

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl [3713 43 335]  
UBA-FB-00

## **Vorbereitungsstudie zur Ermittlung des Standes der Technik bei Anlagen zur Herstellung von Holzmöbeln unter Einbezug von Energieeffizienzmaßnahmen**

von

Alexander Potrykus, BiPRO GmbH, München

Milos Milunov, BiPRO GmbH, München

BiPRO GmbH, Grauertstr. 12, 81545 München

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Oktober 2014



## Kurzbeschreibung

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse einer Vorbereitungsstudie zur Ermittlung des Standes der Technik bei Anlagen zur Herstellung von Holzmöbeln unter Betrachtung von Energieeffizienzmaßnahmen dar. Es wird ein Überblick über die angewandten Techniken in der Branche gegeben und ausgewählte konkrete Techniken zur Senkung von Energieverbräuchen werden in Form einer Fact-Sheet-Sammlung dargestellt.

Die Studie berücksichtigt Holzmöbel, welche hauptsächlich aus Holzwerkstoffen (Spanplatten, Faserplatten, Sperrholz, Holzformteile), Vollholz, Furnier oder anderen Holzbauteilen bestehen. Der Fokus des Vorhabens liegt dabei auf gängigen Möbeln wie z.B. Stühlen, Tischen und Schränken.

Auf dieser Grundlage wird der Industriesektor mit der grundsätzlichen Struktur der Branche, wie Anzahl, Größe und geografischer Verteilung der Anlagen sowie mit aktuellen Produktionszahlen und Wirtschaftsdaten für Deutschland dargestellt.

Die derzeit in der Holzmöbelproduktion angewandten Produktionsprozesse werden überblicksartig beschrieben und die jeweils wichtigsten Stoffströme und Emissionsquellen identifiziert und grafisch dargestellt. Im Einzelnen werden dabei die Prozesse Beschichtung und Trocknung der Holzbauteile, Konfektionierung (Sägen, Bohren usw.), Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen inklusive Montage im Werk sowie prozessassoziierte Feuerungsanlagen berücksichtigt. Zudem werden ausgewählte prozessübergreifende Techniken beschrieben, wie beispielsweise die Einführung von Umwelt- und/oder Energiemanagementsystemen, welche zur Vermeidung und Verminderung von Energieverbräuchen und Emissionen führen können.

Ausgewählte Techniken zur Senkung von Energieverbräuchen werden in Form von Fact-Sheets beschrieben. Die Fact-Sheets decken die folgenden Aspekte ab: technische Beschreibung, Energieeinsparungs- und Umweltentlastungspotenziale sowie medienübergreifende Auswirkungen, für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte, wirtschaftliche Auswirkungen und Informationen zu verwendeten Referenzunterlagen.

Die in der Vorbereitungsstudie erreichten Ergebnisse sollen als Informationsgrundlage für eine spätere umfassendere Ermittlung des Standes der Technik in der deutschen Holzmöbelherstellung dienen. Sie sollen in zukünftige Studien einfließen, in denen sie weiterentwickelt und konkretisiert werden. Zu diesem Zweck müssen in einem nächsten Schritt weitergehende und detailliertere Informationen erhoben werden, insbesondere auch konkrete Anlagendaten aus Anlagenbesichtigungen.

## Abstract

The present report represents the main findings/results of a preparatory study to determine best available techniques for the manufacturing of wooden furniture under consideration of energy efficiency measures. The report gives an overview of applied techniques within the sector and provides a description of selected techniques to reduce energy consumption in fact-sheets.

The preparatory study considers wooden furniture which is mainly made out of wooden materials/components (chipboards, fibreboards, plywood, moulded wood components), solid wood, veneer or other wooden materials. It considers common types of wooden furniture, as for example chairs, tables and wardrobes.

Initially, a brief introduction chapter provides recent general information about the industry sector in terms of number and size of installations, geographical distribution, production capacity and economics.

Further, a brief description of the production processes currently applied in the sector along with an indication of the techniques used to reduce energy consumption and emissions is included. The sequential steps in a typical manufacturing unit are described, as follows: coating and drying of wooden components, wood processing (sawing, drilling, etc.), assembly of fittings and non-wooden components incl. pre-assembly on the site and process associated combustion plants. In addition, a description of selected cross-process techniques/measures is included, such as the introduction of environmental and/or energy management systems, modernization of the lighting equipment, maintenance, etc. which can lead to the prevention and reduction of energy consumption and emissions.

Selected techniques, which are applied in order to reduce energy consumption, are further described in fact-sheets. The fact-sheets cover the following topics: technical description, potential environmental benefits and cross-media effects, applicability, economics and reference literature.

The main findings/results of the preparatory study should be used in a further step as a basis for the determination of best available techniques within the wooden furniture manufacturing industry in Germany. The findings should be incorporated in future studies and further specified and evolved. For this purpose, additional, more detailed information needs to be collected, especially information on facility level, obtained during site visits.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	9
Tabellenverzeichnis.....	10
Abkürzungsverzeichnis.....	11
Zusammenfassung .....	12
Summary .....	18
1 Vorwort .....	24
2 Anwendungsbereich.....	25
3 Allgemeine Informationen.....	26
4 Angewendete Prozesse und Verfahren .....	29
4.1 Beschichtung und Trocknung der Holzbauteile .....	29
4.2 Konfektionierung.....	34
4.3 Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen und Montage im Werk.....	37
4.4 Prozessassoziierte Feuerungsanlagen.....	39
4.5 Prozessübergreifende Maßnahmen zur Minderung von Emissionen und Energieverbräuchen.....	41
5 Techniken zur Senkung des Energieverbrauchs (Fact-Sheets) .....	43
5.1 Kantenanleimen mit Laser und Atmosphärendruckplasma.....	44
5.2 Verwendung von Stand-By-Systemen.....	47
5.3 Luftkissentische mit Lastabhängiger Luftkissensteuerung.....	48
5.4 Verwendung effizienter Motoren .....	50
5.5 Energieeffiziente Absaugung von Spänen und Staub .....	52
5.6 Luftrückführung nach Entstaubung .....	55
5.7 Rückgewinnung der Abbremsenergie .....	56
5.8 Einsatz reibungsarmer Mechaniken und Antriebssysteme .....	57
6 Applied techniques to reduce energy consumption (Fact-sheets) .....	59
6.1 Edge banding with laser and atmospheric plasma.....	59
6.2 Use of stand-by systems .....	62
6.3 Air cushion tables with load dependent control.....	63
6.4 Use of energy efficient motors .....	64
6.5 Energy efficient extraction of chips and dust.....	67
6.6 Air recirculation after dust removal .....	69
6.7 Recovery of breaking energy.....	71
6.8 Application of low friction mechanics and drive systems .....	72

7 Literatur- und Quellenverzeichnis..... 73

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Wertmäßiger Anteil ausgewählter Holzmöbelgüterarten an der Jahresproduktion von Holzmöbeln.....	28
Abbildung 2:	Stoffströme und Emissionsquellen (Beschichtung und Trocknung) .....	30
Abbildung 3:	Stoffströme und Emissionsquellen (Konfektionierung).....	35
Abbildung 4:	Stoffströme und Emissionsquellen (Anbringen von Beschlägen).....	38
Abbildung 5:	Stoffströme und Emissionsquellen (Prozessassoziierte Feuerungsanlagen).....	40

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl der Betriebe und Beschäftigten in der Möbelbranche ....	26
Tabelle 2:	Anzahl der Betriebe und Beschäftigten nach Bundesländern ....	26
Tabelle 3:	Übersicht über die in Deutschland hergestellten Holzmöbel in 2012 .....	27
Tabelle 4:	Übersicht über Einsatzstoffe und Techniken (Oberflächenbeschichtung), [EC 2007].....	31



## Abkürzungsverzeichnis

1. BImSchV	Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38) (Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes)
AltholzV	Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV) vom 15. August 2002 (BGBl. I S. 3302)
BVT	Beste Verfügbare Techniken
CNC	Computerized Numerical Control
EVA	Ethylvinylacetat
IEC	International Electrotechnical Commission
IR	Infrarot
LED	Leuchtdiode (engl. light-emitting diode)
NC	Numerical Control
PU	Polyurethan
PVAC	Polyvinylacetat
UBA	Umweltbundesamt
UF	Urea Formaldehyd
UV	Ultraviolett
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (engl. Volatile Organic Compounds)

## Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse einer Vorbereitungsstudie zur Ermittlung des Standes der Technik bei Anlagen zur Herstellung von Holzmöbeln unter Betrachtung von Energieeffizienzmaßnahmen dar. Es wird ein Überblick über die angewandten Techniken in der Branche gegeben und ausgewählte konkrete Techniken zur Senkung von Energieverbräuchen werden in Form von Fact-Sheets dargestellt.

Der Fokus des Forschungsvorhabens liegt auf gängigen Möbeln aus Holz wie beispielsweise Stühlen, Tischen und Schränken. Als Holzmöbel werden Möbel angesehen, die hauptsächlich (Richtwert 80%) aus Holzwerkstoffen (Spanplatten, Faserplatten, Sperrholz, Holzformteile), Vollholz, Furnier oder anderen Holzbauteilen bestehen.

Das Vorhaben betrachtet die folgenden Prozesse der Holzmöbelherstellung:

- ▶ Beschichtung und Trocknung der Holzbauteile
- ▶ Konfektionierung (Sägen, Bohren, usw.)
- ▶ Anbringung von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen und Montage im Werk
- ▶ Prozessassoziierte Feuerungsanlagen
- ▶ Prozessübergreifende Maßnahmen zur Minderung von Energieverbräuchen und Emissionen

Die Datenerhebung ist spezifisch auf diese Tätigkeiten ausgerichtet. Nicht betrachtet werden die Herstellung der Holzbauteile selbst (z.B. Herstellung von Rohplatten) sowie die Produktion von Beschlägen und anderen Nicht-Holzbauteilen.

Zu Beginn des Berichtes werden allgemeine Informationen zum Industriesektor dargestellt. Die grundsätzliche Struktur der Branche, wie die Anzahl, Größe und geografische Verteilung der Anlagen, sowie die aktuellen Produktionszahlen und Wirtschaftsdaten werden ermittelt und zusammengefasst.

Die deutsche Holzindustrie setzt sich im Wesentlichen aus der Möbelindustrie, der Produktion von Bauelementen einschließlich der Fertighausindustrie, der Holzwerkstoffindustrie sowie der übrigen Holzverarbeitung zusammen. Im Bereich der Möbelindustrie unterscheidet das Statistische Bundesamt bei seinen Erhebungen die übergreifenden Bereiche Herstellung von Büro- und Ladenmöbeln, Herstellung von Küchenmöbeln, Herstellung von Matratzen und Herstellung von sonstigen Möbeln. Im Projektzusammenhang sind insbesondere die Herstellung von Küchenmöbeln, Büro- und Ladenmöbeln und sonstigen Möbeln von Bedeutung.

In den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg befinden sich etwa 64 % der Betriebe. Die Anzahl der Betriebe und Beschäftigten in der Möbelbranche verringerte sich geringfügig in den letzten Jahren. Der Wert der Jahresproduktion von Holzmöbeln lag in 2012 bei etwa 11,4 Milliarden Euro. Die Produktion von Einbauküchenelementen aus Holz, Ladenmöbeln aus Holz, Teilen für Möbel aus Holz, Schlafzimmerschränken aus Holz und Polstersesseln mit Gestell aus Holz trägt mit mehr als 60 % zum Gesamtwert der Jahresproduktion bei.

Im Anschluss an die allgemeine Beschreibung des Industriesektors folgt eine Zusammenfassung der gegenwärtig in den Anlagen der Holzmöbelproduktion angewandten Produktionsprozesse. Es werden die aufeinanderfolgenden Produktionsschritte einer typischen Fertigungsstätte aufgeführt. Diese beinhalten üblicherweise Folgendes:

### *Beschichtung und Trocknung der Holzbauteile*

Unter Beschichten versteht man ein Fertigungsverfahren, in dem ein formloser Stoff mit bestimmter Schichtdicke auf die Oberfläche eines Werkstückes aufgebracht wird. Im Fall von Holzbauteilen dient

die Beschichtung zunächst dem Schutz des Werkstoffes vor Nässe, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, etc. oder auch vor mechanischer Abnutzung. Weiterhin kann durch eine Beschichtung auch die Optik des Möbelstücks beeinflusst werden.

### *Konfektionierung*

Bevor durch Anbringen von Zusatzbauteilen und der Endmontage ein fertiges Möbelstück entsteht, müssen die unbearbeiteten Holzbretter oder -platten zu Halbzeugen weiterverarbeitet werden. Dazu werden die Holzbretter und -platten durch verschiedene Zerspanungstechniken (Bohr-, Säge-, Frästechniken) formatiert. Durch die zerspanenden Verfahren werden z.B. Nuten, Falzen, Winkel, Bogen und Bohrungen im Werkstück angebracht bzw. generell das Werkstück auf die gewünschten Maße formatiert.

### *Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen inkl. Montage im Werk*

Die konfektionierten und beschichteten Holzbauteile werden in einem weiteren Produktionsprozess mit Beschlägen versehen. Des Weiteren können zusätzliche Holz und/oder Nicht-Holzbauteile angebracht werden. Der Übergang zur Montage im Werk wird als fließend betrachtet. Beispiele für angebrachte Beschläge sind Scharniere, Griffe, Auszugsführungen, Fachbodenträger, Verbindungselemente, Rollen, Räder oder Schlösser. Zusätzlich angebrachte Nicht-Holzbauteile können z.B. Funktions- oder Designelemente u.a. aus Kunststoff, Metall, Textilien oder Stein sein.

### *Prozessassoziierte Feuerungsanlagen*

Betriebe ohne eigene Feuerungsanlage können das im Betrieb anfallende Restholz an geeignete Recyclingunternehmen abgeben. Betriebe mit eigener Holzfeuerung können das Restholz z.B. zur Beheizung des eigenen Betriebes (z.B. Büroräume, Produktionshallen) verwenden. Hierzu stehen unterschiedlichste Anlagentypen zur Verfügung.

Nach der allgemeinen Zusammenfassung der gegenwärtig in den Anlagen der Holzmöbelproduktion angewandten Produktionsprozesse folgt die Identifizierung und Beschreibung wichtigster Stoffströme und Emissionsquellen der jeweiligen Prozesse. Des Weiteren werden die zur Vermeidung und Verminderung von Verbräuchen und Emissionen angewandten Techniken aufgeführt. Diese werden meist in nicht investive Maßnahmen, investive Maßnahmen und Maßnahmen bei Anlagenersatz unterteilt.

Das Forschungsvorhaben berücksichtigt insbesondere Techniken zur Verminderung von Energieverbräuchen. Abgerundet wird die Betrachtung durch eine Beschreibung ausgewählter prozessübergreifender Techniken/Maßnahmen (Querschnittstechnologien), wie z.B. die Einführung von Umwelt- und/oder Energiemanagementsystemen, Modernisierung der Beleuchtungstechnik, Wartung und Instandhaltung, etc., welche zur Verminderung von Energieverbräuchen und Emissionen führen können.

Ausgewählte Techniken zur Senkung des Energieverbrauchs wurden zudem in Fact-Sheets beschrieben. Soweit möglich, decken die Fact-Sheets folgende Punkte ab:

### *Technische Beschreibung*

Ausführliche, aber dennoch übersichtliche und verständliche technische Beschreibung der angewandten Technik.

### *Energieeinsparungs- und Umweltentlastungspotenziale sowie medienübergreifende Auswirkungen*

Darstellung und Quantifizierung von Energieeinsparpotenzialen (CO<sub>2</sub> Entlastungspotenziale), insbesondere durch die Angabe von CO<sub>2</sub> Emissionswerten und Reduktionspotenzialen durch den Einsatz der Techniken (z.B. in %). Des Weiteren werden zusätzliche Emissionen wie z.B. VOC, Staub

und weitere Umweltentlastungspotenziale betrachtet (z.B. Einsparung von Ressourcen). Um einen Vergleich zwischen verschiedenen Techniken zu ermöglichen und um die Auswirkungen auf die Umwelt insgesamt beurteilen zu können, werden zudem weitere positive und evtl. auch negative Umweltauswirkungen, welche sich durch die Anwendung der Technik ergeben, zusammengefasst. Neben Umweltauswirkungen werden auch weitere Aspekte betrachtet, wie z.B. der Arbeits- und Gesundheitsschutz.

#### *Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte*

Falls die Technik im gesamten Sektor angewandt werden kann, so wird dies hier angegeben. Andernfalls werden die wichtigsten grundlegenden technischen Einschränkungen für die sektorweite Anwendung der Technik aufgeführt (z.B. Menge, Art oder Qualität des hergestellten Produkts; bauliche Einschränkungen). Des Weiteren wird bewertet, ob eine Nachrüstung der Technik in bestehende Anlagen möglich ist.

#### *Wirtschaftliche Auswirkungen*

Angaben zu den Kosten der Techniken (Kapital-/Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten einschl. Angaben dazu, wie diese Kosten ermittelt/geschätzt wurden) und möglichen Einsparungen aufgrund ihrer Anwendung (z.B. Senkung der Energiekosten, Abfallgebühren, kürzere Amortisationszeit im Vergleich zu anderen Techniken) sowie zu Erträgen oder anderen Vorteilen.

#### *Referenzen*

Fachliteratur oder sonstige Referenzunterlagen mit ausführlicheren Informationen über die Technik. Die Vorbereitungsstudie beinhaltet insgesamt acht Fact-Sheets. Diese sind im Folgenden kurz dargestellt:

#### *Kantenanleimen mit Laser und Atmosphärendruckplasma*

Beim Kantenanleimen mit Laser wird die Funktionsschicht durch den Einsatz eines Lasers aktiviert. Eine spezielle Klebstoffschicht wird auf dem Kantenband geschmolzen und direkt auf das Werkstück gepresst. Dies vereinfacht den Bearbeitungsprozess im Vergleich zu konventionellen, leimgebundenen Systemen. Es entsteht ein optisch fugenloses Ergebnis, die sogenannte Nullfuge.

Beim Kantenanleimen mit Atmosphärendruckplasma werden die Kanten durch eine Atmosphärendruck-Plasmaaktivierung angebracht. Dazu werden diese mit einer speziellen plasmaaktivierbaren Polyurethan-Schicht versehen. In einer Spezialmaschine wird dann mit Hilfe des Plasmas das Polyurethansystem aktiviert und die Kante mit dem Werkstück fest und weitgehend fugenlos verbunden. Der Polymer- oder Klebstofffilm wird dabei, wie beim Kantenanleimen mit Lasern, exakt auf die benötigte Temperatur erwärmt.

Im Gegensatz zu konventionellen, leimgebundenen Verfahren, wird beim Kantenanleimen mit Laser und Atmosphärendruckplasma Energie ausschließlich im Moment des Kantenanklebens auf das Werkstück benötigt. Zudem entfällt der Einsatz von Klebern und Hilfsstoffen wie Trenn- und Reinigungsmitteln. Weitere Umweltentlastungspotenziale sind zudem:

- ▶ Keine Verschmutzungs- und Reinigungsprobleme (Einsparung von Reinigungsmitteln)
- ▶ Reduzierung der Ausschussquote (Ressourceneinsparung)
- ▶ Erhöhte Wärmebeständigkeit und Feuchtigkeitsbeständigkeit der Werkstücke durch dauerhafte funktionale Nullfuge (mögliche Ressourceneinsparung durch hohe Lebensdauer der Endprodukte)

- ▶ Minimierter Wartungsaufwand und geringere Rüstzeiten (höhere Produktivität)
- ▶ Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (kein Umgang mit Klebern und Hilfsstoffen wie Trenn- und Reinigungsmitteln)

### *Verwendung von Stand-By-Systemen*

Die Stand-By-Funktion versetzt energieverbrauchende Maschinen und Systeme in einen energiesparenden Wartezustand, entweder per Knopfdruck oder nach einem definierten Zeitraum. Sobald der energiesparende Modus aktiviert wird, unterbricht die Maschine den Normalbetrieb. Die energieverbrauchenden Aggregate schalten sich ab, alle Servoantriebe werden vom Netzanschluss getrennt und ein Signal deaktiviert automatisch die Absaugung.

Neben dem Energieverbrauch werden auch die Lärmemissionen im Betrieb vermindert. Dies führt auch zur Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes.

### *Luftkissentische mit lastabhängiger Luftkissensteuerung*

Luftkissentische werden eingesetzt, um Werkstücke wie Holzplatten leicht verschieblich zu lagern. Das zu Grunde liegende Funktionsprinzip der Luftkissentische ist, dass die Luftzuführungsöffnungen mit einer Druckluftquelle verknüpft sind. Die Erzeugung des Überdrucks erfolgt mittels Ventilatoren. Diese stellen einen Volumenfluss an komprimierter Luft zur Verfügung, der an eine Vielzahl von Luftdüsen verteilt wird und bei Aktivierung aus diesen austritt. Beim Ausströmen der Luft baut sich ein Luftpolster auf, das aufgelegte Werkstück schwebt und kann dadurch einfacher auf dem Bearbeitungstisch verschoben/gedreht werden. Die Aktivierung erfolgt oft durch das Eindrücken eines Stiftes durch das zu bearbeitende Holzwerkstück. Auf dem Markt existieren unterschiedliche Weiterentwicklungen der konventionellen Luftkissentische. Es werden beispielsweise Luftkissentische mit lastabhängigem Gebläse angeboten. Dabei wird der Volumenstrom der zugeführten Luft in Abhängigkeit vom Gewicht des Werkstücks geregelt (integrierte Gewichtssensoren). Wenn kein Werkstück aufliegt, muss das Gebläse nicht laufen. Benötigt das Werkstück wenig Luft-Unterstützung zum Handling, wird weniger Druck erzeugt.

Der Einsatz konventioneller Luftkissentische erfordert einen hohen Energiebedarf, da kontinuierlich die maximale Luftmenge ausgeblasen wird, unabhängig vom Gewicht und der Größe des aufliegenden Werkstücks. Die Luftmenge ist nicht an den tatsächlichen Bedarf angepasst. Durch den Einsatz von Gewichtssensoren, für lastabhängige Luftkissensteuerung, kann der Energieverbrauch gesenkt werden. Gewichtssensoren können den notwendigen Bedarf feststellen und die Luftmenge entsprechend anpassen. Es wird nur so viel Luft ausgeblasen, wie für das aufliegende Werkstück tatsächlich benötigt wird. Die lastabhängige Luftkissensteuerung ist somit in der Lage, den Energieverbrauch deutlich zu reduzieren. Zudem ergeben sich weitere Vorteile wie z.B.:

- ▶ Ressourceneinsparung durch schonenden Umgang mit Werkstücken (Verminderung von Ausschuss)
- ▶ Verteilung von Staubemissionen in der Werkhalle vermindert (federgelagerte Verschluss-Kugeln schließen bei Nichtbelastung)
- ▶ Minderung der Lärmemissionen durch weniger ausströmende Luft

### *Verwendung effizienter Motoren*

Viele Standardmotoren erreichen besonders im Leistungsbereich unterhalb 20 kW nicht ihren theoretisch bestmöglichen Wirkungsgrad. Hier bieten Energiesparmotoren, insbesondere aufgrund ihrer verbesserten Blechpakete und Kupferwicklungen, verbesserter Luftführung im Motor und geringer Fertigungstoleranzen einen höheren Wirkungsgrad.

In holzbe- und verarbeitenden Betrieben werden Maschinen selten konstant belastet. Neben den offensichtlichen Potenzialen der Energiesparmotoren, ist eine genaue Drehzahlregelung des Motors zur Anpassung der benötigten Leistung unerlässlich. Je näher ein Elektromotor an seiner Nennlast betrieben wird, desto effizienter ist er. Eingesetzte Motoren sollten auch eine Ausschaltfunktion besitzen, die im Falle eines Anlagenstillstands eingesetzt werden kann.

