

# Klima schützen – Kosten senken

## Energie sparen bei der Lackierung



## Inhalt

Vorwort .....	3
1. <b>Einleitung</b> .....	4
2. <b>Kennen Sie Ihren Energieverbrauch?</b> .....	5
3. <b>Energiekennzahlen</b> .....	6
4. <b>Energieeffizienz in Planung und Betrieb von Lackieranlagen</b> .....	7
5. <b>Einsparpotenziale im Lackierprozess</b> .....	11
5.1. Vorbehandlung .....	12
5.2. Haftwassertrockner .....	14
5.3. Lackierung .....	16
5.4. Abdunstzonen .....	18
5.5. Lacktrocknung/ -aushärtung .....	19
5.6. Abluftreinigung .....	23
6. <b>Praxisbeispiel Kunststofflackieranlag</b> .....	24
7. <b>Checkliste</b> .....	26
Impressum .....	27



Dieses Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert.



**Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt,  
Gesundheit und Verbraucherschutz**

## Vorwort

Die globale Klimaänderung ist eine enorme ökologische Herausforderung für die Menschheit im 21. Jahrhundert. Diese Klimaveränderung, die nach der mehrheitlichen Meinung der Experten bereits begonnen hat, geht einher mit einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und als Folge davon dem Anstieg des Meeresspiegels. Extreme Wetterereignisse und Naturkatastrophen werden nach den Prognosen der Wissenschaftler immer häufiger auftreten und enorme volkswirtschaftliche Schäden nach sich ziehen.

Um die Chancen künftiger Generationen zu bewahren, ist eine nachhaltige Klimaschutzpolitik notwendig. Ihre Aufgabe ist es, einerseits die Treibhausgasemissionen konsequent zu vermindern und andererseits den unvermeidbaren Folgen der Klimaveränderung wirksam zu begegnen.

Bereits im Jahr 2000 hat Bayern ein wegweisendes Klimaschutzkonzept verabschiedet und 2003 fortgeschrieben. Die Bayerische Staatsregierung hat sich darin das ehrgeizige Ziel gesetzt, die Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen in Bayern bis zum Jahr 2010 auf 80 Mio. Tonnen pro Jahr zu verringern.

Das Klimaschutzkonzept enthält Maßnahmen in den Bereichen Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Land- und Forstwirtschaft, Freizeit und Erholung. Dieses umfangreiche Maßnahmenpaket macht deutlich, dass Klimaschutz eine Querschnittsaufgabe für die gesamte Gesellschaft ist und in besonderem Maße vernetztes Handeln erfordert. Wirtschaft, Staat und Kommunen sind ebenso gefordert wie jeder einzelne Bürger.

Besonders wichtig sind breit angelegte Information und Kommunikation, die Bewusstsein für das Thema Klimaschutz schaffen, Handlungsmöglichkeiten aufzeigen und alle gesellschaftlichen Gruppen einbeziehen. Ein konkreter Ansatzpunkt dazu ist die Hilfestellung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) zu effizienter Energienutzung in Gewerbe- und Industriebetrieben.



Dr. Werner Schnappauf  
Bayerischer Staatsminister  
für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Die Steigerung der Energieeffizienz ist in der Regel der kostengünstigste und umweltverträglichste Weg, die Emissionen von Treibhausgasen zu verringern. In Kooperation mit Betrieben, Ingenieurbüros und Forschungseinrichtungen wurden für zahlreiche Einzelbranchen und branchenübergreifende Bereiche Möglichkeiten der effizienten Energieverwendung und der Abwärmenutzung ermittelt. Die Ergebnisse sind in einer Reihe von Leitfäden dargestellt, die das LfU im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz herausgegeben hat.

Die Leitfäden zeigen nicht nur die ökologischen Aspekte auf, sondern verdeutlichen auch die wirtschaftlichen Vorteile für die Betriebe, die sich aus der Senkung der Energieverbräuche und -kosten ergeben.

Die vorliegende Broschüre befasst sich mit dem Thema Lackierung. In vielen Produktionsbetrieben finden Lackierprozesse statt, auf die ein erheblicher Anteil des Gesamtenergiebedarfs entfällt. In zahlreichen Betrieben steht aufgrund der erhöhten Anforderungen hinsichtlich der Lösemittelemissionen eine Modernisierung der Lackieranlagen an. Viele Betriebe erwägen auch eine Umstellung von Lösemittellacken hin zu Wasser-, Pulver- oder UV-härtenden Lacken. Derartige Umstellungen können erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf haben. Viele Investitionsmaßnahmen in energiesparende Techniken sind mit kurzen monetären Rücklaufzeiten verbunden und damit sehr rentabel.

In dieser Broschüre ist dargestellt, worauf bei der Planung, beim Betrieb und bei der Modernisierung von Lackieranlagen geachtet werden sollte. Durch die sorgfältige Planung bei anstehenden Investitionen können der Energieverbrauch und die Energiekosten entscheidend reduziert werden. Aber auch einfache Verbesserungsmaßnahmen können Kosten senken und gleichzeitig zum Klimaschutz beitragen.



Dr. Otmar Bernhard  
Staatssekretär im  
Bayerischen Staatsministerium  
für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz



## 1. Einleitung

Klimaschutz geht uns alle an: durch Energieverbrauch wird fast immer Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) freigesetzt. CO<sub>2</sub> trägt entscheidend zum vom Menschen verursachten Treibhauseffekt und damit zum Klimawandel bei.

Es ist notwendig und auch möglich, den Energieverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch eine effiziente Nutzung von Energie zu reduzieren. Die Senkung der Energiekosten stellt gleichzeitig einen wirtschaftlichen Vorteil für einen Betrieb dar.

Das Lackieren, in vielen Betrieben ein unverzichtbarer Fertigungsschritt, ist energieintensiv. Der Energieverbrauch hängt davon ab, welche Technologie zur Anwendung kommt. Das ist besonders bei der durch die in der 31. BImSchV (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen) geforderten Umstellung von Lösemittellacken auf andere Lacke von Bedeutung.

Die Anwendung von Wasserlacken z. B. reduziert einerseits zwar die Lösemittellemissionen, andererseits erhöht sich der Energiebedarf für das Befeuchten der Spritzkabinen-Zuluft sowie für das Trocknen der lackierten Werkstücke.

Es gibt eine Reihe von Maßnahmen, die geeignet sind, den Energieverbrauch zu reduzieren. Diese Maßnahmen müssen allerdings die Anforderungen an die Maschinensicherheit und den Arbeitsschutz berücksichtigen. Weiterhin sind Prozesssicherheit und Produktqualität zu beachten, da Energieeinsparungen wirtschaftlich uninteressant sind, wenn damit eine Erhöhung der Ausschuss- und Nacharbeitsquote verbunden ist.

Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Broschüre die möglichen und betriebswirtschaftlich interessanten Maßnahmen zur Energieeinsparung im Lackierprozess aufgezeigt. Ebenso werden interessante Verfahrensalternativen vorgestellt.

Die Berechnungen basieren auf Daten und Erfahrungen des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart.

Ziel ist es, Anregungen für die energieeffiziente Gestaltung der Lackierprozesse in bestehenden und neuen Anlagen zu geben. Letztlich soll ein Betrieb in seiner Produktion unabhängiger von den zu erwartenden Energiekostensteigerungen werden.

Einige der beschriebenen Maßnahmen, wie z. B. das regelmäßige Einstellen der Trocknerabluft bei Wartungsarbeiten, sind für jede Anlage anzuwenden, andere Empfehlungen müssen im Einzelfall geprüft werden. Eine fachliche Beratung kann die Broschüre nicht ersetzen. Festzuhalten bleibt, dass realisierbare Energieeinsparpotenziale weit höher sind als weithin angenommen wird. An dieser Stelle soll auch auf die ausführliche Fassung des Leitfadens „Energieeinsparung in Lackierbetrieben“ des LfU im Internet verwiesen werden ([www.bayern.de/lfu/luft/energieeffizienz](http://www.bayern.de/lfu/luft/energieeffizienz)) sowie auf den allgemeinen Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe des LfU.

## 2. Kennen Sie Ihren Energieverbrauch?

In Lackieranlagen wird Energie sowohl als Prozesswärme (thermische Energie) als auch in Form von elektrischer Energie benötigt.

### Thermische Energie, meist aus Gas oder Öl erzeugt, wird verwendet:

- › zur Erwärmung flüssiger Medien (z. B. in der Vorbehandlung)
- › zur Erwärmung der Zuluft für Spritzkabinen
- › zur Lufterhitzung in Umlufttrocknern sowie zur Verbrennung von Lösemitteln in einer thermischen Abluftreinigung.

### Elektrische Energie wird vor allem eingesetzt:

- › zum Antrieb von Ventilatoren, Pumpen, Druckluftkompressoren, Fördereinrichtungen
- › zur Beleuchtung sowie zum Betrieb z. B. von Steuerungen
- › zur Lackabscheidung bei der Elektrotauchlackierung.

