenüber einem qualitativ vergleichbaren Lacksystem sind:

- \* keine Freisetzung von Lacklösungsmitteln im Verarbeitungsprozeß
- \* keine Lösungsmitteldosenmissionen bei der Verwendung beim Endverbraucher
- \* keine giftigen Lackreste und Lackschlämme die als Sondermüll entsorgt werden müssen
- \* erhebliche Energieeinsparung im Fertigungsprozeß, da keine Lösungsmittel zu verdunsten sind
- \* keine giftigen Lackinhaltsstoffe, welche die zukünftige Entsorgung von Altmöbeln belasten könnten
- \* keine Gesundheitsgefährdung für die Mitarbeiter

Der Einsatz dieser neuen Hartwachse bietet für ein breites Einsatzspektrum die Möglichkeit umweltgefährdende Lacksysteme abzulösen.

Das Haupthindernis auf dem Weg zu dieser Entwicklung ist die fehlende Anwendungstechnik für eine Fertigung im industriellen Maßstab.

## Zielsetzung

Die Möbelwerke Hartmann GmbH haben es sich zum Ziel gesetzt, in Eigeninitiative ein neuartiges Verfahren zur Holzoberflächenbeschichtung zu entwickeln, um einerseits umweltfreundliche Produkte anbieten zu können, andererseits die Umweltbelastung bei der Möbelfertigung drastisch zu senken.

### Oberziel:

Entwicklung eines industriell anwendbaren Verfahrens zur Oberflächenbeschichtung von Holzwerkstoffen mit umweltfreundlichen Hartwachsen.

### Unterziele:

1. Vermeidung jeglicher Schadstoffentwicklung, auch unterhalb erlaubter Grenzwerte
  - \* im Herstellungsprozeß
  - \* in der Nutzungsphase
  - \* bei der Entsorgung
2. Optimierung des Materialeinsatzes bei der Hartwachs-Möbeloberflächenbeschichtung durch
  - \* Reduzierung des Oversprays
  - \* Vermeidung der Materialverschleppung in nachfolgende Anlagenteile
  - \* möglichst vollständige Rückgewinnung des nicht vermeidbaren Overspray-Hartwachses in der Beschichtungsstation
3. Entwicklung eines industriell anwendbaren Hartwachsbeschichtungsverfahrens
4. Entwicklung eines Recycling-Kreislaufes für unvermeidbares Overspray-Hartwachs
5. Entwicklung einer industriell anwendbaren Glätt- und Bürststation für hartwachsbeschichtete Möbeloberflächen
6. Entwicklung eines Verfahrens zur beschleunigten Hartwachstrocknung
7. Entwicklung einer industriell anwendbaren Bearbeitungsstation zur Feinglättung ausgehärteter Hartwachs-Oberflächen

## Die Methoden zur Erarbeitung der Untersuchungsergebnisse

Das Ziel des Förderprojektes ist die Entwicklung einer industriell einsetzbaren Technik zur Wachsapplikation. Zur Erarbeitung dieser komplexen Aufgabe wurde das Gesamtprojekt in Phasen und Abschnitte aufgeteilt, innerhalb derer in sich geschlossene Einzel-Lösungen, die von Bedeutung für das Gesamtprojekt waren, erarbeitet wurden.

Es wurde in allen Projektabschnitten immer zunächst mit einer relativ einfachen Versuchsanordnung Proben gefahren. Mit Hilfe der Erkenntnisse dieser Versuche wurde dann jeweils ein Anlagenabschnitt konstruiert und gebaut.

Die so erstellten Maschinenteile wurden danach jeweils ausgiebig getestet und wenn erforderlich verbessert.

Im Einzelnen wurde das Projekt in folgenden Teilabschnitten erarbeitet:

### Phase1:

1. Erarbeitung eines Pflichtenheftes für die einzelnen Verfahrensstationen
2. Konstruktion eines universellen Versuchsaggregates für Bürst - und Schleifversuche
3. Durchführung von Bürst - und Schleifversuchen

Basierend auf den Ergebnissen der Phase 1 wurde der ursprüngliche Vorgehensplan leicht revidiert. Entwicklungen bezüglich der Möglichkeiten des Feinschliffs von Wachsflächen wurden nicht weiterbetrieben. Statt dessen wurde die Möglichkeiten des Recyclings von Wachs-Overspray und verschmutzter Wachsbürsten untersucht.

### Phase2:

4. Konstruktion einer Prototypenanlage für die Heißwachsbeschichtung
5. Bau, Montage und Versuchsdurchführung zur Heißwachsbeschichtung
6. Vorversuche zur beschleunigten Hartwachs-aushärtung

7. Konstruktion einer Prototypenanlage zur Heißwachs-  
verteilung und -glättung
8. Bau, Montage und Erprobung der Prototypenanlage zur  
Heißwachsverteilung und -glättung
9. Konstruktion einer Reinigungsvorrichtung für ver-  
unreinigte Bürsten
10. Bau, Montage und Erprobung einer Reinigungsanlage
11. Konstruktion einer Overspray-Recycling-Anlage
12. Bau, Montage und Erprobung einer Overspray-Recycling  
Anlage
13. Montage einer Versuchs-Fertigungseinrichtung zur  
kompletten Hartwachsbeschichtung
14. Durchführung von Serienfertigungs-ähnlichen Versuchen
15. Konstruktive Überarbeitung der einzelnen Bearbeitungs-  
stationen
16. Durchführung von Hartwachsbeschichtungs-Tests

## 1. Erarbeitung eines Pflichtenheftes für eine Oberflächenstraße zur Heißwachsbeschichtung

Die von der Gesamtanlage geforderte Leistung ist die Leistungsuntergrenze für jede einzelne Verfahresstation.

Es wurde deshalb zunächst das Pflichtenheft für die Gesamtanlage erstellt und jeweils bei Beginn der Konstruktion eines neuen Anlageteils die Daten spezifiziert.

Platzbedarf der Oberflächenstraße	:< 300qm
Energiebedarf bei Betrieb	
elektrisch	:< 50 kw/h
thermisch	:< 200 kw/h
Abluftmenge	:< 30000 qbm/h
Kapazität	:> 400 qm/h
Personalbedarf	:< 6 Personen
Materialbedarf Wachs	:< 30 g/ qm
Gesamtkosten pro qm Oberfläche	:< 1,00 DM/qm
Durchlaufzeit für Gesamtprozeß	:< 2 Tage
Zustand der Wachsflächen nach Ende des Gesamtprozesses	: stapelfähig : finish-glatt : Glanzgrad 45

Die qualitativen Anforderungen an die Anlage wurde mit Hilfe von Musteroberflächen definiert. Ästhetische Merkmale, wie Anfeuerung, Farbwirkung, Natürlichkeit, Gleichmäßigkeit usw. sind nicht quantifizierbar. Die ausreichende Erfüllung dieser Kriterien ist die Grundvoraussetzung für das Gelingen des Projektes. Einschränkungen bei der ästhetischen Oberflächenqualität sind nicht hinnehmbar, weil dadurch der wirtschaftliche Erfolg sofort gefährdet wäre.

Entsprechend dieser Rahmenbedingungen für die Gesamtanlage wurden für jede Einzelstation bei der Konstruktion die Anforderungen weiter spezifiziert.

## 2. Konstruktion eines universellen Versuchsaggregates für Bürst- und Schleifversuche

Für die Durchführung der Bürst- und Schleifversuche wurde eine einfache Versuchsvorrichtung gebaut. Über einem stabilen Tisch wurde ein angetriebene Welle installiert, die als Aufnahme für die verschiedenen Schleifmaterialien diente.

Diese angetriebene Welle war höhenverstellbar, so daß der Schleifdruck regelbar war. Der Transport der Werkstücke unter dem Bürstwelle hindurch erfolgt manuell. Auf diese Weise konnte auch die Vorschubgeschwindigkeit leicht variiert werden.

## 3. Durchführung von Bürst- und Schleifversuchen

Im Zuge dieser Testreihe galt es zu klären, wie und mit welchen Materialien eine aufgespritzte Wachsfläche am besten zu glätten und zu polieren ist.

Die wichtigsten Variablen in dieser Testreihe waren:

- \* variable Trocknungszustände der zu glättenden Wachsflächen
- \* Bürst- und Schleifmaterialien verschiedenster Zusammensetzung
- \* variable Schichtdicken beim Wachs
- \* variable Körnung beim Vorschleif der Holzflächen
- \* verschiedene Holzsorten(weich/hart, fein/grobporig)

### Ergebnisse der Testreihen

#### 1. Trocknungszustände beim Wachs

Das Bürsten oder Schleifen der getrockneten Wachsflächen ist nicht möglich ohne dabei entweder das Werkstück oder das Schleifmedium zu zerstören.

#### Grund:

Die Schleifwirkung der Bürsten auf getrocknetem Wachs ist unzureichend. Bei geringen Schleifdruck lassen sich Unebenheiten und Rauigkeiten nicht entfernen, bei starkem Druck wird der Wachs zu ungleichmäßig abgetragen, so daß kein Flächenfinish entsteht. Die Verwendung von Schleifpapier auf trockenem Wachs führt nach sehr kurzer Zeit zum Verkleben der Schleifbänder, so daß wirtschaft-



lich sinnvolle Standzeiten nicht erreichbar sind.

**Fazit:**

Das Oberflächenfinish der Wachsflächen ist nur sinnvoll beeinflussbar, solange die Wachsfläche noch frisch ist.

**2. Bürst- und Schleifmaterialien**

Basierend auf obigen Erkenntnissen konzentrierten sich weitere Versuche auf die Behandlung ungetrockneter Wachsflächen. Als Medien wurden folgende Basismaterialien und Kombinationen hieraus getestet:

- \* Bürsten mit Naturborsten
- \* Kunstborsten mit Schleifkörperbestandteilen
- \* Fladderscheiben aus Gewebeschleifpapier
- \* Gewebescheiben aus Schleiffließ

**Ergebnisse der Testreihe**

**Bürsten und Naturborsten**

**Vorteile:**

- \* gutes Verteilvermögen bei unterschiedlichen Wachsmengen auf dem Werkstück
- \* gute Benetzung tiefporiger Hölzer
- \* sehr gute Poliereigenschaft und damit beste ästhetische Eigenschaften der Endfläche

**Nachteile:**

- \* starkes Verkleben der Borsten schon nach sehr kurzer Zeit
- \* schlechte Regenerationsfähigkeit der Bürsten
- \* starker Verschleiß der Borsten

**Kunstborsten mit Schleifkörperbestandteilen**

**Vorteile:**

- \* gute Standfestigkeit und geringer Verschleiß

**Nachteile:**

- \* schlechtes Finish bei Endprodukt, keine einheitliche Glanzbildung
- \* Schleifspuren in der Holzoberfläche bei Weichhölzern
- \* schlechtes Verteil- und Poliervermögen

### **Kunstborsten mit Schleifkörperbestandteilen**

#### **Vorteile:**

- \* gute Standfestigkeit und geringer Verschleiß

#### **Nachteile:**

- \* schlechtes Finish bei Endprodukt, keine einheitliche Glanzbildung
- \* Schleifspuren in der Holzoberfläche bei Weichhölzern
- \* schlechtes Verteil- und Poliervermögen

### **Fladderscheiben aus Gewebeschleifpapier**

#### **Vorteile:**

- \* gute Glättwirkung
- \* gutes Finish der Endfläche (trotz starken Verklebens)
- \* sehr gute Abriebfestigkeit
- \* gute Regenerationsmöglichkeiten

#### **Nachteile:**

- \* Aushärten der Wachsreste im Ruhezustand führt zu starker Unwucht in der Scheibe
- \* bei starker Benetzung mit Wachs hohe Drehmomente, die bei kleinen Werkstücken speziellen Transport erfordern

### **Gewebescheiben aus Schleifvlies**

#### **Nachteile:**

- \* schlechtes Finish aufgrund mangelnder polierwirkung
- \* sehr kurze Lebensdauer durch starkes Verkleben
- \* schlechtes Regenerationsvermögen

#### **Fazit:**

Die besten Ergebnisse hinsichtlich Oberflächenfinish, Gleichmäßigkeit und Standzeit der Bürsten ist mit einer Kombination aus Borsten und Schleifpapier zu erzielen.