### *Energieeffiziente Absaugung von Spänen und Staub*

Die Förderung von Spänen und Staub mit Ventilatoren benötigt häufig mehr Energie als die abzusaugenden Holzbearbeitungsmaschinen. Im Bereich der Absaugung gibt es eine Vielzahl von Ansatzpunkten, um den Energiebedarf zu reduzieren. Die Kombination folgender Techniken wird näher betrachtet:

- ▶ Anpassung der Absaugluftmenge (z.B. durch Drehzahlregelung des Ventilators)
- ▶ Reinluftseitige Ventilatoranordnung
- ▶ Zentralabsaugung mit pneumatischen Absperrschiebern

Absauganlagen benötigen weniger Energie, wenn die Absaugleistung kontinuierlich dem tatsächlichen Bedarf angepasst wird. Die Anpassung kann mittels drehzahl geregelter Absaugventilatoren erfolgen, aber auch Ventilatoren, deren Leistungsaufnahme über Schieber gesteuert wird, nehmen im gedrosselten Betrieb deutlich weniger Leistung auf. Das entstehende Späne-Staub-Gemisch wird an den Stutzen der Bearbeitungsmaschinen erfasst und durch den Ventilator zum Filtergerät gefördert. Der Ventilator ist in der Regel im Reinluftbereich der Filteranlage oder nach der Filteranlage angeordnet. An einem Hauptabsaugrohr sind alle Werkzeuge der Produktionshalle angeschlossen (Zentralabsaugung). Die Hauptleitung ist mit pneumatisch betätigten Absperrschiebern ausgestattet, welche beim Ein- oder Ausschalten der Bearbeitungsmaschinen automatisch öffnen oder schließen. Die Steuerung öffnet die Klappen zum Absaugrohr ausschließlich beim Betrieb des Werkzeugs, wodurch nur bei Bedarf abgesaugt wird. Neben reduziertem Energiebedarf für die Absaugung ergeben sich weitere Umweltentlastungspotenziale wie z.B.:

- ▶ Verminderung von Staubemissionen (Reststaubgehalt unter  $0,1 \text{ mg/m}^3$ )
- ▶ Verringerter Verschleiß (Laufrad und Gehäuse werden nur mit gefilterter Luft beaufschlagt)
- ▶ Der Ventilator scheidet als potentielle Zündquelle aus, da er sich nicht im Materialstrom befindet
- ▶ Der Absaugventilator kann schalldämpfend eingehaust werden (Verringerung von Lärmemissionen)

### *Luftrückführung nach Entstaubung*

Der Wärmeinhalt der abgesaugten Luft wird in vielen Fällen nicht genutzt und geht als Abwärme in die Umgebung verloren. Mit den derzeit eingesetzten Filteranlagen (Filterschläuche aus Gewebe) können Reststaubkonzentrationen von unter  $0,1 \text{ mg/m}^3$  erreicht werden. Die abgesaugte und gefilterte Luft kann nach dem Passieren des Filters zu ca. 80 % wieder in den Bereich der Holzbearbeitungsmaschinen zurückgeführt werden. Dem Fertigungsbereich wird somit nur 20 % der ursprünglich erwärmten Luft entnommen. Die Luftrückführung kann daher den Energieverbrauch deutlich senken, da keine Energie zur Erwärmung der angesaugten Luft von Außentemperatur auf die in der Halle gewünschte Temperatur benötigt wird. Zudem kann ein kleinerer Kessel installiert werden. Falls auf die direkte Luftrückführung verzichtet werden muss, besteht die Möglichkeit, nach der Filteranlage Wärmerückgewinnungssysteme einzusetzen, die mit Wirkungsgraden von ~60 %



arbeiten. Die vorzuhaltende Heizleistung und der äquivalente Brennstoffverbrauch reduzieren sich damit auf etwa 40 %.

### *Rückgewinnung der Abbremsenergie*

Die Bremsenergie von Holzbearbeitungsmaschinen kann mittels Regelelektronik durch Generatorschaltung der Motoren genutzt werden. Dies ist besonders bei Maschinen wirksam, die häufig Geschwindigkeits- oder Drehrichtungsänderungen vornehmen. Diese können die beim Abbremsen bislang in Wärme umgewandelte Energie kontrolliert und praktisch frei von Rückwirkungen zurück ins Netz einspeisen, sodass sie von anderen Verbrauchern wieder verwendet werden kann.

### *Einsatz reibungsarmer Mechaniken und Antriebssysteme*

Linearmotoren sind im Prinzip Drehstrommotoren, die der Länge nach „aufgewickelt“ werden. Die Kraftübertragung erfolgt nicht mehr über eine Welle, die im Motor über einen Rotor angetrieben wird und die Kraft auf ein Getriebe und dann auf z.B. ein Ritzel überträgt. Bei dieser Technologie ist der Rotor als Magnet auf der Wicklung berührungslos unterwegs. Der Rotor hält also das zu bewegende Aggregat wie Sägewagen oder Schieber magnetisch schwebend und wird über die indizierte Spannung in die jeweils gewünschte Richtung transportiert. Durch den Einsatz von Linearmotoren und Aggregatführungen über Linearführungen werden mechanische Komponenten überflüssig. Durch den Einsatz der Technik verringert sich der Energieverbrauch der Bearbeitungsmaschinen.

Die in der Vorbereitungsstudie erreichten Ergebnisse sollen als Informationsgrundlage für eine spätere umfassendere Ermittlung des Standes der Technik in der deutschen Holzmöbelherstellung dienen. Sie sollen in zukünftige Studien einfließen, in denen sie weiterentwickelt und konkretisiert werden. Zu diesem Zweck müssen in einem nächsten Schritt weitergehende und detailliertere Informationen erhoben werden, insbesondere auch konkrete Anlagendaten aus Anlagenbesichtigungen.

## Summary

The present report represents the main findings/results of a preparatory study to determine best available techniques for the manufacturing of wooden furniture under consideration of energy efficiency measures. The report gives an overview of applied techniques within the sector and provides a description of selected techniques to reduce energy consumption in fact-sheets.

The preparatory study considers common types of wooden furniture, as for example chairs, tables and wardrobes. Wooden furniture is defined as furniture which is mainly (approximately 80 %) made out of wooden materials/components (chipboards, fibreboards, plywood, moulded wood components), solid wood, veneer or other wooden materials.

The study considers the following manufacturing processes:

- ▶ Coating and drying of the wooden components
- ▶ Wood processing (sawing, drilling, etc.)
- ▶ Assembly of fittings and non-wooden components incl. pre-assembly on the site
- ▶ Process associated wood fired combustion system
- ▶ Cross-process measures to reduce energy consumption and emissions

The data collection is specifically targeted to the processes indicated above. Out of scope is the manufacture of wooden components (e.g. manufacturing of wood based panels) and the manufacture of fittings and other components consisting of other materials than wood.

Initially, a brief introduction chapter provides recent general information about the industry sector in terms of numbers and size of installations, geographical distribution, production capacity and economics.

The German woodworking industry comprises in general of the furniture manufacturing industry, the building panel industry incl. production of prefabricate houses, derived timber product industry and the remaining wood processing industry. The furniture manufacturing industry includes the manufacture of office and retail shop furniture, kitchen furniture, mattresses and other types of furniture. The manufacture of kitchen furniture and office and retail shop furniture are of particular importance for the current study.

Approximately 64 % of the relevant production sites are located in the German federal states North Rhine-Westphalia, Bavaria and Baden-Württemberg. The total number of employees within the furniture manufacturing sector decreased slightly during the last few years. The total value of the annual production of wooden furniture was estimated to be around 11.4 billion euro. The production of wooden kitchen furniture, wooden retail shop furniture, wooden assembly parts, wooden bedroom wardrobes and armchairs with wooden frames contributes to more than 60 % to the total value of the annual production of wooden furniture.

Further, a brief description of the production processes currently applied in the sector along with an indication of the techniques used to prevent and reduce energy consumption and emissions is included. The sequential steps in a typical manufacturing unit are described, as follows:

### *Coating and drying of wooden components*

Coating represents a manufacturing method in which a formless material with a certain thickness is applied onto the surface of a work piece. With regard to wooden components, coatings are used to protect the material from moisture, humidity, solar radiation, etc. or mechanical wear. Besides, coatings can influence the appearance of furniture.



### *Wood processing (sawing, drilling, etc.)*

Before a finished piece of furniture can be assembled, the wooden components need to be further processed into semi-finished products. For this purpose, the wooden boards and panels are processed by applying various machining techniques (drilling, sawing, milling, etc.). During this production step, grooves, rebates, angles, arcs and holes are applied to the work piece or the work pieces are generally formatted to a desired dimension.

### *Assembly of fittings and non-wooden components incl. pre-assembly on the site*

The coated and processed wooden components are, in a further step, provided with fittings. Furthermore, additional wood and/or non-wood components can be attached. The transition to pre-assembly on the site is considered fluent. Examples of affixed fittings are hinges, handles, drawer slides, shelf supports, fasteners, rollers, wheels or locks. The fitted non-timber components can be e.g. functional or design elements out of plastic, metal, textiles or stone.

### *Process associated combustion plants*

Sites without own wood fired combustion systems on the site can supply their off-cuts of wood to recycling companies. Production sites with own wood fired combustion systems can e.g. generate heat which can be utilized for heating of offices and production facilities. Various combustion systems are available on the market.

After the general summary of the production processes currently applied in the sector, the most important material flows and emission sources of the respective processes are described. Furthermore, techniques used to prevent and reduce consumptions and emissions are summarised. These are usually divided into non-investment measures, investment measures and measures which can be applied in case the entire system is replaced. The project in particular considers techniques which are applied to reduce energy consumption. Besides, a description of selected cross-process techniques/measures is included, such as the introduction of environmental and/or energy management systems, modernization of the lighting equipment, maintenance, etc. which can lead to the reduction of energy consumption and emissions.

Selected techniques which are applied in order to reduce energy consumption are described in fact-sheets. The fact-sheets cover following issues:

#### *Description*

The section includes a detailed and comprehensible technical description of the applied technique.

#### *Potential environmental benefits and cross-media effects*

The main potential environmental benefits to be gained through implementing the technique (including reduced consumption of energy, reduced emissions, raw material savings, etc.) are summarised and quantified within this section (e.g. reduction of CO<sub>2</sub> emissions in %). In order to allow a comparison amongst techniques and assess the impact on the environment as a whole, further positive and possibly also negative environmental effects due to implementing the techniques are summarised. Besides, further aspects, such as health and safety at work are considered as well.

#### *Applicability*

In case the technique can be applied throughout the entire industrial sector, this is indicated within this section. Otherwise, the main general technical restrictions on the use of the technique within the sector are indicated (e.g. quantity, type and quality of product manufactured, space availability). Further, the possibility for retrofitting in existing installations is assessed.

### *Economics*

Information on costs of a technique (capital/investment, operating and maintenance including details on how these costs have been calculated/estimated) and any possible saving following from their application (e.g. reduced raw material or energy consumption, waste charges, reduced payback time compared to other techniques), revenue or other benefits.

### *Reference Literature*

Literature or other reference material used to draft the section and that contains more detailed information on the technique is indicated in this section.

The preparatory study contains eight Fact-Sheets in total. These are briefly introduced in the following:

#### *Edge banding with laser and atmospheric plasma*

During edge banding with laser, the functional layer is activated with laser technology. A special adhesive coating is melted directly on the edging and pressed directly onto the working piece. An oscillating mirror deflects the laser to the required height, depending on the thickness of the edging. This simplifies the processing compared to conventional glue-based systems. The result is a visually seamless, so called 'zero joint'

During edge banding with atmospheric plasma, the edges are mounted via an activation process of atmospheric plasma. Therefore, the edges are coated with a special polyurethane layer, which is activated with the help of plasma. Afterwards the edge is joint solidly and mostly seamless with the working piece. The polymer or glue-based layer is heated up to the required temperature, similar to the process of edge banding with laser.

In contrast to conventional, glue-based processes, both processes require energy exclusively during the actual moment of gluing edge onto working piece. In addition, no glue and auxiliary materials such as separating agents and detergents are required. Further benefits are for example:

- ▶ Reduction of possible pollution or cleaning problems (saving of detergents)
- ▶ Reduction of reject rate (resource savings)
- ▶ Increase of heat and moisture resistance of the working pieces due to the permanent functional 'zero joint' (potential resource savings due to longer life span of final products)
- ▶ Minimized maintenance and set-up time (higher productivity)
- ▶ Improvement of health and safety at work (no handling of adhesives and auxiliary materials such as separating and cleansing agents)

#### *Use of stand-by-systems*

With the help of a stand-by function, energy intensive machinery and systems can be transferred into an energy saving 'sleeping mode', either via a regular button or after a certain time period. As soon as the energy saving mode is activated, the machine stops its regular operation mode. All energy consuming units shut down, servo drives are disconnected from power supply and a signal deactivates the automatic extraction system.

Besides reduced energy consumption, further benefits include reduction of noise emissions, which is also connected to an improvement of health and safety at work.

### *Air cushion tables with load dependent control*

The basic functional principle of air tables is that one or more air inlet openings within the table can be fed with compressed air. The necessary pressure is commonly generated via fans. The volume flow of the compressed air is distributed to several air outlet openings where air can be released on demand. Flowing out of the opening, the compressed air forms an air cushion and the working piece floats on top of this air cushion. Hence, it can be moved or turned easily on the processing table. The air flow commonly is activated when the working piece is pushed onto a pin on the table. There are several developments of conventional air tables on the market, for instance air tables with load-dependent control. Thereby, the volume flow of compressed air is regulated depending on the weight of the working piece (via integrated weight sensors). As long as no working piece is placed on the table, the fans are turned off. Correspondingly, the pressure will be reduced when the working piece only requires a small amount of air support.

Applying conventional air tables requires a high energy demand, since the maximum air volume is generated continuously and independent from weight and size of the treated working piece. The generated air volume is not adjusted to the actual volume needed.

Via the application of weight sensors for air tables with load-dependent control, the energy consumption can be decreased. The integrated sensors are able to determine the necessary demand and adjust the supplied volume of compressed air. Consequently, only the currently needed volume of compressed air is generated, which is needed for handling of the working piece. Load-dependent control of air tables, therefore, significantly reduces energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions. In addition, the following benefits can be highlighted:

- ▶ Resource savings due to careful treatment of working pieces (decrease of reject rate)
- ▶ Reduced distribution of dust emissions in workshops (spring-loaded locking balls locked during non-load situations)
- ▶ Reduction of noise emission due to less flowing air
- ▶ Simple handling and ergonomic working conditions (improvement of health and safety at work)
- ▶ Reduction of air draft at working places (improvement of health and safety at work)

### *Use of energy efficient motors*

Many standard motors are not able to provide the highest possible efficiency, especially in the power range, below 20kW. Within this range, energy efficient motors show higher efficiency rates due to improved sheet stacks and copper windings, improved airflow inside the motor and lower production tolerances.

Wood processing machinery is rarely used continuously. Besides the obvious potential of using efficient motors, an accurate use of rotation speed control is essential in order to adapt the output of the motor to the actual power needed. The closer a motor is operated at its nominal load, the more efficient it will be. Additionally, motors should have a switch-off function, which can be used during machinery downtime.

### *Energy efficient extraction of chips and dust*

Extraction of chips and dust via fans is often more energy consuming than the wood processing machinery itself. In the field of extraction, many possibilities exist to reduce energy consumption. The combination of following techniques is further explained:

- ▶ Adaption of air flow in extraction system (e.g. via rotation speed control of fans)
- ▶ Installation of fans at clean air side

- ▶ Centralized extraction system with pneumatic gate valves

Extraction systems will require less energy if the extraction capacity is continuously adapted to the actual need. The adaption can be performed via a rotation speed control of the extraction fans. Alternatively fans whose power input is regulated with gate valves, require less energy in a part load operation mode. The occurring chip-dust mixture is picked up at a nozzle of the processing machine and conveyed to the filter via fans. The fans are commonly installed within the clean air side of the filtering system or after the filter. All relevant tools of the production site are connected to the main extraction pipe (centralized extraction system). The main pipe is equipped with pneumatic operating gate valves which open/close automatically during operation/shut-down of the processing machinery. The control allows an exclusive opening of the valves during operation of the machine. Consequently the extraction system is only working on demand. Besides reduced energy consumption, the following environmental benefits can be pointed out:

- ▶ Reduction of dust emissions (remaining dust content below  $0.1 \text{ mg/m}^3$ )
- ▶ Effectively no wear (impeller and housing are only treated with filtered air)
- ▶ The fan is not considered to be a relevant source of ignition due to its location outside the material flow
- ▶ The extraction fan can be sound-insulated (Reduction of noise emissions)

#### *Air recirculation after dust removal*

The heat content of extracted air in many cases is not used and vanishes as heat loss into the environment. With help of currently applied filter systems (e.g. fabric filter tubes) residual dust contents of less than  $0.1 \text{ mg/m}^3$  are achievable. After passing the filter, about 80 % of the extracted and filtered air can be recirculated into the area of the wood processing machines. So, only 20 % of the initially heated air has to leave the production area. A recirculation of air thus can significantly decrease energy consumption, since no energy is needed for heating up the ambient air to the necessary temperature inside the production facilities. Additionally, a smaller boiler can be installed. In case direct air recirculation is not feasible, heat recovery systems can be installed, which show efficiency levels of about 60%, after the filters. Therefore, the necessary heating power as well as the equivalent fuel consumption can be decreased to 40%.

#### *Recovery of braking energy*

Braking energy of wood processing machines can be used via automation electronics, namely through switching the motors to generator mode. This is especially applicable for machines with frequent changes in velocity or direction. Consequently, energy which so far was converted into heat can now be controlled and fed back into the grid without any retrofitting, where other appliances can use this energy again.

#### *Application of low friction mechanics and drive systems*

Linear motors are basically three-phase motors, that are 'winded up' lengthwise. The power is not transmitted anymore via a shaft which is driven by a rotor inside the motor and transmits the power to a gear and following to e.g. a sprocket. The rotor acts contactless as a magnet at the winding. Hence, the rotor keeps the aggregates which should be moved (e.g. saw carrier, sliders) magnetically floating. Via the induced voltage the aggregates can be transposed in the desired direction. With an application of linear motors and aggregate guideways above linear guideways, mechanical components are not required anymore. The application of low friction mechanics and drive systems reduces energy consumption of wood processing machines.

The main findings/results of the preparatory study should be used in a further step as a basis for the determination of best available techniques within the wooden furniture manufacturing industry in Germany. The findings should be incorporated in future studies and further specified and evolved. For this purpose, additional, more detailed information needs to be collected, especially information on facility level, obtained during site visits.

## 1 Vorwort

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse einer Vorbereitungsstudie zur Ermittlung des Standes der Technik bei Anlagen zur Herstellung von Holzmöbeln unter Betrachtung von Energieeffizienzmaßnahmen dar. Es wird ein Überblick über die angewandten Techniken in der Branche gegeben und ausgewählte konkrete Techniken zur Senkung von Energieverbräuchen werden in Form einer Fact-Sheet-Sammlung dargestellt.

Die in der Vorbereitungsstudie erreichten Ergebnisse sollen als Informationsgrundlage für eine spätere umfassendere Ermittlung des Standes der Technik in der deutschen Holzmöbelherstellung dienen. Sie sollen in zukünftige Studien einfließen, in denen sie weiterentwickelt und konkretisiert werden. Zu diesem Zweck müssen in einem nächsten Schritt weitergehende und detailliertere Informationen erhoben werden, insbesondere auch konkrete Anlagendaten aus Anlagenbesichtigungen.

## 2 Anwendungsbereich

Der Fokus des Vorhabens liegt auf gängigen Möbeln aus Holz wie beispielsweise Stühlen, Tischen und Schränken. Als Holzmöbel sollen Möbel angesehen werden, die hauptsächlich (Richtwert 80 %) aus Holzwerkstoffen (Spanplatten, Faserplatten, Sperrholz, Holzformteile), Vollholz, Furnier oder anderen Holzbauteilen bestehen.

Das Vorhaben betrachtet die folgenden Prozesse der Holzmöbelherstellung:

- ▶ Beschichtung und Trocknung der Holzbauteile
- ▶ Konfektionierung (Sägen, Bohren, usw.)
- ▶ Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen und Montage im Werk
- ▶ Prozessassoziierte Feuerungsanlagen

Die Datenerhebung ist spezifisch auf diese Tätigkeiten ausgerichtet. Nicht betrachtet werden die Herstellung der Holzbauteile selbst (z.B. Herstellung von Rohplatten) sowie die Produktion von Beschlägen und anderen Nicht-Holzbauteilen.

Es werden die derzeit in der Holzmöbelproduktion angewandten Produktionsprozesse beschrieben. Die wichtigsten Stoffströme und Emissionsquellen der jeweiligen Prozesse werden identifiziert und visualisiert. Des Weiteren werden die zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen und Verbräuchen (z.B. Roh- und Betriebsstoffe) angewandten Techniken aufgeführt und ausgewählte Techniken in Form von kurzen und präzisen Fact-Sheets näher erläutert.

### 3 Allgemeine Informationen

Kapitel 3 stellt eine allgemeine Beschreibung des Industriesektors dar. Die grundsätzliche Struktur der Branche, wie die Anzahl und Größe, geografische Verteilung der Anlagen, die aktuellen Produktionszahlen und Wirtschaftsdaten werden zusammengefasst.

Die deutsche Holzindustrie setzt sich im Wesentlichen aus der Möbelindustrie, der Produktion von Bauelementen einschließlich der Fertighausindustrie, der Holzwerkstoffindustrie sowie der übrigen Holzverarbeitung zusammen. Im Bereich der Möbelindustrie unterscheidet das Statistische Bundesamt bei seinen Erhebungen die übergreifenden Bereiche Herstellung von Büro- und Ladenmöbeln, Herstellung von Küchenmöbeln, Herstellung von Matratzen und Herstellung von sonstigen Möbeln [DESTATIS 2014a]. Im Projektzusammenhang sind insbesondere die Herstellung von Küchenmöbeln, Büro- und Ladenmöbeln und sonstigen Möbeln von Bedeutung (siehe Kapitel 2). Die Herstellung von Matratzen wird nicht näher betrachtet.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Anzahl der Betriebe und Beschäftigten in der Möbelbranche von 2008 bis 2012. Es werden Betriebe erfasst mit 20 oder mehr Beschäftigten.

Tabelle 1: Anzahl der Betriebe und Beschäftigten in der Möbelbranche

Jahr	Betriebe	Beschäftigte
	Anzahl	Anzahl
2008	1.002	106.568
2009	985	101.579
2010	976	100.227
2011	966	101.721
2012	983	102.315

In den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg befinden sich etwa 64 % der Betriebe. Tabelle 2 zeigt die geographische Verteilung der Betriebe der Möbelbranche nach Bundesländern für das Jahr 2012 [DESTATIS 2014b].

Tabelle 2: Anzahl der Betriebe und Beschäftigten nach Bundesländern

Bundesland	Betriebe		Beschäftigte	
	Anzahl	%	Anzahl	%
Baden-Württemberg	172	16,7	17.517	16,4
Bayern	187	18,2	26.041	24,4
Berlin	7	0,7	253	0,2
Brandenburg	17	1,7	1.130	1,1
Bremen	-	-	-	-
Hamburg	.	.	.	.
Hessen	45	4,4	5.877	5,5
Mecklenburg-Vorpommern	14	1,4	1.205	1,1
Niedersachsen	84	8,2	7.419	7,0
Nordrhein-Westfalen	301	29,3	32.683	30,7
Rheinland-Pfalz	36	3,5	3.794	3,6



Bundesland	Betriebe		Beschäftigte	
	Anzahl	%	Anzahl	%
Saarland	.	.	.	.
Sachsen	63	6,1	3.985	3,7
Sachsen-Anhalt	24	2,3	2.122	2,0
Schleswig-Holstein	18	1,7	1.091	1,0
Thüringen	61	5,9	3.473	3,3

Zeichenerklärung (-)= nicht vorhanden; (.)=Zahlenwert unbekannt oder geheim gehalten

Auf Grundlage der vom Statistischen Bundesamt erhobenen Güterarten, lassen sich die in der Möbelbranche hergestellten Holzmöbel und Holzmöbelteile zusammenfassen (siehe Tabelle 3). Es wurden insgesamt 34 relevante Güterarten identifiziert. Tabelle 3 gibt einen Überblick über den Wert und die Menge der Produktion, sowie die Anzahl der jeweiligen Unternehmen, welche zum Absatz beitragen.