Häufig gibt es keine oder nur unzureichende Angaben zum Energieverbrauch der einzelnen Anlagenkomponenten. Oft erscheint er im Betriebsabrechnungsbogen nur als Umlage. Zur Nutzung der vorhandenen Einsparpotenziale ist es notwendig, eine Basis für die Einführung einer verursacherbezogenen Kostenrechnung zu schaffen.

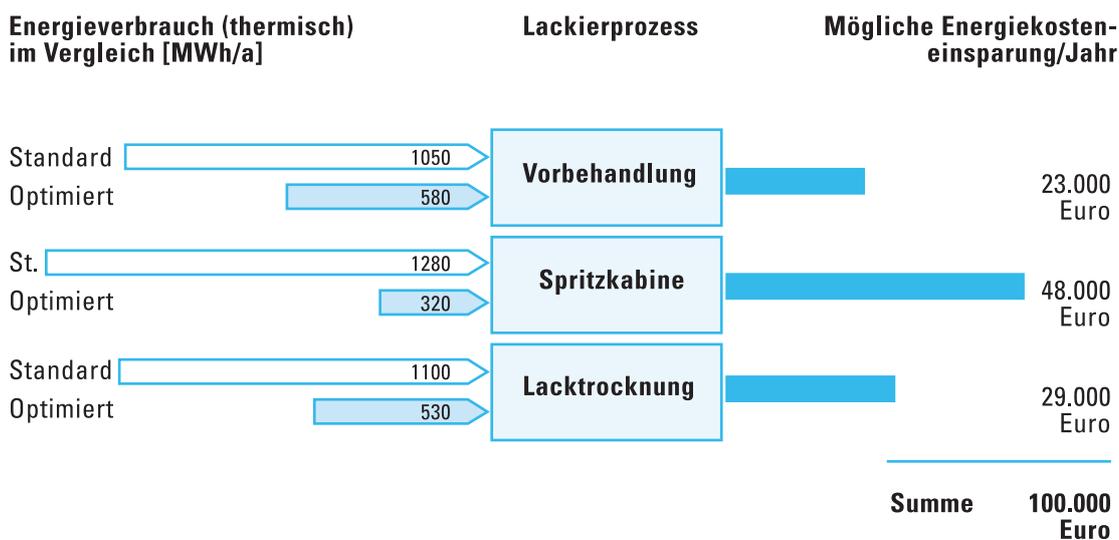
**Hinweis:** Die Kenntnis des Energieverbrauchs einzelner Anlagenkomponenten ermöglicht Ihnen eine bessere Prozessüberwachung sowie eine verursacherspezifische Kostenzuordnung.

Einen ersten Hinweis erhalten Sie aus dem betrieblichen Controlling, das die eingekauften Energiemengen und -kosten ausweist.

### Sind die Energieverbrauchswerte Ihrer Lackierung bereits zugeordnet?

Stellen Sie mithilfe von Zählern für Strom, Gas, Wasser und Betriebsstunden den zeitlichen Verlauf des Gesamtenergiebedarfs fest. Weitere Energieverbrauchsdaten können Sie auch über Nennleistungen (Typenschilder von Elektromotoren), Durchschnittsleistungen und Betriebszeiten abschätzen.

Beispielhaft ist der Wärmeverbrauch einer repräsentativen Anlage zur manuellen Lackierung von Metallbüromöbeln mit Wasserlack in Standard- und in energieoptimierter Ausführung dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt, dass im Zusammenhang mit einer Automatisierung sich mehr als 50 % der thermischen Energie und bis zu 100.000 Euro an Energiekosten pro Jahr einsparen lassen.





### 3. Energiekennzahlen

Kennzahlen (spezifischer Energieverbrauch) ermöglichen die Bewertung der innerbetrieblichen Entwicklung der Energieeffizienz sowie den Vergleich mit anderen Betrieben. Auf der Basis der Energiekennzahlen lassen sich vorhandene Einsparpotenziale abschätzen.

**Sinnvoll ist es, den Energieverbrauch auf den Durchsatz lackierter Teileoberfläche pro Betriebszeit (z. B. m<sup>2</sup>/h) zu beziehen.**

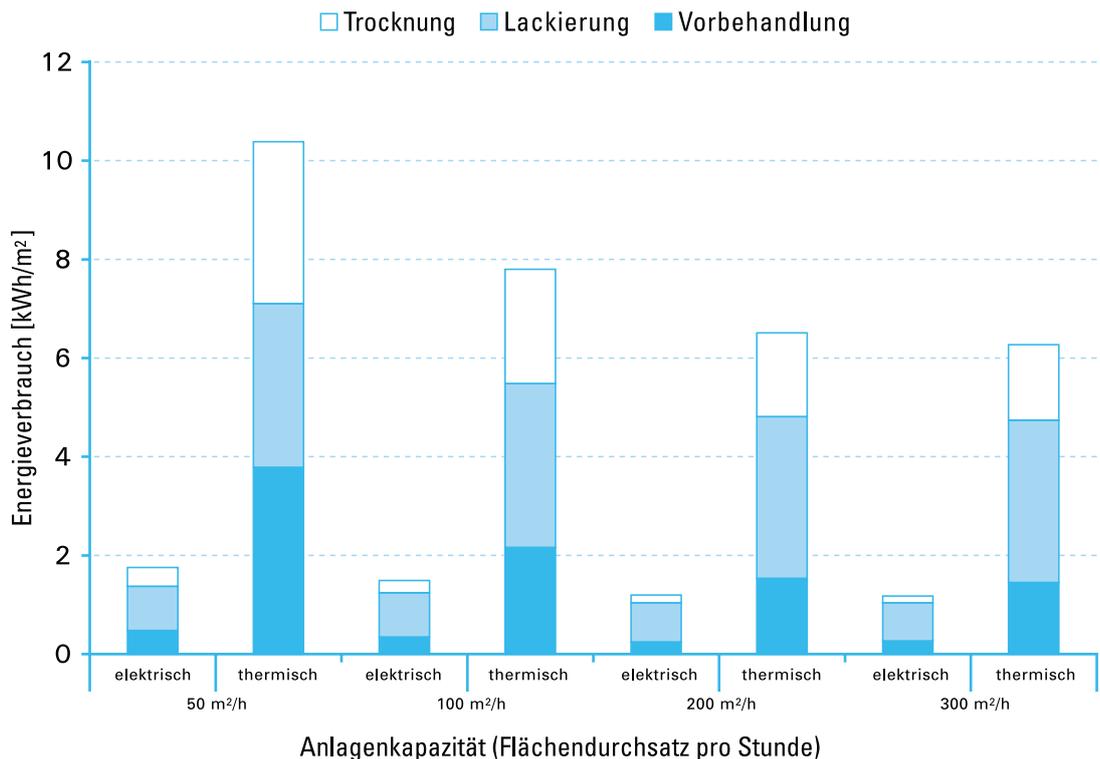
**Hinweis:** Da die Kennzahlen nur auf die lackierten Flächen bezogen sind, können sich bei individuell abweichenden Teilegeometrien sowie bei unterschiedlichen Substraten andere Energiekennwerte ergeben.

Der spezifische Energieverbrauch (Energiekennzahl) ist unter anderem abhängig von der Anlagenkapazität, siehe untenstehende Abbildung.

**Große Anlagen sind im Allgemeinen energieeffizienter als kleine Anlagen.**

Taktanlagen haben im Vergleich zu Durchlaufanlagen grundsätzlich einen höheren Energieverbrauch.

Die Grafik zeigt Energiekennzahlen in Abhängigkeit von der Anlagenkapazität (Modellanlage für die Lackierung von Metall-Büromöbeln).



#### 4. Energieeffizienz in Planung und Betrieb von Lackieranlagen

Planen Sie eine neue Anlage oder steht ein Umbau an?

Besprechen Sie mit den Anlagenherstellern Einsparpotenziale und Mehrkosten einer auf den Produktionsbedarf abgestimmten Anlage und energierelevanter Komponenten.

##### Auslastung der Anlage

Eine nicht voll ausgelastete Lackieranlage ist nicht energieeffizient.

Die Tabelle zeigt einen Vergleich der jährlichen Energiekosten bei voller und bei Teilauslastung.

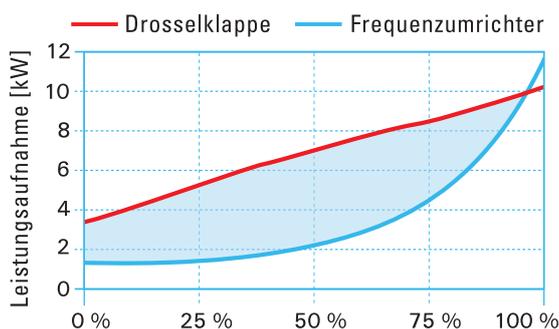
Vergleich	Anlagenauslastung 100 %	Anlagenauslastung 70 %
Anlagenlaufzeit	240 d à 16 h	240 d à 22.8 h
Energiekosten /a	187.000 Euro	257.000 Euro
Mehrkosten /a		70.000 Euro

Bezogen auf den gleichen Flächendurchsatz sind bei reduzierter Auslastung (70 %) die jährlichen Energiekosten gegenüber einer voll ausgelasteten Anlage um ca. ein Drittel höher.