### **3. variable Schichtstärken beim Wachs**

Im Laufe der Versuchsreihen wurden die Holzflächen mit Wachsschichten zwischen 10g/qm und 60g/qm in Schritten von je 10g/qm getestet. Dabei stellten sich folgende Sachverhalte heraus:

- \* Auftragsmengen unter 20g/qm reichen bei offenporigen Hölzern nicht aus um beim Dauerbetrieb eine vollständige Benetzung der Poren zu erreichen.

### 3. variable Schichtstärken beim Wachs

Im Laufe der Versuchsreihen wurden die Holzflächen mit Wachsschichten zwischen 10g/qm und 60g/qm in Schritten von je 10g/qm getestet. Dabei stellten sich folgende Sachverhalte heraus:

- \* Auftragsmengen unter 20g/qm reichen bei offenporigen Hölzern nicht aus um beim Dauerbetrieb eine vollständige Benetzung der Poren zu erreichen.
- \* Auftragsmengen von 40g/qm und mehr führen im Dauerbetrieb zu einem sehr schnellen Verkleben der Bürsten. Ein qualitativer Unterschied zu 20g/qm ist im Finish nicht feststellbar.
- \* Auftragsmengen über 20g/qm führen zu einer Anreicherung von Wachs in den Bürsten und in Folge zu einer starken Verunreinigung der Werkstückkanten

#### Fazit:

Der genauen Steuerung der Wachsauftragsmengen wird im weiteren Entwicklungsprozeß eine zentrale Rolle zukommen.

### 4. variable Körnung beim Vorschleiff der Holzflächen

Die Wachsflächen wurden mit Schleiffqualitäten der Körnung 150, 180, 220 und 280 probt. Dabei ergaben sich, teilweise in Abhängigkeit von der Holzart, folgende Ergebnisse:

- \* bei Körnung 150 ist die Wachsschicht bei keiner Holzart in der Lage, die Schleifstruktur zu verdecken. Mit keiner Wachsmenge/Bürstenkombination ist eine ausreichende Oberflächengüte zu erzielen.
- \* ab Körnung 180 ist bei grobporigem Holz ein ausreichendes Ergebnis erzielbar.
- \* Körnung 220 oder 280 sind ideal für eine homogene, im Finish anspruchsvolle Endfläche
- \* Massivholzplatten weisen Schleifspuren vom kalibrieren auf. Da diese Platten sich oft in der Verarbeitung noch werfen, bleiben hohle Stellen, die der Feinschleiff nicht erreicht. Diese Stellen werden nach dem Wachsen matt und lassen sich auch mit Bürsten nicht beseitigen.

**Fazit:**

Der Holzschliff muß eine Körnung von 220 haben und darf keine unzureichend ausgeschliffenen Stellen aufweisen, da mit keiner Bürstenkombination solche Fehlstellen beseitigt werden können.

**5. verschiedene Holzsorten**

Die Bürst- und Schleifversuche der frisch gewachsenen Flächen zeigte folgende Holzartenspezifischen Zusammenhänge:

- \* grobporige Hölzer sind weniger anspruchsvoll was das Polier- und Verteilvermögen der Bürsten betrifft
- \* alle vor dem Wachsauftrag gebeizten Hölzer geben mit überschüssigem Wachs auch Farbstoffe an die Bürsten ab. Dieser Effekt wirkt umso stärker, je höher die überschüssige Wachsmenge ist.

**Fazit:**

Bei gebeizten Hölzern verändert sich der Farbton beim Bürsten der Wachsflächen. Für die Serienanwendung mit wechselnden Beiztönen muß dies konstruktiv berücksichtigt werden.

#### 4. Konstruktion einer Prototypenanlage für die Heißwachsbeschichtung

Die Entwicklung der Prototypenanlage zur Heißwachsbeschichtung wurde unter folgenden Zielvorgaben angegangen:

Die Leistung der Anlage sollte so ausgelegt sein, daß im Einschichtbetrieb bei maximaler Auslastung bis 3000 qm fertig gewachster Flächen produziert werden können. Diese Kapazität ist dann ausreichend um den Gesamtbedarf einer mittelständischen Möbelfabrik, wie z. Bsp. der Firma Hartmann abzudecken.

Die durchschnittliche Abmessung eines Werkstücks wurde mit 1020mm Länge und 375mm Breite ermittelt. Die erforderliche Lücke zwischen den Werkstücken sollte mindestens 200 mm betragen um ein sicheres Besprühen der gerundeten Werkstückkanten zu ermöglichen.

Weiterhin wurde unterstellt, daß wie bei den herkömmlichen Lackstraßen eine zweisepurige Fahrweise möglich sein sollte. Erfahrungsgemäß ist bei Anlagen dieser Art mit sachlicher und persönlicher Verteilzeit von mindestens 30 % auszugehen. Die reine Produktionszeit der Anlage beträgt daher lediglich 302 min. pro Schicht.

Aus all diesen Prämissen wurde eine Mindestvorschubgeschwindigkeit von 13,5 m/min. für die Anlage ermittelt.

Die sich ergebenden Mengen bezüglich Wachsmengeinsatz, Flächen und Overspray-Anteil erschienen so hoch, daß es zunächst sinnvoll war eine sehr simple Prototypenanlage zu erstellen um damit Vorversuche zu fahren. Insbesondere galt es Effekte wie Overspray, Verkleben und Verunreinigung der Materialtransporte zu testen. Aus den Erfahrungen mit manuellen Heißwachs-spritzgeräten war bereits bekannt, daß eine Verdreckung und Verklebung durch Wachsreste zu erwarten war.

Da jedoch der Durchsatz der geplanten Anlage etwa das 100 fache eines manuellen Arbeitsplatzes betragen sollte, wurde eine einfache Testanlage gebaut, die es dennoch ermöglichen sollte die Mengeneffekte zu beobachten.

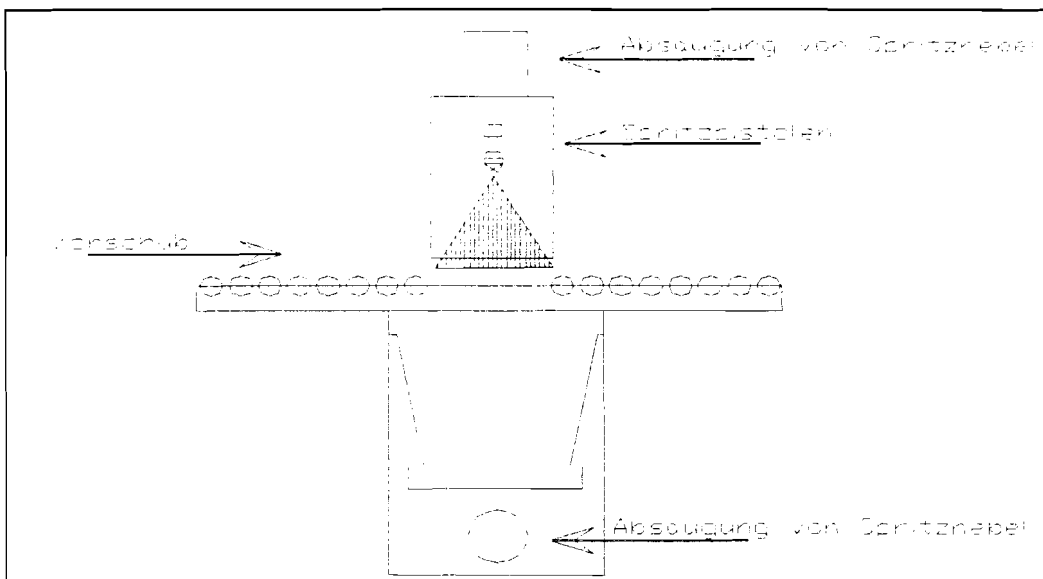
Kapazität	:	400 gm / h
Vorschubgeschwindigkeit:	:	13,5 m / min
Auftragsmenge	:	15 bis 20g / qm
Wachsdurchsatz	:	6 bis 8kg / h
Anz. notwendig AN	:	max. 4 pers
Arbeitsbreite	:	1100 mm

Eckdaten für die Heißwachsbeschichtungs-Anlage

Die Vorversuchsanlage wurde so konstruiert, daß angetriebene, gummierte Rollen die Werkstücke unter einer Spritzwand her transportierten. Sobald Werkstücke auf den Rollentransport gelegt wurden, mußte auch die Spritzanlage manuell eingeschaltet werden. Die verwendeten Spritzpistolen, Leitungen, Pumpen sowie das Heizsystem waren marktüblichen Handgeräte.

In der Mitte der Rollentransportstrecke wurde ein Schacht frei gelassen, in den der größte Teil des Oversprays gespritzt wurde, wenn kein Werkstück auf dem Transport lag. Auch der Spritzstrahl zwischen den Werkstücken traf in diesen Schacht. Durch diese Anordnung konnte vermieden werden, das der Rollentransport direkt mit Wachs beaufschlagt wurde.

Die Arbeitsbreite der Maschine betrug 1100mm. Für diese Breite wurden 4 Spritzpistolen in Reihe montiert um die Spritznebelwand zu erzeugen. Der Rollentransport war im Bereich von 5 bis 25 m/min stufenlos regelbar.



Skizze Querschnitt Vorversuchs-Anlage

Durch die Variation von Düsengrößen, Luftdruck und Vorschubgeschwindigkeit konnte die Wachsauftragsmenge geregelt werden.

## **5. Erkenntnisse aus dem Probetrieb der Vorversuchsanlage**

Die Vorversuchsanlage diente dem Zweck, Erfahrungen mit großen Mengen zu sammeln. Es wurden deshalb mit dieser Anlage 35000 qm Flächen mit Heißwachs beschichtet. Dabei konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

### **1. Spritznebel-Konsistenz**

Der ein Heißwachs-Spritzverfahren erforderliche Spritznebel ist sehr viel feiner als bei herkömmlichen Möbellacken. Die sehr feine Zerstäubung führt zu sehr leichten Wachströpfchen, die nur sehr langsam nach unten sinken und somit extrem lange im Abluftstrom bleiben. Dadurch ist die Abluft kaum zu filtern, da alle Gewebefilter sehr schnell verkleben.