Tabelle 3: Übersicht über die in Deutschland hergestellten Holzmöbel in 2012

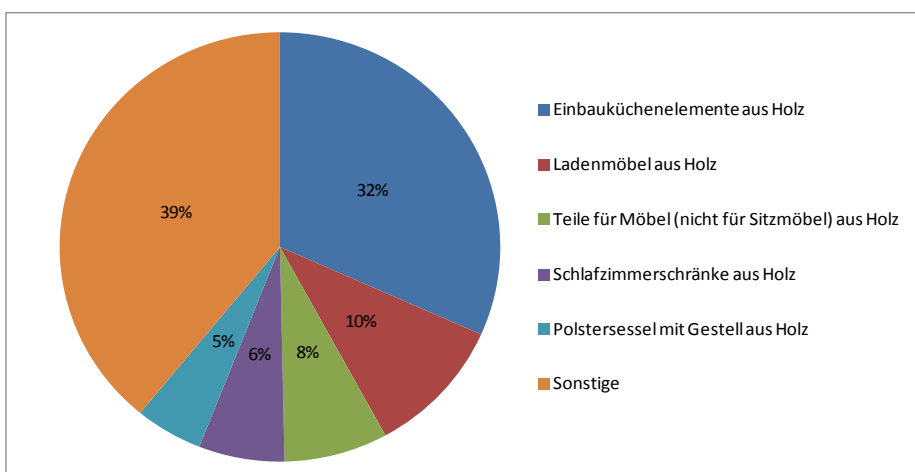
Ausgewählte Güterarten	Wert	%	Menge	%
	der zum Absatz bestimmten Produktion EUR		der zum Absatz bestimmten Produktion Stück	
In Liegen umwandelbare Sitzmöbel ohne Gartenmöbel	454.875.000	3,98	1.029.253	1,45
Gepolsterte Sitzmöbel, m. Gestell aus Holz, f. Büros	.	.	.	.
Polstersessel, mit Gestell aus Holz	567.477.000	4,97	1.313.102	1,85
Andere gepolsterte Sitzmöbel, mit Gestell aus Holz	301.558.000	2,64	846.301	1,19
Nicht gepolsterte Gartenstühle mit Gestell aus Holz	2.323.000	0,02	48.260	0,07
Nicht gepolsterte Schulsitzmöbel, mit Gestell aus Holz	348.000	0,00	4.791	0,01
Andere nicht gepolsterte Sitzmöbel	16.089.000	0,14	113.133	0,16
Teile für Sitzmöbel aus Holz	60.738.000	0,53	-	-
Teile für Möbel (nicht für Sitzmöbel) aus Holz	871.082.000	7,62	-	-
Holzschreibtische, Höhe ≤80cm	349.492.000	3,06	1.419.980	2,00
Andere Holztische, Höhe ≤80cm	55.430.000	0,49	228.015	0,32
Holzschränke, Regale, Höhe ≤80cm	207.118.000	1,81	1.726.892	2,43
Raumteilende Möbelemente, Höhe ≤80cm	66.774.000	0,58	328.409	0,46
Holzschränke und -regale, Höhe ≤80cm	226.313.000	1,98	998.993	1,41
Andere kombinierbare Elemente, Höhe ≤80cm	19.020.000	0,17	58.088	0,08
Andere Holzmöbel für Büros, Höhe >80cm	49.013.000	0,43	112.539	0,16
Ladenmöbel aus Holz	1.184.833.000	10,37	905.066	1,27
Einbauküchenelemente aus Holz	3.620.487.000	31,68	30.256.445	42,62

Ausgewählte Güterarten	Wert		Menge	
	der zum Absatz bestimmten Produktion EUR	%	der zum Absatz bestimmten Produktion Stück	%
Andere Holzmöbel für Küchen	158.042.000	1,38	713.660	1,01
Liegen (auch sog. französische Betten) aus Holz	174.796.000	1,53	495.298	0,70
Andere Betten aus Holz	162.682.000	1,42	986.650	1,39
Schlafzimmerschränke aus Holz	719.695.000	6,30	6.534.777	9,20
Andere Schlafzimmerelemente aus Holz	351.845.000	3,08	7.269.574	10,24
Wohn- und Esszimmertische aus Holz	129.499.000	1,13	422.388	0,59
Andere Tische (Kleintische) aus Holz	15.905.000	0,14	231.832	0,33
Wohnzimmerschränke, Bücherschränke aus Holz	110.520.000	0,97	326.034	0,46
Schrankwände, auch als Raumteiler, aus Holz	294.862.000	2,58	694.499	0,98
Andere Ess- und Wohnzimmermöbel aus Holz	299.100.000	2,62	4.867.950	6,86
Badezimmermöbel aus Holz	397.073.000	3,47	3.307.885	4,66
Gartenmöbel aus Holz	3.132.000	0,03	.	.
Garderobenmöbel, Schuhschränke, etc. aus Holz	72.148.000	0,63	640.605	0,90
Schulmöbel (ohne Sitzmöbel) aus Holz	98.165.000	0,86	360.674	0,51
Möbel für Laboratorien aus Holz	138.636.000	1,21	137.880	0,19
Andere Holzmöbel, a.n.g.	249.669.000	2,18	4.616.082	6,50
Summe	11.428.739.000	100	70.995.055	100

Zeichenerklärung (-)= nicht vorhanden; (.)=Zahlenwert unbekannt oder geheim gehalten

Der Wert der Jahresproduktion von Holzmöbeln liegt bei etwa 11,4 Milliarden Euro (in 2012). Die Produktion von Einbauküchenelementen aus Holz, Ladenmöbeln aus Holz, Teilen für Möbel aus Holz, Schlafzimmerschränken aus Holz und Polstersesseln mit Gestell aus Holz trägt mit mehr als 60 % zum Gesamtwert der Jahresproduktion bei (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Wertmäßiger Anteil ausgewählter Holzmöbelgüterarten an der Jahresproduktion von Holzmöbeln



## 4 Angewendete Prozesse und Verfahren

Kapitel 4 beschreibt die gegenwärtig in den Anlagen der Holzmöbelproduktion angewandten Produktionsprozesse<sup>1</sup>. Es werden die aufeinanderfolgenden Schritte einer typischen Fertigungsstätte aufgeführt (Beschichtung und Trocknung der Holzbauteile, Konfektionierung, Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen, Montage im Werk und prozessassoziierte Feuerungsanlagen). Die wichtigsten Stoffströme und Emissionsquellen der jeweiligen Prozesse werden identifiziert und visualisiert. Des Weiteren werden die zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen und Verbräuchen angewandten Techniken aufgeführt.

Kapitel 4 berücksichtigt insbesondere Techniken zur Senkung des Energiebedarfs. Abgerundet wird die Betrachtung durch eine kurze Beschreibung von ausgewählten prozessübergreifenden Techniken, wie beispielsweise die Einführung von Umwelt- und/oder Energiemanagementsystemen.

### 4.1 Beschichtung und Trocknung der Holzbauteile

#### Prozessbeschreibung

Nach DIN 8580 versteht man unter Beschichten ein Fertigungsverfahren, in dem ein formloser Stoff mit bestimmter Schichtdicke auf die Oberfläche eines Werkstückes aufgebracht wird. Im Fall von Holzbauteilen dient die Beschichtung zunächst dem Schutz des Werkstoffes vor Nässe, Feuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, etc. oder auch vor mechanischer Abnutzung. Weiterhin kann durch eine Beschichtung auch die Optik des Möbelstücks beeinflusst werden. Beschichtungsstoffe werden in großer Vielfalt, für verschiedene Zwecke und mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften angeboten. Als Beschichtungen kommen beispielsweise Lasuren, Öle, lösemittelhaltige oder wasserverdünnbare Farben und Lacke, Papier, Folien und Furniere zum Einsatz.

Der Bereich Beschichtung und Trocknung gliedert sich wie folgt auf:

- ▶ Kantenanleimen mit Heißklebern, Leim bzw. erhitzter Luft, Laser, etc.
- ▶ Beschichten (und Kaschieren) mit Folien, Papier, Laminaten/Furnieren (z.B. mit EVA, UF und PVAC/UF sowie mit PVAC Klebern)
- ▶ Auftragsverfahren von z.B. Lacken durch Sprühen, Rollen, Fluten, Tauchen, Streichen, Pulverbeschichten, Spachteln, Gießen, etc.
- ▶ Trocknungsverfahren, z.B. bei Lackauftrag die physikalische, chemische oder oxidative Trocknung, welche eine optimale Verbindung und Aushärtung der Beschichtung garantieren

Dabei kommen diverse Maschinen (Verbraucher) zum Einsatz:

- ▶ Absauganlagen und Abluftreinigungsanlagen für Staub und andere Emissionen (z.B. VOC)
- ▶ Motoren, die z.B. Transportbänder oder Kompressoren antreiben
- ▶ Steuerungselemente, für die Ansteuerung einzelner Aggregate
- ▶ Lackiergeräte
- ▶ Heizgeräte zur Trocknung der beschichteten Werkstücke
- ▶ Transportsysteme

Für detailliertere Informationen zu den aufgeführten Verfahrensschritten sowie zu eingesetzten Maschinen siehe z.B. [Nutsch 2013], [EC 2007], [Wittchen et al. 2006] und [Tech et al. 2003].

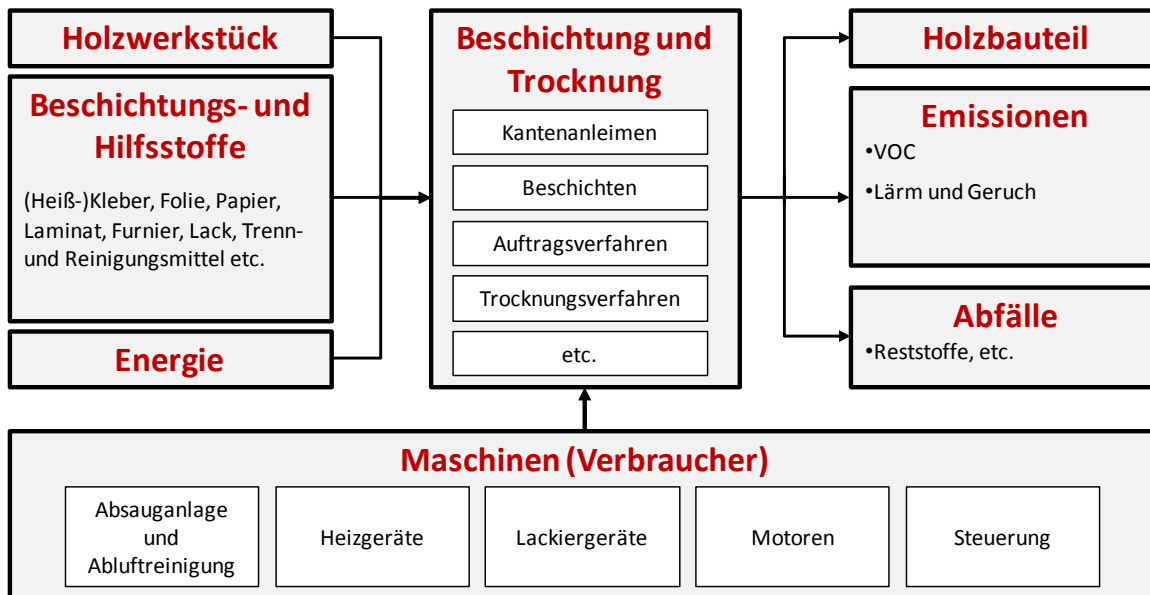
---

<sup>1</sup> In der Praxis kann nicht stringent zwischen einzelnen Produktionsprozessen getrennt werden, da automatisierte Maschinenkonzepte verfügbar sind, welche mehrere Verfahrensschritte zusammenlegen. Die identifizierten Techniken zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen sind jedoch oft übertragbar.

## Stoffströme und Emissionsquellen

In der folgenden Abbildung werden die oben genannten Verfahrensschritte der Beschichtung und Trocknung von Holzbauteilen grafisch dargestellt.

Abbildung 2: Stoffströme und Emissionsquellen (Beschichtung und Trocknung)



Beispielhaft wird der Stoffstrom für das Auftragen von Lacken erläutert. Lacke sind harzhaltige Anstrichmittel mit besonderen Eigenschaften (z.B. in Verlauf, Durchhärtung und Widerstand). Sie bestehen aus Bindemitteln, die in flüchtigen Lösemitteln gelöst sind. Lacke oder auch Lackfarben werden in einer bestimmten Schichtdicke (z.B. durch Sprühen mit einer Spritzpistole) aufgetragen und bilden einen festen Film auf dem Holzwerkstück. Die überschüssige Lackmenge bzw. entstehenden Dämpfe werden dabei oftmals über eine Absauganlage abgeführt. Damit eine Verfestigung des Lacks nach dem Auftragsverfahren ermöglicht wird, muss der Lack trocknen. Bei der physikalischen Trocknung beispielsweise bildet sich der Lackfilm durch Verdunsten des Lösemittels. Um die Trockenzeit zu reduzieren, kann das lackierte Holz unter Wärme- und Luftzufuhr getrocknet werden. Dies geschieht entweder mittels erhitzter Luft (Konvektion), durch Strahlung oder auch durch Elektronenstrahl-Trocknung [Nutsch 2013], [Wittchen et al. 2006].

In der Abluft aus dem Beschichtungsverfahren finden sich Lackpartikel und Lösemitteldämpfe bzw. VOC-Emissionen. Weitere relevante Emissionen können Geruchs- und Lärmemissionen sein. Zusätzlich können Abfälle entstehen, wie z.B. Kleber- und Lackreste, welche behandelt/entsorgt werden müssen.

## Angewandte Techniken zur Verminderung von Emissionen und Energieverbräuchen

Das folgende Kapitel enthält eine allgemeine Übersicht über angewandte Techniken zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen und Senkung von Energieverbräuchen aus dem Bereich der Beschichtung und Trocknung von Holzbauteilen. Ausgewählte Techniken zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen werden zudem in Form von Fact-Sheets in Kapitel 5 näher erläutert.

Das von der Europäischen Kommission veröffentlichte BVT-Merkblatt „Beste verfügbare Techniken für die Oberflächenbehandlung unter Verwendung von organischen Lösemitteln“ enthält ausführliche Beschreibungen wichtiger Techniken, die bei der Beschichtung und Trocknung von Holzbauteilen eingesetzt werden. Insbesondere Kapitel 20.7 des Merkblatts enthält Techniken, die auch bei der Beschichtung von Möbeln anwendbar sind. Da die chemischen Eigenschaften der

Beschichtungsstoffe maßgeblich den Energieverbrauch bestimmen (z.B. die Aushärtungsart bestimmt den Energieverbrauch bei der Trocknung der Lackschicht), werden diese auch durch das BVT-Merkblatt abgedeckt.

Tabelle 4 stellt eine Zusammenfassung der Einsatzstoffe, spezifischen Techniken und Abgasbehandlungsanlagen dar, die bei der Beschichtung und Trocknung von Holzmöbeln eingesetzt werden können, um Emissionen und Verbräuche zu reduzieren. Für weiterführende Informationen wird in Tabelle 4 auf die entsprechenden Kapitel des BVT- Merkblattes verwiesen.

Tabelle 4: Übersicht über Einsatzstoffe und Techniken (Oberflächenbeschichtung), [EC 2007]

	Einsatzstoffe und Techniken	Erreichte Umwelteffekte und medienübergreifende Auswirkungen	Kapitel BVT-Merkblatt
Einsatzstoffe	Konventionelle lösemittelbasierte Beschichtungsstoffe	Im Vergleich zu wasserbasierten Lacksystemen weniger Energie zur Trocknung erforderlich Kürzere Trockenzeit (höhere Produktionskapazität) Hohe VOC-Emissionen (sekundäre Emissionsminderungsmaßnahmen erforderlich)	20.7.2.1
	Wasserbasierte Lacke (meist 2-Komponenten- Lacke)	Hoher Energieeinsatz bei Trocknung Niedrige VOC-Emissionen Recycling der Lacke möglich (z.B. Ultrafiltration) Geringes Brand- und Explosionsrisiko Oft extra Schleifen/Polieren erforderlich (höherer Rohstoffverbrauch und mehr Abfall)	20.7.2.3
	Wasserbasierte Lacke mit verkürzten Verdunstungszeiten	Vergl. Eigenschaften zu wasserbasierten Lacksystemen Energieverbrauch kann geringer sein als bei konventionellen Lösemittelsystemen Energieverbrauch ist geringer als bei wasserverdünnbaren Lacksystemen	20.7.2.4
	Pulverlacke	Fast frei von Lösemittlemissionen Hohe Recyclingquote möglich (~95 %) Geringer Energieverbrauch durch hohen Anteil an Umluft in der Spritzkabine Geringe Abfallerzeugung Evtl. geringe Mengen an VOC-Emissionen beim Härten	20.7.2.6
	UV-Strahlungshärt. Lacke	Keine VOC-Emissionen	20.7.2.5
	Weitere Informationen zu Einsatzstoffen (BVT-Merkblatt)		
Auftragsverfahren	Spritzen (elektrostatische Unterstützung)	Hohe Materialeffizienz, geringere Emissionen, geringere Abfallmenge und weniger Verschmutzung als ohne elektrostatische Unterstützung Schnelleres Lackieren (höhere Produktivität) Weniger Druckluftverbrauch (geringerer Energiebedarf)	20.7.3
	Lackauftrag Walzenauftrag/Rollenauftrag	Hohe Materialeffizienz ( $\eta=90-100\%$ ) Materialeinsparungen beim Lack bis zu 40 % erreichbar	20.7.3.1
	Gießen (Vorhangbeschichten)	Hohe Materialeffizienz ( $\eta=90-98\%$ )	20.7.3.2

	Einsatzstoffe und Techniken	Erreichte Umwelteffekte und medienübergreifende Auswirkungen	Kapitel BVT-Merkblatt
		Meist Verwendung von lösemittelfreien Lacken auf Polyesterbasis	
	Konventionelles Tauchen	Hohe Materialeffizienz ( $\eta=80-100\%$ ) Hohe Produktionskapazität Im Vergleich zu Spritzauftrag dickere Lackschichten (höherer Rohstoffverbrauch)	20.7.3.3
	Fluten	Hohe Materialeffizienz ( $\eta=95-99\%$ ) Im Vergleich zum Tauchauftrag höhere Verdunstungsverluste von wasserbasierten Lacken	20.7.3.5
	Vakuumbeschichten	Hohe Materialeffizienz ( $\eta=80-100\%$ )	20.7.3.6
	Konv. Hochdruck- und Niederdruckspritzen	Wirkungsgrad variiert zwischen 5 % und 60 % (abhängig vom Werkstück) Hoher Rohstoffverbrauch	20.7.3.8
	Weitere Informationen zu Auftragsverfahren (BVT-Merkblatt)		20.7.
Trocknungsverfahren	Konvektionstrocknen	Hoher Energiebedarf (lange Trockenzeiten) Kann mit Umluft mit Infrarotstrahlungshärten kombiniert werden (Verringerung der Trockenzeit und des Energieverbrauchs)	20.8.1.1
	Mikrowellentrocknung	Hoher Energiebedarf Energieverbrauch 10-30 % höher als bei IR- oder Heißlufttrocknung	20.8.1.4
	Härten mit Infrarot-naher Strahlung	Sehr kurze Aushärtezeiten (1-5 Sekunden)	20.8.2.1 und 20.8.2.2
	Ultraviolett-Strahlung	Geringer Energieverbrauch Wenig oder kein Einsatz von Lösemitteln	20.8.2.3
	Elektrostrahl-Härten	Geringerer Energieverbrauch als beim Konvektionstrocknen	20.8.2.4
	Kombiniertes Konvektions-/Strahlungs-Trocknen	Geringer Energieverbrauch im Vergleich zu Trocknern, die nur Umluft verwenden	20.8.3
	Weitere Informationen zu Trocknungsverfahren (siehe BVT-Merkblatt)		20.8.
Abgasbehandlung	Trockenfiltersysteme	Hohe Abfallmenge durch benutzte Filter	20.11.3.6
	Elektrofilter	Anwendung in Spritzkabinen	20.11.3.7
	Partikelabscheidung mit Venturiwäscher	Anwendung in Spritzkabinen mit Nassabscheidung	20.11.3.5
	Wäscher	Anwendung in Spritzkabinen mit Nassabscheidung	20.11.3.8
	Thermische Nachverbrennung	Hohe Investitions- und Betriebskosten; (falls die Verbrennung nicht autotherm verläuft) Energieverbrauch ist höher als bei rekuperativer oder regenerativer Nachverbrennung	20.11.4.2
	Weitere Informationen zur Abgasbehandlung (siehe BVT-Merkblatt)		20.11.

Das BVT-Merkblatt fasst zudem in Kapitel 20.5 (Energiemanagement) einige „Schlüsseltechniken“ zur Verminderung des Energieverbrauchs zusammen, z.B. die Wartung und Anpassung von Anlagen, Minimieren des Druckluftvolumens, Verwenden von effizienten Motoren, etc.

[Tech et al. 2003] gibt ausführliche Hinweise zur Verminderung von Emissionen und anderen Umweltbelastungen bei der Beschichtung und Trocknung von Holzbauteilen. Die „Tipps zur Optimierung“ werden in fünf unterschiedlichen Rubriken diskutiert (ähnlich wie im BVT-Merkblatt). Diese sind im Folgenden zusammengefasst (weitere Informationen [Tech et al. 2003], Kapitel 4.3.7).

### **Allgemein:**

- ▶ Lösemittel nicht unnötig verwenden und nicht in Raumluft entweichen lassen
- ▶ Thermische Anlagen nicht unnötig betreiben und Wärmeverluste vermeiden
- ▶ Bereiche, in denen mit lösemittelhaltigen Stoffen gearbeitet wird, klein halten
- ▶ Abwärme nutzen und Raumluft aus anderen Bereichen für Lackierräume verwenden
- ▶ Anlage als Gesamtkonzept (Beschichtungsstoff, Applikation, Trocknung und Abgasreinigung) betrachten

### **Lacke:**

- ▶ Overspray möglichst gering halten und Lacke mit wiederverwendbarem Overspray einsetzen
- ▶ Menge organischer Lösemittel senken/begrenzen
- ▶ Falls möglich Pulverlacke einsetzen, sonst lösemittelarme Lacke verwenden
- ▶ Lacke mit dünneren Filmen einsetzen (Lackeinsparung ergibt Lösemittelsparung)
- ▶ Wasserlacke benötigen einen hohen Energiebedarf zum Trocknen (Wasserverdampfung)

### **Lackierverfahren:**

- ▶ Spritzstrahl so führen, dass nur geringer Overspray entsteht
- ▶ Spritzen in Richtung Spritzwand/Absaugwand, um Lösemittelintrag zu vermeiden
- ▶ Bei automatischen Anlagen möglichst geringen Abstand der einzelnen Werkstücke einstellen
- ▶ Abluftreinigungsanlagen von Spritzkabinen in Spritzpausen abschalten
- ▶ Zerstäubungsdruck möglichst gering halten
- ▶ Oberflächen gut vorbehandeln
- ▶ Auftragsverfahren mit geringstem Overspray und hohem Auftragswirkungsgrad wählen
- ▶ Auftragsverfahren mit geringem Lösemittelsatz wählen (Heißspritzen, CO<sub>2</sub>-Zerstäubung)
- ▶ Anlagen mit Lackrecycling einsetzen

### **Trocknung und Härtung:**

- ▶ Türen von Umlufttrocknern geschlossen halten (bei Nichtbenutzung Lüftung abschalten)
- ▶ IR- und UV-Strahler ausrichten, Aufheizung von Anlagenteilen vermeiden
- ▶ Möglichst keine Raumtrocknung anwenden (oder möglichst kleinen Raum verwenden)
- ▶ Möglichst keine Umlufttrockner einsetzen, da die gesamte Kammer mit Luftvolumen und Werkstück aufgeheizt werden muss

### **Abluft und Abgasreinigung:**

- ▶ Zu den verwendeten Lacken passende Abgasreinigung verwenden (keine thermischen Verfahren bei Wasserlacken, da zu geringer Anteil an organischen Lösemitteln)
- ▶ Organische Lösemittel möglichst hoch aufkonzentrieren, Kombination aus Adsorber und anderen Verfahren



Für weitere Informationen siehe [EC 2007] und [Tech et al. 2003].

## 4.2 Konfektionierung

### Prozessbeschreibung

Bevor durch Anbringen von Zusatzbauteilen und der Endmontage ein fertiges Möbelstück entsteht, müssen die unbearbeiteten Holzbretter oder -platten zu Halbzeugen weiterverarbeitet werden. Dazu werden die Holzbretter und -platten durch verschiedene Zerspanungstechniken (Bohr-, Säge-, Frästechniken) formatiert. Die Bearbeitung kann entweder handgeführt, durch mechanisch gesteuerte Maschinen oder durch vollautomatisierte NC- bzw. CNC-Anlagen erfolgen. Durch die zerspanenden Verfahren werden z.B. Nuten, Falzen, Winkel, Bogen und Bohrungen im Werkstück angebracht bzw. generell das Werkstück auf die gewünschten Maße formatiert.

In den Bereich der Konfektionierung der Holzmöbelteile fallen u.a. folgende Verfahrensschritte:

- ▶ Fräsen (mit mehrschneidigen Werkzeugen in einer kreisförmigen Schnittbewegung, um das Holzbauteil zu profilieren)
- ▶ Sägen (Trennen des Werkstücks durch Zerspanen einer Schnittfuge, um die gewünschten Maße zu erhalten)
- ▶ Bohren (von z.B. Durchgangs- oder Dübellochbohrungen, diese ermöglichen die spätere Anbringung von Beschlägen, etc. und die Montage)
- ▶ Drehen (Drechseln)
- ▶ Hobeln (glättet und ebnet die Holzoberfläche bzw. begrenzt diese auf ein bestimmtes Maß)
- ▶ Schleifen (ebnet Holzwerkstoffoberflächen oder raut diese zur Weiterverarbeitung auf)
- ▶ Stemmen (erlaubt die Aushebung von Löchern mittels eines keilförmig angeschliffenen Stemmeisens)
- ▶ Raspeln und Feilen (um spanend bearbeitete Holzbauteile flächig nachzuarbeiten)
- ▶ etc. (z.B. Hacken, Pressen)

Dabei kommen verschiedene Maschinen (Verbraucher) zum Einsatz:

- ▶ Absauganlagen und Abluftreinigung (Absaugung von Spänen, Staub und anderen Emissionen, z.B. VOC.), Abluftbehandlung z.B. durch Zyklone für die Abscheidung von Spänen und nachgeschaltete Gewebefilter für die Abscheidung feiner Staubteilchen (nach konkretem Anwendungsfall abzustimmen, z.B. in Abhängigkeit von der Art und Menge der abzusaugenden Späne und Stäube)
- ▶ Motoren (die z.B. Sägen, Fräsmaschinen, Transportbänder oder Kompressoren antreiben)
- ▶ Steuerungselemente (die eine Ansteuerung der einzelnen Geräte während der Verfahrensschritte und bei der nachträglichen Reinigung ermöglichen)
- ▶ Zerspanungstechnische Maschinen (z.B. Kreissägen, Tischfräsmaschinen, Bohrmaschinen)
- ▶ etc.