**Tipp:** Vermeiden Sie, leere oder nur teilweise beladene Warenträger durch die Anlage laufen zu lassen.

##### Energieeffiziente Anlagenkomponenten

- › Nach wenigen Jahren amortisiert sich der Einsatz von hocheffizienten Elektromotoren der Energieeffizienzklasse eff 1 (besonders energieeffiziente Motoren).
- › Für einen Betrieb in wechselndem Lastbereich haben sich drehzahlregelbare Elektromotoren bewährt. Bei 2.000 Betriebsstunden pro Jahr wird sich ein Motor mit Frequenzumrichter in etwa vier Jahren bezahlt machen.



Die Grafik unten vergleicht die Leistungsaufnahme eines Motors mit Drosselklappe und mit Drehzahlregelung. Wird der Förderstrom einer elektrischen Pumpe über die Drehzahl anstatt über die Drosselklappe reduziert, ist im Teillastbereich eine geringere Motorleistung nötig. Zudem werden durch Sanftanlauf Stromspitzen vermieden. Dies eröffnet die Möglichkeit, mit dem Stromversorger über einen günstigeren Stromtarif zu verhandeln.

##### Wirkungsgradverbesserung von Ventilatoren

Üblicherweise haben Ventilatoren, bezogen auf die benötigte elektrische Antriebsenergie, einen Wirkungsgrad von ca. 40 %. Es gibt allerdings inzwischen Weiterentwicklungen, die bereits einen Wirkungsgrad von fast 60 % erreichen.

Beispiel: Bei einer Luftleistung von 21.000 m<sup>3</sup>/h ist anstelle des hierfür erforderlichen Motors mit 5,5 kW die nächst kleinere Ausführung mit 4,0 kW ausreichend.

**Tipp:** Es bestehen Einsparpotenziale in Ventilatorsystemen von durchschnittlich 25 %.

**Hinweis:** Jeder Prozentpunkt Wirkungsgrad-erhöhung verteuert den Ventilator um ca. 1 %.

Lassen Sie sich im Rahmen der Planung einer Neuanlage wirkungsgradverbesserte Ventilatoren mit entsprechender Energiekostenrechnung anbieten.

Das Motor Challenge Programm ([www.motor-challenge.de](http://www.motor-challenge.de)) bietet Hilfestellungen, um die Energieeffizienz motorgetriebener Systeme zu verbessern.

##### Weitere Möglichkeiten für den Einsatz energieeffizienter Anlagenkomponenten sind:

- › optimiertes Druckluftkonzept (z. B. mehrere Kompressoren),
- › Einsatz einer Kraft-Wärme-Kopplung bzw. einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.





### Effiziente Lack-Applikationssysteme

Spritzlackierprozesse mit geringen Lackmaterialnutzungsgraden von 20 bis 40 % sind kostenintensiv. Hocheffiziente Lackapplikationssysteme senken gleichzeitig Lackmaterial- und Druckluftverbrauch und dadurch auch den Energieverbrauch.

In der folgenden Tabelle sind die Auftragswirkungsgrade verschiedener Lackapplikationsverfahren aufgelistet.

Applikationsverfahren	Lackauftragswirkungsgrad in %
mechanische Verfahren	
Hochdruckspritzen	20 – 40
Niederdruck (HVLP, high volume low pressure)	40 – 50
Airless, Airmix	30 – 40
mechanische Spritzverfahren mit elektrostatischer Unterstützung	60 – 85
elektrostatische Verfahren (z. B. elektrostatische Hochrotation)	80 – 95

Eine Optimierung der Parameter (Lenkluft, Hornluft, Düse etc.) und eine Programmierung des optimalen Bewegungsablaufes des Lackier-Roboters erhöhen ebenfalls den Lackmaterialnutzungsgrad und die Energieeffizienz.

#### Lackierung von Holz:

Vollautomatisches Fluten anstelle eines Spritzauftrags reduziert den Energieverbrauch z. B. ungefähr auf ein Drittel.

#### Lackieren von Flachteilen mit Elektrostatik:

Eine Erhöhung des Lackauftragswirkungsgrads von 30 auf 70 % reduziert die Nacharbeitsquote um 50 %. Damit ist eine Erhöhung des Durchsatzes und eine Verminderung des Energieverbrauchs um 25 % möglich.

**Tipp:** Mit elektrostatischen Beschichtungsverfahren (z. B. Hochrotationsglocken) sind sehr hohe Lackmaterialeinsparungen (bis zu 50 %) erreichbar.

**Hinweis:** Bei nichtleitenden Werkstoffen muss durch zusätzliche Maßnahmen, etwa durch ausreichende Befeuchtung von Holz (8 % Feuchtigkeit reicht aus) oder durch Auftrag eines Leitlackes auf Kunststoff dafür gesorgt werden, dass das Werkstück einen elektrischen Gegenpol zum spannungsführenden Sprühorgan bildet.

## Alternative Lackierverfahren zur Reduzierung des Energieverbrauchs

Der Vergleich einer Wasserlackierung mit einer Pulverlackierung für Metallteile ergibt folgende Unterschiede im Energieverbrauch:

### Vorbehandlung:

Die Vorbehandlung ist jeweils gleich.

### Lackapplikation:

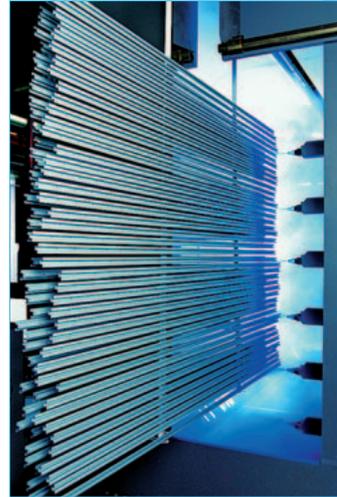
Für die Pulverlackierung wird keine Heizenergie für die Kabinenbelüftung benötigt, da sie im Umluftbetrieb arbeitet.

### Trocknung:

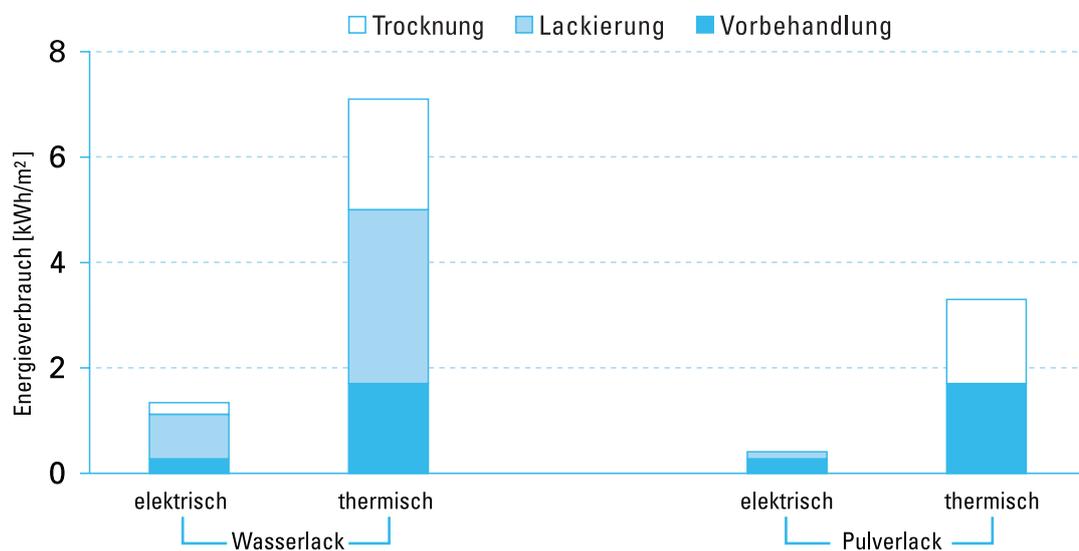
Die Pulverlackierung wird meist als Einschichtlackierung aufgetragen, daher entfällt eine Zwischentrocknung für eine Grundierung. Trotz höherer Einbrenntemperatur (180 - 220° C) wird für den Aushärtungsprozess insgesamt weniger Energie benötigt.

**Hinweis:** Der Betrieb einer Pulverlackieranlage ist energieeffizienter als der Betrieb einer Anlage zur Beschichtung mit Wasserlack.

Eine Umstellung auf UV-Lackierung kann mit einer Energieeinsparung verbunden sein: einerseits wird der thermische Energieverbrauch reduziert, andererseits erhöht sich durch die notwendige Strahlungsleistung der UV-Strahler der Stromverbrauch.