### **2. Overspray-Verwirbelung**

Trifft der Spritzstrahl auf das Werkstück, wird ein großer Teil des Wachsnebels mit der vom Werkstück abprallenden Luft wieder vom Werkstück weggerissen und verwirbelt im Spritzraum. Alle Bauteile im Spritzraum sind innerhalb weniger Stunden mit einer dicken Oversprayschicht verschmutzt und verklebt.

### **3. Oxidation des Oversprays**

Wachsoverspray hat eine Konsistenz die der von Schneeflocken ähnlich ist. Da der Wachs in dieser flockigen Form eine sehr große Oberfläche besitzt, entsteht ein Oxidationsprozeß mit dem Sauerstoff aus der Luft der zu einer starken Erhitzung des Oversprays führt. Temperaturmessungen ergaben Werte bis 190 Grad Celsius. Der Overspray schmilzt und kocht. Dieser Effekt klingt nach ca. 45 min wieder ab. Bei laufender Absaugung tritt dieser Effekt nicht auf, da offenbar der Luftstrom zu einer Kühlung führt.

### **4. nicht homogene Wachsmasse**

Naturwachs ist kein vollständig homogenes Material. Der erhitzte und verflüssigte Wachs enthält geringe Bestandteile die sich nicht vollständig verflüssigen und dann zur Verstopfung der Spritzdüsen führen.

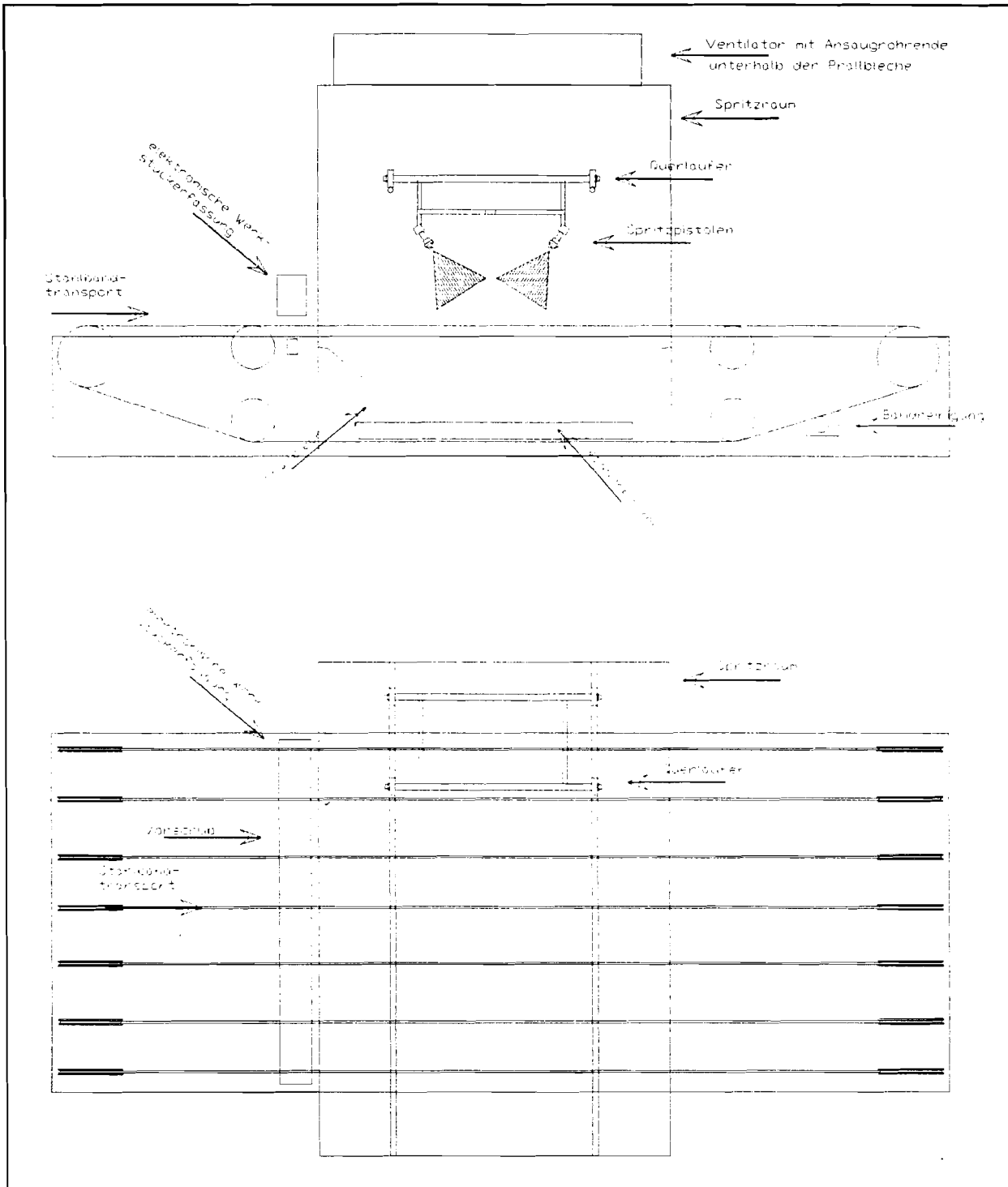
4. **nicht homogene Wachsmasse**  
Naturwachs ist kein vollständig homogenes Material. Der erhitzte und verflüssigte Wachs enthält geringe Bestandteile die sich nicht vollständig verflüssigen und dann zur Verstopfung der Spritzdüsen führen.
5. **Verstopfung der Spritzanlage**  
Generell neigen die Spritzpistolen sehr schnell zu Verstopfung. Insbesondere nach Pausen waren Pistolen und Leitungen häufig verstopft, da das erhitzte Material sich in den Pistolen und Leitungen zu stark abkühlte. Auch durch häufiges Spülen der Anlage mit Leinöl konnte dies Problem nicht befriedigend gelöst werden.
6. **Material-Verschleppung**  
Der Rollentransport der ersten Versuchsanlage verklebte nach je drei Tagen so stark, daß eine aufwendige Demontage und Reinigung erforderlich wurde. Die Prallbleche und Wannen mußten täglich gereinigt werden. Dabei fielen pro Tag etwa 25kg Overspray-Restwachs an.

Die Erkenntnisse aus dem Betrieb der Vorversuchsanlage führte zu folgenden wesentlichen Anforderungen für die Konstruktion und den Bau der Heißwachsspritzanlage:

1. Der Overspray muß minimiert werden, auch wenn dadurch der konstruktive Aufwand stark erhöht wird.
2. Der Werkstücktransport muß eine Selbstreinigungsvorrichtung haben, damit ein störungsfreier Betrieb über mehrere Tage möglich ist.
3. Der Spritzraum muß so groß sein, daß der Luftstrom sich beruhigen kann und der Spritznebel nach unten fallen kann.
4. Der Overspray sollte auf ein Wasserbad fallen um eine Selbstentzündungsgefahr zu verringern.
5. Um ein Verstopfen der Spritzanlage zu verhindern sollten wachsführenden Bauteile von der Pumpe bis zur Pistolenspitze beheizbar sein. Das zeitraubende Spülen mit Reinigungsöl muß entfallen.
6. Die Anlage muß Wachs in kalter, pastöser Form einziehen können, so daß ein Erhitzen im luftabgeschlossenen Bereich der Anlage erfolgt.



Dadurch kann vermieden werden, das schon bei der Erhitzung angetrocknete Wachsteile in das Spritzsystem gelangen.



Schema Seitenansicht u. Draufsicht Heißwachsspritzanlage

Als maschinelle Basis für die Spritzanlage diente eine gebrauchte Lackspritzmaschine mit elektronischer Steuerung, Querläufer und Stahlbandtransport.

Die Maschine wurde komplett zerlegt, sandgestrahlt und neu lackiert. Dies war erforderlich um zu vermeiden, daß der oxidierende Wachs mit Lackresten zusammen kommt und durch chemische Reaktion Feuer entsteht.

Die Lackspritztechnik wurde komplett entfernt und ersetzt. Sämtliche wachsführenden Bauteile wie Pumpen, Leitungen, Pistolen und Ventile wurden beheizbar. Mit Thermoöl als Heizmedium und einer elektrischen Heizung wurde ein Ölkreislauf beheizt, der alle Leitungen umgab. Zusätzlich wurden die wachsführenden Teile mit Isolationsmaterial umwickelt. Maschinenteile, die nicht vom heißen Öl direkt durchströmt wurden, erwärmten sich durch das erhitzte Wachs und die Wärmeleitfähigkeit der Metallbauteile.

Um das Wachs kalt in das System zu bekommen, war es nötig dieses pastöse Material zunächst einmal mit einem speziell gebauten Rührwerk im Gebinde durchzurühren. Das durchgerührte Wachs war dann weich genug um in das System gepreßt und verflüssigt zu werden.

Nach Schichtende wurden Pumpen und Heizung gestellt und der Wachs konnte im Leitungssystem abkühlen und sich verfestigen. Mit Hilfe einer Zeitschaltuhr wurde dann jeweils eine Stunde vor Arbeitsbeginn die Heizung wieder eingeschaltet, damit das Wachs in den Leitungen wieder flüssig wurde.

## **6. Erkenntnisse aus der Erprobung der Heißwachs-Spritzanlage**

Mit dieser Prototypenanlage wurde dann sehr umfangreiche Erfahrungen gesammelt. Im folgenden die wichtigsten Ergebnisse:

### **1. Overspray-Reduktion**

Durch die elektronische Steuerung der Spritzdüsen wird erreicht, daß nur dann ein Wachsstrahl gespritzt wird wenn auch an der entsprechenden Position ein Werkstück liegt. Der Overspray konnte soweit reduziert werden, daß es ausreichend ist, die Maschine nur im wöchentlichen Rythmus von Overspray zu reinigen. Gleichzeitig ging der Wachsverbrauch um 52 % gegenüber der Vorversuchsanlage zurück.

### **2. gleichmäßiges Spritzbild**

Die Bewegung der Spritzpistolen quer zum Werkstück und der damit verbundene Effekt, das mehrere Pistolen ein Werkstück besprühen führt zu einer wesentlich gleichmäßigeren Auftragsmenge. Der Grund liegt darin, daß unterschiedlich stark spühende Pistolen Querstreifen unterschiedlicher Auftragsmengen hinterlassen, die jedoch von längs drehenden Wachsbürsten gleichmäßig über die Werkstückfläche verteilt werden.

### **3. Verstopfung der Spritzpistolen**

Trotz eingebauter Filter und einem luftdichten Wachsheiz- und Spritzsystem neigen die Spritzpistolen zu Verstopfung. Diese lösen sich oft von selbst nach einigen Minuten wieder auf, lassen sich aber trotz aller Bemühungen nicht vermeiden. Auch verflüssigter und nochmals gefilterter Wachs führte wieder zu Verstopfungen. Offenbar ist die Ursache das mehrmalige Erhitzen des Wachses, daß größere, gallertartige Wachsteile entstehen läßt, die dann zu obigen Problemen führen.