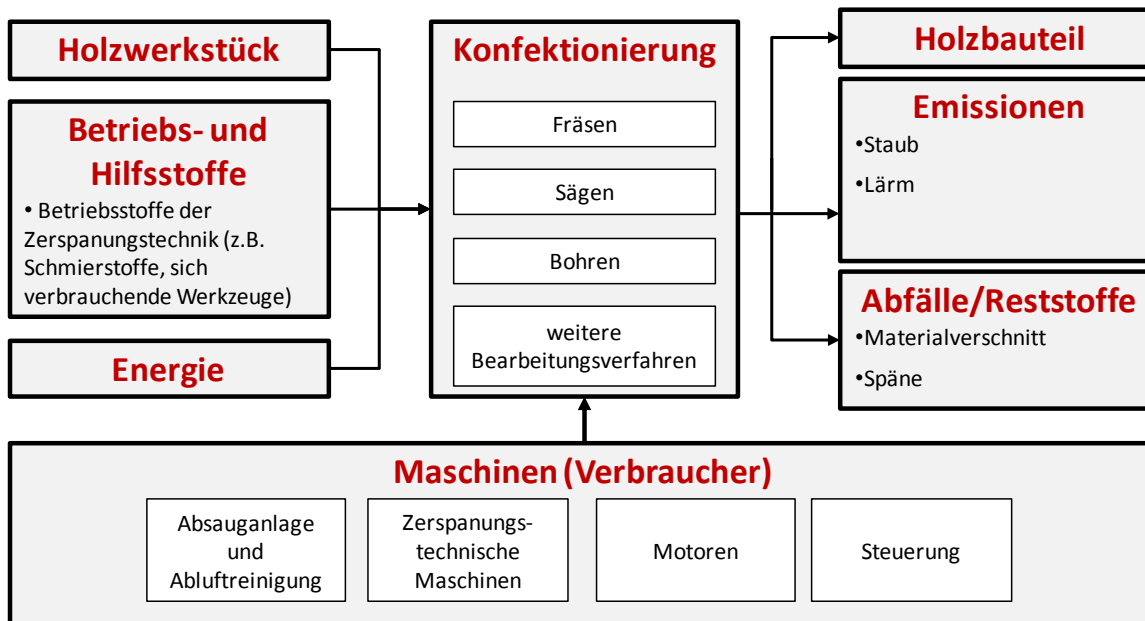
Für detailliertere Informationen zu den aufgeführten Verfahrensschritten und einzelnen Maschinen (Verbrauchern) siehe z.B. [Nutsch 2013] [Wittchen et al. 2006] und [Tech et al. 2003].

### Stoffströme und Emissionsquellen

Abbildung 3 stellt die wichtigsten Stoffströme und Emissionsquellen der Konfektionierung von Holzmöbelteilen grafisch dar.



Abbildung 3: Stoffströme und Emissionsquellen (Konfektionierung)



Der **Stoffstrom** wird beispielhaft am Fräsen einer Nut in ein Holzbrett erläutert. Hierzu wird in der Regel eine Tischfräsmaschine mit einer oder zwei Spindeln verwendet, die indirekt über Keilriemen durch einen Drehstrommotor angetrieben wird. Die Maschine benötigt regelmäßig Hydrauliköl u.a. an den Gelenkteilen und Gleitstellen, sowie Langzeitfett im Frässpindellager. Nachdem das Holzwerkstück in die Maschine eingespannt wurde, kann der Nutfräser (z.B. mit spiralförmiger Schneideanordnung und drei Schneiden) die gewünschte Nut fräsen. Dies geschieht durch spanenden Materialabtrag. Die entstehenden Späne werden meist von einer Absauganlage abgezogen und in ein Silo eingelagert. Je nach Anwendung entstehen, neben den Spänen, weitere Reststoffe wie z.B. Staub oder Materialverschnitt. Für weitere Informationen siehe z.B. [Wittchen et al. 2006] und [Nutsch 2013].

Die relevanten **Emissionen** im Bereich der Konfektionierung sind hauptsächlich Staub- und Lärmemissionen. Neben der Zerspanungstechnik sind auch die installierten Absauganlagen ein relevanter Verbraucher. Die pneumatischen Anlagen sind äußerst energieintensiv und weisen somit indirekt hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Absauganlagen benötigen u.U. mehr Energie als die abzusaugenden Holzbearbeitungsmaschinen. Im Folgenden wird der Fokus daher auf die Holzbearbeitungsmaschinen und Absaugsysteme gelegt. Materialverschnitt und Späne sind Abfall oder Reststoff, der im Betrieb oder durch einen anderen Betrieb verwendet werden kann.

### Angewandte Techniken zur Verminderung von Energieverbräuchen

[Tech et al. 2003] enthält einige Hinweise zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen und Senkung des Energieverbrauchs für die Bereiche Bearbeitungsmaschinen und Absauganlagen. Die „Tipps zur Optimierung“ werden in nicht investive Maßnahmen, investive Maßnahmen und Maßnahmen bei Anlagenersatz aufgegliedert und diskutiert. Zur Energieeinsparung sind im Folgenden die wichtigsten Ansatzpunkte zusammengefasst (weitere Informationen siehe [Tech et al. 2003], insb. Kapitel 4.1 und Kapitel 4.4).

Ansatzpunkte zur Energieeinsparung bei Holzbearbeitungsmaschinen [Tech et al. 2003]:

#### Nicht investive Maßnahmen:

- ▶ Energieeffiziente Arbeitsstrategie entwickeln
- ▶ Maschinen regelmäßig warten und Werkzeuge in einwandfreiem Zustand halten

- ▶ Teillastbetrieb der Maschine vermeiden und Maschinen so schnell wie möglich abschalten
- ▶ Werkstücke möglichst stoßweise durch die Maschine führen

### **Investive Maßnahmen:**

- ▶ Falls möglich Motoren mit geringerer Leistungsaufnahme einsetzen und grundsätzlich den Einsatz von Energiesparmotoren überprüfen
- ▶ Bei elektrischen Antrieben die Nachrüstung von Drehzahlregelung überprüfen
- ▶ Bei Produktionsanlagen mit verketteten Maschinen die Nachrüstung mit Sensoren und Abschaltungen von Anlagenteilen ohne Werkstücke überprüfen

### **Maßnahmen bei Anlagenersatz:**

- ▶ Bei Neuanschaffung von Maschinen Energiekennwerte anfordern und berücksichtigen
- ▶ Bei Neuanschaffung von Maschinen keine zu hohe Nennleistung auswählen

Ansatzpunkte zur Energieeinsparung bei Absauganlagen [Tech et al. 2003]:

### **Nicht investive Maßnahmen:**

- ▶ Nicht benötigte Holzbearbeitungsmaschinen und zugehörige Absauganlagen abschalten
- ▶ Schieber zu nicht betriebenen Maschinen schließen

### **Investive Maßnahmen:**

- ▶ Absaug- auf 20-28 m/s und Transportgeschwindigkeiten auf 16-20 m/s einstellen
- ▶ Ventilatoren möglichst mit Drehzahlregelung (Frequenzregelung) ausstatten
- ▶ Möglichst Einsatz von Hochleistungsventilatoren;  $\eta > 0,8$ ; im Reinluftbereich ausschl. Hochleistungsventilatoren;  $\eta > 0,85$
- ▶ Rückführung der abgesaugten Luft

### **Maßnahmen bei Anlagenersatz:**

- ▶ Bei geringen Spänemengen und kurzen Transportwegen Verwendung geschlossener mechanischer Fördersysteme (z.B. Spiral- oder Kratzförderer, Vibrorinnen oder Förderbänder)
- ▶ Rohrleitungen zwischen Absaugstelle und Filter möglichst kurz halten und mit wenigen Krümmern ausführen und Filter möglichst in der Nähe der Absaugstelle(n) anordnen
- ▶ Kleine Filterflächenbelastungen führen zu großen Filtern und hohen Investitionen (im Gegensatz ermöglichen sie aber geringe Betriebskosten durch einen geringen Druckabfall, eine hohe Standzeit und einen guten Abscheidegrad)
- ▶ Optimal wird die Filteranlage direkt über dem Spänesilo angeordnet
- ▶ etc.

Weitere Techniken zur Vermeidung und Verminderung von (CO<sub>2</sub>-) Emissionen und anderen Umweltbelastungen für die Bereiche Bearbeitungsmaschinen und Absauganlagen sind beispielsweise in [BMU 2009] als auch in Publikationen und auf Homepages relevanter Anlagenhersteller (z.B. HOMAG Group, SPÄNEX, Scheuch) zu finden. Ausgewählte Techniken werden zudem in Form von Fact-Sheets in Kapitel 5 näher beschrieben.

Neben den aufgelisteten Vorschlägen ergeben sich weitere Potenziale zur Einsparung von Energie und Vermeidung/Verminderung sonstiger Umweltauswirkungen aus der stofflichen und/oder energetischen Verwertung des anfallenden Restholzes (z.B. Holzstaub, Späne). Insbesondere Holzspäne von unbehandelten Hölzern können beispielsweise als Input für die Produktion von

Spanplatten, Briketts oder Pellets verwendet werden. Falls eine stoffliche Verwertung technisch nicht möglich und/oder wirtschaftlich nicht vertretbar ist, sollten die anfallenden Resthölzer energetisch verwertet werden. Für weiterführende Informationen zur energetischen Nutzung anfallender Holzreste siehe Kapitel 4.5.

### 4.3 Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen und Montage im Werk

#### Prozessbeschreibung

Die konfektionierten und beschichteten Holzbauteile werden in einem weiteren Produktionsprozess mit Beschlägen versehen. Des Weiteren können zusätzliche Holz und/oder Nicht-Holzbauteile angebracht werden. Der Übergang zur Montage wird als fließend betrachtet. Beispiele für angebrachte Beschläge sind Scharniere, Griffe, Auszugsführungen, Fachbodenträger, Verbindungselemente, Rollen, Räder oder Schlösser. Zusätzlich angebrachte Nicht-Holzbauteile können beispielsweise Funktions- oder Designelemente u.a. aus Kunststoff, Metall, Textilien oder Stein sein. Dabei variiert je nach Produkt und Hersteller, welche Beschläge bereits im Werk angebracht werden und welche vom Endkunden selbst montiert werden.

Das Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen und die Montage im Werk beinhalten typischerweise Folgendes:

- ▶ Zusammensetzen von Bauteilen durch Verbindungselemente (z.B. Schrauben, Drahtstifte, Nieten, Winkel, Dübel und/oder Federn)
- ▶ Verbindungen (mit Klebe- oder Leimtechniken)
- ▶ Ungeleimte Verbindungen (z.B. durch An- und Einpressen, durch Formschluss der Bauteile)
- ▶ etc.

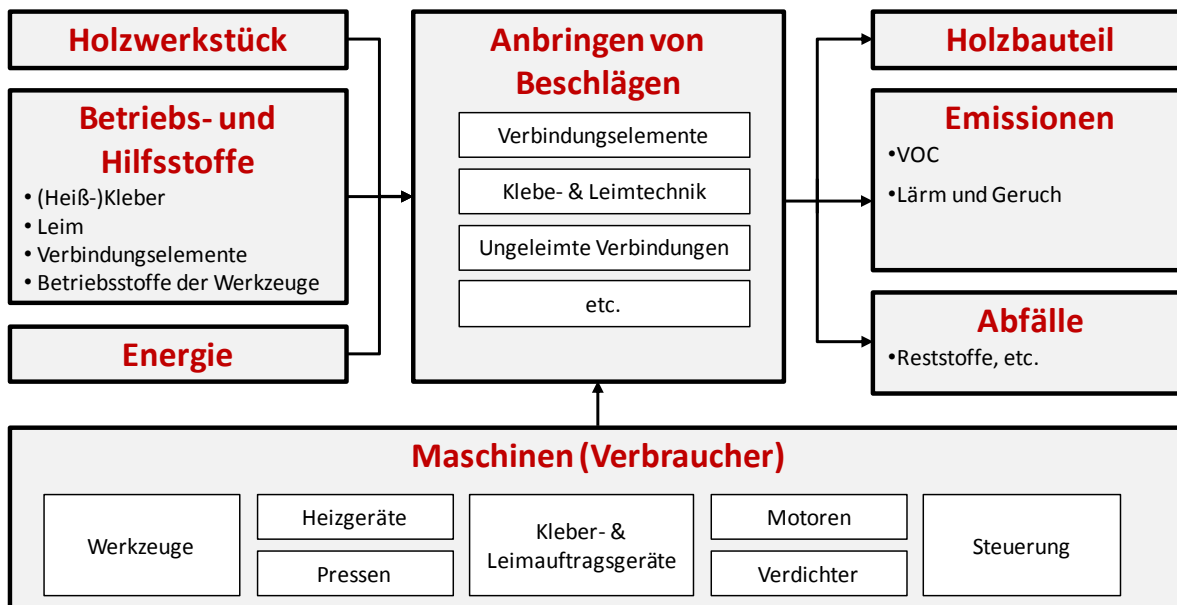
Um die genannten Schritte realisieren zu können sind diverse Maschinen (Verbraucher) im Einsatz:

- ▶ elektrisch/pneumatisch betriebene Werkzeuge
- ▶ Kleber- oder Leimauftragsgeräte
- ▶ Pressen
- ▶ Heizgeräte
- ▶ Motoren
- ▶ Kompressoren
- ▶ etc.

#### Stoffströme und Emissionsquellen

Abbildung 4 stellt die wichtigsten Stoffströme und Emissionsquellen, die beim Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen und bei der Montage im Werk benötigt werden/entstehen, grafisch dar.

Abbildung 4: Stoffströme und Emissionsquellen (Anbringen von Beschlägen)



Das Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen an konfektionierten und beschichteten Halbzeugen geschieht, je nach Unternehmensart und –größe, entweder während der Montage per Hand (z.B. mit Bohrschraubern, Nietpistolen, etc.) oder vollautomatisiert in maschinellen Anlagen. In bestimmten Anwendungen werden Beschläge mit dem Holzwerkstück verleimt/verklebt. Unabhängig von der Klebstoffart, muss der Klebstoff eine gewisse Zeit abbinden und aushärten, um die gewünschte Fugenfestigkeit zu erreichen. Die Abbinde- bzw. Härtetemperatur liegt zwischen 5 - 30°C bei der Kaltverklebung und zwischen 30 - >200°C für Heißverklebungen. Damit müssen bei Heißklebverfahren zusätzliche energieverbrauchende Heizgeräte eingesetzt werden. Je nach Bindungstyp des Klebstoffes verflüchtigen sich Lösemittel während der Abbinde- und Härtezeit [Nutsch 2013]. Das bedeutet, dass, auch wenn Beschläge nicht durch Verbindungselemente, sondern durch Klebstoffe mit dem Holzwerkstück verbunden werden, pneumatisch oder elektrisch betriebene Werkzeuge im Einsatz sind, wie z.B. Klebepistolen oder Pressen.

Wird Klebstoff zum Fügen der Holzbauteile eingesetzt, sind VOC-Emissionen, die während der Trocknung aus den Klebstoffen verdunsten, relevant. Diese sollten erfasst und anschließend behandelt werden. Hierzu stehen verschiedene Behandlungstechniken zur Verfügung (z.B. Adsorption am Filter, thermische oder katalytische Verbrennung, regenerative Verbrennung, Biofiltration). Bei der thermischen Nachverbrennung können Emissionswerte von unter 20 mg VOC/m<sup>3</sup> eingehalten werden [EC 2007]. Gerüche und Lärm sind weitere **Emissionen**, die auftreten können. Zusätzlich können Abfälle entstehen, wie z.B. Kleber- und Leimreste, welche behandelt/entsorgt werden müssen.

### Angewandte Techniken zur Verminderung von Energieverbräuchen

Bezüglich der Verminderung des Energieverbrauchs sollen hier zunächst die Potenziale der pneumatisch betriebenen Werkzeuge (und -maschinen) im Fokus stehen (Optimierung der Druckluftversorgung), da Einsparmöglichkeiten von elektrisch betriebenen Holzbearbeitungsmaschinen bereits in Kapitel 4.2 betrachtet wurden.

Der Bereich Druckluftversorgung ist durch umfangreiche Literaturquellen und zahlreiche Ratgeber abgedeckt, wie z.B. den Ratgeber „Lufttechnik für Industrie und Gewerbe“ der Deutschen Energie-Agentur [DENA 2010a] und das BVT-Merkblatt „Energieeffizienz“ [EC 2008]. [Tech et al. 2003] beispielsweise enthält eine Zusammenfassung wichtiger Hinweise zur Optimierung der

Druckluftversorgung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Zu den relativ leicht umzusetzenden, nicht investiven Maßnahmen zur Verbesserung der Druckluftversorgung zählen u.a. folgende:

- ▶ Durch regelmäßige Wartung und Funktionsüberprüfung kann der frühzeitige Austausch oder Reparaturen von Druckluftapparaten vermieden werden (Energieeinsparung und höhere Verfügbarkeit von Apparaten)
- ▶ Regelmäßige Überprüfung und ggfs. Austausch von Filtern
- ▶ Undichte Verbindungselemente (Schieber, Ventile, Schläuche und Kupplungen) nachziehen, abdichten oder ersetzen und undichte Rohrleitungen verschweißen oder ersetzen
- ▶ Anpassung des Netzdrucks auf die betrieblichen Anforderungen (Reduzierung des Drucks um 1 bar hat Energieeinsparungen von ca. 6 % zur Folge)
- ▶ Bei Mehrkompressoranlagen ist es effizienter, einen Kompressor mit voller Leistung laufen zu lassen, als zwei (mehrere) mit reduzierter Leistung
- ▶ Druckluftanlagen sollen nur dann betrieben werden, wenn auch Verbraucher im Einsatz sind
- ▶ Nur die Teile des Netzes betreiben, welche tatsächlich benötigt werden (andere Netzbereiche durch Schieber abtrennen)

Für weitere Informationen zur Optimierung der Druckluftversorgung siehe [Tech et al. 2003], [DENA 2010a] und [EC 2008].

Ein weiteres Energiesparpotenzial beim Anbringen von Beschlägen und Nicht-Holzbauteilen liegt im Bereich der Klebtechnik. Bereits im Verfahrensschritt des Furnierens bzw. Kaschierens, sowie des Kantenanleimens spielt die Klebtechnik ebenfalls eine wichtige Rolle, um Ressourcenverbrauch und Emissionen in die Umwelt zu minimieren.

## 4.4 Prozessassoziierte Feuerungsanlagen

### Prozessbeschreibung

Während in Betrieben ohne eigene Feuerung das im Betrieb anfallende Restholz meist über ein Recyclingunternehmen entsorgt wird, können Betriebe mit eigener Holzfeuerung die Resthölzer nutzen, z.B. zur Beheizung des eigenen Betriebes (z.B. Büroräume, Werkhallen).

Im Bereich der Feuerungsanlagen stehen eine Reihe von Anlagentypen zur Verfügung, beginnend bei handbeschickten Systemen wie z.B. einem Füllschachtkessel bis hin zu automatisierten Feuerungsanlagen mit Vorschubrost-, Flachschrubrost-, Stufenrost-, Einblas-, Wirbelschichtfeuerung, etc. Der Leistungsbereich dieser Systeme kann stark variieren, z.B. bei Vorschubrostfeuerung von ca. 150kW – 15MW oder Wirbelschichtfeuerung von ca. 5 -15MW.

Es liegen keine Informationen vor, inwieweit und in welchen Leistungsbereichen solche Systeme typischerweise in Betrieben der Holzmöbelproduktion angewandt werden.

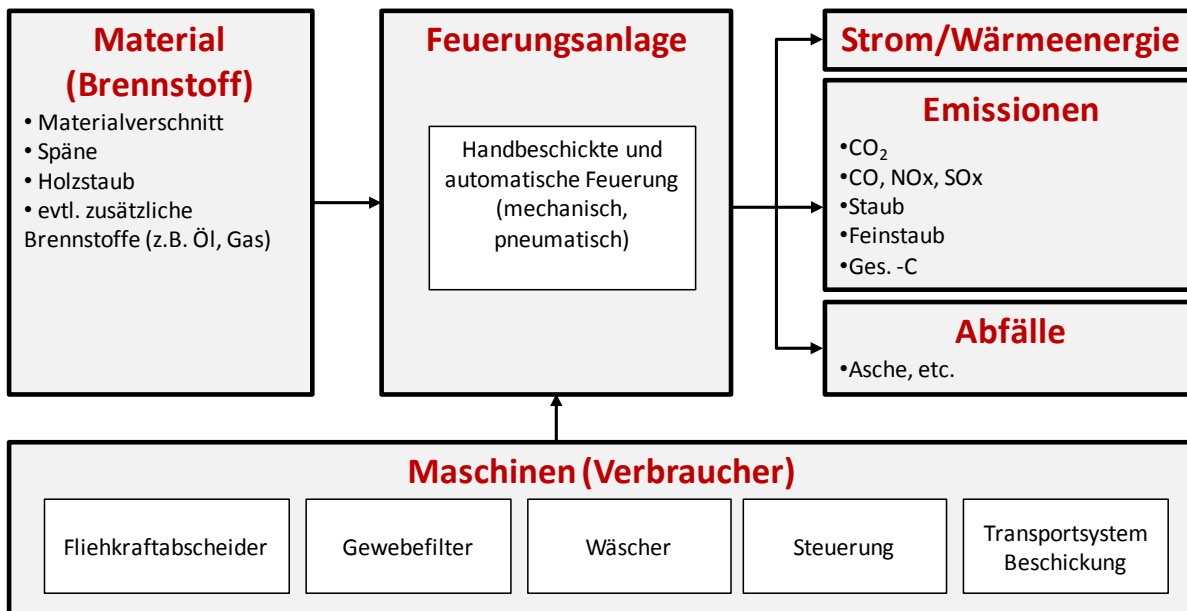
Es gibt eine Vielzahl von Abluftreinigungssystemen, die an Feuerungsanlagen gekoppelt werden können bzw. müssen, um beispielsweise die gesetzlichen Auflagen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft einhalten zu können. Beispiele hierfür sind Gewebe- oder Keramikfilter, Zyklone oder elektrostatische Abscheider. Auch existieren bereits kombinierte Systeme aus Filter und Wäscher, um z. B. Staubgrenzwerte der ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. BImSchV) bei Holz-Kleinfeuerungsanlagen einzuhalten [Stahl et al. 2009].

[Tech et al. 2003] enthält detaillierte Informationen zu verschiedenen Holzfeuerungsanlagen und angewandten Feuerungsarten (siehe [Tech et al. 2003], Kapitel 4.6).

## Stoffströme und Emissionsquellen

Abbildung 5 stellt die wichtigsten Stoffströme und Emissionsquellen, die beim Betrieb von Feuerungsanlagen benötigt werden/entstehen, grafisch dar.

Abbildung 5: Stoffströme und Emissionsquellen (Prozessassoziierte Feuerungsanlagen)



Der **Stoffstrom** einer Feuerungsanlage kann folgendermaßen aussehen: Holzspäne, die als Reststoffe innerhalb der Produktion eines Holzmöbelstücks entstehen, werden zunächst in Silos zwischengelagert und dienen als Brennstoff. Zusätzlich werden Holzhackschnitzel separat gelagert und dienen als zusätzlicher Brennstoff für die Feuerungsanlage, falls die im Produktionsprozess anfallenden Resthölzer für den Wärmebedarf nicht ausreichen. Über eine Ringleitung wird die Feuerungsanlage pneumatisch oder über eine Kratzkette mit Holzspänen oder ggfs. Hackschnitzeln beschickt. Im Fall einer pneumatischen Förderung geschieht die Einblasung in einem geschlossenen System über Zyklon und Zellenradschleuse. Innerhalb der Feuerungsanlage werden die im Produktionsprozess anfallenden Resthölzer verbrannt und die entstehende Wärmeenergie üblicherweise über Wärmetauscher abgeführt [vgl. Otto Bock]. Eine Gewinnung von elektrischer Energie, z.B. durch eine Kraft-Wärme Kopplung, kann auf betrieblicher Ebene entweder für hohe Restholzmengen oder durch Subventionen (z.B. Förderung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz) wirtschaftlich möglich sein. In der Regel werden Holzabfälle, die nicht stofflich verwertet werden, einer energetischen Verwertung durch Verbrennung zugeführt [Tech et al. 2003]. Bei der Verwertung und Beseitigung von Holzabfällen sind die Anforderungen der Altholzverordnung (AltholzV) zu beachten (z.B. Holzabfälle mit PVC-Kanten oder Beschichtungen dürfen nur in dafür geeigneten Anlagen thermisch verwertet werden).

Die **Emissionen** des Holzfeuerungsprozesses sind CO<sub>2</sub>-Emissionen und sonstige gasförmige Schadstoffe (z.B. CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>), die während des Verbrennungsprozesses entstehen. Mit den gasförmigen Emissionen wird jedoch ebenfalls eine große Menge an Staub/Feinstaub in die Umwelt emittiert. Asche bleibt als Verbrennungsrückstand in der Feuerungsanlage zurück [Tech et al. 2003], [BaWü 2014].

## Angewandte Techniken zur Verminderung von Emissionen und Energieverbräuchen

Die Einführung einer betriebsinternen Holzfeuerung stellt eine Technik zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen dar, da die energetische Nutzung von Holz als CO<sub>2</sub> neutral angesehen wird. Die



gewonnene Wärmeenergie kann z.B. für Trocknungsprozesse und/oder die Beheizung von Werkstätten genutzt werden. Betriebe mit eigener Feuerung können etwa ein Drittel der gesamten Entsorgungskosten durch die Substitution von Heizöl/Gas und den Wegfall der Transportkosten sowie der Entsorgungsgebühren des Holzabfalls einsparen. Weitere Kosteneinsparungen können durch die Einspeisung von Energie in einen Wärmeverbund erzielt werden [Kürsteiner 2012].

Es gibt eine Reihe von Abluftreinigungssystemen, die an Holzfeuerungsanlagen gekoppelt werden können bzw. müssen. Beispiele sind Gewebe- oder Keramikfilter, Zyklone oder elektrostatische Abscheider. Holzfeuerungsanlagen verfügen üblicherweise über eine Rauchgasentstaubung zur Erfassung von Stäuben. Die Mehrzahl der Anlagen verwendet nachgeschaltete Fliehkraftabscheider (z.B. Zyklone, Multizyklone), [BaWü 2014], [Nolting 2014].