Energieverbrauch in Abhängigkeit vom Lackierverfahren (Metall)

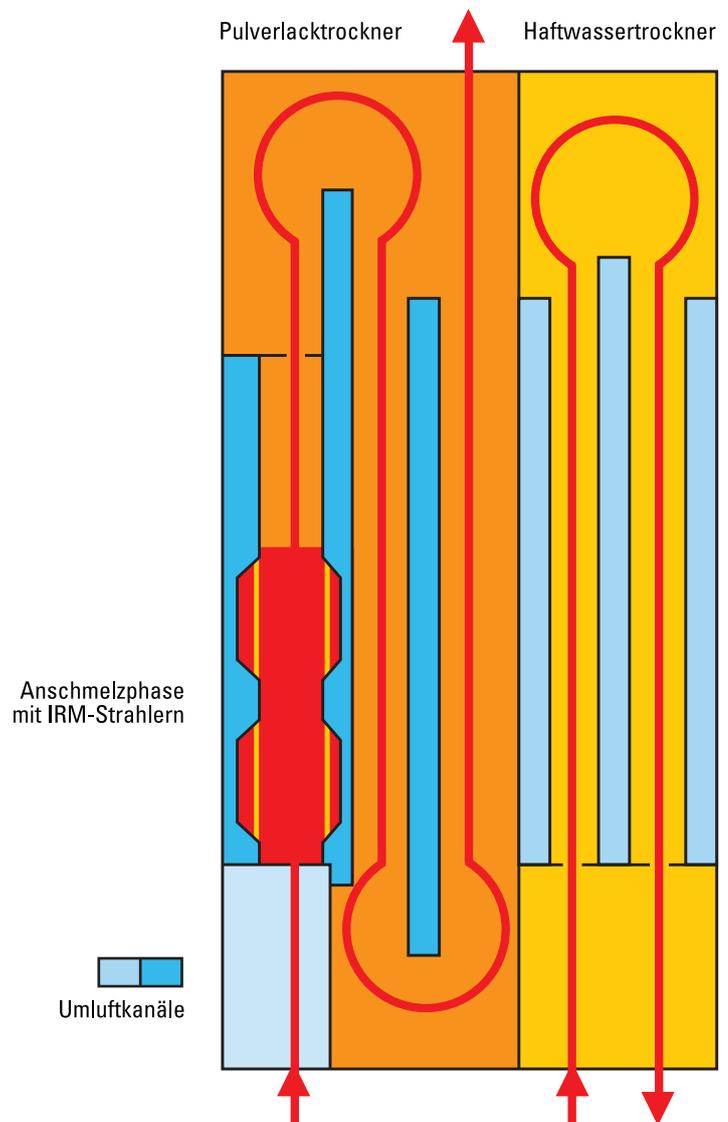




### Energieeffizientes Anlagenkonzept

Bereits bei der Konzeption einer Lackieranlage sollte auf die Energieeffizienz geachtet werden. Beziehen Sie die Energieeffizienz bei Anlagenplanung und Bewertung der vorgelegten Angebote mit ein.

So sollten durch die direkte Wand-an-Wand-Anordnung von „warmen“ Anlagenkomponenten, z. B. durch Blockrockner, die Wärme abstrahlenden Flächen und damit der Verlust an thermischer Energie minimiert werden.



Ein Blockrockner erhöht die Energieeffizienz durch Oberflächenminimierung der „warmen“ Anlagenkomponenten.

## 5. Einsparpotenziale im Lackierprozess

Es werden für alle Teilprozesse einer Lackierung Maßnahmen zur Energieeinsparung dargestellt. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen muss für den jeweiligen Einzelfall geprüft werden. Anhand einer Modellanlage (Anlagenkapazität: 160 m<sup>2</sup>/h lackierte Oberfläche, Laufzeit 240 d à 16 h/d) werden im Folgenden Einsparpotenziale und Kosten von Energiesparmaßnahmen abgeschätzt. Für die Energiekostenberechnungen wurden für Strom 0,08 Euro und für Gas 0,05 Euro je kWh zugrunde gelegt.

In manuellen Spritzlackieranlagen ist die Spritzkabine der größte Energieverbraucher.

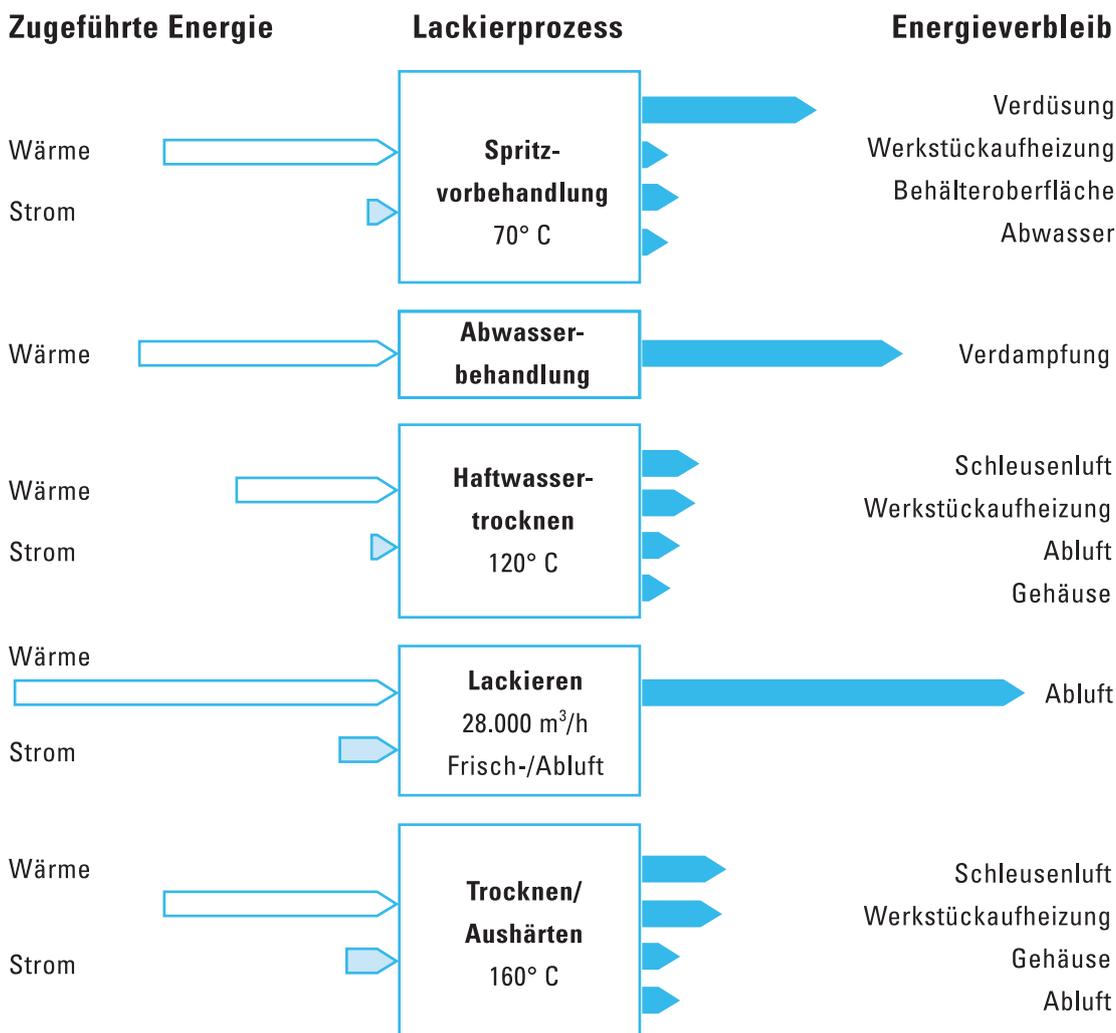
Sie wird meistens mit Frischluft durchströmt, die über lange Zeiträume des Jahres erwärmt und in vielen Fällen – insbesondere beim

Einsatz von Wasserlacken – befeuchtet werden muss (in Abhängigkeit von Lack und Lösemittelkonzentration ließe sich durch teilweisen Umluftbetrieb der Energieverbrauch senken, unter Einhaltung der MAK-Grenzwerte). Der Stromverbrauch in typischen Lackieranlagen liegt bei 15 bis 30 % des Energiebedarfs.

**Hinweis:** Wegen der Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung sind der erforderliche Primärenergieeinsatz sowie die resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf den Endenergieverbrauch, um den Faktor 2 – 3 (dt. Strommix) höher als für Wärmeerzeugung aus Gas bzw. Öl.



### Energieverbrauch in einer typischen Lackieranlage (schematisch)





## 5.1. Vorbehandlung

Zur Vorbehandlung (z. B. Reinigung, Entfettung) sind aus Gründen des Umweltschutzes vorwiegend wässrige Verfahren im Einsatz. Es werden die Vorbehandlung und die Abwasseraufbereitung betrachtet.

### Spritzvorbehandlung

Für die Beheizung einzelner Prozessbäder wird viel Energie benötigt.

Ein großer Teil der zugeführten Energie wandert von den beheizten Zonen in die kälteren Spülbäder.