### **4. Oxidation des Oversprays**

Der flockig anfallende Overspray neigt zu starker Oxidation mit entsprechender Hitzebildung. Versuche mit anderen Wachsrezepturen, die einen geringeren Anteil an Trockensalzen enthielten verbesserten diesen feuergefährlichen Nebeneffekt nicht. Die chemische Reaktion führt zu Temperaturen bis an 200 Grad Celsius, die dazu führen, daß ein Teil des Oversprays verdampft und zu stechendem Qualm führt.

#### 4. Oxidation des Oversprays

Der flockig anfallende Overspray neigt zu starker Oxidation mit entsprechender Hitzebildung. Versuche mit anderen Wachsrezepturen, die einen geringeren Anteil an Trockensalzen enthielten verbesserten diesen feuergefährlichen Nebeneffekt nicht. Die chemische Reaktion führt zu Temperaturen bis an 200 Grad Celsius, die dazu führen, daß ein Teil des Oversprays verdampft und zu stechendem Qualm führt.

Da dieser Effekt nicht zwangsläufig nach Abschalten der Anlage auftritt sondern nur gelegentlich, ist die Gefahr groß, daß unbemerkt ein Feuer entstehen kann. Laut Aussagen des Wachsherstellers sollen die Temperaturen jedoch 200 Grad nicht überschreiten und eine Selbstentzündung daher nicht möglich sein. Während der gesamten Entwicklungszeit entstand nie Feuer.

#### 5. Leistung der Anlage

Der Mengendurchsatz von 400 qm pro Stunde konnte im Durchschnitt nicht erreicht werden. Der Durchsatz im Dauerbetrieb betrug 285qm pro Stunde einseitig. Hauptursache für diese Beschränkung ist die maximale Geschwindigkeit des Quersläufers, der in der Hin- und Herbewegung zu stark beschleunigt werden muß. Durch längere Produktionszeit ist das Kapazitätsproblem zu lösen. Ersparnisse wurden bei den Reinigungsintervallen erreicht.

#### 6. Auftragsmengen-Schwankungen

Die Auftragsmengen der Spritzmaschine schwankten trotz genauer Einstellung zwischen 20g/ qm und 35g/qm. Ursache der Schwankungen ist das nicht homogene Wachs.

Es muß versucht werden, diese Mengenschwankungen durch die Glätt- und Bürstmaschine aufzufangen.

#### Fazit:

Die Wachsspritztechnik ist im industriellen Mengenmaßstab rationell einsetzbar. Ungelöst bleiben Probleme mit der möglichen Selbstentzündung des Overspray. Die zur Zeit einzige Lösung sind verbesserte Brandschutzeinrichtungen, wie etwa die Besprinklerung des Spritzraums und der Absaugrohre.

## 7. Vorversuche zur beschleunigten Hartwachs-aushärtung

Eine der Eigenschaften von Wachsen und Ölen, die ihrer Verbreitung in der Möbelindustrie am stärksten entgegenstehen ist das sehr schlechte Trocknungsverhalten. Moderne Lacksysteme sind innerhalb weniger Sekunden nach ihrer Applikation getrocknet. Sie eignen sich entsprechend gut für jede Art von Fließfertigung.

Natürliche Hartwachs hingegen trocknen nur sehr langsam, je nach Bedingung zwischen 4 Stunden und 24 Stunden. Unterstellt man den zuvor ermittelten maximalen Durchsatz von 285 qm pro Stunde, so ergäbe sich im günstigsten Falle von nur 4 Stunden Trocknungszeit schon ein Flächenlagerungsbedarf 1140 qm in einer Trockenstraße. Solch ein großer Bedarf ist nur mit einem Hordenwagen-Trocknungskanal zu bewerkstelligen. Doch auch mit dieser Technik ergäbe sich noch ein riesiger Flächenbedarf, der kaum bereitgestellt werden könnte. Außerdem hat diese Technik den Nachteil der manuell Be- und Entladung.

Der Trocknungsprozess bei Wachsen ist ein oxidativer Prozeß. Das Entweichen von Lösemitteln spielt praktisch keine Rolle bei der Aushärtung.

Die Kernfrage ist also, wie kann der Oxidationsprozeß, welcher zur Aushärtung des Wachses führt beschleunigt werden.

Um diese Fragen zu klären, wurden eine Reihe von Vorversuchen gefahren, die die Aushärtung des Wachses unter verschiedenen Bedingungen zeigten.

Im einzelnen wurden Versuche mit folgenden Bedingungen durchgeführt:

- \* variable Umgebungstemperaturen
- \* variable Luftgeschwindigkeiten
- \* Kombination aus Luftgeschwindigkeiten und Lufttemperatur
- \* variabler Sauerstoffgehalt im Trockenraum
- \* Bestrahlung der Flächen mit UV-Licht
- \* Bestrahlung der Flächen mit Mikrowellen

#### \* variable Umgebungstemperaturen

Die Versuche mit variablen Umgebungstemperaturen wurden mit Hilfe eines beheizbaren Raumes gefahren. In diese Raum wurden elektrische Heizstrahler mit Temperaturregelung eingebaut, die bei Erreichen der Solltemperatur zur Abschaltung der Heizung führten.

Die maximale Testtemperatur wurde mit 90°C festgesetzt. Höhere Temperaturen über mehrere Minuten führen zu Schäden an den Massivholzplatten, insbesondere zu Problemen mit den Leimfugen.

Die Proben bestanden aus einer wachsbeschichteten Holzplatte sowie einer wachsbeschichteten Glasplatte. Die Glasplattenprobe zeigt ausschließlich die Veränderung des Wachses, bei der Holzplatte hingegen kommt es zu Wechselwirkungen mit dem Holz.

#### Ergebnisse:

Die Holzproben schienen mit zunehmender Temperatur trockener zu werden. Bei den Glasplattenproben hingegen zeigt der Wachs keine Anzeichen von Trocknung, er wird nur dünnflüssiger.

Die Ursache hierfür ist das Eindringen des erhitzten Wachses in das Holz. Eine Trocknung hat auch hier nicht stattgefunden.

#### \* variable Luftgeschwindigkeit

Für diese Versuchsreihe wurde ein drehzahlregelbarer Ventilator mit einem Rohr verbunden. Am Ende des Rohres wurde ein Übergang in 5 kleine einzelne Rohre angebaut, die aus flexiblem Gliedermaterial bestanden. Diese einzelnen Schläuche konnten verdreht werden, so daß die Luft in unterschiedlichen Winkeln auf das Werkstück auftraf.

Die erreichbaren Luftgeschwindigkeiten in den Endrohren konnten zwischen 15 und 35 m/sec variiert werden.

#### Ergebnisse:

Bei einer kurzen Einwirkdauer von bis zu 180 Sekunden ist kein Unterschied zwischen einer nicht behandelten und einer mit Luft angeblasenen Probe festzustellen. Erst nach über 20 minütiger Anblasung ist eine leicht beschleunigte Trocknung erkennbar. Bei maximaler Luftgeschwindigkeit ist dieser Effekt am stärksten. Ein Einfluß des Anblaswinkels war nicht feststellbar.

**\* Wirkung von Luftgeschwindigkeit und Temperatur**

Um die Trocknungswirkung von erwärmter Luft, die auf das Werkstück geblasen wird zu ermitteln, wurde die zuvor schon benutzte Anblasvorrichtung um ein Heizregister erweitert.

Um ausreichend Wärmeenergie zu bekommen, wurde das Heizregister an die vorhandene Heizungsanlage angeschlossen. Die Temperaturregelung erfolgte mittels Thermostatventil.

**Ergebnis:**

Bei Temperaturen über 60 °C entstehen Schäden an den Leimholzplatten wenn die Einwirkzeit 180 sec übersteigt. Die Platte beginnt sich deutlich zu werfen. Unterhalb von 180 sec ist dieser Effekt noch in tolerierbaren Grenzen. Das Trocknungsergebnis nach 180 sec ist nur marginal feststellbar. Erst nach 10 Minuten ist ein leichtes Antrocknen erkennbar, wobei das Werkstück aber schon stark verzogen ist.

**\* variabler Sauerstoffgehalt im Trockenraum**

Die Aushärtung von Wachsen ist ein oxidativer Prozeß. Es wurde daher testweise versucht festzustellen, ob bei höherem Sauerstoffgehalt der Umgebungsluft eine Auswirkung auf die Trocknungszeit gemessen werden könnte.

Um dies versuchsweise zu testen wurde der für den Temperaturtest genutzte Raum verwendet. Die Heizung der Kammer wurde abgestellt, und Sauerstoff eingeblasen. Die Probestücke blieben sodann über verschieden lange Zeiträume in dieser Gaskammer.

**Ergebnis:**

Ein Einfluß des Sauerstoffgehalts auf die Trocknung war nicht feststellbar. Dabei hatte auch die Konzentration des Sauerstoffs in der Gaskammer keinen meßbaren Einfluß auf die Trocknung.

#### \* Bestrahlung der Wachsflächen mit UV-Licht

Verschiedene Lacksysteme können gehärtet werden indem dem Lack sogenannte Photoinitiatoren beigemischt werden. Durch intensive UV-Strahlung verändern sich die Photoinitiatoren und lösen dadurch den Trocknungsprozeß aus.

Obwohl Wachse diese Photoinitiatoren nicht enthalten, sollte doch der Einfluß dieser hochenergetischen Strahlung auf die Wachstrocknung untersucht werden. Dies bot sich auch deshalb an, weil entsprechende UV-Trockner zur Verfügung standen und kein Bau erforderlich war.

#### Ergebnis:

Die UV-Bestrahlung heizt das Werkstueck und den Wachs stark auf. Dabei wird der Wachs sehr dünnflüssig und dringt tiefer ins Holz ein. Obwohl auch dieser Effekt wie eine Trocknung aussieht, zeigte sich bei den Glas-scheibenproben keine meßbare Antrocknung.

#### \* Bestrahlung der Wachsflächen mit Mikrowellen

Im Zusammenhang mit neuen Technologien für die Lack-trocknung wird auch zunehmend Mikrowellen-Technik eingesetzt. Um auch den Einfluß diese Wellen auf Wachs zu testen, wurden kleine Holzproben mit Wachs in Haus-halts-Mikrowellenherde getrocknet.

#### Ergebnis:

Der Effekt ist dem der erhöhten Umgebungstemperaturen gleich. Sowohl das Wachs, als auch das Holz erwärmen sich stark. Das flüssige Wachs dringt tiefer ins Holz, zeigt aber keine Anzeichen von Trocknung wie die Glas-scheibenvergleichsprobe zeigt.

#### Zusammenfassung der Ergebnisse:

Alle Trocknungsversuche zeigen unterhalb von 180 Sekunden keine meßbare Wirkung. Erst Einwirkzeiten oberhalb von 1200 Sekunden lassen eine Trocknungswirkung erkennen. Für eine Anlage mit der erforderlichen Kapazität wären mindestens 10 m/min Vorschub nötig. Bei 1200 Sekunden Ein-wirkzeit müßte eine Anlage mindestens 200 m lang sein. Solche Anlagen würden die Kosten der Wachsenanwendung so stark nach oben treiben, das die Technologie nicht mehr wirtschaftlich sein könnte.