1. BImSchV formuliert die gesetzlichen Anforderungen an den Betrieb und die Überwachung von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen. Gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz, Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten oder sonstiges verleimtes Holz dürfen ausschließlich in Feuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mindestens 30 kW verwertet werden. Anlagen, die ab 2015 in Betrieb genommen werden, müssen unabhängig von der Brennstoffgruppe einen Staubgrenzwert von  $0,02 \text{ g/m}^3$  und einen Kohlenmonoxidgrenzwert von  $0,4 \text{ g/m}^3$  einhalten. Für Altanlagen existieren Übergangsregelungen für den Zeitpunkt der Einhaltung dieser Grenzwerte [BaWü 2014].

Ist eine betriebseigene energetische Nutzung der im Produktionsprozess anfallenden Resthölzer realisiert, gibt es zusätzliche Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz. Die Heizkessel beispielsweise sind häufig überdimensioniert und laufen mit entsprechend niedrigem Wirkungsgrad. Neben den thermischen Verlusten über die Gebäudehülle geht auch Wärme über die Absaugung verloren. Abhilfe kann hier eine Wärmerückgewinnung schaffen. Bei Holzverarbeitenden Unternehmen, die zusätzlich Holz Trocknungssysteme betreiben, kann durch die wärmetechnische Optimierung der Trockenkammern (Isolierung, Wärmepumpen im Abluftstrom) oft das größte Energieeinsparungspotenzial ausgeschöpft werden [WKO 2014].

## 4.5 Prozessübergreifende Maßnahmen zur Minderung von Emissionen und Energieverbräuchen

Im Folgenden werden ausgewählte prozessübergreifende Maßnahmen (Querschnittstechnologien) zur Minderung von Emissionen und Energieverbräuchen kurz beschrieben. So ist im Rahmen aller Verfahren ein **Transport** der Holzwerkstücke, des zu verarbeitenden Materials (z.B. Leim, Kantenmaterial, Hilfsstoffe, etc.) und eventueller Anbauteile erforderlich. Der erste Schritt zur Optimierung kann die Einführung eines Logistikkonzepts sein, welches die benötigten Transportwege entlang der Produktion minimiert. Ebenfalls sollten energieeffiziente Fließbänder und Transportfahrzeuge eingesetzt werden. Durch Reduzierung von bewegten Massen, einem intelligenten Stand-By-Betrieb, der Vernetzung von Lager, Säge und Restlager und der allgemeinen Reduzierung von Lagerbewegungen kann ein hoher Anteil der benötigten Energie eingespart werden.

Ebenfalls prozessübergreifend sind die Energieeinsparpotenziale aus der **Beleuchtungstechnik** eines holzbearbeitenden Unternehmens. Hier bieten z.B. tageszeiten- und anwesenheitsgesteuerte Systeme ein hohes Potenzial, da der Energieeinsatz bedarfsabhängig gesteuert wird und sich individuell auf die Lichtverhältnisse anpasst. Weiterhin setzen sich LED-Lampen als effizientere Technik im Vergleich zu Glühlampen in der Holzindustrie durch [BM 2014].

Weitere typische Maßnahmen für die Optimierung der Beleuchtungstechnik sind [NRW Energie]:

- ▶ Anwendung von Dreiband-Leuchtstofflampen

- ▶ Einsatz elektronischer Vorschaltgeräte
- ▶ Nachrüstung von Leuchten mit Reflektoren (z.B. Spiegelrasterleuchten)
- ▶ Einsatz von Hochdrucklampen in hohen Räumen
- ▶ Verwendung heller Raumfarben
- ▶ Zonierung der Lampen
- ▶ etc.

Detaillierte Informationen zur Optimierung der Beleuchtung sind in [Tech et al. 2003], insb. Kapitel 4.5.5 enthalten. Zudem sind in [Tech et al. 2003] einige relevante Praxisbeispiele aufgeführt (siehe insbesondere Kapitel 4.7.1.4, Praxisbeispiel: Optimierung der Beleuchtung in einem Möbelwerk).

Übergreifend für alle eingesetzten Verfahren und Maschinen gilt, dass eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung eines der wichtigsten Instrumente für die Minderung von Emissionen ist, welches gleichzeitig relativ unkompliziert und kosteneffizient umgesetzt werden kann.

Mithilfe geeigneter **Analyse- und Monitoringverfahren** können Material-, Energie- und Emissionsminderungspotenziale aufgedeckt und anschließend ausgeschöpft werden. Allerdings fehlt einigen Unternehmen oftmals der Überblick über die einzelnen Ressourcenverbräuche (Material und Energie), da sie keine Prozessdaten erheben und analysieren. Beispielsweise ist der Energieverbrauch nur für den gesamten Betrieb erfasst oder noch auf Ebene der Maschinen. Jedoch scheint ein spezifischer Energieverbrauch pro Verfahrensschritt nicht erfasst zu werden. Mittels eines Monitorings bzw. einer Analyse der einzelnen Produktionsschritte können Material- und Energieverbräuche sowie Stördaten analysiert und einzelne Ressourceneffizienzpotenziale aufgezeigt werden. Zur Durchführung der Analyse bieten sich z.B. die Einführung von Kennzahlensystemen, die Modellierung von Stoffströmen (z.B. Sankey-Diagramme) oder das Aufstellen von Energie-, Material- bzw. Ökobilanzen als Werkzeuge zur Energieeinsparung an. Für energieintensive Industrien bietet der Markt bereits eine Auswahl an Softwaretools, welche ein betriebsweites Energiemanagement erlaubt. Da bei der Analyse des Produktionsprozesses meist Ressourcen und damit (Energie-)Kosten eingespart werden, amortisieren sich die Investitionskosten meist schnell.

Weiterhin können durch die **Einführung von Managementsystemen** Ressourceneinsparpotenziale im ganzen Betrieb identifiziert und ausgeschöpft werden. Relevante Managementsysteme zur Steigerung der Ressourceneffizienz sind beispielsweise ISO 14009, ISO 14040ff – Ökobilanz bzw. allgemein ISO 14001 – Umweltmanagement oder ISO 50001 – Energiemanagement. Die Managementsysteme stärken darüber hinaus auch die Verantwortung der Beschäftigten und Mitbestimmungsakteure, Effizienzpotenziale zu erschließen [BMU 2012].

Weitere prozessübergreifende Maßnahmen zur Minderung von Emissionen sind z.B. in [BaWü 2014] und [Tech et al. 2003] näher beschrieben.



## 5 Techniken zur Senkung des Energieverbrauchs (Fact-Sheets)

Ausgewählte Techniken zur Senkung des Energieverbrauchs werden in Fact-Sheets beschrieben. Soweit möglich, decken die Fact-Sheets folgende Punkte ab:

### **Technische Beschreibung**

Dieser Abschnitt enthält eine ausführliche, aber dennoch übersichtliche und verständliche technische Beschreibung der angewandten Technik.

### **Energieeinsparungs- und Umweltentlastungspotenziale sowie medienübergreifende Auswirkungen**

In diesem Abschnitt werden Energieeinsparpotenziale dargestellt und quantifiziert, insbesondere durch die Angabe von CO<sub>2</sub>-Emissionswerten und Reduktionspotenzialen durch den Einsatz der Techniken (z.B. in %).

Des Weiteren werden zusätzliche Emissionen wie z.B. VOC, Staub und weitere Umweltentlastungspotenziale betrachtet (z.B. Einsparung von Ressourcen). Um einen Vergleich zwischen verschiedenen Techniken zu ermöglichen und um die Auswirkungen auf die Umwelt insgesamt beurteilen zu können, werden zudem weitere positive und negative Umweltauswirkungen, welche sich durch die Anwendung der Technik ergeben, zusammengefasst. Neben Umweltauswirkungen werden auch weitere Aspekte betrachtet, wie z.B. der Arbeits- und Gesundheitsschutz.

### **Für die Anwendbarkeit relevante technische Aspekte**

Falls die Technik im gesamten Sektor angewandt werden kann, so wird dies hier angegeben. Andernfalls werden die wichtigsten grundlegenden technischen Einschränkungen für die sektorweite Anwendung der Technik aufgeführt (z.B. Menge, Art oder Qualität des hergestellten Produkts; bauliche Einschränkungen). Des Weiteren wird bewertet, ob eine Nachrüstung der Technik in bestehende Anlagen möglich ist.

### **Wirtschaftliche Auswirkungen**

Dieser Abschnitt enthält Angaben zu den Kosten der Techniken (Kapital-/Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten einschl. Angaben dazu, wie diese Kosten ermittelt/geschätzt wurden) und möglichen Einsparungen aufgrund ihrer Anwendung (z.B. Senkung der Energiekosten, Abfallgebühren, kürzere Amortisationszeit im Vergleich zu anderen Techniken) sowie zu Erträgen oder anderen Vorteilen.

### **Referenzen**

Verweis auf Fachliteratur oder sonstige Referenzunterlagen mit ausführlicheren Informationen über die Technik.

## 5.1 Kantenanleimen mit Laser und Atmosphärendruckplasma

### TECHNISCHE BESCHREIBUNG

*Um einen Vergleich mit konventionellen, leimgebundenen Verfahren und Kantenanleimen mit heißer Luft zu ermöglichen, werden diese Techniken ebenfalls kurz beschrieben.*

#### **Kantenanleimen mit konventionellen, leimgebundenen Verfahren**

In einem Granulatbecken werden Grobpartikel des Klebstoffs erwärmt, bis die flüssige Konsistenz erreicht ist. Verbreitete Klebstoffe sind PU (Polyurethan)- und EVA (Ethylenvinylacetat)-Kleber. Das zu beschichtende Werkstück wird über Rollen eingezogen und durchläuft die Kantenanleimmaschine. Gleichzeitig kommt separat die Kante hinzu. Der Kleber wird mithilfe von Rollen auf das Werkstück aufgetragen. Anschließend wird die Kante durch Anpresswalzen mit Nachdruckrollen auf das Werkstück gepresst und falls erforderlich weiter bearbeitet (z.B. Radiusanpassung).

#### **Kantenanleimen mit heißer Luft**

Die aufgerollte Kante wird mittels eines Zuführlineals mit Gleitrollen in die Kantenleimmaschine geführt. Von dort aus wird sie dann automatisch eingezogen. Die Kanten sind mit einer Funktionsschicht aus Polymeren ausgestattet. Im Prozess wird die Kante temporär durch zuströmende heiße und komprimierte Luft erhitzt, um die Funktionsschicht zu aktivieren. Anschließend wird die Kante durch Anpresswalzen mit Nachdruckrollen auf das Werkstück gepresst und weiter bearbeitet (z.B. Eckenabrundung), [HOMAG 2013].

#### **Kantenanleimen mit Laser**

Die Funktionsweise ist ähnlich wie beim Kantenanleimen mit heißer Luft. Der Hauptunterschied ist, dass die Funktionsschicht durch den Einsatz eines Lasers aktiviert wird. Eine spezielle Klebstoffschicht wird auf dem Kantenband geschmolzen und direkt auf das Werkstück gepresst. Ein oszillierender Spiegel lenkt den Laserstrahl auf die erforderliche Höhe, je nach Werkstückdicke des Kantenbandes. Dies vereinfacht den Bearbeitungsprozess im Vergleich zu konventionellen, leimgebundenen Systemen. Es entsteht ein optisch fugenloses Ergebnis, die sogenannte Nullfuge [HOMAG 2013].

#### **Kantenanleimen mittels Atmosphärendruckplasma**

Die Kanten werden durch eine Atmosphärendruck-Plasmaaktivierung angebracht. Dazu werden diese mit einer speziellen plasmaaktivierbaren Polyurethan-Schicht versehen. In einer Spezialmaschine wird dann mit Hilfe des Plasmas das Polyurethansystem aktiviert und die Kante mit dem Werkstück fest und weitgehend fugenlos verbunden. Der Polymer- oder Klebstofffilm wird dabei, wie beim Kantenanleimen mit Lasern, exakt auf die benötigte Temperatur erwärmt [Niemann 2013].

### ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN

#### **Kantenanleimen mit konventionellen, leimgebundenen Verfahren**

- ▶ Relativ hoher Energiebedarf zum Aufheizen des Klebstoffs im Granulatbecken
- ▶ Üblicher Energiebedarf: 17 kWh [DDS 2010]
- ▶ Einsatz von Klebstoffen und Hilfsstoffen wie Trenn- und Reinigungsmitteln
- ▶ Mögliche Verschmutzungs- und Reinigungsprobleme durch Schmelzkleberauftrag

### **Kantenanleimen mit heißer Luft**

- ▶ Das Erhitzen von Luft erfordert einen relativ hohen Bedarf an Energie
- ▶ Keine Verwendung von Kleb- und Hilfsstoffen
- ▶ Optimierte Endprodukte (Ressourceneinsparung, da weniger Produkte aussortiert werden)
- ▶ Weniger Ausschuss durch verbesserte Produktqualität (Rohstoffeinsparung)

### **Kantenanleimen mit Laser**

1) Im Vergleich zu konv. Schmelzklebertechnik auf Durchlaufmaschinen [HOMAG 2013]:

- ▶ Energieersparnis: bis zu 36.911 kWh/a (mehr als 40 %)
- ▶ Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes: bis zu 26 t/a

*[Berechnungsgrundlage: Betrieb der Maschine 50 Wochen/a, 40 h im Einschichtbetrieb]*

2) Im Vergleich zu konv. Schmelzklebertechnik auf CNC Bearbeitungszentren [HOMAG 2013]:

- ▶ Energieersparnis: bis zu 2.250 kWh/a (mehr als 20 %)
- ▶ Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes: bis zu 1,6 t/a

*[Berechnungsgrundlage: Betrieb der Maschine 50 Wochen/a, 40 h im Einschichtbetrieb]*

Weitere Umweltentlastungspotenziale [HOMAG 2013], [REHAU 2014]:

- ▶ Energiebedarf ausschließlich im Moment des Kantenklebens auf das Werkstück
- ▶ Kein Einsatz von Klebern und Hilfsstoffen wie Trenn- und Reinigungsmitteln (zudem entfallen auch Lagerung/Logistik von Betriebsmitteln und die Abstimmung von Kantenwerkstoff und Haftmittel)
- ▶ Keine Verschmutzungs- und Reinigungsprobleme (Einsparung von Reinigungsmitteln)
- ▶ Reduzierung der Ausschussquote (Ressourceneinsparung)
- ▶ Erhöhte Wärmebeständigkeit und Feuchtigkeitsbeständigkeit der Werkstücke durch dauerhafte funktionale Nullfuge (mögliche Ressourceneinsparung durch hohe Lebensdauer der Endprodukte)
- ▶ Minimierter Wartungsaufwand und geringere Rüstzeiten (höhere Produktivität)
- ▶ Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (kein Umgang mit Klebern und Hilfsstoffen wie Trenn- und Reinigungsmitteln)

### **Kantenanleimen mittels Atmosphärendruckplasma**

- ▶ Der Energiebedarf bei 23 mm Kantenbreite und ca. 20 m/min Vorschub beträgt ca. 7 kWh. Im Vergleich zu herkömmlichen Klebtechniken bestehend aus Leimtopf und Vorschmelzer werden ca. 8 kWh eingespart. Ein Aufheizen wie bei konventionellen, leimgebundenen Verfahren ist nicht erforderlich [DÜSTEC 2014].
- ▶ Energieersparnis: bis zu 11.616 kWh/a [Umweltinnovation 2013]
- ▶ Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes: ca. 6,5 t/a [Umweltinnovation 2013]

Weitere Umweltentlastungspotenziale [DDS 2010], [DÜSTEC 2014]:

- ▶ Energiebedarf ausschließlich im Moment des Kantenklebens auf das Werkstück
- ▶ Kein Einsatz von Klebern und Hilfsstoffen (zudem entfallen auch Lagerung/Logistik von Betriebsmitteln und die Abstimmung von Kantenwerkstoff und Haftmittel)
- ▶ Keine Verschmutzungs- und Reinigungsprobleme (Einsparung von Reinigungsmitteln)
- ▶ Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (kein Umgang mit Klebern und Hilfsstoffen wie Trenn- und Reinigungsmitteln)
- ▶ Dauerhafte licht- und alterungsbeständige Versiegelung der Werkstücke durch unsichtbare Nullfuge (mögliche Ressourceneinsparung durch hohe Lebensdauer der Endprodukte)

- ▶ Die Technologie ist ausgereift, robust und wartungsarm – auch bei hoher Laufleistung und -dauer
- ▶ Einfache Wartung möglich

## **FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE**

### **Kantenanleimen mit Laser**

Kantenanleimen mit Laser ist geeignet für Schichtbetrieb und hohe Vorschübe (> 25 m/min). Verglichen mit Kantenanleimen mit heißer Luft (Vorschübe bis 20 m/min) ist die Technik schneller und daher für den industriellen Einsatz geeignet (Kantenanleimen mit heißer Luft eher geeignet für KMU). Zu weiteren Vorteilen der Lasertechnologie zählen eine einfache Bedienung und hohe Verfügbarkeit, Einsparung von Prozessschritten, geringer Wartungsaufwand und kurze Rüstzeiten (z.B. bei Farbwechsel).

### **Kantenanleimen mittels Atmosphärendruckplasma**

Das Verfahren kann, im Gegensatz zur Lasertechnologie, auch in bestehende Kantenanleimsysteme einfach und kostengünstig integriert werden. Die Plasmatechnik eignet sich zur Ausstattung und Nachrüstung sämtlicher Maschinenkategorien, vom manuellen Arbeitsplatz, Durchlauf- und Hochgeschwindigkeitsanlagen bis hin zum zweidimensionalen Bearbeitungszentrum. Die Technik eignet sich für einen Vorschub von 30 m/min und eine Kantenbandbreite von 22 mm [Plasmatreat 2014]. Technische Lösungen für geringere und höhere Leistungsbereiche befinden sich in der Entwicklung.

## **WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN**

### **Kantenanleimen mit Laser**

- 1) Die Investitionskosten betragen ca. 180.000 € (Die Anschaffungsinvestition für das Kantenanleimen mit heißer Luft beträgt ca. 40.000 €), [Gespräch mit BRANDT Kantentechnik]
- 2) Im Vergleich zur herkömmlichen Schmelzklebertechnik auf Durchlaufmaschinen [HOMAG 2013]:
  - ▶ Kostenersparnis: bis zu 4.430 €/a

*[Berechnungsgrundlage: el. Energie: 0,12 €/kWh (abhängig von Land), Betrieb der Maschine 50 Wochen/a, 40 h im Einschichtbetrieb]*

- 3) Im Vergleich zu herkömmlichen Schmelzklebertechnik auf CNC Bearbeitungszentren [HOMAG 2013]:

- ▶ Kostenersparnis bis zu 270 €/a

*[Berechnungsgrundlage: el. Energie: 0,12 €/kWh (abhängig von Land), Betrieb der Maschine 50 Wochen/a, 40 h im Einschichtbetrieb]*

### **Kantenanleimen mittels Atmosphärendruckplasma [DDS 2010]**

- ▶ Kann in bestehende Anlagen nachgerüstet werden (Umrüstkosten unter 100.000 €)
- ▶ Geringere Betriebskosten als Lasersysteme
- ▶ Günstiges Kantenmaterial, da keine Laser-Inhibitoren erforderlich
- ▶ Einfache Wartung

## **REFERENZEN**

Referenzliteratur:

- ▶ **[DDS 2010]** Das Magazin für Möbel und Ausbau. 2010. Kante im Brennpunkt. Plasmatechnik bringt die Nullfuge. [www.plasmatrete.de/downloads/deutsch/10-05\\_DDS\\_Plasmatechnik-Nullfuge.pdf](http://www.plasmatrete.de/downloads/deutsch/10-05_DDS_Plasmatechnik-Nullfuge.pdf)
- ▶ **[DÜSTEC 2014]** DÜSTEC Plasma Innovations. 2014. Die Vorteile des DÜSTEC-Systems auf einen Blick. [www.duestec.de/technologie/vorteile/](http://www.duestec.de/technologie/vorteile/)
- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (Stand 04/13)
- ▶ **[Niemann 2013]** Karl W. Niemann GmbH & Co. KG. 2014. Bau einer stationären Anlage zur Möbeloberflächenbehandlung mit Atmosphärendruckplasma für Schmalflächen-Kanten-Beschichtungen. Im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms. [http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/2013-03-05\\_internetbeitrag\\_niemann.pdf](http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/2013-03-05_internetbeitrag_niemann.pdf)
- ▶ **[Plasmatrete 2014]** Plasmatrete. 2014. Plasma schafft die Nullfuge [www.plasmatrete.de/industrieanwendungen/konsumgueter/moebel/plasmakante-nullfuge.html](http://www.plasmatrete.de/industrieanwendungen/konsumgueter/moebel/plasmakante-nullfuge.html)
- ▶ **[REHAU 2014]** REHAU United Polymer Solutions. 2014. Broschüre Raukantex Laser Edge. Holz- und Handwerksmesse Nürnberg. 17. Europäische Fachmesse für Maschinentechologie und Fertigungsbedarf. Nürnberg. 26. – 29.03.2014.
- ▶ **[Umweltinnovation 2013]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 2013. Bundesministerium fördert energiesparendes Verfahren in der Möbelindustrie. Pressemitteilung Nr. 037/13. [www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bundesumweltministerium-foerdert-energiesparendes-verfahren-in-der-moebelindustrie/](http://www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bundesumweltministerium-foerdert-energiesparendes-verfahren-in-der-moebelindustrie/)

## 5.2 Verwendung von Stand-By-Systemen

### TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Die Stand-By-Funktion versetzt energieverbrauchende Maschinen und Systeme in einen energiesparenden Wartezustand, entweder per Knopfdruck oder nach einem definierten Zeitraum. Sobald der energiesparende Modus aktiviert wird, unterbricht die Maschine den Normalbetrieb. Die energieverbrauchenden Aggregate schalten sich ab, alle Servoantriebe werden vom Netzanschluss getrennt und ein Signal deaktiviert automatisch die Absaugung [HOMAG 2013].

### ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN

Effizienzbeispiele, Senkung des Energieverbrauchs in konkreten Anwendungsbeispielen [HOMAG 2013]:

Beispiel 1) Bearbeitungszentrum für ein breites Aufgabenspektrum (z.B. Fräsen, Bohren, Kantenanleimen):

- ▶ Anschlusswert: 26 kW
- ▶ Durch Stand-by-Betrieb reduzierter Energieverbrauch im Leerlauf: bis zu 8.160 kWh/a
- ▶ Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes: bis zu 5,7 t/a

Beispiel 2) Kanten- und Formatbearbeitungsanlage (Möbelstraße zur Längs- und Querbearbeitung):

- ▶ Anschlusswert: 350 kW (inklusive Transport)
- ▶ Energieeinsparung: bis zu 30.000 kWh/a
- ▶ Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes: bis zu 21 t/a

*[Berechnungsgrundlage: el. Energie: 0,12 €/kWh (abhängig von Land), Betrieb der Maschine 50 Wochen/a, 40 h im Einschichtbetrieb]*

Weitere Umweltentlastungspotenziale:

- ▶ Verminderung von Lärmemissionen (auch Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes)

## **FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE**

Die Technik ist weit verbreitet und kann in bestehende Bearbeitungsmaschinen nachgerüstet werden. Die Technik ist ideal für den Einsatz in Bereichen, in denen die Maschinen nicht durchgängig betrieben werden, jedoch bei Bedarf schnell zur Verfügung stehen müssen.

## **WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN**

Mögliche Einsparungen aufgrund dieser technischen Anwendung in konkreten Anwendungsbeispielen [HOMAG 2013]:

Beispiel 1) Bearbeitungszentrum für ein breites Aufgabenspektrum (z.B. Fräsen, Bohren, Kantenanleimen):

- ▶ Kostenersparnis: bis zu 980 €/a

Beispiel 2) Kanten- und Formatbearbeitungsanlage (Möbelstraße zur Längs- und Querbearbeitung):

- ▶ Kostenersparnis: bis zu 3.700 €/a

*[Berechnungsgrundlage: el. Energie: 0,12 €/kWh (abhängig von Land), Betrieb der Maschine 50 Wochen/a, 40 h im Einschichtbetrieb]*

## **REFERENZEN**

Referenzliteratur:

- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (Stand 04/13)

## **5.3 Luftkissentische mit Lastabhängiger Luftkissensteuerung**

### **TECHNISCHE BESCHREIBUNG**

Luftkissentische werden eingesetzt, um Werkstücke wie Holzplatten leicht verschieblich zu lagern. Das zu Grunde liegende Funktionsprinzip der Luftkissentische ist, dass die Luftzuführungsöffnungen mit einer Druckluftquelle verknüpft sind. Die Erzeugung des Überdrucks erfolgt mittels Ventilatoren. Diese stellen einen Volumenfluss an komprimierter Luft zur Verfügung, der an eine Vielzahl von Luftdüsen verteilt wird und bei Aktivierung aus diesen austritt. Beim Ausströmen der Luft baut sich ein Luftpolster auf, das aufgelegte Werkstück schwebt und kann dadurch einfacher auf dem Bearbeitungstisch verschoben/gedreht werden. Die Aktivierung erfolgt oft durch das Eindrücken eines Stiftes durch das zu bearbeitende Holzwerkstück [Patent EP 2251127 A1], [Hochsmann 2014].