Der weitaus größte Energieverlust entsteht durch das Verdüsen der beheizten Flüssigkeit. Weitere Verluste entstehen durch die Schwadenabsaugung im Ein- und Auslauf der Vorbehandlungsanlage (abhängig von Tunnelquerschnitt und Badtemperatur).

### Tauchvorbehandlung

Der Hauptteil der Energie verlässt die Anlage mit der Abluft. Hier kommt der Optimierung des Zu- und Abluftsystems besondere Bedeutung zu (siehe hierzu „Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie“ des BayLfU, [www.bayern.de/lfu/luft/energieeffizienz](http://www.bayern.de/lfu/luft/energieeffizienz)).

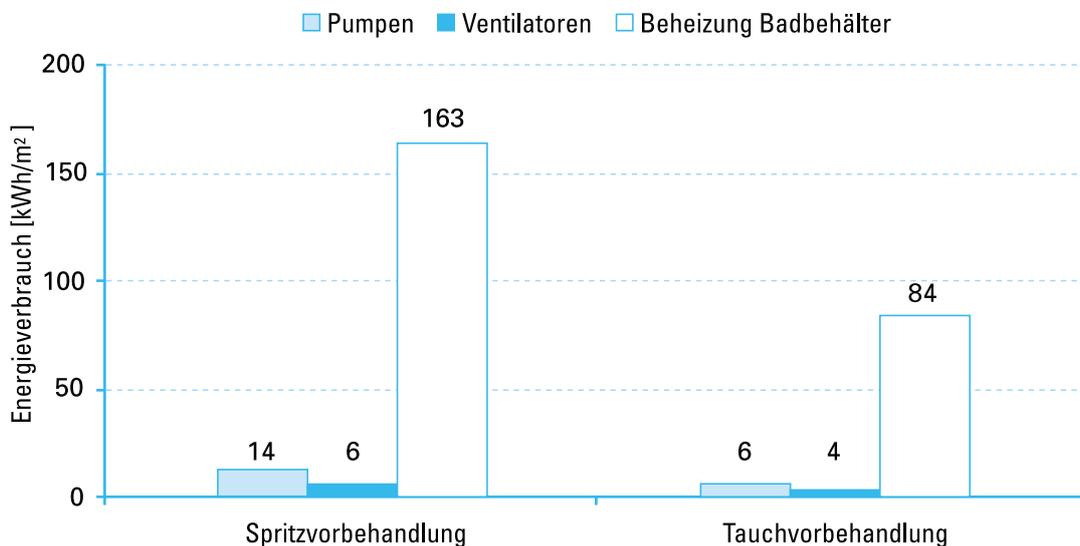
Die Grafik unten zeigt den Energieverbrauch zur Beheizung der Badbehälter für die Spritzvorbehandlung im Vergleich zur Tauchvorbehandlung (Modellanlage, ohne Abwasserentsorgung).

Die Energieverluste einer Tauchvorbehandlung (im Wesentlichen über die Badoberfläche) sind gegenüber der Spritzvorbehandlung deutlich geringer.

### Abwasseraufbereitung

In die Energiebetrachtung für die Vorbehandlung mit einzubeziehen ist auch die Abwasseraufbereitung. Häufig wird die konventionelle Chargen-Abwasseranlage durch eine Schmutzwassereindampfanlage ersetzt, u. a. zur Vermeidung einer Abwassereinleitung. In der Modellanlage fallen täglich etwa zwei Liter je m<sup>2</sup> lackierter Fläche, insgesamt ca. 5.100 Liter Abwasser pro Tag an. Während für die Behandlung in einer Chargen-Abwasseranlage dafür nur ca. 10 kW elektrische Leistung erforderlich ist, benötigt eine Eindampfanlage mit einer Leistung von 200 l/h ca. 180 kW thermische Leistung zusätzlich für die Verdampfung.

**Hinweis:** Dieser zusätzliche Wärmeverbrauch einer Abwasser-Eindampfanlage ist in etwa so hoch wie der Wärmeverbrauch der eigentlichen Vorbehandlung (Modellanlage).



## Energieeinsparung

Die Prozessbäder werden im Allgemeinen mit Warmwasser oder Dampf aus Öl- oder Gas-beheizten Kesselanlagen erwärmt.

### Sie können Energie sparen, wenn Sie Folgendes berücksichtigen:

- › Achten Sie darauf, dass der Heizkessel dem Stand der Technik (feuerungstechnischer Wirkungsgrad) entspricht sowie räumlich möglichst nahe an der Vorbehandlungsanlage steht.
- › Überprüfen Sie die Kesselanlage und stellen Sie sie bei Bedarf neu ein.
- › Die Rohrleitungsverluste (in Vor- und Rücklauf) lassen sich durch Dämmen um bis zu 90 % reduzieren.
- › Vermeiden Sie Wärmebrücken und Lecks.

- › Mit einer Abwärmenutzung aus anderen Fertigungsbereichen (z. B. Gießerei) oder einer TNV (Thermische Nachverbrennung) ist im Idealfall keine zusätzliche Beheizung der Badbehälter notwendig.

**Tipp:** Abschalten der Spritzpumpen bei längeren Stillstandszeiten (Fördererstillstände, Pausen): Einsparpotenzial 10 %.

**Hinweis:** Erfolgt die Beheizung der Vorbehandlung mit Warmwasser, kann eine Erwärmung des Rücklaufs zusätzlich über eine Solaranlage erfolgen.



## Energieeinsparpotenziale im Überblick

Die folgende Tabelle zeigt Einsparpotenziale für eine Spritzvorbehandlungsanlage und gibt Anhaltswerte für Kosteneinsparungen und Investitionskosten.

Maßnahmen für die Spritzvorbehandlung der Modellanlage	Einsparpotenzial in kWh/h	Kosteneinsparung/a	Investitionskosten
<b>Kurzfristig umsetzbare technische und organisatorische Maßnahmen (ohne hohe Investitionen)</b>			
Abschalten der Spritzpumpen in Pausen, während Transportlücken und bei Fördererstillstand; das Verdüsen verbraucht die meiste Wärmeenergie	12 (thermisch)	2.300 Euro	5.000 Euro
Einsatz von Reinigungschemikalien, die eine Vorbehandlung bei niedrigeren Prozesstemperaturen ermöglichen ( Reduktion um 10° C)	40 (thermisch)	7.700 Euro	Mehrkosten/a für Material: 2.500 Euro
Druckminderung der Umwälzpumpen durch Frequenzregelung anstelle von Drosselklappen in den Rohrleitungen	8 (elektrisch)	2.500 Euro	7.500 Euro
<b>Maßnahmen bei Anlagenmodernisierungen</b>			
Abschottbleche zwischen beheizten und unbeheizten Zonen als „Wärmefalle“ einbauen (Reduktion des Luftaustausches)	3 (thermisch)	600 Euro	2.000 Euro
Dämmung von Gehäuse, Badbehälter, Wärmetauscher und Rohrleitungen von beheizten Zonen	12 (thermisch)	2.300 Euro	6.000 Euro
Verlängerung der Einlaufzonen um 1 – 2 Meter	9 (thermisch)	1.700 Euro	3.000 Euro
Abluftfreier Betrieb durch Einbau eines Kondensationsaggregats mit Wärmerückgewinnung	36 (thermisch)	6.900 Euro	25.000 Euro
Direkte Abwärmenutzung des Einbrennofens bzw. des Haftwassertrockners	3 (thermisch)	600 Euro	8.000 Euro
<b>Alternative Fertigungskonzepte</b>			
Anlagenkonzept mit Tauchbädern	18 (elektrisch) 95 (thermisch)	24.000 Euro	200.000 Euro
Verzicht auf nasschemische Vorbehandlung, z. B. in Verbindung mit Minimalbeölung und Strahlen (Anwendbarkeit beachten!)	163 (thermisch)	31.000 Euro	Einsparung 200.000 Euro

## 5.2. Haftwassertrockner

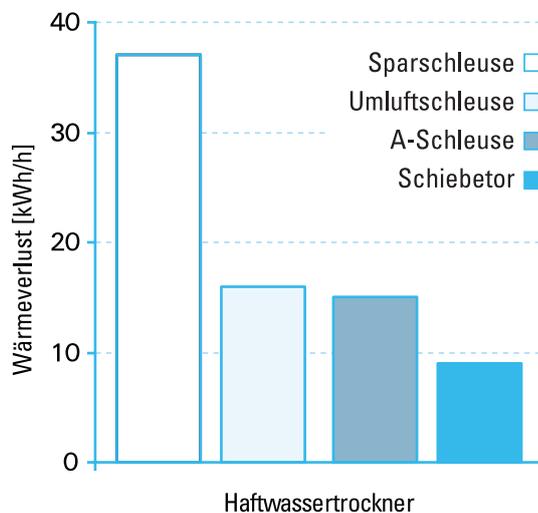
Zur Trocknung der Werkstücke aus der Vorbehandlung werden in der Praxis sämtliche Systeme von der einfachen Warmblaszzone bis zum Düsentrockner eingesetzt. In einem Haftwassertrockner geht die meiste Energie über die Schleusenluft und die Aufheizung der Werkstücke verloren. Wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch hat die Konstruktion der Materialdurchlässe. Übliche Ausführungen sind:

- **Die Sparschleuse** (Ausblasen eines Teilstroms der Umluft an den Werkstück-Öffnungen) eignet sich nur für niedrige Trocknertemperaturen und kleine Materialdurchlässe.
- **Umluftbetriebene Schleusen** halten die Warmluft gut zurück.
- **A-Schleusen** (Warenein- und -austritt von/nach unten) sind für den kontinuierlichen Betrieb energetisch die beste Lösung, eine ausreichende Höhe ist Voraussetzung.