**Fazit:**

Eine Technik zur beschleunigten Wachsaushärtung ist unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten nicht machbar. Das Heißwachsverfahren muß so konzipiert werden, daß auf eine beschleunigte Hartwachsaushärtung verzichtet werden kann.

Es muß eine rationelle Möglichkeit gefunden werden, frische, nicht getrocknete Wachsflächen aufeinander zu stapeln und zu lagern, ohne daß die Werkstücke miteinander verkleben.

## 9. Konstruktion einer Prototypenanlage zur Heißwachsverteilung und Glättung

Die negativen Ergebnisse bei den Versuchen zur beschleunigten Hartwachsahärtung zeigen, daß andere Lösungen für die Lagerung frisch gewachster Möbelteile gefunden werden müssen.

Die unter allen Bedingungen günstigste Alternative wäre ein Zustand der frisch gewachsenen Flächen, der ein weiteres Handling wie bei trockenen Werkstückoberflächen ermöglichen würde. Dabei spielen Stapelbarkeit und Staubtrockenheit eine sehr wichtige Rolle.

Um dies zu erreichen muß die Wachsfläche so gut poliert sein, daß zwei aufeinander liegende Flächen nicht miteinander verkleben. Nach der Wachsglättung in der Anlage werden die Werkstücke hinter der Anlage zunächst wieder aufgestapelt. Dabei liegen dann je eine Fläche die gewachst wurde und eine rohe und eine frische Holzfläche aufeinander. Nach einer Verweilzeit des Werkstückstapels von ca. 90 min auf dem Rücktransportband kann die einseitig aufgebrauchte Wachsfläche antrocknen bevor auch die Rückseite des Werkstücks gewachst wird.

Nach der Wachsapplikation und Glättung der Rückseiten liegen beim anschließenden Aufstapeln je eine frische und eine angetrocknete Wachsfläche aufeinander. Die Gefahr des Verklebens ist zu diesem Zeitpunkt am größten.

Das wichtigste Ziel bei der Konstruktion der Prototypenanlage zur Heißwachsverteilung und Glättung war es daher die frischen Wachsflächen so zu polieren, daß die Verklebeneigung minimiert wird.

Die weiteren Bedingungen waren die Erfüllung wirtschaftlicher Kriterien:

Kapazität	: 400 qm / h
Vorschubgeschwindigkeit	: 13,5m / min
Bürstenstandzeit	: 300000 qm
Anzahl notwendiger AN	: max. 3 Pers.
Platzbedarf	: max. 50 qm
elektischer Energiebedarf	: max. 50 KW

Eckdaten der Wachsglätt- und Bürstmaschine

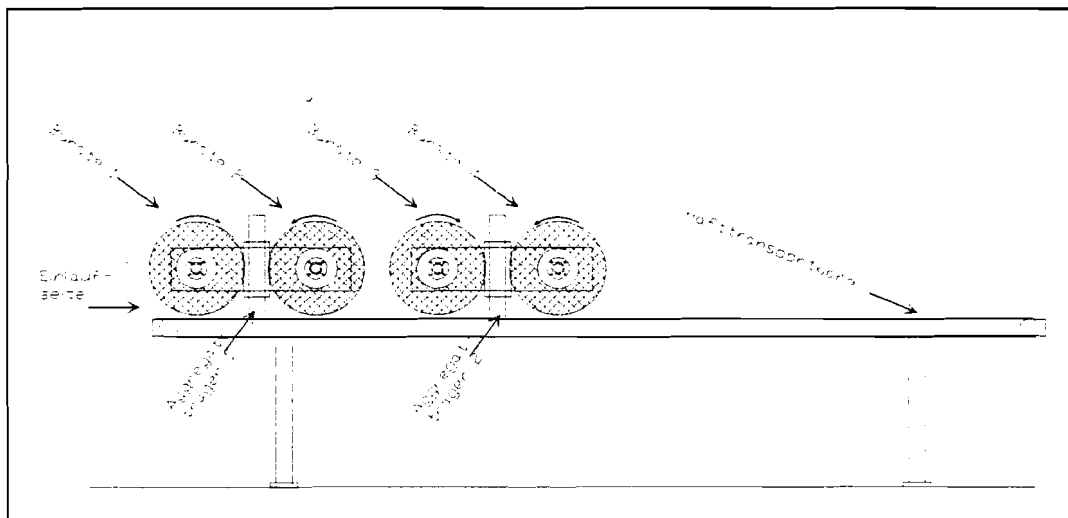
Die qualitativen Anforderungen an die Prototypen-  
anlage waren:

- geringste Farbveränderung an den Holzbeizen
- gleichmäßige Glanzverteilung
- keine sichtbaren Bürststrukturen
- möglichst saubere Kanten

Um die Prototypenanlage später als Bestandteil einer Wachsstraße benutzen zu können mußte die Maschine als Durchlaufmaschine konzipiert werden. Die Werkstücke sollten unter die Bürstaggregate her transportiert werden und die Aggregate feststehen.

Um eine eventuelle Nachbearbeitung der Wachsflächen und Kanten zu ermöglichen mußte der Transporttisch hinter dem letzten Bürstaggregat genug Platz bieten für je zwei Personen pro Maschinenseite.

Um eine gleichmäßige Verteilung der Wachsschicht über das gesamte Werkstück zu erreichen wurden eine Ausstattung der Maschine mit vier Bürstaggregaten gewählt. Je zwei Aggregate werden von einer höhenverstellbaren Aufhängung getragen. Die Bürstenwellen drehen sich gegenläufig, sodaß sich die Gefahr der Verschiebung der Werkstücke auf dem Transport verringert.



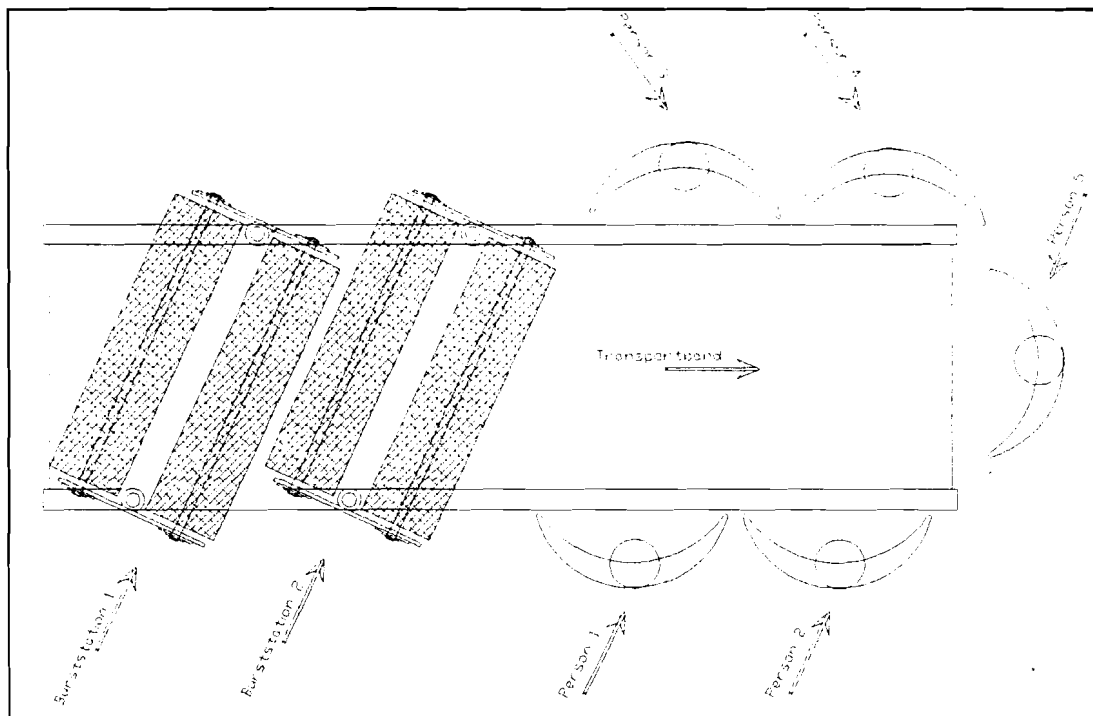
Schema Seitenansicht Wachsglätt- und Bürstmaschine

Die Drehzahl der Bürstwellen ist stufenlos regelbar. Für den Transport der Werkstücke wurde ein spezielles Haftband gewählt, um zu verhindern daß bei höherem Bürstdruck die Werkstücke davon fliegen.

Der Maschinentisch und die Aggregatträger wurden stark dimensioniert, da sie hohe Kräfte aufnehmen müssen. Jede Bürstwelle wurde mit einem 10 KW Motor ausgestattet.

Die einzelnen Bürstwalzen sind schräg zur Laufrichtung des Transportbandes angeordnet. Durch diese Art der Anordnung kann verhindert werden, daß durch ungleichmäßigen Auftrag beim Spritzen bestimmte Bereiche der Bürsten zuviel Wachs aufnehmen. Außerdem ergibt sich bei offenporigen Hölzern eine bessere Benetzung der Poren.

Seitlich am Maschinentisch ist Platz für bis zu vier Personen. Ihre Aufgabe besteht darin, überschüssigen Wachs, der durch die Bürsten in Profile und Ausfräsungen hineingebürstet wird, abzuwischen.



Schema Draufsicht Wachslätt - und Bürstmaschine

Die Bestückung der Bürstaggregate erfolgte mit Bürsten, die aus einer Kombination von Borsten und Schleifpapierstreifen bestanden. Diese Bürstenart hatte sich in den Vorversuchen als bester Kompromiss erwiesen.

Die Aufgabe des ersten Bürstenpaares ist die möglichst gleichmäßige Verteilung des Wachses über das gesamte Werkstück. Das Bürstenpaar zwei ist hingegen für das Polieren und die Feinglättung des Wachses zuständig.

In der Erprobungsphase wurden insgesamt ca. 30000 qm mit der Prototypenanlage gefahren. Dabei konnten folgende Erkenntnisse gesammelt werden.

#### 1. Stapelbarkeit der Werkstücke

Bei präziser Einhaltung der aufgespritzten Wachsmengen ist eine Glättung der Wachsoberfläche soweit möglich, daß gestapelte Werkstücke praktisch nicht mehr miteinander verkleben. Die Werkstücke trocknen dann problemlos im Stapel und das weitere Handling der Teile bis zur Endmontage ist sehr einfach.

#### 2. Ablösung kleiner Wachsklumpen

Es lösen sich häufiger kleine Wachsklumpen aus den Bürsten und bleiben auf den Werkstücken liegen. Passiert dies an den ersten drei Bürsten, so ist die nachfolgende vierte Bürste in der Lage die Klumpen noch wegzupolieren. Landen Wachsklumpen aus der letzten Bürste auf dem Werkstück müssen diese manuell abgewischt werden, sonst verkleben die Werkstücke an diesen Stellen.