Auf dem Markt existieren unterschiedliche Weiterentwicklungen der konventionellen Luftkissentische. Es werden beispielsweise Luftkissentische mit lastabhängigem Gebläse angeboten. Dabei wird der Volumenstrom der zugeführten Luft in Abhängigkeit vom Gewicht des Werkstücks geregelt (integrierte Gewichtssensoren). Wenn kein Werkstück aufliegt, muss das Gebläse nicht laufen. Benötigt das Werkstück wenig Luft-Unterstützung zum Handling, wird weniger Druck erzeugt [Hochsmann 2014], [HOMAG 2013].



## **ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN**

Der Einsatz konventioneller Luftkissentische erfordert einen hohen Energiebedarf, da kontinuierlich die maximale Luftmenge ausgeblasen wird, unabhängig vom Gewicht und der Größe des aufliegenden Werkstücks. Die Luftmenge ist nicht an den tatsächlichen Bedarf angepasst [BaWü 2014].

Durch den Einsatz von Gewichtssensoren, für lastabhängige Luftkissensteuerung, kann der Energieverbrauch gesenkt werden. Gewichtssensoren können den notwendigen Bedarf feststellen und die Luftmenge entsprechend anpassen. Es wird nur so viel Luft ausgeblasen wie für das aufliegende Werkstück tatsächlich benötigt wird. Die lastabhängige Luftkissensteuerung ist somit in der Lage, den Energieverbrauch und damit auch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich zu reduzieren [BaWü 2014].

Weitere Umweltentlastungspotenziale:

- ▶ Ressourceneinsparung durch schonenden Umgang mit Werkstücken (Verminderung von Ausschuss)
- ▶ Verteilung von Staubemissionen in der Werkhalle vermindert (federgelagerte Verschluss-Kugeln schließen bei Nichtbelastung)
- ▶ Minderung der Lärmemissionen durch weniger ausströmende Luft
- ▶ Einfaches Handling und ergonomisches Arbeiten (Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes)
- ▶ Reduzierung der Zugluft am Arbeitsplatz (Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes)

## **FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE**

Die Technik ist nicht weit verbreitet. Luftkissentische mit lastabhängiger Luftkissensteuerung können beispielsweise bei horizontalen Plattenaufteilsägen eingesetzt werden.

## **WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN**

Mit dieser Technik kann der Verschleiß von Materialien verringert und damit die Ausschussquote reduziert werden. Durch die effizientere Ressourcennutzung sind zudem Kosteneinsparungen möglich.

Effizienzbeispiel [HOMAG 2013]:

- ▶ Abhängig von der Arbeitsweise und Luftkissentischgröße sind Einsparungen bis zu 144 €/a möglich.

*[Berechnungsgrundlage: el. Energie: 0,12 €/kWh (abhängig von Land), Druckluftkosten 0,04 €/Nm<sup>3</sup> bei 6-7 bar, Betrieb der Maschine 50 Wochen/a, 40 h im Einschichtbetrieb]*

## **REFERENZEN**

Referenzliteratur:

- ▶ **[BaWü 2014]** Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. 2014. Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg, Schreiner. [www.umweltschutz-bw.de/?lvl=341](http://www.umweltschutz-bw.de/?lvl=341)
- ▶ **[Hochsmann 2014]** Höchsmann Technology for Wood. 2014. Luftkissentisch Plattenzuschnitt. [www.hochsmann.com/lexikon/20434/Luftkissentisch\\_Plattenzuschnitt.html](http://www.hochsmann.com/lexikon/20434/Luftkissentisch_Plattenzuschnitt.html)
- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (Stand 04/13)

- ▶ **[Patent EP2251127 A1]** Europäische Patentanmeldung, Holzbearbeitungsmaschine mit Luftkissentisch, 2010

## 5.4 Verwendung effizienter Motoren

### TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Viele Standardmotoren erreichen besonders im Leistungsbereich unterhalb 20 kW nicht ihren theoretisch bestmöglichen Wirkungsgrad. Hier bieten Energiesparmotoren, insbesondere aufgrund ihrer verbesserten Blechpakete und Kupferwicklungen, verbesserter Luftführung im Motor und geringer Fertigungstoleranzen einen höheren Wirkungsgrad [ABADO 2014], [DENA 2010b].

Elektrische Antriebe werden nach ihrem Wirkungsgrad klassifiziert. In der EU wurden umfangreiche Gesetze verabschiedet, mit dem Ziel, den Energieverbrauch und damit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren. Durch die Norm IEC 60034-30 wurden neue Effizienzklassen für Asynchronmotoren festgelegt. Die weltweit harmonisierten Klassen (IE-Code) gelten für fast alle Niederspannungs-Drehstrommotoren im Leistungsbereich von 0,75-375 kW. Die Unterteilung der Motoren erfolgt in folgenden Klassen [DENA 2010b]:

- ▶ IE1=Standard Wirkungsgrad
- ▶ IE2=Hoher Wirkungsgrad
- ▶ IE3=Premium Wirkungsgrad
- ▶ IE4=Super Premium

Die Norm sorgt für eine international harmonisierte Regelung, bestimmt jedoch nicht, welche Motoren und Mindestwirkungsgrade eingesetzt werden müssen. Die gesetzlichen Anforderungen der EU sind in der Verordnung (EG) Nr. 640/2009 festgelegt. Für verschiedene Leistungsklassen werden wie folgt gesetzliche Mindestenergieeffizienzstandards definiert [DENA 2010b]:

- ▶ Leistungsklasse 0,75-375 kW: mindestens IE2 ab 16 Juni 2011
- ▶ Leistungsklasse 7,5-375 kW: mindestens IE3 oder IE2 mit Frequenzumrichter ab 1. Januar 2015
- ▶ Leistungsklasse 0,75-375 kW: mindestens IE3 oder IE2 mit Frequenzumrichter ab 1. Januar 2017

In holzbe- und verarbeitenden Betrieben werden Maschinen selten konstant belastet. Neben den offensichtlichen Potenzialen der Energiesparmotoren, ist eine genaue Drehzahlregelung des Motors zur Anpassung der benötigten Leistung unerlässlich. Je näher ein Elektromotor an seiner Nennlast betrieben wird, desto effizienter ist er. Eingesetzte Motoren sollten auch eine Ausschaltfunktion besitzen, die im Falle eines Anlagenstillstands eingesetzt werden kann [Tech et al. 2003].

### ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN

- 1) Effizienzbeispiel – Austausch eines älteren Motors (4-polig, 30kW, Effizienzklasse EFF3, Wirkungsgrad 85%) durch einen Motor der Effizienzklasse IE3 [DENA 2010b]

Austausch eines Motors (Bemessungsleistung 30 kW; Wirkungsgrad von 85 %)	
Betriebsstunden [h/a]	2.000
Energieeinsparung [kWh/a]	5.200
Kosteneinsparung [€/a]	620



2) Effizienzbeispiel – Vergleich von IE1, IE2 und IE3 Motoren [Siemens 2014]:

Beispielrechnung <sup>2</sup> - Bemessungsleistung 7,5 kW; Betriebszeit 2.000 h/a; Energiepreis 0,10 €/kWh			
Effizienzklasse	IE1*	IE2	IE3
Wirkungsgrad [%]	86,0	88,7	90,4
Energieverbrauch [kWh/a]	17.441	16.910	16.592
Energiekosten [€/a]	1.744,18	1.691,09	1.659,29
Einsparungen			
Energie [kWh]		530	848
CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg]		318	509

\*[Ab 16. Juni 2011 mindestens IE2 Motoren für die Leistungsklasse 0,75-375 kW und ab 1. Januar 2015 mindestens IE3 oder IE2 mit Frequenzumrichter für die Leistungsklasse 7,5-375 kW]

Weitere Umweltentlastungspotenziale:

- ▶ Verringerte Verluste auch während des Teillastbetriebs
- ▶ Höhere Lebensdauer als IE 1 Motoren (präzisere Bauweise, geringere Fertigungstoleranzen, etc.)
- ▶ Geringere thermische Belastungen (z.B. durch bessere Wicklung und Verwendung von mehr Kupfer, Verbesserung der Luftführung im Motor)
- ▶ Verringerter Wartungsaufwand
- ▶ Evtl. höherer Ressourcenverbrauch bei der Herstellung von Motoren (z.B. durch Einsatz von mehr Kupfer, um thermische Verluste möglichst gering zu halten)

**FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE**

Energieeffiziente Motoren können im gesamten Sektor angewendet werden. Eine Nachrüstung in bestehende Anlagen ist möglich. Falls keine Normmotoren verwendet werden, muss u.U. auf die richtigen Anschlüsse von Motor und restlichen Komponenten geachtet werden. Zur Optimierung von Stromverbrauch und Stromkosten sollte jedoch immer eine Gesamtbetrachtung des Antriebssystems mit Umrichter, Motor, Getriebe und Antriebsmaschine erfolgen.

**WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN**

Die Anschaffungskosten von energieeffizienten Motoren amortisieren sich in relativ kurzer Zeit über die eingesparten Energiekosten. Auch die Installationskosten unterscheiden sich kaum im Vergleich zu IE 1 Motoren, solange Normmotoren verbaut werden [DENA 2010b].

Effizienzbeispiel – Kosteneinsparung bei Verwendung eines IE3 Motors:

- ▶ Bemessungsleistung 7,5 kW
- ▶ Kosteneinsparung: ca. 30 €/a (gegenüber einem IE2 Motor)

[Betriebszeit 2.000 h/a; Energiepreis 0,10 €/kWh]

<sup>2</sup> Siemens Energiesparrechner (Online-Tool): [www.industry.siemens.com/drives/global/de/motor/niederspannungsmotoren/energiesparrechner/Seiten/Default.aspx](http://www.industry.siemens.com/drives/global/de/motor/niederspannungsmotoren/energiesparrechner/Seiten/Default.aspx)

Wartungsmaßnahmen sollten unabhängig von der Art des verwendeten Motors regelmäßig durchgeführt werden (z.B. Entfernung von Öl- und Staubablagerungen, Überprüfung von Dichtungsringen und elektrischen und mechanischen Anschlüssen). Durch regelmäßige und von qualifiziertem Fachpersonal durchgeführte Wartung können zwischen 3-10 % der Stromkosten eingespart werden [DENA 2010b].

## REFERENZEN

Referenzliteratur:

- ▶ **[ABADO 2014]** ABADO Energiemanagement. 2014. Energiemanagement in der Holzindustrie. URL: [www.abado-energiemanagement.de/holzindustrie.html](http://www.abado-energiemanagement.de/holzindustrie.html)
- ▶ **[DENA 2010b]** Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). 2010. Ratgeber – Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe: Energieeffizienz und Ökodesign-Richtlinie. Berlin, Juli 2010.
- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (Stand 04/13)

## 5.5 Energieeffiziente Absaugung von Spänen und Staub

### TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Die Förderung von Spänen und Staub mit Ventilatoren benötigt häufig mehr Energie als die abzusaugenden Holzbearbeitungsmaschinen. Im Bereich der Absaugung gibt es eine Vielzahl von Ansatzpunkten, um den Energiebedarf zu reduzieren. Die Kombination folgender Techniken wird hier näher betrachtet:

- ▶ Anpassung der Absaugluftmenge (z.B. durch Drehzahlregelung des Ventilators)
- ▶ Reinluftseitige Ventilatoranordnung
- ▶ Zentralabsaugung mit pneumatischen Absperrschiebern

Absauganlagen benötigen weniger Energie, wenn die Absaugleistung kontinuierlich dem tatsächlichen Bedarf angepasst wird. Die Anpassung kann mittels drehzahl geregelter Absaugventilatoren erfolgen, aber auch Ventilatoren, deren Leistungsaufnahme über Schieber gesteuert wird, nehmen im gedrosselten Betrieb deutlich weniger Leistung auf [Tech et al. 2003]. Das entstehende Späne-Staub-Gemisch wird an den Stützen der Bearbeitungsmaschinen erfasst und durch den Ventilator zum Filtergerät gefördert. Der Ventilator ist in der Regel im Reinluftbereich der Filteranlage oder nach der Filteranlage angeordnet. An einem Hauptabsaugrohr sind alle Werkzeuge der Produktionshalle angeschlossen (Zentralabsaugung). Die Hauptleitung ist mit pneumatisch betätigten Absperrschiebern ausgestattet, welche beim Ein- oder Ausschalten der Bearbeitungsmaschinen automatisch öffnen oder schließen. Die Steuerung öffnet die Klappen zum Absaugrohr ausschließlich beim Betrieb des Werkzeugs, wodurch nur bei Bedarf abgesaugt wird [SPÄNEX 2014], [Scheuch].

### ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN

1) Effizienzbeispiel – Einsparpotenzial moderner Lufttechnik [SPÄNEX 2014]:

- ▶ Praxisbeispiel 1: Absackfilteranlage mit dem Absaugventilator auf der Rohluftseite gegenüber einem Entstauber mit dem im Gerät integrierten und drehzahl geregelten Absaugventilator auf der Reinluftseite.

- ▶ Praxisbeispiel 2: Filteranlage mit rohluftseitig angeordneten Ventilatoren (geschlossene Laufräder), Wirkungsgrad etwa 70 % gegenüber einer drehzahlgeregelten Absauganlage mit zwei auf der Reinluftseite angeordneten Ventilatoren.

Einsparpotenziale moderner Lufttechnik; Praxisbeispiel 1		
Bezeichnung	Absackfilteranlage	Entstauber
Volumenstrom in [m <sup>3</sup> /h]	6.000	6.000
Pressung in [Pa]	2.500	2.500
Wirkungsgrad in [%]	60	80
Betriebsweise	einschichtig	einschichtig
Betriebsstunden in [h/a]	1.600	1.600
Auslastungsgrad* in [%]	75	75
Stromverbrauch in [kWh/a]	11.100	5.000
Einsparpotenzial in [kWh/a]	6.100	

Einsparpotenziale moderner Lufttechnik; Praxisbeispiel 2		
Bezeichnung	Überdruckfilteranlage ungeregelte Absaugventilatoren	Unterdruckfilteranlage geregelte Absaugventilatoren
Volumenstrom in [m <sup>3</sup> /h]	55.000	55.000
Pressung in [Pa]	4.000	4.000
Wirkungsgrad in [%]	70	80
Betriebsweise	zweischichtig	zweischichtig
Betriebsstunden in [h/a]	3.200	3.200
Auslastungsgrad* in [%]	75	75
Stromverbrauch in [kWh/a]	280.000	161.000
Einsparpotenzial in [kWh/a]	119.000	

*\*[der Auslastungsgrad von 75 % bedeutet, dass im Mittel nur ein Bedarf von 75 % an Absaugleistung entsprechend den Volumenströmen von etwa a) 4.500 m<sup>3</sup>/h bzw. b) 41.000 m<sup>3</sup>/h besteht. Bei der Altanlage bzw. Überdruckfilteranlage verändert sich die Luftmenge nur im Rahmen des Drosseleffektes, der sich durch das Schließen von Absperrschiebern nicht genutzter Bearbeitungsmaschinen ergibt. Gleichzeitig erhöht sich jedoch die Pressung des Ventilators, sodass die Auswirkungen auf den Jahresstromverbrauch nicht relevant sind. Bei den Neuanlagen wird durch die Drehzahlregelung nur der jeweils erforderliche Volumenstrom gefördert. Gleichzeitig passt sich die Pressung des Ventilators dem verringerten Absaugvolumen an.]*

Weitere Umweltentlastungspotenziale:

- ▶ Verminderung von Staubemissionen (Reststaubgehalt unter 0,1 mg/m<sup>3</sup>)
- ▶ Praktisch kein Verschleiß (das Laufrad und Gehäuse werden nur mit gefilterter Luft beaufschlagt)

- ▶ Der Ventilator scheidet als potentielle Zündquelle aus, da er sich nicht im Materialstrom befindet
- ▶ Der Absaugventilator kann schalldämpfend eingehaust werden (Verringerung von Lärmemissionen)

2) Effizienzbeispiel (konkrete Anwendungsbeispiele bei verschiedenen Holzbearbeitungsmaschinen), [HOMAG 2013]:

Formatbearbeitungs- und Kantenanleimmaschine:

- ▶ Unterdrucke: 2.500 Pa für Nachbearbeitung, 1.800 Pa für Formatbearbeitung
- ▶ Einzelklappensteuerung
- ▶ Energieeinsparung: bis zu 33.000 kWh/a

Formfräsaggregat bei Kantenanleimmaschine:

- ▶ Bis zu 3,8 Millionen m<sup>3</sup> weniger Absaugungsbedarf pro Jahr
- ▶ Um bis zu 4.200 kWh/a bzw. 47 % reduzierter Energieverbrauch
- ▶ Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um bis zu 3 t/a
- ▶ Kosteneinsparung: bis zu 500 €/a

Breitbandschleifmaschine:

- ▶ Energieersparnis: ca. 18.000 kWh/a durch Senkung des benötigten Absaugvolumens

3) Effizienzbeispiel [Tech et al. 2003]:

- ▶ Verringerung der Ventilatordrehzahl um 10 % bewirkt eine Energieeinsparung von ~33 %

## **FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE**

Die beschriebenen Techniken sind weit verbreitet und es existiert eine Reihe möglicher Variationen. Die Techniken können über die gesamte Leistungsbandbreite eingesetzt werden, mit Absaugvolumenströmen von etwa 3.000 m<sup>3</sup>/h bei Kleinanlagen bis zu 100.000 m<sup>3</sup>/h und mehr bei Großanlagen [SPÄNEX 2014].

Die Zentralabsaugung ist eher geeignet für größere Betriebe und es ist von Vorteil, wenn die Maschinen überwiegend im Dauerbetrieb arbeiten. Die Technik kann bei Bedarf erweitert werden, da bei Anschluss neuer Maschinen an die Absaugung ausschließlich die entsprechenden Absaugrohre an das Hauptabsaugrohr angeschlossen werden [Tech et al. 2003], [Gespräch Scheuch Holzmesse].

Im reinluftseitigen Bereich sollten ausschließlich Hochleistungsventilatoren mit geschlossenen Laufrädern zum Einsatz kommen, mit Wirkungsgraden von ca. 0,85 [Tech et al. 2003].

## **WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN**

Die Kosten für die Absaugung schwanken stark in Abhängig von der Größe des Unternehmens (des Absaugvolumens). Bei kleinen Anlagen entsprechen die Investitionskosten ca. 10 % der Investitionskosten für die Gesamtanlage [Gespräch Scheuch Holzmesse]. Zentralabsauganlagen weisen geringere Investitionskosten auf als Einzelabsauganlagen [Tech et al. 2003]. Für Informationen zur möglichen Kosteneinsparungen siehe auch Effizienzbeispiele.

## **REFERENZEN**

Referenzliteratur:

- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. URL: [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (Stand 04/13).
- ▶ **[SPÄNEX 2014]** Spänex. 2014. Praxisbeispiele für „Moderne Absaugtechnik“, „Energieeffiziente Absauganlage“ und „Energiesparende Anlagentechnik“. [www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html](http://www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html) und Holz-Zentralblatt „Energieeinsparung entlastet Holzbe- und verarbeitende Betriebe“. <http://www.spaenex.de/uploads/media/Holz-Zentralblatt-18.09.2009.pdf>
- ▶ **[Tech et al. 2003]** Tech T., Bodden P. und Albert J. 2003. Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Leitfaden für die betriebliche Praxis. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003.

## 5.6 Luftrückführung nach Entstaubung

### TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Der Wärmeinhalt der abgesaugten Luft wird in vielen Fällen nicht genutzt und geht als Abwärme in die Umgebung verloren. Mit den derzeit eingesetzten Filteranlagen (Filterschläuche aus Gewebe) können Reststaubkonzentrationen von unter  $0,1 \text{ mg/m}^3$  erreicht werden. Die abgesaugte und gefilterte Luft kann nach dem Passieren des Filters zu ca. 80 % wieder in den Bereich der Holzbearbeitungsmaschinen zurückgeführt werden. Dem Fertigungsbereich wird somit nur 20 % der ursprünglich erwärmten Luft entnommen. Die Luftrückführung kann daher den Energieverbrauch deutlich senken, da keine Energie zur Erwärmung der angesaugten Luft von Außentemperatur auf die in der Halle gewünschte Temperatur benötigt wird. Zudem kann ein kleinerer Kessel installiert werden. Falls auf die direkte Luftrückführung verzichtet werden muss, besteht die Möglichkeit, nach der Filteranlage Wärmerückgewinnungssysteme einzusetzen, die mit Wirkungsgraden von ~60 % arbeiten. Die vorzuhaltende Heizleistung und der äquivalente Brennstoffverbrauch reduzieren sich damit auf etwa 40 % [Tech et al. 2003], [SPÄNEX 2014].

### ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN

- ▶ 1) Effizienzbeispiel – Direkte Luftrückführung [SPÄNEX 2014]:
  - ▶ Bei einem Absaugvolumenstrom von  $10.000 \text{ m}^3/\text{h}$  muss eine Heizkesselleistung von 110 kW vorgehalten werden; der Ölverbrauch zur Erwärmung der Luft beträgt etwa 25.000 l/a; bei einem Absaugvolumen von  $100.000 \text{ m}^3/\text{h}$  würde sich der Ölverbrauch verzehnfachen
  - ▶ Bei direkter Luftrückführung kann ein hoher Anteil dieses Ölverbrauchs eingespart werden
- ▶ 2) Effizienzbeispiel – Wärmerückgewinnungssysteme [SPÄNEX 2014]:
  - ▶ Beim Einsatz von Wärmerückgewinnungssystemen verringern sich die vorzuhaltende Heizleistung und der äquivalente Ölverbrauch auf etwa 40 %

Weitere Umweltentlastungspotenziale:

- ▶ Keine negativen Einflüsse durch evtl. belastete Abluft (geringe Staubbelastung; Reststaubkonzentrationen von  $< 0,1 \text{ mg/m}^3$  bei Einsatz von Schlauchfiltern aus Gewebe)
- ▶ Die Rückluft wird zugfrei in die Werkhalle eingeleitet, durch großzügig dimensionierte Ausblaskanäle (Austrittsgeschwindigkeit  $< 1 \text{ m/s}$ )
- ▶ Verbesserung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes (geringe Staubbelastung und keine Zugluft in Arbeitsräumen)

## FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE

Die Technik kann im gesamten Sektor eingesetzt werden. Eine Nachrüstung ist möglich. Bei Anlagen ohne Luftrückführung sollte geprüft werden, ob das Einspar- und Energiepotenzial der direkten Luftrückführung genutzt werden kann. Unter Umständen sind anlagentechnische Modifikationen nötig wie z.B. Ersatz der Filterschläuche, Überprüfung der Ventilatorleistung, etc. Falls auf die direkte Luftrückführung verzichtet werden muss, besteht die Möglichkeit, nach der Filteranlage Wärmerückgewinnungssysteme einzusetzen.

## WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

- ▶ Kosteneinsparung durch deutliche Verringerung des Brennstoffverbrauchs zur Erwärmung der angesaugten Luft auf die in der Werkhalle gewünschte Temperatur
- ▶ Kleinerer (günstigerer) Kessel kann verwendet werden

## REFERENZEN

Referenzliteratur:

- ▶ **[SPÄNEX 2014]** Spänex. 2014. Praxisbeispiele für „Moderne Absaugtechnik“, „Energieeffiziente Absauganlage“ und „Energiesparende Anlagentechnik“. [www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html](http://www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html) und Holz-Zentralblatt „Energieeinsparung entlastet Holzbe- und auch verarbeitende Betriebe“. <http://www.spaenex.de/uploads/media/Holz-Zentralblatt-18.09.2009.pdf>
- ▶ **[Tech et al. 2003]** Tech T., Bodden P. und Albert J. 2003. Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Leitfaden für die betriebliche Praxis. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003.

## 5.7 Rückgewinnung der Abbremsenergie

### TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Die Bremsenergie von Holzbearbeitungsmaschinen kann mittels Regelelektronik durch Generatorschaltung der Motoren genutzt werden. Dies ist besonders bei Maschinen wirksam, die häufig Geschwindigkeits- oder Drehrichtungsänderungen vornehmen [Tech et al. 2003]. Diese können die beim Abbremsen bislang in Wärme umgewandelte Energie kontrolliert und praktisch frei von Rückwirkungen zurück ins Netz einspeisen, sodass sie von anderen Verbrauchern wieder verwendet werden kann [KEM 2014].

### ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN

- ▶ 1) Effizienzbeispiel - Energierückspeisung bei CNC-Bearbeitungszentren [HOMAG 2013]:
  - ▶ Rückspeiseenergie: bis zu 3.200 kWh/a
  - ▶ Bis zu 2,2 t/a weniger CO<sub>2</sub> – Ausstoß
  - ▶ Kostenersparnis: bis zu 384 €/a
- ▶ 2) Effizienzbeispiel [KEM 2014]:
  - ▶ Energieeinsparung bis zu 20 % realisierbar (z.B. bei mehreren Vorschub- und zahlreichen Spindelantrieben pro Maschine und Motorleistungen bis zu 90 kW, insbesondere an den Achsen mit höheren Trägheitsmomenten wie etwa bei den Messerantrieben)

Weitere Umweltentlastungspotenziale:

- ▶ Geringere Abgabe von Wärmeenergie (Wegfall von Bremswiderstand)



- ▶ Weniger Wärme im Schaltschrank (weniger Energie für die Klimatisierung)
- ▶ Verwendung kleinerer Schaltschränke möglich
- ▶ Erforderliche Einheiten sind bereits in den Maschinen vorhanden, weshalb ohne Anpassungen oder zusätzliche Maßnahmen im Fabriknetz gearbeitet werden kann

#### **FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE**

- ▶ Die Technik ist nicht weit verbreitet
- ▶ Insbesondere geeignet bei leistungsstärkeren Maschinen
- ▶ Insbesondere geeignet bei kurzen Bearbeitungszyklen mit häufigem Werkzeugwechsel
- ▶ Kann ohne größeren Aufwand eingesetzt werden (alle Einheiten bereits in der Maschine integriert)

#### **WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN**

Es liegen keine Angaben vor zu Kapital/Investitionskosten der Technik.