**Tipp:** Durch den Einbau einer Umluftschleuse oder einer A-Schleuse können die gesamten Wärmeverluste des Haftwassertrockners um fast 20 % reduziert werden.

- **Schiebetore** sind bei Taktbetrieb ebenfalls energetisch sinnvoll.

**Hinweis:** Das Verschließen von Werkstücköffnungen mit Toren macht nur Sinn, wenn zwischen ein- bzw. ausfahrenden Werkstücken ein ausreichender zeitlicher Abstand besteht. Entscheidend sind Taktzeit und Transportgeschwindigkeit.



Die Grafik zeigt den Vergleich der Wärmeverluste für verschiedene Trocknerabschlüsse des Haftwassertrockners.

**Tipp:** Durch die Umstellung gasbeheizter Haftwassertrockner von indirekter auf direkte Beheizung (Führung der Umluft direkt über die Gasflamme) lassen sich 10 bis 15 % Heizenergie einsparen.

**Hinweis:** Öl beheizte Haftwassertrockner werden nur mit indirekten Heizungen versehen, da die Rauchgase der Ölverbrennung zu Haftungsstörungen bei der nachfolgenden Lackierung führen können.



**Tipp:** Eine Reduktion der Trocknungstemperatur durch Entfeuchtung der Umluft kann eine Energieeinsparung bis zu 50 % bedeuten und vermeidet insbesondere für temperaturempfindliche Werkstücke lange Trocknungszeiten (Kälte- oder Sorptionstrocknung, siehe Abschnitt 5.5).

Nicht geeignet für komplizierte Teilegeometrien.

## Energieeinsparpotenziale im Überblick

Die folgende Tabelle zeigt die Einsparpotenziale für einen Haftwassertrockner und gibt Anhaltswerte für Kosteneinsparungen und Investitionskosten.

Maßnahmen für den Haftwassertrockner der Modellanlage	Einsparpotenzial in kWh/h	Kosteneinsparung/a	Investitionskosten
<b>Kurzfristig umsetzbare technische Maßnahmen (ohne hohe Investitionen)</b>			
Abdeckung von zu großen Werkstückein- und -ausläufen	2 (thermisch)	400 Euro	200 Euro
Einstellen (Reduzierung) der Trocknerabluft auf die notwendige Mindestabluft zur Abführung der Feuchtigkeit (regelmäßige Einstellung bei Wartungsarbeiten)	2 (thermisch)	400 Euro	200 Euro
<b>Maßnahmen bei Anlagenmodernisierungen</b>			
Umrüstung einer indirekten Beheizung der Umluft über Lufterhitzer, wenn möglich, auf eine direkte Beheizung; nachträglich realisierbar (Lackhaftung beachten, Qualitätsprüfung sinnvoll)	16 (thermisch)	3.100 Euro	15.000 Euro
Nachrüstung von umluftbetriebenen Luftschleusen – wenn räumlich möglich, besser A-Schleusen (Ein- und Ausbringung der Werkstücke von unten)	20 (thermisch)	3.800 Euro	15.000 Euro
Neubau: Temperaturreduzierung im Zusammenhang mit einer Entfeuchtung der Umluft (Kälte- oder Sorptionstrocknung, Abschnitt 5.5)	60 (thermisch)	11.500 Euro	30.000 Euro
Neubau: Ausführung mehrerer Trockner als Blocktrockner (eine Seitenwand wird eingespart)	3 (thermisch)	600 Euro	Einsparung 2.000 Euro
Direkte Beheizung durch Abluft aus dem Lacktrockner	12 (thermisch)	2.300 Euro	Umbau: 10.000 Euro Neubau: 6.000 Euro
<b>Alternative Fertigungskonzepte</b>			
Verzicht auf nasschemische Vorbehandlung: z. B. Lacke, die keine Reinigung benötigen oder das Einhalten von Sauberheitskonzepten bei der Produktion, alternativ die Verwendung einer Strahlanlage oder eine Minimalbeölung – Anwendbarkeit beachten!	108 (thermisch)	12.400 Euro	Einsparung 120.000 Euro





### 5.3. Lackierung

#### Spritzlackierung

Manuelle Spritzkabinen müssen aus Gründen des Arbeits- und Explosionsschutzes mit einer ausreichenden technischen Lüftung ausgestattet sein. Dabei werden üblicherweise Luftgeschwindigkeiten zwischen 0,3 und 0,6 m/s eingestellt. Die untere Grenze der Luftgeschwindigkeit für manuelle Beschichtung liegt je nach Anlage bei 0,3 – 0,35 m/s (Einhaltung der MAK-Werte). Luftgeschwindigkeiten von weniger als 0,3 m/s sind höchstens mit automatischer Lackierung realisierbar.

**Hinweis:** Eine Belüftung der Spritzkabine mit beheizter (22° C) und befeuchteter Luft (60 % rel. Luftfeuchte) benötigt 53.000 kWh je m<sup>2</sup> Kabinenfläche und Jahr. Etwa 40 % des gesamten Energieverbrauchs einer manuellen Lackieranlage gehen über die Abluft der Spritzkabinen verloren.

Lackapplikationssysteme mit höheren Festkörpurnutzungsgraden benötigen geringere Luftgeschwindigkeiten, da weniger Lackoverspray aus der Kabine entfernt werden muss. Durch HVLP (high volume low pressure) oder mit elektrostatischen Beschichtungen kann der Lackoverspray gegenüber dem konventionellen Druckluftspritzen erheblich reduziert werden (siehe Tabelle: Effiziente Lackapplikationssysteme, S. 8).

**Tip:** Eine Reduktion der Luftgeschwindigkeit von 0,5 auf 0,3 m/s reduziert den Energieverbrauch um bis zu 20 %.

#### Lackierkabinen sind lüftungstechnisch zu unterscheiden in:

- Spritzkabinen mit Bedienungspersonal mit reinem Frisch-Abluft-Betrieb
- Automatik-Spritzkabinen mit je einem Teilstrom im Frisch-Abluft- und im Umluft-Betrieb
- Automatik-Pulversprühkabinen mit reinem Umluftbetrieb

#### Wärmerückgewinnung in Automatikcabinen

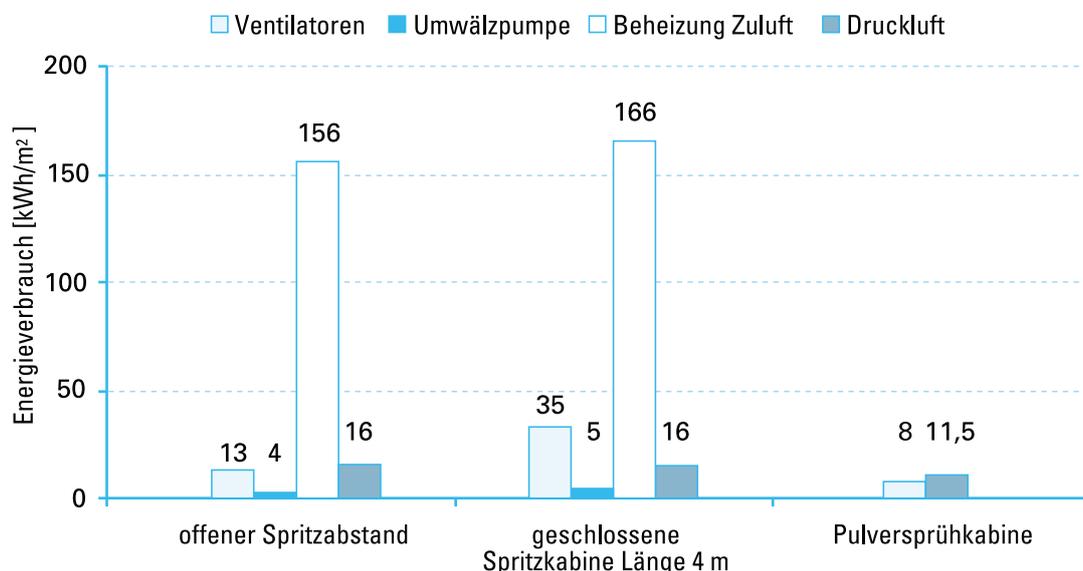
In Automatikcabinen lassen sich durch Umluftbetrieb der Kabinenluft bis zu 90 % der Wärmeenergie einsparen.