#### 3. Wachsreste auf Kanten

An den Kanten der Werkstücke über die die Wachsbürsten hinwegstreichen setzt sich viel Wachs ab. Besonders an der Einlaufseite des Werkstücks ist dieser Effekt sehr ausgeprägt, da hier die erste Bürste, die den meisten Wachs enthält, sich gegen die Vorschubrichtung des Werkstücks dreht. Durch die Schrägstellung der Bürsten ist auch eine Werkstücklängskante immer relativ stark verschmiert. Dieser Wachsüberschuß muß sofort abgewischt werden, da er sonst festtrocknet und dann nur noch schwer zu entfernen ist.

#### 4. Ästhetische Oberfläche

Die Oberflächengüte in ästhetischer Hinsicht ist mit vier Bürsten sehr gut, solange sich in den Bürsten nicht zuviel Wachs eingelagert hat.

Wenn dies der Fall ist, zeigt die frische Wachsfläche Rattermarken, die auch nach dem Abtrocknen des Wachses sichtbar bleiben. Die schräg zum Werkstück verlaufenden Marken setzen sich durch ihre stumpfe Oberfläche vom Rest ab. Dieser Fehler kann nur durch nochmaliges wachsen beseitigt werden.

#### **5. Standzeit des Haftbandes**

Das Ablösen kleinerer Wachsklumpen aus den Bürsten verunreinigt nicht nur die Werkstücke sondern auch das Transportband. Mit zunehmender Verschmutzung des Transportbandes wird die Haftung zwischen Band und Werkstück immer schlechter, so daß die Werkstücke vom Bürstdruck immer mehr verschoben werden. Die Reinigung der offeneren und weichen Gummimischung der Transportbandoberfläche ist sehr zeitaufwendig und daher unwirtschaftlich. Das Transportband muß aus vorgenannten Gründen nach ca. 3000 Betriebsstunden erneuert werden.

#### **6. minimale Werkstückstärke**

Bei Werkstücken die weniger als 8 mm dick sind berühren die Bürsten das Transportband. Dadurch wird die weiche Gummioberfläche langsam abgeschliffen. Die Verschleißmessungen während der Erprobungsphase zeigen, daß dann, wenn ausschließlich Werkstücke die weniger als 8 mm dick sind gefahren werden, daß Transportband schon nach ca. 200 Betriebsstunden ersetzt werden muß.

#### **7. Standzeit der Bürsten**

Der Bürstenverschleiß während des Probetriebs hat zwei verschiedene Ursachen. Ein relativ langsamer Verschleiß der Bürsten tritt durch Abnutzung ein. Dadurch ist nach längerem Einsatz die Bürste in den Bereichen wo immer Werkstücke liegen stärker abgenutzt als in den Randbereichen. Werden dann Werkstücke gefahren, die sehr breit sind, ist der Bürstdruck nicht mehr gleichmäßig und es entstehen sichtbare Spuren auf der Wachsfläche. Ein Austausch des kompletten Bürstensatzes ist dann erforderlich.

Die zweite Ursache für den Verschleiß der Bürsten ist das Verschmutzen der Bürsten mit Wachs. Die Bürsten nehmen ständig Wachs auf und geben diesen wieder an die Werkstücke ab. Laufen Werkstücke in die Maschine, auf die zuviel Wachs gespritzt wurde nehmen die Bürsten den überschüssigen Wachs auf. Kommen Werkstücke mit zu wenig Wachs so geben die Bürsten Wachs ab. Dieser Ausgleich funktioniert über bis zu 10 lfdm Werkstücke.

Wenn bei Schichtende die Bürsten abgeschaltet werden trocknen die Wachsreste in den Bürsten fest und lösen sich beim nächsten Arbeitsbeginn nicht wieder vollständig an. Dadurch baut sich die Wachsmenge in den Bürsten immer stärker auf, bis sie fast völlig verklebt sind.

Die Verklebung der Bürsten ist nach 700 Betriebsstunden so stark, daß zumindest die ersten zwei Bürsten erneuert werden müssen. Diese kurzen Standzeiten sind bei den hohen Preisen für Bürsten sehr kostenträchtig und belasten die Gesamtkosten des Wachsverfahrens entsprechend.

#### 8. Verunreinigung durch Farbpartikel

Eine Verunreinigung der Wachsbürsten tritt auch durch den Abrieb von Farbpartikeln von der geheizten Holzoberfläche auf. Diese Farbpartikel werden vom Wachs in der Bürste gebunden. Zum Problem werden die Farbpartikel dann, wenn von einem dunkleren Farbton auf einen hellen umgestellt wird. Die ersten Werkstücke der hellen Charge sind dann mit Farbresten der vorherigen Charge verunreinigt. Dies läßt sich nur vermeiden, indem nach einem Farbwechsel erst ungewachste Flächen durch die Bürstmaschine laufen. Die Bürsten geben dann ihren überschüssigen Wachs und damit auch die Farbe ab.

#### Fazit:

Eine frisch aufgespritzte Wachsfläche läßt sich mit einer Glätt- und Bürstmaschine soweit bearbeiten, daß die Fläche poliert und stapelfähig ist. Die Durchlaufgeschwindigkeit läßt eine rationelle Fertigung zu, lediglich der Bürstenverbrauch müßte noch gesenkt werden. Werden viele Werkstücke mit weniger als 8 mm Dicke gefahren, ist das Verfahren untauglich, da das Transportband von den Bürsten zu schnell zerstört wird.

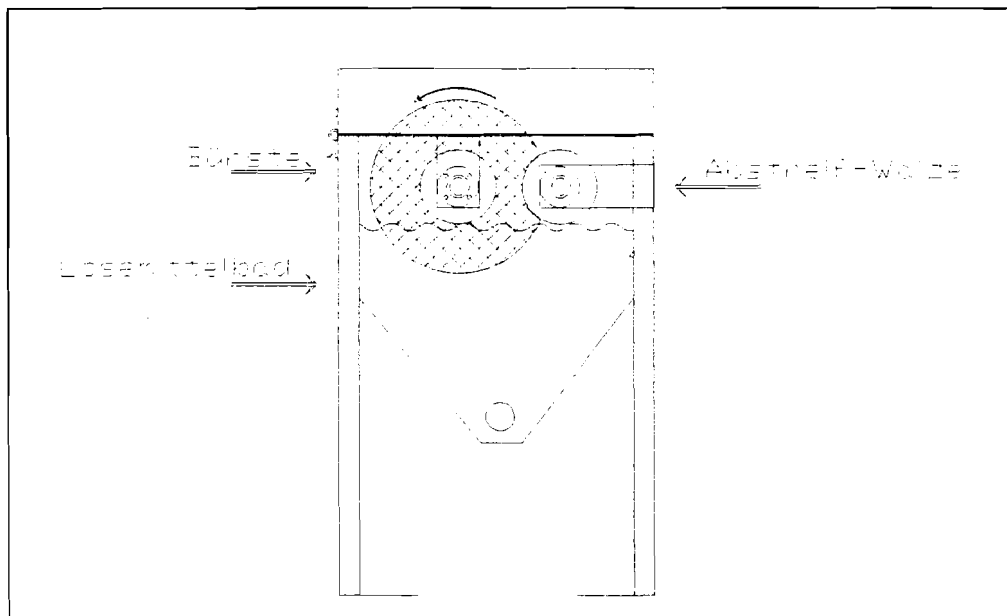
## 9. Konstruktion einer Reinigungsvorrichtung für verschmutzte Wachsbürsten

Die Verschmutzung der Wachsbürsten bei der Wachsverteiler- und -glättmaschine ist ein wesentlicher Kostenfaktor bei diesem Prozeß. Nach Erkenntnissen aus der Erprobungsphase dürfte ein Bürstensatz ca. 100000 qm Standzeit haben. Muß der Bürstensatz erneuert werden, so liegen die Kosten pro qm bei ca. 0,12 DM. Dies sind ca. 11% der Gesamtkosten der Wachsapplikation.

Um das Verfahren wirtschaftlicher zu machen ist es erforderlich diese Kosten erheblich zu senken. Dies kann erreicht werden, indem die wachsverschmutzten Bürsten in einer entsprechenden Vorrichtung gereinigt werden. Das Ziel ist die Senkung der qm-Kosten um 80%.

Manuelle Vorversuche mit einzelnen Bürstensegmenten haben gezeigt, daß sich getrockneter Wachs in einem Lösemittelbad langsam wieder auflöst. Beschleunigt wird dieser Vorgang, wenn ein mechanisches Waschen hinzukommt.

Entsprechend diesen Erkenntnissen wurde eine Vorrichtung konstruiert, die die Wachsbürsten mit Lösemittel tränkt und mechanisch wäscht.



Schema Seitenansicht Bürstenreinigung



## 10. Bau, Montage und Erprobung der Bürsten - Reinigungsvorrichtung

Die verschmutzten Bürsten werden mit ihrem Walzenkern aus der Bürstmaschine entnommen und in die Reinigungsvorrichtung eingebaut. Über eine Kette wird die Walze mit 5 U/min durch das Lösemittelbad gedreht.

Die verstellbare Abstreifwalze wird zunächst ganz zurückgedreht, so daß kein Lösemittel aus der Bürste herausgedrückt wird.

Nach einer Anlösephase wird die Abstreifwalze schrittweise strämmer an die Bürste herangedreht, so daß sich bei jeder Umdrehung das Lösemittel aus der Bürste herausquetscht wird.

Als Lösemittel wurde Reinigungsverdünnung eingesetzt, die nach Gebrauch an die Lackfabrik zurück geliefert und dort wieder aufbereitet wird.

Das Fassungsvermögen der Reinigungsanlage beträgt 150 ltr.

Die Erprobung der Reinigungsvorrichtung brachte folgende Ergebnisse:

1. **Anlösezeit 24 Stunden**  
Für die Anlösung des Wachses muß die Anlage 12 bis 24 Stunden laufen. Da dies automatisch ohne Aufsicht möglich ist, kann dies am besten über Nacht geschehen.
2. **Waschdauer 2 Arbeitstage**  
Das mechanische Waschen dauert ca. 2 Arbeitstage je 8 Stunden. Dabei wird die Abstreifwalze im Rythmus von ca. 60 min dichter an die Bürste herangedreht. Dieser Arbeitsgang dauert jedesmal etwa 2 Minuten und kann somit zwischendurch von Personen mitgemacht werden.
3. **Bürste voll regenerierbar**  
Die Reinigungsverdünnung löst das in der Bürste befindliche Gewebeschleifband nicht auf. Nach der Reinigung ist die Bürste fast vollständig von Wachs befreit und ist so funktionsfähig wie eine neue Bürste.
4. **pro Bürstenreinigung 8kg Wachs**  
Ein Vergleich des Gewichtes vor und nach der Reinigung ergab, daß eine Bürste ca. 8 kg Wachs enthält, die ausgewaschen werden.

5. Eine Lösemittelfüllung von 150 Ltr. reicht für die Reinigung von 1 Bürste. Danach muß neue Verdünnung eingesetzt werden.
6. Die Kosten für die Reinigung einer Bürste liegt damit ohne Montagekosten bei etwa 170 DM. Bezogen auf den einen qm Wachsfläche sind das 0,007 DM.