Die Energiebilanz wird insbesondere bei leistungsstärkeren Maschinen verbessert und über reduzierte Betriebskosten die Amortisationszeiten verkürzt [KEM 2014]. Für Informationen zu möglichen Kosteneinsparungen siehe auch Effizienzbeispiele 1) u. 2).

#### **REFERENZEN**

Referenzliteratur:

- ▶ **[KEM 2014]** Konstruktion, Entwicklung, Management (KEM). 2013. Hobeln mit Rückspeisung, Umrichter verbessern die Energiebilanz von Holzbearbeitungsmaschinen. [www.kem.de/innovationdesmonats/-/article/30599594/37267874/Hobeln-mit-R%C3%BCckspeisung/art\\_co\\_INSTANCE\\_0000/maximized/](http://www.kem.de/innovationdesmonats/-/article/30599594/37267874/Hobeln-mit-R%C3%BCckspeisung/art_co_INSTANCE_0000/maximized/)
- ▶ **[Tech et al. 2003]** Tech T., Bodden P. und Albert J. 2003. Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Leitfaden für die betriebliche Praxis. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003.

### **5.8 Einsatz reibungsarmer Mechaniken und Antriebssysteme**

#### **TECHNISCHE BESCHREIBUNG**

Linearmotoren sind im Prinzip Drehstrommotoren, die der Länge nach „aufgewickelt“ werden. Die Kraftübertragung erfolgt nicht mehr über eine Welle, die im Motor über einen Rotor angetrieben wird und die Kraft auf ein Getriebe und dann auf z.B. ein Ritzel überträgt. Bei dieser Technologie ist der Rotor als Magnet auf der Wicklung berührungslos unterwegs. Der Rotor hält also das zu bewegendes Aggregat wie Sägewagen oder Schieber magnetisch schwebend und wird über die indizierte Spannung in die jeweils gewünschte Richtung transportiert. Durch den Einsatz von Linearmotoren und Aggregatführungen über Linearführungen werden mechanische Komponenten überflüssig [Giben 2014].

#### **ENERGIEEINSPARUNGS- UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIALE SOWIE MEDIENÜBERGREIFENDE AUSWIRKUNGEN**

Durch den Einsatz der Technik verringert sich der Energieverbrauch (keine quantitativen Angaben).

Weitere Umweltentlastungspotenziale und medienübergreifende Auswirkungen:

Die Kraftübertragung erfolgt ohne Mechanik direkt auf das Aggregat. Ebenso erfolgt die Maßnahme nicht mit Drehgebern, sondern ebenfalls magnetisch, berührungslos und dient beim

Schieber gleichzeitig zur Synchronisation der beiden Linearmotoren auf der linken und rechten Traverse. Dadurch können die Aggregate viel schneller beschleunigt und abgebremst werden [Giben 2014]:

- ▶ Geschw. Sägewagen: 1-300 m/min (Technik mit Kette/Ritzel/Zahnstange 1-170 m/min)
- ▶ Geschw. Schieber: 1-120 m/min (Technik mit Kette/Ritzel/Zahnstange 1-90 m/min)
- ▶ Beschl. Sägewagen: 5,3 m/s<sup>2</sup> (Technik mit Kette 2,6 m/s<sup>2</sup>, Ritzel/Zahnstange 2,4 m/s<sup>2</sup>)
- ▶ Beschleunigung Schieber: 3 m/s<sup>2</sup> (Technik mit Kette/Ritzel/Zahnstange 0,75 m/s<sup>2</sup>)
- ▶ Doppelt so viele Schnitte in der Minute möglich wie bei Maschinen mit Kette/Ritzel/Zahnstange
- ▶ Zudem geringerer Materialverschleiß (die Linearführungen dienen nur noch dazu, das Aggregat in der Bahn zu halten und zu führen, nicht jedoch dazu, Kräfte oder Gewichte zu tragen).

### **FÜR DIE ANWENDBARKEIT RELEVANTE TECH. ASPEKTE**

Die Technik ist nicht weit verbreitet.

### **WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN**

Keine Informationen zu wirtschaftlichen Auswirkungen vorhanden.

### **REFERENZEN**

Referenzliteratur:

- ▶ **[Giben 2014]** Giben Plattenaufteiltechnik. 2014. Innovative Lösungen Giben Eco Tech. [www.giben.de/Website\\_Giben/GIBEN\\_Loesungen\\_ECOTech.html](http://www.giben.de/Website_Giben/GIBEN_Loesungen_ECOTech.html) und [www.giben.de/Website\\_Giben/GIBEN\\_Maschinen\\_Prisma6000\\_ECOTech.html](http://www.giben.de/Website_Giben/GIBEN_Maschinen_Prisma6000_ECOTech.html)



## 6 Applied techniques to reduce energy consumption (Fact-sheets)

In the following, selected techniques which are applied in order to reduce energy consumption will be described as fact-sheets.

### 6.1 Edge banding with laser and atmospheric plasma

#### DESCRIPTION

In order to allow a comparison with conventional glue-based edge banding processes, as well as with processes based on hot air, these techniques will be also briefly described.

#### Edge banding with conventional, glue-based processes

In a glue tray, bulky particles of the glue are heated up until they fluidize. Processed glues are commonly PU (polyurethane) and EVA (ethylene vinyl acetate) based glues. The working piece which has to be coated is pulled via rollers into the edge banding machine. Simultaneously the edge is fed separately into the machine. The glue is applied via rollers onto the working piece. Finally, the edge is pressed via conical pressing rollers onto the working piece and is - if required – further processed (e.g. radius adjustment).

#### Edge banding with hot air

The coiled edge is fed via a feeding guide with rollers into the edge banding machine. From this point, it is automatically processed further. All edges are coated with a functional polymer layer. Within the process the edge is heated up temporarily with hot and compressed air, in order to activate the functional layer. Afterwards, the edge is pressed via conical pressing rollers onto the working piece and is – if required – processed further (e.g. edge rounding) [HOMAG 2013].

#### Edge banding with laser

The functional principle is similar to edge banding with hot air. The main difference is that the functional layer is activated with laser technology. A special adhesive coating is melted directly on the edging and pressed directly onto the working piece. An oscillating mirror deflects the laser to the required height, depending on the thickness of the edging. This simplifies the processing compared to conventional glue-based systems. The result is a visually seamless, so called ‘zero joint’ [HOMAG 2013].

#### Edge banding with atmospheric plasma

The edges are mounted via an activation process of atmospheric plasma. Therefore, the edges are coated with a special polyurethane layer, which is activated with the help of plasma. Afterwards the edge is joint solidly and mostly seamless with the working piece. The polymer or glue-based layer is heated up to the required temperature, similar to the process of edge banding with laser [Niemann 2013].

#### POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

#### Edge banding with conventional, glue-based processes

- ▶ Relatively high energy demand for heating up the glue inside the glue tray
- ▶ Usual energy demand: 17 kWh [DDS 2010]
- ▶ Use of glue and auxiliary materials like separating agents or detergents
- ▶ Possible pollution or cleaning problems due to application of melted glue

### **Edge banding with hot air**

- ▶ Relatively high energy demand for heating up air
- ▶ No usage of glue and auxiliary materials
- ▶ High quality final products (Resource savings due to longer product life span)
- ▶ Reduced production failures due to higher quality inside the process (raw material savings)

### **Edge banding with laser**

1) In comparison with conventional, hot melt adhesive technology on through-feed machines [HOMAG 2013]:

- ▶ Energy savings: up to 36,911 kWh/a (more than 40 %)
- ▶ Reduction of CO<sub>2</sub> emissions: up to 26 t/a

*[Calculation basis: operation time 50 weeks/a, 40 h one-shift operation]*

2) In comparison with the conventional hot melt adhesive technology on CNC processing centres [HOMAG 2013]:

- ▶ Energy savings: up to 2,250 kWh/a (more than 20 %)
- ▶ Reduction of CO<sub>2</sub> emissions: up to 1.6 t/a

*[Calculation basis: operation time 50 weeks/a, 40 h one-shift operation]*

Further environmental benefits [HOMAG 2013], [REHAU 2014]:

- ▶ Energy demand exclusively during actual moment of gluing edge onto working piece
- ▶ No usage of glue and auxiliary materials such as separating agents and detergents (in addition, storage/logistics of utilities and adjustment of edge material and adhesion agent are not required)
- ▶ Reduction of possible pollution or cleaning problems (saving of detergents)
- ▶ Reduction of reject rate (resource savings)
- ▶ Increase of heat and moisture resistance of the working pieces due to the permanent functional 'zero joint' (potential resource savings due to longer life span of final products)
- ▶ Minimized maintenance and set-up time (higher productivity)
- ▶ Improvement of health and safety at work (no handling of adhesives and auxiliary materials such as separating and cleansing agents)

### **Edge banding with atmospheric plasma**

- ▶ The energy demand (with an edge width of 23mm and a feed rate of 20m/min) is about 7 kWh. Compared to conventional edge banding techniques, with glue tray and pre-melting, around 8 kWh can be saved. A heating process like in conventional glue-based processes is not needed [DÜSTEC 2014].
- ▶ Energy savings: up to 11,616 kWh/a [Umweltinnovation 2013]
- ▶ Reduction of CO<sub>2</sub> emissions: ca. 6.5 t/a [Umweltinnovation 2013]

Further environmental benefits [DDS 2010], [DÜSTEC 2014]:

- ▶ Energy demand exclusively during the actual moment of gluing edge onto working piece
- ▶ No usage of glue and auxiliary materials such as separating agents and detergents (in addition, storage/logistics of utilities and adjustment of edge material and adhesion agent are not required)
- ▶ Reduction of possible pollution or cleaning problems (saving of detergents)
- ▶ Improvement of health and safety at work (no handling of adhesives and auxiliary materials such as separating and cleansing agents)

- ▶ Permanent light and ageing resistant sealing due to the invisible ‘zero joint’ (potential resource savings due to longer life span of final products)
- ▶ The technology is technically mature, robust and low-maintenance, even during high operation level and time
- ▶ Simple maintenance

## **APPLICABILITY**

### **Edge banding with laser**

Edge banding with laser is suitable for shift operation and high feed rates (> 25 m/min). In comparison with edge banding with hot air (feed rate up to 20 m/min) the process is faster and therefore suitable for industrial applications (edge banding with hot air is rather suitable for SME). Additional advantages of the laser technology are simple handling, high availability, reduction of process steps, low maintenance and short set-up times (e.g. during change of colours).

### **Edge banding with atmospheric plasma**

Opposite to laser technologies, the process can be integrated into existing edge banding systems at low cost. The plasma technology is suitable for equipping or upgrading of any machine categories, starting at manual workstations, feed-through or high-speed machines, up to two-dimensional machining centres. The technique is suitable for feed rates of 30 m/min and edging widths of 22 mm [Plasmatreat 2014]. Technical solutions for lower and higher feed rates are currently under development.

## **ECONOMICS**

### **Edge banding with laser**

1) Investment costs account for ca. 180,000 € (Investment cost for edge banding with hot air amounts to ca. 40,000 €), [Interview with BRANDT Kantentechnik]

2) In comparison with conventional hot melt adhesive technology on through-feed machines [HOMAG 2013]:

- ▶ Cost savings: up to 4,430 €/a

*[Calculation basis: el. energy: 0.12 €/kWh (varies with country), operation time 50 weeks/a, 40 h one-shift operation]*

3) In comparison with the conventional hot melt adhesive technology on CNC processing centres [HOMAG 2013]:

- ▶ Cost savings: up to 270 €/a

*[Calculation basis: el. energy: 0.12 €/kWh (varies with country), operation time 50 weeks/a, 40 h one-shift operation]*

### **Edge banding with atmospheric plasma [DDS 2010]**

- ▶ Integration in existing system possible (Retooling cost significantly lower than 100,000 €)
- ▶ Current development of a cheaper solution for non-industrial applications
- ▶ Lower running costs compared to laser based systems
- ▶ Reduction of material cost for edges since laser inhibitors are not necessary anymore
- ▶ Simple maintenance

## REFERENCE LITERATURE

- ▶ **[DDS 2010]** Das Magazin für Möbel und Ausbau. 2010. Kante im Brennpunkt. Plasmatechnik bringt die Nullfuge. [www.plasmatreat.de/downloads/deutsch/10-05\\_DDS\\_Plasmatechnik-Nullfuge.pdf](http://www.plasmatreat.de/downloads/deutsch/10-05_DDS_Plasmatechnik-Nullfuge.pdf)
- ▶ **[DÜSTEC 2014]** DÜSTEC Plasma Innovations. 2014. Die Vorteile des DÜSTEC-Systems auf einen Blick. [www.duestec.de/technologie/vorteile/](http://www.duestec.de/technologie/vorteile/)
- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (effective: 04/13)
- ▶ **[Niemann 2013]** Karl W. Niemann GmbH & Co. KG. 2014. Bau einer stationären Anlage zur Möbeloberflächenbehandlung mit Atmosphärendruckplasma für Schmalflächen-Kanten-Beschichtungen. Im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms. [http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/2013-03-05\\_internetbeitrag\\_niemann.pdf](http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/2013-03-05_internetbeitrag_niemann.pdf)
- ▶ **[Plasmatreat 2014]** Plasmatreat. 2014. Plasma schafft die Nullfuge [www.plasmatreat.de/industrieanwendungen/konsumgueter/moebel/plasmakante-nullfuge.html](http://www.plasmatreat.de/industrieanwendungen/konsumgueter/moebel/plasmakante-nullfuge.html)
- ▶ **[REHAU 2014]** REHAU United Polymer Solutions. 2014. Broschüre Raukantex Laser Edge. Holz- und Handwerksmesse Nürnberg. 17. Europäische Fachmesse für Maschinentechologie und Fertigungsbedarf. Nürnberg. 26. – 29.03.2014.
- ▶ **[Umweltinnovation 2013]** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 2013. Bundesministerium fördert energiesparendes Verfahren in der Möbelindustrie. Pressemitteilung Nr. 037/13. [www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bundesumweltministerium-foerdert-energiesparendes-verfahren-in-der-moebelindustrie/](http://www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bundesumweltministerium-foerdert-energiesparendes-verfahren-in-der-moebelindustrie/)

## 6.2 Use of stand-by systems

### DESCRIPTION

With the help of a stand-by function, energy intensive machinery and systems can be transferred into an energy saving ‘sleeping mode’, either via a regular button or after a certain time period. As soon as the energy saving mode is activated, the machine stops its regular operation mode. All energy consuming units shut down, servo drives are disconnected from power supply and a signal deactivates the automatic extraction system [HOMAG 2013].

### POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

Efficiency example: Reduction of energy consumption in specific examples [HOMAG 2013]:

Example 1) Multifunctional machining centre (e.g. moulding, drilling, edge banding)

- ▶ Connected load: 26 kW
- ▶ Reduced energy consumption due to stand-by operation when machine is idle: up to 8,160 kWh/a
- ▶ Reduction of CO<sub>2</sub> emissions: up to 5.7 t/a

Example 2) Sizing and edge banding system (complete furniture line for lengthwise and crosswise processing):

- ▶ Connected load: 350 kW (including transport)
- ▶ Energy savings: up to 30,000 kWh/a
- ▶ Reduction of CO<sub>2</sub> emissions: up to 21 t/a

*[Calculation basis: el. energy: 0.12 €/kWh (varies with country), operation time 50 weeks/a, 40 h one-shift operation]*

Further environmental benefits:

- ▶ Reduction of noise emissions (implies improvement of health and safety at work)

## **APPLICABILITY**

The regarded technique is widely used and can be integrated in existing processing machines. It is suitable for applications where machinery is not running continuously but needs to be in operation mode quickly.

## **ECONOMICS**

Potential cost savings due to technical application in specific examples [HOMAG 2013]:

Example 1) Multifunctional machining centre (e.g. moulding, drilling, edge banding):

- ▶ Cost savings: up to 980 €/a

Example 2) Sizing and edge banding system (complete furniture line for lengthwise and crosswise processing):

- ▶ Cost savings: up to 3,700 €/a

*[Calculation basis: el. energy: 0.12 €/kWh (varies with country), operation time 50 weeks/a, 40 h one-shift operation]*

## **REFERENCE LITERATURE**

**[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (effective: 04/13)

## **6.3 Air cushion tables with load dependent control**

### **DESCRIPTION**

The basic functional principle of air tables is that one or more air inlet openings within the table can be fed with compressed air. The necessary pressure is commonly generated via fans. The volume flow of the compressed air is distributed to several air outlet openings where air can be released on demand. Flowing out of the opening, the compressed air forms an air cushion and the working piece floats on top of this air cushion. Hence, it can be moved or turned easily on the processing table. The air flow commonly is activated when the working piece is pushed onto a pin on the table [Patent EP 2251127 A1], [Hochsmann 2014].

There are several developments of conventional air tables on the market, for instance air tables with load-dependent control. Thereby, the volume flow of compressed air is regulated depending on the weight of the working piece (via integrated weight sensors). As long as no working piece is placed on the table, the fans are turned off. Correspondingly, the pressure will be reduced when the working piece only requires a small amount of air support [Hochsmann 2014], [HOMAG 2013].

## POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

Applying conventional air tables requires a high energy demand, since the maximum air volume is generated continuously and independent from weight and size of the treated working piece. The generated air volume is not adjusted to the actual volume needed [BaWü 2014].

Via the application of weight sensors for air tables with load-dependent control, the energy consumption can be decreased. The integrated sensors are able to determine the necessary demand and adjust the supplied volume of compressed air. Consequently, only the volume of compressed air is generated, which is needed for handling of the working piece. Load-dependent control of air tables, therefore, significantly reduces energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions [BaWü 2014].

Further environmental benefits:

- ▶ Resource savings due to careful treatment of working pieces (decrease of reject rate)
- ▶ Reduced distribution of dust emissions in workshop (spring-loaded locking balls locked during non-load situations)
- ▶ Reduction of noise emission due to less flowing air
- ▶ Simple handling and ergonomic working conditions (improvement of health and safety at work)
- ▶ Reduction of air draft at working places (improvement of health and safety at work)

## APPLICABILITY

The technique is not widespread. Air tables with load-dependent control can be used for example in horizontal panel sizing saws.

## ECONOMICS

With this process wear of material and hence the reject rate can be reduced. In addition cost savings are possible due to a more efficient use of resources.

Efficiency example [HOMAG 2013]:

- ▶ Depending on the mode of operation and air table size, savings of up to 144 €/a are possible. *[Calculation basis: el. energy: 0.12 €/kWh (varies with country), compressed air cost 0.04 €/Nm<sup>3</sup> at 6-7 bar, operation time 50 weeks/a, 40 h one-shift operation]*

## REFERENCE LITERATURE

- ▶ **[BaWü 2014]** Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. 2014. Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg, Schreiner. [www.umweltschutz-bw.de/?lvl=341](http://www.umweltschutz-bw.de/?lvl=341)
- ▶ **[Hoechsmann 2014]** Höchsmann Technology for Wood. 2014. Luftkissentisch Plattenzuschnitt. [www.hoechsmann.com/lexikon/20434/Luftkissentisch\\_Plattenzuschnitt.html](http://www.hoechsmann.com/lexikon/20434/Luftkissentisch_Plattenzuschnitt.html)
- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (effective: 04/13)
- ▶ **[Patent EP2251127 A1]** Europäische Patentanmeldung, Holzbearbeitungsmaschine mit Luftkissentisch, 2010

## 6.4 Use of energy efficient motors

### DESCRIPTION

Many standard motors are not able to provide the highest possible efficiency, especially in the power range lower than 20kW. Within this range, energy efficient motors possess higher efficiency rates due to improved sheet stacks and copper windings, improved airflow inside the motor and lower production tolerances [ABADO 2014], [DENA 2010b].



Electrical drives are classified according their level of efficiency. Within the EU substantial laws have been adopted in order to reduce energy consumption and thus CO<sub>2</sub> emissions. IEC 60034-30 determines efficiency classes for asynchronous motors. Worldwide harmonized classes (IE-codes) are valid for almost any low voltage three-phase motor within the output range of 0.75 to 375 kW. The electric motors are classified as follows [DENA 2010b]:

- ▶ IE1= Standard Efficiency
- ▶ IE2= High Efficiency
- ▶ IE3= Premium Efficiency
- ▶ IE4= Super Premium Efficiency

The standard provides an internationally harmonized regulation, but does not determine which motors have to be used or respectively which minimum efficiency levels have to be fulfilled. Legal requirements for the EU are laid down in Commission Regulation (EC) No 640/2009. For different power classes, legal minimum standards for efficiency have been defined [DENA 2010b]:

- ▶ Power class 0.75-375 kW: at least IE2, starting June 16, 2011
- ▶ Power class 7.5-375 kW: at least IE3 or IE2 with frequency inverter, starting January 1, 2015
- ▶ Power class 0.75-375 kW: at least IE3 or IE2 with frequency inverter, starting January 1, 2017

In wood working companies the wood processing machinery is rarely used continuously. Besides the obvious potential of using efficient motors, an accurate use of rotation speed control is essential in order to adapt the output of the motor to the actual power needed. The closer a motor is operated at its nominal load, the more efficient it will be. Additionally, motors should have a switch-off function, which can be used during machinery downtime [Tech et al. 2003].

## POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

1) Efficiency example – Exchanging an old motor (4-pole, 30kW, efficiency class EFF3, efficiency 85%) with a motor of class IE3 [DENA 2010b]:

Exchange of a motor (Rated Power 30 kW; Efficiency 85 %)	
Operation time [h/a]	2,000
Energy savings [kWh/a]	5,200
Cost savings [€/a]	620

2) Efficiency example – Comparison of IE1, IE2 and IE3 motors [Siemens 2014]:

Example calculation <sup>3</sup> - rated power 7.5 kW; operation time 2,000 h/a; energy price 0.10 €/kWh			
Efficiency class	IE1*	IE2	IE3
Efficiency [%]	86.0	88.7	90.4
Energy consumption [kWh/a]	17,441	16,910	16,592
Energy cost [€/a]	1,744.18	1,691.09	1,659.29

<sup>3</sup> Siemens energy savings calculator (online tool):

[www.industry.siemens.com/drives/global/de/motor/niederspannungsmotoren/energiesparrechner/Seiten/Default.aspx](http://www.industry.siemens.com/drives/global/de/motor/niederspannungsmotoren/energiesparrechner/Seiten/Default.aspx)

Savings			
Energy [kWh]		530	848
CO <sub>2</sub> emissions [kg]		318	509

\* [from June 16, 2011 at least IE2 motors for the motor power class 0.75-375 kW and from January 1, 2015 at least IE3 or IE2 with frequency inverter for the motor power class 7.5-375 kW]

Further environmental benefits:

- ▶ Reduction of losses, also during part load operation
- ▶ Increased life span compared to IE1 motors (more precise construction, lower manufacturing tolerances, etc.)
- ▶ Lower thermal load (e.g. due to better winding and use of more copper, improvement of air circulation within the motor)
- ▶ Reduced maintenance requirements
- ▶ Possible increase in resource consumption during production of motors (e.g. due to the use of more copper in order to keep thermal losses to a minimum)

## APPLICABILITY

Efficient motors can be applied throughout the whole sector. Integration into existing plants is possible. In case non-standardized motors are applied, the connections of the motor and corresponding components might have to be checked. In order to optimize energy consumption and costs, a holistic approach to regard the whole driving system incl. converter, motor, gear and driving machine is considered optimal.

## ECONOMICS

Investment costs of efficient motors are amortized via energy savings within a relatively short period of time. Installation costs are also comparable to those of IE1 motors, as long as standardized motors are mounted [DENA 2010b].

Efficiency examples – Cost savings due to usage of IE3 motor:

- ▶ Power rating 18 kW
- ▶ Cost savings: up to 30 €/a (compared to a IE2 motor)

[Operation time 2,000 h/a; energy cost 0.10 €/kWh]

Independent of the motor type used, maintenance measures should be carried out on a regular basis (e.g. removal of oil and dust deposits, examination of gaskets and electrical and mechanical connections). Due to regular maintenance, carried out by qualified personnel, 3-10 % of energy costs can be saved [DENA 2010b].