#### Wärmerückgewinnung aus der Kabinenabluf

Spritzlackierkabinen für manuelle Lackierung, z. B. Autoreparaturkabinen, erfordern in der Regel 100 % Frischluftbetrieb bei gleichzeitig relativ hohen Luftvolumenströmen. Wärme aus der Abluft lässt sich durch ein Wärmerad (regenerativ) oder durch einen Wärmetauscher (rekuperativ, d. h. keine Rückgewinnung der Feuchte) zurückgewinnen.

**Tip:** Durch einen Wärmetauscher lassen sich aus der Kabinenabluf zwischen 50 % (Luft/Luft-Wärmetauscher) und 75 % (Wärmerad) der Wärme zurückgewinnen.

Die folgende Grafik zeigt den Vergleich des Energieverbrauchs unterschiedlicher Lackierkabinensysteme. Der hohe Energieverbrauch für die Beheizung der Spritzkabinenzuluft im Vergleich zum Pulverauftrag wird deutlich.



## Praxisbeispiel: Nachrüstung eines Wärmetauschers

Kfz-Reparatur-Lackierung mit kombinierter Lackier- und Trocknungsanlage (Luftdurchsatz von 25.000 m<sup>3</sup>/h):  
Durch die Nachrüstung eines Wärmetauschers (Plattenwärmetauscher) konnten die Betriebskosten von vormals 17.500 Euro/a auf 15.000 Euro/a gesenkt werden. Die Investition für den Wärmetauscher betrug ca. 5.000 Euro, die Amortisationszeit somit ca. zwei Jahre.

**Hinweis:** Bei allen Wärmerückgewinnungssystemen auf der Basis von Wärmetauschern muss berücksichtigt werden, dass die in der Abluft befindlichen Lackpartikel nach dem Stand der Technik entweder vorher herausgefiltert werden oder entsprechende Reinigungsmöglichkeiten (z. B. Reinigungsintervalle bei Wärmetauschern, direkte Reinigung bei Betrieb der Wärmeräder) vorzusehen sind.

## Energieeinsparpotenziale im Überblick

Die folgende Tabelle zeigt Energieeinsparpotenziale für eine Spritzlackierkabine und gibt Anhaltswerte für Kosteneinsparungen und Investitionskosten.

Maßnahmen für die Spritzlackierkabine der Modellanlage	Einsparpotenzial in kWh/h	Kosteneinsparung/a	Investitionskosten
<b>Kurzfristig umsetzbare technische und organisatorische Maßnahmen</b>			
Abschalten der Spritzkabine während Arbeitspausen unter Berücksichtigung des Nachlaufs für die technische Lüftung	34 (thermisch)	6.500 Euro	5.000 Euro
Reduzierung der Luftsinkgeschwindigkeit von 0,5 auf 0,4 m/s durch Reduzierung des Oversprays, z. B. durch HVLP-Zerstäuber (nicht bei Spritzständen)	61 (thermisch) 17 (elektrisch)	17.000 Euro	10.000 Euro
Reduzierung der Luftsinkgeschwindigkeit von 0,5 auf 0,3 m/s durch Reduzierung des Oversprays bei automatischer Lackierung (z. B. durch elektrostatische Hochrotationsglocken)	132 (thermisch) 35 (elektrisch)	36.000 Euro	100.000 Euro
Verarbeiten von Wasserlacken, bei denen keine Befeuchtung der Kabinenluft notwendig ist (für geringe Qualitätsanforderungen bereits realisiert, ansonsten ist die Lackentwicklung abzuwarten)	116 (thermisch)	22.300 Euro	-
<b>Maßnahmen bei Anlagenmodernisierungen</b>			
Bestehende Anlage, manuelle Beschichtung: Wärmerückgewinnung aus der Abluft über einen Wärmetauscher, z. B. Zuluftvorheizung durch Wärmerad (Amortisation fast innerhalb 1 Jahres)	250 (thermisch)	48.000 Euro	50.000 Euro
Neuplanung, nur für automatische Lackierung: Umstellen auf Umluftbetrieb mit Teilstrom Frisch-/ Abluft	268 (thermisch)	51.500 Euro	150.000 Euro
Einsatz von Ventilatormotoren mit Frequenzumrichtern	14 (elektrisch)	4.300 Euro	14.000 Euro
<b>Alternative Fertigungskonzepte</b>			
Verlagerung von geeigneten Lackieraufgaben (z. B. Kleinteile) in kleine Spritzstände mit geringem Luftdurchsatz: individuelle Planung für den einzelnen Betrieb	23 (elektrisch) 10 (thermisch)	9.000 Euro	
Reduzierung der Lackschichtanzahl und damit des Lackierumfangs (z. B. Verwendung vorbeschichteter Coils): notwendig ist die Erprobung eines geänderten Produktionsprozesses	53 (elektrisch) 361 (thermisch)	86.000 Euro	
Umstellung des Lackierprozesses auf Pulverlack, wenn es aufgrund der Temperaturbelastung der Werkstücke möglich ist	siehe Abschnitt 4		



## 5.4. Abdunstzonen

### Lösemittelhaltige Lacksysteme

Es wird in Abdunstzonen in der Regel ausschließlich elektrische Antriebsenergie für Ventilatoren benötigt. Normale Umgebungstemperaturen reichen meist für eine ausreichende Abdunstung vor dem Trocknungsprozess aus.

### Wasserlacke

Um eine ausreichende Qualität sicherzustellen, ist es häufig notwendig, die Abdunstung durch eine Erhöhung der Temperatur bzw. der Luftströmung oder durch eine zusätzliche Entfeuchtung der Luft zu unterstützen.

## Energieeinsparpotenziale im Überblick

Die folgende Tabelle zeigt Energieeinsparpotenziale für Abdunstzonen und gibt Anhaltswerte für Kosteneinsparungen und Investitionskosten.

Maßnahmen für die beheizte Abdunstzone der Modellanlage	Einsparpotenzial in kWh/h	Kosteneinsparung/a	Investitionskosten
<b>Kurzfristig umsetzbare organisatorische Maßnahmen (ohne hohe Investitionen)</b>			
Anpassung der Luftleistung an den tatsächlichen Bedarf, z. B. Abschalten der Abdunstzone während Arbeitspausen / Leerlauf	2 (thermisch)	400 Euro	500 Euro
<b>Maßnahmen bei Anlagenmodernisierungen</b>			
Abwärmennutzung aus dem nachfolgenden Lacktrockner (für eine Beheizung wird der Umluftstrom des Trockners angezapft)	4 (thermisch)	800 Euro	2.500 Euro
Förderung der warmen, aus dem Trockner kommenden Werkstücke durch die Ablüftzone (Anlagenplanung)	6 (thermisch)	1.100 Euro	
<b>Alternative Fertigungskonzepte</b>			
Reduzierung der Lackschichtanzahl und damit des Lackierumfangs (z. B. Verwendung vorbeschichteter Coils): Erprobung eines geänderten Produktionsprozesses notwendig	5 (elektrisch) 86 (thermisch)	18.000 Euro	

## 5.5. Lacktrocknung/-aushärtung

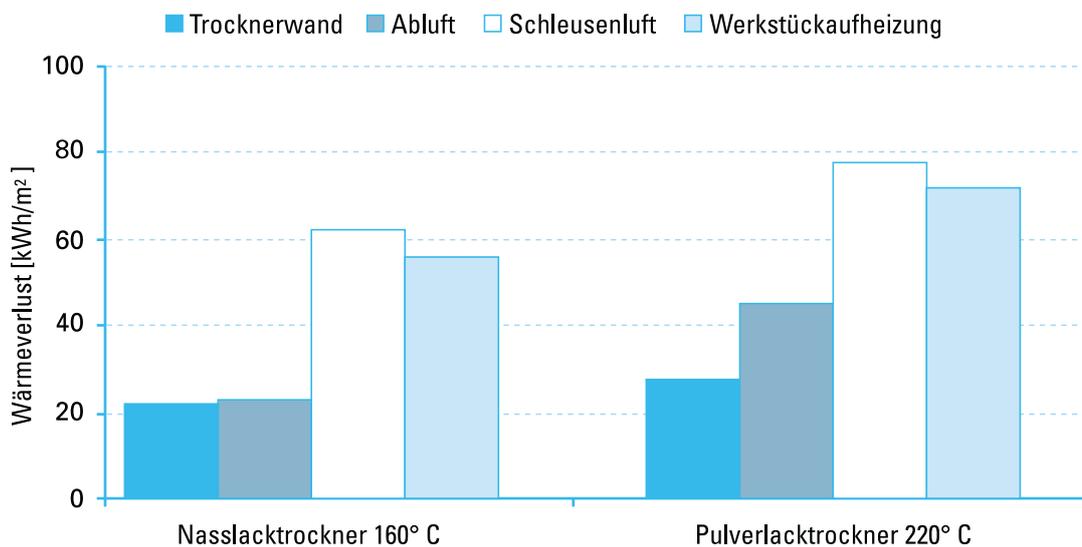
Am Ende des Lackierprozesses steht das Trocknen (physikalischer Prozess) und Aushärten (chemischer Prozess) der Lackschicht. Hierfür wird meist viel Energie benötigt.