**Fazit:**

Das Reinigen der verschmutzten Wachsbürsten ist mit der Reinigungsvorrichtung relativ einfach und kostengünstig zu lösen. Es fördert die Wirtschaftlichkeit der Heißwachsbeschichtung.

## 11. Konstruktion einer Overspray - Recycling- Anlage für Heißwachs

Der Wachsverbrauch beim Heißwachsspritzen resultiert zu etwa 25% aus Overspray. Ein großer Teil hiervon schlägt sich auf den Prallwänden in der Spritzmaschine nieder. Er wird wöchentlich bei der Maschinenreinigung abgetragen. Es fallen dabei jeweils etwa 25 kg an. Dies entspricht 20 % des Wachsverbrauchs der Anlage.

Um die Möglichkeiten der Rückgewinnung der Wachsoversprays zu untersuchen, wurde einige Vorversuche angestellt.

Zunächst sollte festgestellt werden, ob sich der Wachsoverspray nach Verflüssigung wieder in den pastösen Ausgangszustand zurück versetzen läßt.

Hierzu wurde flockiger Wachsoverspray in einem Stahltopf erhitzt. Bei Temperaturen von 200 °C wurde der Overspray verflüssigt. Dabei fängt die flüssige Masse an zu kochen und es verdampfen Bestandteile unter starker Geruchsentwicklung.

Bei dem ausdampfenden Gas handelt sich um leicht flüchtige Bestandteile des Leinöls. Das Leinöl hält den frischen Wachs pastös. Wenn die verbleibende Masse erkaltet, bildet sich eine zähe und sehr kleberige Masse.

Bei genauer Betrachtung ist erkennbar, daß auch noch kleine feste Bestandteile enthalten sind. Es handelt sich dabei um Staub und nicht aufgelöste Wachsbestandteile.

Da die Masse sehr zäh ist, können die festen Bestandteile nicht mit Hilfe eines Filters abgeschieden werden.

Die Zusetzung von Leinöl um die Wachsmasse dünnflüssiger zu machen bereitet ebenfalls Probleme. Das Leinöl vermischt sich nicht ausreichend mit der Restwachsmasse. Das Material ist auch nach Zugabe von Leinöl nicht zu filtern.

Das durch Einschmelzung des Wachsoversprays erhaltene Wachs ist für eine weitere Spritzverwendung zu zäh, klebrig und verunreinigt.

**Fazit:**

Der Bau einer Anlage zum Recycling des Wachsoversprays ist nicht sinnvoll. Das recycelte Material ist qualitativ so schlecht, dass es nicht wieder verwendet werden kann. Die Kosten für die Aufbereitung des Materials zu Wiederverwendung wären zu hoch. Der Bau einer Recycling-Vorrichtung macht keinen Sinn.

## 12. Montage einer Versuchs-Fertigungseinrichtung zur kompletten Hartwachsbeschichtung

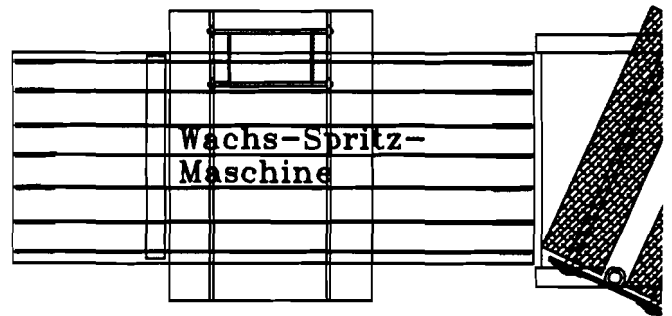
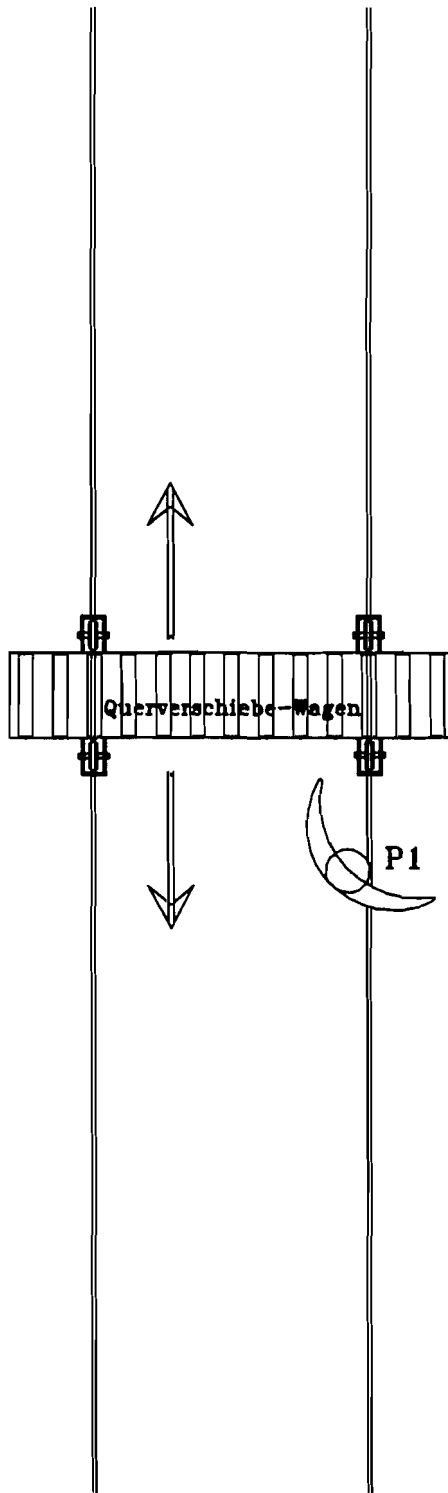
Nachdem die einzelnen Komponenten des Heißwachs-spritzverfahrens konstruiert, gebaut und getestet wurden mußte die Anlage nun als Durchlaufstraße eingerichtet werden.

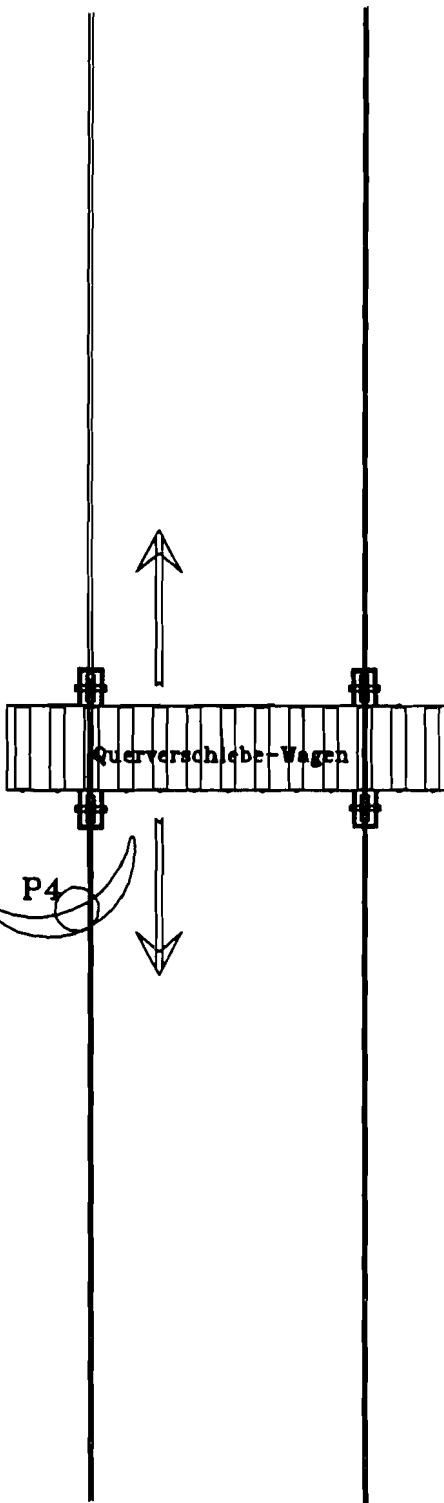
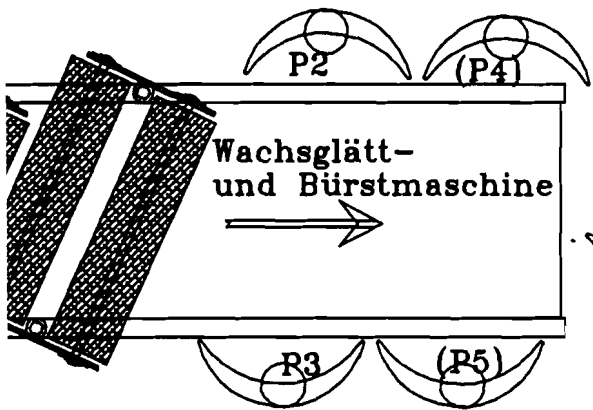
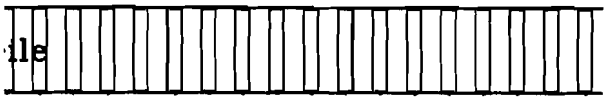
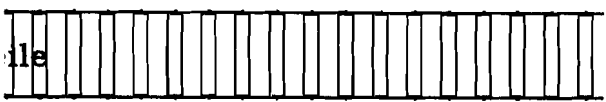
Für die Durchlaufanlage war ein Personaleinsatz von normal 4 Personen vorgesehen. Bei Bedarf kann die Zahl auf 6 erhöht werden. Dabei ist je eine Person für das Beschicken und Abstapeln eingeplant. Die restlichen 2 Personen müssen die Kanten, die zuviel Wachs bekommen haben nachputzen.

Um die Maschinen aneinander stellen zu können wurden Wachsspritzmaschine und Wachsglätt- und Bürstmaschine auf die gleiche Vorschubgeschwindigkeit einjustiert.

Um einen möglichst seriennahen Test zu ermöglichen wurden entsprechende Rollenbahnen aufgebaut, damit Platz für einen reibungslosen Materialfluß vorhanden ist.

Das Layout wurde so gewählt, daß die ungewachsenen Teile von den Vorratsrollenbahnen auf den Querverschiebewagen geschoben werden konnte. Die Bedienperson 1 schiebt den Querwagen dann vor die Wachsspritzmaschine. Von dort aus kann er die Maschine dann mit Werkstücken belegen. Die Werkstücke laufen durch die Wachsspritzstraße und anschließend in die Wachsglätt- und Bürstmaschine. Nun putzen die Personen 2 und 3 (ev. 4 und 5) die Kanten sauber und Person 4 stapelt die Werkstücke auf den zweiten Quertransportwagen. Von dort aus werden dann die einseitig gewachsenen Teile auf die Rücktransportbahnen geschoben und laufen zurück zur Person 1. Diese holt sich dann die Werkstückstapel mit Hilfe des Querwagens wieder vor die Wachsspritzmaschine und läßt die Werkstücke nochmal von der zweiten Seite durch die Maschine. Nach diesem zweiten Durchlauf sind die Werkstücke beidseitig gewachst und werden zur Zwischenlagerung weitergeschoben.