## REFERENCE LITERATURE

- ▶ [ABADO 2014] ABADO Energiemanagement. 2014. Energiemanagement in der Holzindustrie. URL: [www.abado-energiemanagement.de/holzindustrie.html](http://www.abado-energiemanagement.de/holzindustrie.html)
- ▶ [DENA 2010b] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). 2010. Ratgeber – Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe: Energieeffizienz und Ökodesign-Richtlinie. Berlin, Juli 2010.
- ▶ [HOMAG 2013] HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (effective: 04/13)



## 6.5 Energy efficient extraction of chips and dust

### DESCRIPTION

Conveying of chips and dust via fans is often more energy consuming than the wood processing machine itself. In the field of extraction/suction many possibilities exist to reduce energy consumption. The combination of following techniques is further explained:

- ▶ Adaption of air flow in extraction system (e.g. via rotation speed control of fans)
- ▶ Installation of fans at clean air side
- ▶ Centralized extraction system with pneumatic gate valves

Extraction systems will require less energy if the extraction capacity is continuously adapted to the actual amount needed. The adaption can be performed via a rotation speed control of the extraction fans. Alternatively fans whose power input is regulated with gate valves, require less energy in a part load operation mode [Tech et al. 2003]. The occurring chip-dust mixture is picked up at a nozzle of the processing machine and conveyed to the filter via fans. The fans are commonly installed within the clean air side of the filtering system or after the filter. All relevant tools of the production site are connected to the main extraction pipe (centralized extraction system). The main pipe is equipped with pneumatic operating gate valves which open/close automatically during operation/shut-down of the processing machinery. The control allows an exclusive opening of the valves during operation of the machine. Consequently the extraction system is only working on demand [SPÄNEX 2014], [Scheuch].

### POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

1) Efficiency examples – Potential savings of modern air technology [SPÄNEX 2014]:

- ▶ Example 1: Bag filter units with an extraction fan at the intake air side vs. a dust remover of new type with an integrated and rotation speed controlled extraction fan at the clean air side.
- ▶ Example 2: Filter system with fans (closed rotors) installed at the intake air side, efficiency about 70% compared to rotation speed controlled extraction system with two fans installed at the clean air side.

Potential savings of modern air technology; Example 1

Description	Bag filter unit	Dust remover
Volume flow [m <sup>3</sup> /h]	6,000	6,000
Head (static) pressure [Pa]	2,500	2,500
Efficiency [%]	60	80
Operation mode	one-shift	one-shift
Operation time [h/a]	1,600	1,600
Load factor* [%]	75	75
Energy consumption [kWh/a]	11,100	5,000
Potential savings [kWh/a]	<b>6,100</b>	

Potential savings of modern air technology; Example 2		
Description	Excess pressure filtering system with uncontrolled extraction fans	Vacuum filtering system with rotation speed controlled extraction fans
Volume flow [m <sup>3</sup> /h]	55,000	55,000
Head (static) pressure [Pa]	4,000	4,000
Efficiency [%]	70	80
Operation mode	two-shift	two-shift
Operation time [h/a]	3,200	3,200
Load factor* [%]	75	75
Energy consumption [kWh/a]	280,000	161,000
Potential savings [kWh/a]	119,000	

*\*[load factor of 75% means, that there is an average demand of 75% of the extraction output which correspond to volume flows of a) 4,500 m<sup>3</sup>/h respectively b) 41,000 m<sup>3</sup>/h. Regarding the excess pressure filtering system (old type), the air volume changes only because of a throttle effect which occurs due to a closure of gate valves for non-operating processing machines. Concurrently the head (static) pressure of the fan increases, with the result that possible impacts on the annual energy consumption can be neglected. In systems of the new type, the rotation speed control guarantees that only the required volume flow is conveyed. Concurrently the head (static) pressure of the fan adapts to the decreased extraction volume.]*

#### Further environmental benefits:

- ▶ Reduction of dust emissions (remaining dust content below 0.1 mg/m<sup>3</sup>)
- ▶ Effectively no wear (impeller and housing are only treated with filtered air)
- ▶ The fan is not considered to be a relevant source of ignition due to its location outside the material flow
- ▶ The extraction fan can be sound-insulated (Reduction of noise emissions)

#### 2) Efficiency examples (practical examples for different wood processing machines) [HOMAG 2013]:

##### Sizing and edge banding machine:

- ▶ Negative pressures: 2,500 Pa for finishing processes, 1,800 Pa for sizing
- ▶ Control of the individual valves
- ▶ Energy savings: up to 33,000 kWh/a

##### Profile trimming unit for edge banding machine:

- ▶ Extraction requirement cut by up to 3.8 million m<sup>3</sup> a year
- ▶ Up to 4,200 kWh/a, respectively 47 % reduced energy consumption
- ▶ Reduced CO<sub>2</sub> emissions by up to 3 t/a
- ▶ Cost savings: up to 500 €/a

##### Wide belt grinding machine:

- ▶ Energy savings: ca. 18,000 kWh/a due to reduction of required extraction volume

### 3) Efficiency example [Tech et al. 2003]:

- ▶ Decrease of fan speed by 10% results in energy savings of ca. 33 %

## APPLICABILITY

The described techniques are wide spread and available in several variations. The application of these techniques covers the whole output range, starting at 3,000 m<sup>3</sup>/h for small machines and ranging until 100,000 m<sup>3</sup>/h for industrial sized machines [SPÄNEX 2014].

A central extraction system is rather suitable for larger companies. Furthermore, it is advantageous when processing machines are operated continuously. The technique can be extended on demand, since new machines can be included via a connection of their corresponding extraction pipe to the main system [Tech et al. 2003], [Interview Scheuch Holzmesse].

Regarding the clean air part, exclusively high-performance fans with closed rotors should be applied that provide efficiency levels of about 0.85 [Tech et al. 2003].

## ECONOMICS

Cost for extraction may vary and depend heavily on the size of the company (respectively the necessary extraction volume). For smaller machines, investment cost for the extraction system account for ca. 10% of overall investment cost for the entire machine [Interview Scheuch Holzmesse]. Centralized extraction systems show less investment cost than single extraction systems [Tech et al. 2003]. Further, information to potential cost savings are provided within the aforementioned efficiency examples.

## REFERENCE LITERATURE

- ▶ **[HOMAG 2013]** HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. URL: [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (effective: 04/13).
- ▶ **[SPÄNEX 2014]** Spänex. 2014. Praxisbeispiele für „Moderne Absaugtechnik“, „Energieeffiziente Absauganlage“ und „Energiesparende Anlagentechnik“. [www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html](http://www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html) und Holz-Zentralblatt „Energieeinsparung entlastet Holzbe- und verarbeitende Betriebe“. <http://www.spaenex.de/uploads/media/Holz-Zentralblatt-18.09.2009.pdf>
- ▶ **[Tech et al. 2003]** Tech T., Bodden P. und Albert J. 2003. Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Leitfaden für die betriebliche Praxis. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003.

## 6.6 Air recirculation after dust removal

### DESCRIPTION

The heat content of extracted air in many cases is not used and vanishes as heat loss into the environment. With help of currently applied filter systems (e.g. fabric filter tubes) residual dust contents of less than 0.1 mg/m<sup>3</sup> are achievable. After passing the filter, about 80% of the extracted and filtered air can be recirculated into the area of the wood processing machines. So, only 20 % of the initially heated air has to leave the production area. A recirculation of air thus can significantly decrease energy consumption, since no energy is needed for heating up the ambient air to the necessary temperature inside the production hall. Additionally, a smaller boiler can be installed. In case direct air recirculation is not feasible, there is the possibility of an installation of heat recovery

systems, which show efficiency levels of about 60%, after the filters. The necessary heating power as well as the equivalent fuel consumption can be therefore decreased to 40% [Tech et al. 2003], [SPÄNEX 2014].

## POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

1) Efficiency example – Direct air recirculation [SPÄNEX 2014]:

- ▶ If the extraction volume flow amounts to 10,000 m<sup>3</sup>/h, a heating boiler output of 110 kW will be necessary; oil consumption for heating the air will account for about 25,000 l/a; if the extraction volume flow is 100,000 m<sup>3</sup>/h, oil consumption will increase tenfold
- ▶ With an application of direct air recirculation, a high amount of this oil consumption could be saved

2) Efficiency example – Heat recovery system [SPÄNEX 2014]:

- ▶ With an application of heat recovery systems, the necessary heating power as well as the equivalent oil consumption can be decreased to 40%

Further environmental benefits:

- ▶ No negative impacts due to potentially polluted exhaust air (low dust contents of less than 0.1 mg/m<sup>3</sup> when fabric filter tubes are applied)
- ▶ Recirculated air is fed into production area via large dimensioned air tunnels (exhaust velocity < 1 m/s)
- ▶ Improvement of health and safety at work (low dust contents and air draft at working places)

## APPLICABILITY

The described technique can be applied throughout the entire sector. An upgrade for existing plants is possible. In case machines without air recirculation are in use, it should be checked whether the (energy) saving potentials of direct air recirculation can be utilised. In some cases, machine specific modifications may be necessary, e.g. replacement of filter tubes, review of the fan output, etc. In case the direct air recirculation is not feasible, there is the possibility of an installation of heat recovery systems after the filters.

## ECONOMICS

- ▶ Cost savings due to decreased fuel consumption, since no energy is needed for heating up the ambient air to the necessary temperature inside the production hall.
- ▶ Application of a smaller (cheaper) boiler is possible

## REFERENCE LITERATURE

- ▶ [SPÄNEX 2014] Spänex. 2014. Praxisbeispiele für „Moderne Absaugtechnik“, „Energieeffiziente Absauganlage“ und „Energiesparende Anlagentechnik“. [www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html](http://www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html) und Holz-Zentralblatt „Energieeinsparung entlastet Holzbe- und auch verarbeitende Betriebe“. <http://www.spaenex.de/uploads/media/Holz-Zentralblatt-18.09.2009.pdf>
- ▶ [Tech et al. 2003] Tech T., Bodden P. und Albert J. 2003. Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Leitfaden für die betriebliche Praxis. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003.

## 6.7 Recovery of braking energy

### DESCRIPTION

Braking energy of wood processing machinery can be used via automation electronics, namely through switching the motors to generator mode. This is especially applicable for machines with frequent changes in velocity or direction [Tech et al. 2003]. Consequently, energy which so far was converted into heat can now be controlled and fed back into the grid without any retroaction, where other appliances can use this energy again [KEM 2014].

### POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

1) Efficiency example- Energy recovery of CNC machining centre [HOMAG 2013]:

- ▶ Energy recovery: up to 3,200 kWh/a
- ▶ Up to 2.2 t less CO<sub>2</sub>/a
- ▶ Cost savings: up to 384 €/a

2) Efficiency example [KEM 2014]:

- ▶ Energy savings up to 20% are feasible (e.g. when several feed motors and numerous spindle drives exist per machine, combined with a motor output range up to 90 kW, especially suitable at axes showing high moments of inertia, e.g. at the knife drive).

Further environmental benefits:

- ▶ Reduced loss of thermal energy (loss of braking resistance)
- ▶ Less heat inside the switchboard (less energy for air conditioning)
- ▶ Usage of smaller switchboards possible
- ▶ Required units are already integrated in machines, so adjustments or additional measures are not necessary in order to work within the grid of the factory

### APPLICABILITY

- ▶ The regarded technique is not widespread
- ▶ Especially suitable for high-output machinery
- ▶ Especially suitable for short processing times with frequent tool changes
- ▶ Applicable with minor efforts (all units are already included)

### ECONOMICS

Information on capital or investment costs is not available.

Especially for high-output machinery the energy footprint can be improved. Reduced operation costs shorten the respective amortization time [KEM 2014]. For information about potential cost savings please see also the efficiency examples No. 1) and 2).

### REFERENCE LITERATURE

- ▶ **[KEM 2014]** Konstruktion, Entwicklung, Management (KEM). 2013. Hobeln mit Rückspeisung, Umrichter verbessern die Energiebilanz von Holzbearbeitungsmaschinen. [www.kem.de/innovationdesmonats/-/article/30599594/37267874/Hobeln-mit-R%C3%BCckspeisung/art\\_co\\_INSTANCE\\_0000/maximized/](http://www.kem.de/innovationdesmonats/-/article/30599594/37267874/Hobeln-mit-R%C3%BCckspeisung/art_co_INSTANCE_0000/maximized/)

- ▶ **[Tech et al. 2003]** Tech T., Bodden P. und Albert J. 2003. Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Leitfaden für die betriebliche Praxis. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003.

## 6.8 Application of low friction mechanics and drive systems

### DESCRIPTION

Linear motors are basically three-phase motors, that are ‘winded up’ lengthwise. The power is not transmitted anymore via a shaft which is driven by a rotor inside the motor and transmits the power to a gear and following to e.g. a sprocket. Within the regarded technique, the rotor acts contactless as a magnet at the winding. Hence, the rotor keeps the aggregates which should be moved (e.g. saw carrier, sliders) magnetically floating. Via the induced voltage the aggregates can be transposed in the desired direction. With an application of linear motors and aggregate guideways above linear guideways, mechanical components are not required anymore [Giben 2014].

### POTENTIAL ENVIRONMENTAL BENEFITS AND CROSS-MEDIA EFFECTS

Due to application of the technique, energy consumption can be reduced (no quantitative data available).

Further environmental benefits:

Power transmission is conducted directly to the aggregate and without mechanics. Furthermore the taking of measurements is not conducted via rotary encoder, but also magnetically and contactless. It also facilitates the slides’ synchronization of both linear motors on the left and right traverse. Consequently the aggregates can be accelerated and slowed down faster [Giben 2014]:

Velocity saw carrier: 1-300 m/min (technique with chain/sprocket/rack 1-170 m/min)

- ▶ Velocity slides: 1-120 m/min (technique with chain/sprocket/rack 1-90 m/min)
- ▶ Acceleration saw carrier: 5.3 m/s<sup>2</sup> (technique with a chain 2.6 m/s<sup>2</sup>, sprocket/rack 2.4 m/s<sup>2</sup>)
- ▶ Acceleration slides: 3 m/s<sup>2</sup> (technique sprocket/rack 0.75 m/s<sup>2</sup>)
- ▶ Twice the amount of cuts possible compared to machines with chain/sprocket/rack construction
- ▶ Additionally reduced material wear (linear guideways only act to ensure that the aggregate is kept in line, but not to transmit power or weight)

### APPLICABILITY

The regarded technique is not widespread.

### ECONOMICS

Information on economics is not available.

### REFERENCE LITERATURE

**[Giben 2014]** Giben Plattenaufteiltechnik. 2014. Innovative Lösungen Giben Eco Tech. [www.giben.de/Website\\_Giben/GIBEN\\_Loesungen\\_ECOTEch.html](http://www.giben.de/Website_Giben/GIBEN_Loesungen_ECOTEch.html) und [www.giben.de/Website\\_Giben/GIBEN\\_Maschinen\\_Prisma6000\\_ECOTEch.html](http://www.giben.de/Website_Giben/GIBEN_Maschinen_Prisma6000_ECOTEch.html)

## 7 Literatur- und Quellenverzeichnis

### **[ABADO 2014]**

ABADO Energiemanagement. 2014. Energiemanagement in der Holzindustrie. URL: [www.abado-energiemanagement.de/holzindustrie.html](http://www.abado-energiemanagement.de/holzindustrie.html) (Stand: Juni 2014).

### **[BaWü 2014]**

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft. 2014. Betrieblicher Umweltschutz in Baden-Württemberg, Schreiner. URL: [www.umweltschutz-bw.de/?lvl=341](http://www.umweltschutz-bw.de/?lvl=341) (Stand: Juni 2014).

### **[BM 2014]**

BM-Online. 2014. Themen: Möbel und Innenausbau. URL: [www.bm-online.de/Themen/Moebel-und-Innenausbau-10557/Lichttechnik-10605/Index.html](http://www.bm-online.de/Themen/Moebel-und-Innenausbau-10557/Lichttechnik-10605/Index.html) (Stand: Juni 2014).

### **[BMU 2009]**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2009. Broschüre Energieeffizienz – Die Intelligente Energiequelle, Tipps für Industrie und Gewerbe. URL: [www.ostwestfalen.ihk.de/uploads/media/BMU\\_Broschuere\\_Energieeffizienz2009\\_02.pdf](http://www.ostwestfalen.ihk.de/uploads/media/BMU_Broschuere_Energieeffizienz2009_02.pdf)

### **[BMU 2012]**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2012. Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess), Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. Berlin, Mai 2012.

### **[DDS 2010]**

Das Magazin für Möbel und Ausbau (DDS). 2010. Kante im Brennpunkt. Plasmatechnik bringt die Nullfuge. URL: [www.plasmatreat.de/downloads/deutsch/10-05\\_DDS\\_Plasmatechnik-Nullfuge.pdf](http://www.plasmatreat.de/downloads/deutsch/10-05_DDS_Plasmatechnik-Nullfuge.pdf) (Stand: Mai 2010)

### **[DENA 2010a]**

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). 2010. Ratgeber – Lufttechnik für Industrie und Gewerbe. Berlin, August 2010.

### **[DENA 2010b]**

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). 2010. Ratgeber – Elektrische Motoren in Industrie und Gewerbe: Energieeffizienz und Ökodesign-Richtlinie. Berlin, Juli 2010.

### **[DESTATIS 2014a]**

Statistisches Bundesamt. 2014. Pressemitteilung. 3 % weniger Möbel im Jahr 2013 produziert. 13 Januar 2014 – 14/14

### **[DESTATIS 2014b]**

Statistisches Bundesamt. Fachserie 4 Reihe 3.1 Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. 4. Vierteljahr 2013. Erschienen am 04. April 2014, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2014

### **[DESTATIS 2014c]**

Spezifische Datenrecherchen bei DESTATIS zur Möbelbranche. Jahresbericht für Betriebe im verarbeitenden Gewerbe Deutschland, Kostenstrukturerhebung im verarbeitenden Gewerbe Deutschland, Investitionserhebung im verarbeitenden Gewerbe Deutschland. Stand: Ende Sep. des Berichtsjahres. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2014. Stand der Datenrecherchen: 08.04.2014

### **[DÜSTEC 2014]**

DÜSTEC Plasma Innovations. 2014. Die Vorteile des DÜSTEC-Systems auf einen Blick. URL: [www.duestec.de/technologie/vorteile/](http://www.duestec.de/technologie/vorteile/) (Stand: Juni 2014).



**[EC 2007]**

Europäische Kommission. 2007. Beste Verfügbare Techniken für die Oberflächenbehandlung unter Verwendung von organischen Lösemitteln (mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung). Stand: August 2007.

**[EC 2008]**

Europäische Kommission. 2008. Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Energieeffizienz (deutsche Zusammenfassung). Stand: Juni 2008.

**[Gespräch Brandt Holzmesse]**

Brandt Kantentechnik GmbH. 2014. Persönliches Gespräch mit Brandt. Holz- und Handwerksmesse Nürnberg. 17. Europäische Fachmesse für Maschinentechnologie und Fertigungsbedarf. Nürnberg. 26. – 29.03.2014.

**[Gespräch Scheuch Holzmesse]**

Scheuch GmbH. 2014. Persönliches Gespräch mit Scheuch. Holz- und Handwerksmesse Nürnberg. 17. Europäische Fachmesse für Maschinentechnologie und Fertigungsbedarf. Nürnberg. 26. – 29.03.2014.

**[Giben 2014]**

Giben Plattenaufteiltechnik. 2014. Innovative Lösungen Giben Eco Tech. [www.giben.de/Website\\_Giben/GIBEN\\_Loesungen\\_ECOTech.html](http://www.giben.de/Website_Giben/GIBEN_Loesungen_ECOTech.html) und [www.giben.de/Website\\_Giben/GIBEN\\_Maschinen\\_Prisma6000\\_ECOTech.html](http://www.giben.de/Website_Giben/GIBEN_Maschinen_Prisma6000_ECOTech.html) (Stand: Juni 2014).

**[Hoechsmann 2014]**

Höchsmann Technology for Wood. 2014. Luftkissentisch Plattenzuschnitt. [www.hoechsmann.com/lexikon/20434/Luftkissentisch\\_Plattenzuschnitt.html](http://www.hoechsmann.com/lexikon/20434/Luftkissentisch_Plattenzuschnitt.html) (Stand: Juni 2014)

**[HOMAG 2013]**

HOMAG Group AG. 2013. Broschüre ecoPlus – Technik, die sich rechnet. URL: [www.homag-group.com/Medien/ecoPlus\\_2011\\_deutsch\\_844\\_22139.pdf](http://www.homag-group.com/Medien/ecoPlus_2011_deutsch_844_22139.pdf) (Stand 04/13, DE Version).

**[KEM 2014]**

Konstruktion, Entwicklung, Management (KEM). 2013. Hobeln mit Rückspeisung, Umrichter verbessern die Energiebilanz von Holzbearbeitungsmaschinen. [www.kem.de/innovationdesmonats/-/article/30599594/37267874/Hobeln-mit-R%C3%BCckspeisung/art\\_co\\_INSTANCE\\_0000/maximized/](http://www.kem.de/innovationdesmonats/-/article/30599594/37267874/Hobeln-mit-R%C3%BCckspeisung/art_co_INSTANCE_0000/maximized/)

**[Kürsteiner 2012]**

Kürsteiner Jürg. 2012. Holzabfälle in Schreinereibetrieben, Deren Vermeidung und effiziente Nutzung Masterthesis Umwelttechnik und –management. Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Life Sciences. 2012

**[Niemann 2013]**

Karl W. Niemann GmbH & Co. KG. 2014. Bau einer stationären Anlage zur Möbeloberflächenbehandlung mit Atmosphärendruckplasma für Schmalflächen-Kanten-Beschichtungen. Im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms. URL: [http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/2013-03-05\\_internetbeitrag\\_niemann.pdf](http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/2013-03-05_internetbeitrag_niemann.pdf)



**[Nolting 2014]**

Nolting Holzfeuerungsstechnik. 2014. Feuerungsanlagen. URL: <http://www.nolting-online.com/cms/deutsch/feuerungsanlagen/feuerungsanlagen.htm> (Stand: Oktober 2014).

**[NRW Energie]**

Die Tischlerei als energieoptimierte Betriebsstätte. URL: [www.internet-energie-check.de/download/branchenenergiekonzepte/rationelle\\_verwendung\\_energie\\_tischlereien.pdf](http://www.internet-energie-check.de/download/branchenenergiekonzepte/rationelle_verwendung_energie_tischlereien.pdf) (Stand: Juni 2014).

**[Nutsch 2013]**

Nutsch, Wolfgang. 2013. Holztechnik Fachkunde, Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, 2013.

**[Otto Bock]**

Otto Bock Health Care GmbH. Biomasse – Feuerungsanlage (Hackschnitzel).

**[Patent EP2251127 A1]**

Europäische Patentanmeldung, Holzbearbeitungsmaschine mit Luftkissentisch, 2010

**[Plasmatreat 2014]**

Plasmatreat. 2014. Plasma schafft die Nullfuge – sichere Kantenverarbeitung mit dem Düstec-Verfahren. URL: [www.plasmatreat.de/industrieanwendungen/konsumgueter/moebel/plasmakante-nullfuge.html](http://www.plasmatreat.de/industrieanwendungen/konsumgueter/moebel/plasmakante-nullfuge.html) (Stand: Juni 2014).

**[REHAU 2014]**

REHAU United Polymer Solutions. 2014. Broschüre Raukantex Laser Edge. Holz- und Handwerksmesse Nürnberg. 17. Europäische Fachmesse für Maschinentechologie und Fertigungsbedarf. Nürnberg. 26. – 29.03.2014.

**[Siemens 2014]**

Siemens. 2014. Energiesparrechner für Niederspannungsmotoren. URL: [www.industry.siemens.com/drives/global/de/motor/niederspannungsmotoren/energiesparrechner/Seiten/Default.aspx](http://www.industry.siemens.com/drives/global/de/motor/niederspannungsmotoren/energiesparrechner/Seiten/Default.aspx) (Stand: Juni 2014).

**[Stahl et al. 2009]**

Stahl, E., Deerberg, G. and Robert, J. 2009. Neuartiges Filtrations- und Wäschersystem zur Emissionsminderung bei Holz-Kleinfeuerungsanlagen (30-500 kW). Chemie Ingenieur Technik, 81: 1080

**[SPÄNEX 2014]**

Spänex. 2014. Praxisbeispiele für „Moderne Absaugtechnik“, „Energieeffiziente Absauganlage“ und „Energiesparende Anlagentechnik“. URL: [www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html](http://www.spaenex.de/praxisbeispiele/holz.html) und Holz-Zentralblatt „Energieeinsparung entlastet Holzbe- und auch verarbeitende Betriebe“. URL: <http://www.spaenex.de/uploads/media/Holz-Zentralblatt-18.09.2009.pdf>

**[Tech et al. 2003]**

Tech T., Bodden P. und Albert J. 2003. Rationelle Energienutzung im Holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Leitfaden für die betriebliche Praxis. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 2003.

**[Umweltinnovation 2013]**

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 2013. Bundesministerium fördert energiesparendes Verfahren in der Möbelindustrie. Pressemitteilung Nr. 037/13 URL: [www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bundesumweltministerium-foerdert-energiesparendes-verfahren-in-der-moebelindustrie/](http://www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bundesumweltministerium-foerdert-energiesparendes-verfahren-in-der-moebelindustrie/) (Stand: Juni 2014).

**[Wittchen et al. 2006]**

Wittchen, B., Josten, E., Reiche, T. 2006 Holzfachkunde, B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2006

**[WKO 2014]**

Fachverband der Holzindustrie Österreichs. Energieeffizienz Holzindustrie. URL: [www.wko.at/Content.Node/Service/Umwelt-und-Energie/Energie-und-Klima/Energieeffizienz/EEF\\_Holzindustrie\\_S1-4.pdf](http://www.wko.at/Content.Node/Service/Umwelt-und-Energie/Energie-und-Klima/Energieeffizienz/EEF_Holzindustrie_S1-4.pdf) (Stand: Juni 2014).