### 13. Durchführung von Serienfertigungs-ähnlichen Versuchen

Nach der Montage der Heißwachsspritzstraße erfolgte ein ausführlicher Test der Anlage. Dabei wurden über einen Zeitraum von vier Wochen der Volllastbetrieb erprobt.

Die Verbindung der einzelnen Maschinen zu einer Durchlaufanlage förderte keine speziellen Probleme zu Tage, die mit der Aneinanderkopplung der Maschinen zu tun hatten.

Die quantitativen Ergebnisse der Versuchsreihe waren:

gesamte Produktionsmenge	:	36575 qm
gesamte Stückzahl	:	114725 St.
gesamte Produktionszeit	:	9324 min
Besetzung	:	4 Pers.

Nettoausführungszeit	:	6825 min.
Rüstzeiten Reinigung	:	810 min.
Rüstzeiten Wachsnachschub	:	240 min.
Rüstzeit Materialtransport	:	1112 min.
sonstige Zeiten	:	337 min.
Nutzungsgrad der Anlage	:	73,2%

Wachsverbrauch gesamt	:	640 kg
Overspraymenge nach Reinigung	:	93 kg

Gesamtkosten für die Wachsapplikation der Probeserie:

Lohnkosten	:	26.723 DM
Materialkosten	:	9.568 DM
ant. Bürstenver:	:	1.100 DM

Kostensatz : 0,79 DM /qm

Berücksichtigt man, daß beim Wachsen ein Lack-zwischenschliff völlig entfällt, so ist das Wachsverfahren letztendlich günstiger als ein Lackierverfahren.

Der Nutzungsgrad von 73,2% belegt, daß die Produktion nur durch wenige Störungen beeinträchtigt wurde.



### 13. Durchführung von Serienfertigungs-ähnlichen Versuchen

Nach der Montage der Heißwachsspritzstraße erfolgte ein ausführlicher Test der Anlage. Dabei wurden über einen Zeitraum von vier Wochen der Volllastbetrieb erprobt.

Die Verbindung der einzelnen Maschinen zu einer Durchlaufanlage förderte keine speziellen Probleme zu Tage, die mit der Aneinanderkopplung der Maschinen zu tun hatten.

Die quantitativen Ergebnisse der Versuchsreihe waren:

gesamte Produktionsmenge	:	36575 qm
gesamte Stückzahl	:	114725 St.
gesamte Produktionszeit	:	9324 min
Besetzung	:	4 Pers.

Nettoausführungszeit	:	6825 min.
Rüstzeiten Reinigung	:	810 min.
Rüstzeiten Wachsnachschub	:	240 min.
Rüstzeit Materialtransport	:	1112 min.
sonstige Zeiten	:	337 min.
Nutzungsgrad der Anlage	:	73,2%

Wachsverbrauch gesamt	:	640 kg
Overspraymenge nach Reinigung	:	93 kg

Gesamtkosten für die Wachsapplikation der Probeserie:

Lohnkosten	:	26.723 DM
Materialkosten	:	9.568 DM
ant. Bürstenver:	:	1.100 DM

Kostensatz : 0,79 DM /qm

Berücksichtigt man, daß beim Wachsen ein Lack-zwischenschliff völlig entfällt, so ist das Wachsverfahren letztendlich günstiger als ein Lackierverfahren.

Der Nutzungsgrad von 73,2% belegt, daß die Produktion nur durch wenige Störungen beeinträchtigt wurde.

Die häufigsten Störungen an der Anlage wurden verursacht durch ein Verstopfen der Spritzpistolen. Ursache hierfür sind gallertartige Bestandteile im Wachs. Eine weitere Ursache ist die offenbar zu starke Abkühlung der Spritzpistolen.

#### 14. konstruktive Überarbeitung der einzelnen Bearbeitungsstationen

Zur Behebung der Spritzprobleme wurde ein zusätzlicher Zwischenfilter in die Heißwachsleitung eingebaut. Dieser Filter ist leicht zugänglich und kann daher gut gereinigt werden. Als weitere Maßnahme wurden die einzelnen Spritzpistolen verstärkt mit Wärmeisolation umwickelt. Auf diese Weise sollte eine übermäßige Abkühlung der Pistolen verhindert werden.

Nach Durchführung der obigen Änderungen ergaben die nachfolgenden Tests eine spürbare Verbesserung der Verstopfungsneigung. Gänzlich ließ sich das Problem jedoch nicht beheben.

#### 15. abschließender Test der Hartwachsbeschichtung

Um nach Abschluß aller technischen Maßnahmen zur Wachsapplikation letztendliche Gewißheit über den ökologischen Vorteil der Hartwachsapplikation zu bekommen, wurde eine Hartwachsfläche zur Untersuchung an eine Prüfanstalt übergeben.

Die Landesgewerbeanstalt Bayern in Nürnberg untersuchte die Wachsflächen, die in einer Probe als Wachsfläche mit vorheriger Beizgrundierung (Hartgrund) und als reine Wachsfläche vorlagen.

Die Ergebnisse bestätigen die wohnbiologische Vorteilhaftigkeit der Wachsflächen insbesondere im Verhältnis zu herkömmlichen Flächen (Details siehe Prüfbericht).

## 1. Methodik

Die Proben wurden mittels Headspace-Technik am GC-MSD im SCAN-Modus analysiert.

## 2. Untersuchungsergebnisse

### 2.1 Hartgrund

Folgende Verbindungen konnten nachgewiesen werden:

- Aromatische Kohlenwasserstoffe (Toluol, Ethylbenzol, Xylol)	Σ	<0,1 Gew. %
- Butylacetat		<0,1 Gew. %

### 2.2 Hartwachs

- aromatische Kohlenwasserstoffe (Toluol, Ethylbenzol, Xylol)	Σ	<0,1 Gew. %
- Hexanal		<0,1 Gew. %
- längerkettige Alkane (ab C-10)		<0,1 Gew. %
- Methylpropylcyclohexan		<0,1 Gew. %
- Ethylcyclohexen		<0,1 Gew. %

**Bemerkung:**

Die obengenannten Verbindungen, welche im Hartgrund und Hartwachs nachgewiesen wurden, sind Substanzen mit intensivem Geruch. Obwohl diese nur in Spuren in beiden Proben vorhanden sind, können diese als Geruch wahrgenommen werden. Die vorhandenen Konzentrationen liegen unterhalb der Bestimmungsgrenzen. Dies bedeutet, daß eine exakte quantitative Bestimmung nicht mehr möglich ist.

Bei den Verbindungen: - Butylacetat  
- Hexanal  
- Ethylcyclohexen (Terpen)  
- Methylpropylcyclohexan (Terpen)

handelt es sich um Substanzen, welche in natürlichen Wachsen vorkommen.

Die aromatischen Kohlenwasserstoffe (Toluol, Ethylbenzol, Xylole) sind vermutlich Lösemittelrückstände aus der Gewinnung der Wachsse.

Nürnberg, den 17.07.1995  
Wü/Ho

LGA - Bereich Umweltschutz  
Analytikzentrum  
i. A.



Dr. N. Hessenauer  
Dipl.-Chemiker

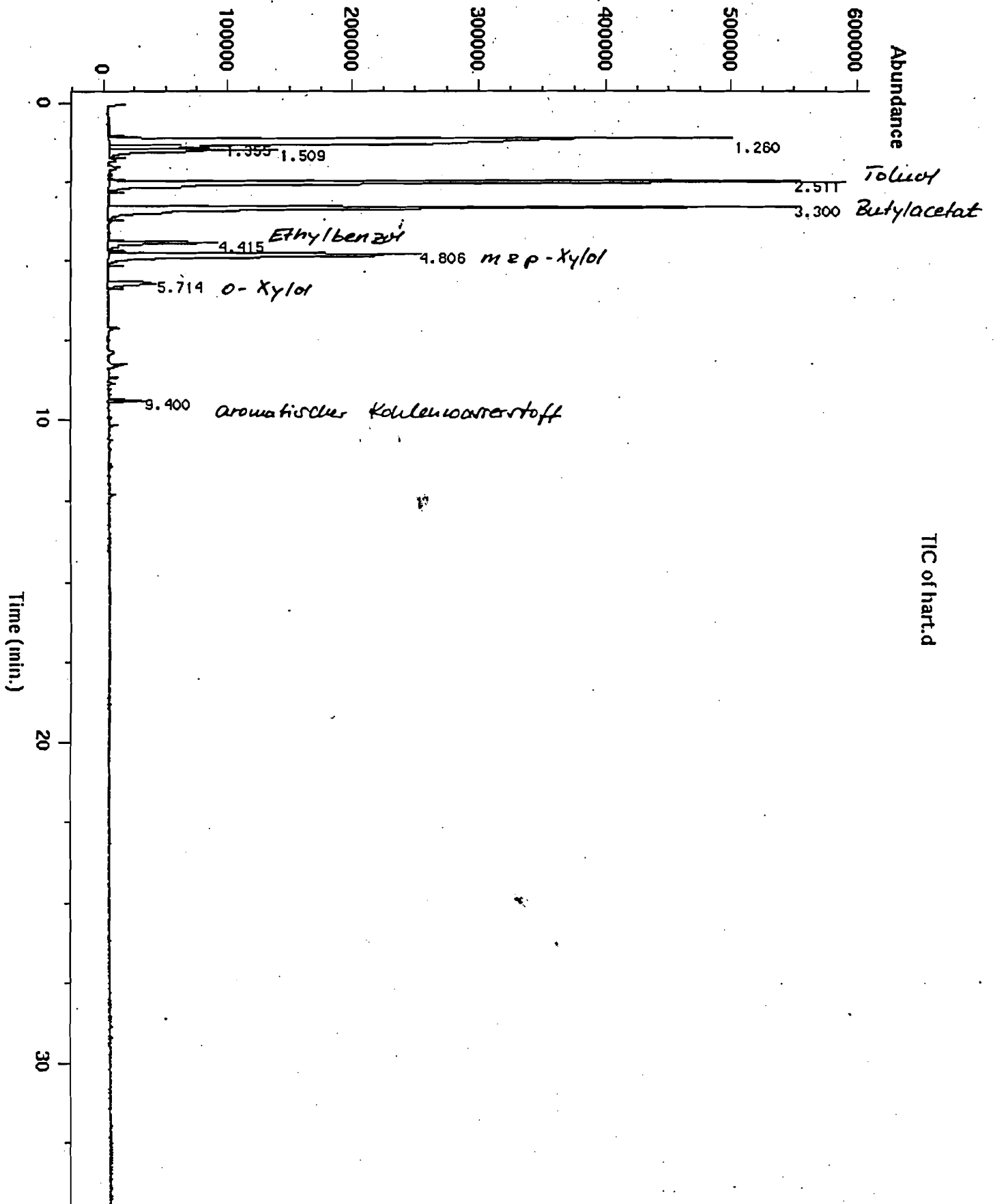


Bearbeiter:



U. Lindner  
Chem.-Laborantin

Hartgrund



Hartwachs