### Umlufttrocknung

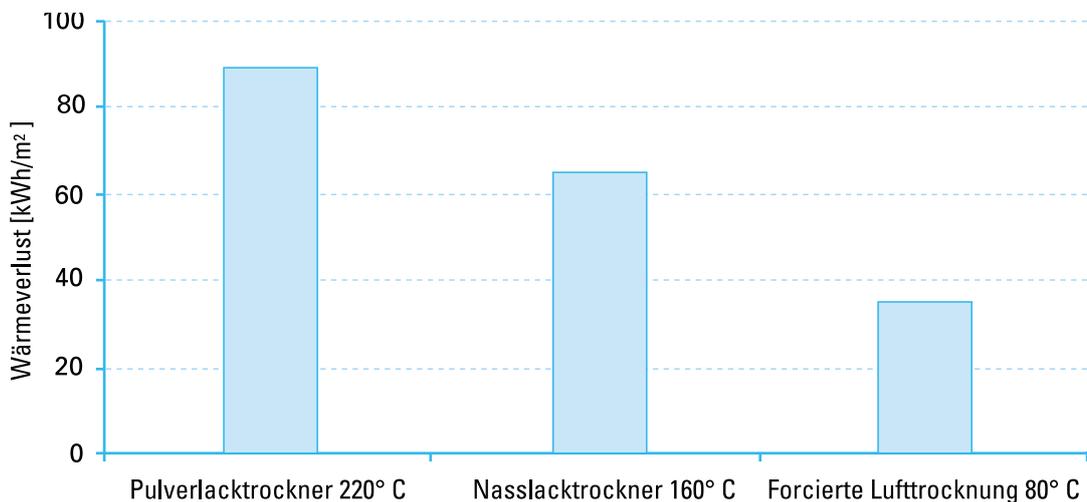
Häufig werden zum Trocknen Umlufttrockner eingesetzt, wobei grundsätzlich das Trocknen mit Umluft energieaufwändig ist. Die Energieverluste von Lacktrocknern (siehe auch Haftwassertrockner, Abschnitt 5.2) lassen sich durch eine energiesparende Konstruktion der Materialdurchlässe (z. B. A-Schleuse) reduzieren.



Die folgende Abbildung zeigt die Aufteilung der Wärmeverluste an Lacktrocknern: etwa je ein Drittel der Wärmeenergie von Umlufttrocknern geht durch Werkstückaufheizung und Schleusenluft verloren.



Auch die Temperatur von Umlufttrocknern wirkt sich entscheidend auf den Energiebedarf aus. Die notwendige Heizleistung steigt mit der Temperatur.





## IR-Strahlungstrocknung

### Die Anwendungsgebiete der IR-Strahlungstrocknung sind vielfältig:

- › Besonders für die Trocknung von Beschichtungen auf dickwandigen oder massiven Objekten (z. B. Stahlrohre, Elektromotorengehäuse aus Metall) lässt sich die IR-Wärmetechnik effizient einsetzen.
- › Sie wird in der Automobilindustrie zur Zwischentrocknung von Wasser-Basislacken eingesetzt. Innerhalb von 1 – 2 Minuten werden Karosserien durch IR-Strahlung auf 60 bis 80° C erwärmt.
- › Für den Einsatz in Kfz-Reparaturwerkstätten gibt es eine Vielzahl von dreidimensional verstellbaren IR-Strahlersystemen.
- › Flache Werkstücke wie Coils (Bleche), Folien, Holzplatten können getrocknet werden.
- › Häufig wird zur Verkürzung der Aushärtungszeit von Pulverlack ein IR-Trockner dem Umluftofen vorgeschaltet. Da hierbei viel Energie verbraucht wird, sollten aus ökologischen Gründen sowie aufgrund der geringeren Energiekosten hierfür gasbetriebene Infrarotstrahler eingesetzt werden.

### Vorteile der IR-Trocknung:

- › Erwärmung des gesamten Ofenraumes wird erheblich reduziert
- › keine Wärmeverluste an Materialdurchlässen
- › Trocknungsanlagen sind deutlich kleiner als Umluftöfen wegen des wesentlich höheren Wärmeübergangs

**Tipp:** Ein IR-Trockner mit Gasstrahler (z. B. Katalyststrahler) anstelle eines Umlufttrockners ist deutlich kleiner. Der Energieverbrauch für die Trocknung lässt sich zudem auf ungefähr ein Drittel reduzieren.

### Praxisbeispiel: Trocknung von Stahlrohren

Lackschichten von ca. 20 µm als Korrosionsschutz auf Stahlrohren (Länge 5 – 15 m, Durchmesser 200 – 700 mm) können durch IR-Strahlung bei hoher Strahlungsleistungsdichte gezielt erwärmt werden.

Vergleich	IR-Strahlungstrockner	Umlufttrockner
Benötigte Grundfläche in m <sup>2</sup>	10	200
Trocknervolumen in m <sup>3</sup>	20	600
Energieverbrauch in kWh/t	7	21

Die Tabelle vergleicht IR-Trockner (gasbetrieben) und Umlufttrockner.

## Trocknung mit entfeuchteter Luft

Entfeuchtete Luft wird vorwiegend zur Trocknung von Haftwasser (Wasserlack) und zur Antrocknung von Nass-in-Nass-Schichten eingesetzt. Ein zirkulierender, stark entfeuchteter Luftstrom entzieht dem Lackfilm die Feuchtigkeit. Sie ermöglicht eine effiziente und schonende Trocknung bei niedrigen Temperaturen für wärmeempfindliche Teile oder für Werkstücke mit hoher Wärmekapazität.

### Merkmale:

- › Für die Trocknung mit entfeuchteter Luft ist im Vergleich zur Warmlufttrocknung ein deutlich geringerer Gesamtenergiebedarf notwendig, der allerdings in Form von elektrischem Strom benötigt wird.
- › Durch Trocknungstemperaturen zwischen lediglich 30 und 60° C werden die Abstrahlungsverluste auf ein Minimum reduziert.
- › Die Trocknungszeit wird deutlich reduziert.

**Tipp:** Durch Trocknung mittels entfeuchteter Luft lassen sich bis zu 50 % der Energiekosten einsparen und lange Trocknungszeiten für temperaturempfindliche Werkstücke vermeiden.

**Praxisbeispiel: Ein Lackrockner für Fensterbeschläge wurde mit einem Kälteaggregat zur Entfeuchtung der Umluft ausgerüstet.**

Die Trocknung mittels entfeuchteter Luft wird mit Umlufttrocknung verglichen (Tabelle unten). Die Amortisation der Investitionsmehrkosten wurde innerhalb von zwei Jahren erreicht.

Eine einfache Möglichkeit für Kleinbetriebe wie Schreinereien zur Trocknung von Wasserlacken stellt der belüftete Hordenwagen (Abbildung rechts) dar. Eine Kombination aus entfeuchteter und leicht erwärmter Luft sowie einer geringen Luftbewegung reduziert deutlich die Trockenzeit.



Vergleich	Umlufttrocknung	Trocknung mittels entfeuchteter Luft	Kosten/a
Anschlussleistung (el.)	9 kW	27 kW	Mehrkosten 6.000 Euro
Anschlussleistung (therm./Heißwasser)	150 kW	30 kW	Einsparung 23.000 Euro
Trocknungszeit	3 Takte je 3 min	2 Takte je 3 min	
Einsparung gesamt			17.000 Euro

### Trocknung mit Mikrowellen

Die Mikrowellentrocknung wird im Wesentlichen für die Trocknung von Wasserlacken auf Holz (Paneele, Profilleisten, Fenster, Türen) eingesetzt.

Mit Mikrowellen können die Trocknungszeiten im Vergleich zur Umlufttrocknung um bis zu 80 % verkürzt werden, ohne dass die wasserverdünnten Lackschichten zur Kocherbildung neigen.

**Praxisbeispiel: Trocknung von Holzteilen**

Die Trocknungszeit und die Energiekosten lassen sich durch einen integrierten Mikrowellentrockner erheblich reduzieren (siehe Tabelle unten).

**Tipp:** Durch den geringeren Aufwand für Beheizung und Kühlung von Werkstücken sind Energieeinsparungen von bis zu 60 % gegenüber der Umlufttrocknung möglich.

Vergleich	Trocknung mit Umluftrockner	Umlufttrocknung mit integrierter Mikrowellentrocknung	
		Klarlack	Lack pigmentiert
Energieverbrauch Mikrowellentrockner in kWh/h		12 (elektrisch)	12 (elektrisch)
Energieverbrauch Umluftrockner in kWh/h	160 (thermisch) 20 (elektrisch)	50 (thermisch) 10 (elektrisch)	90 (thermisch) 10 (elektrisch)
Prozesszeit für Umlufttrocknung in s	360	90	180
Energiekosten Euro/a	37.000	12.700	20.400
Einsparung Euro/a	-	24.300	16.600



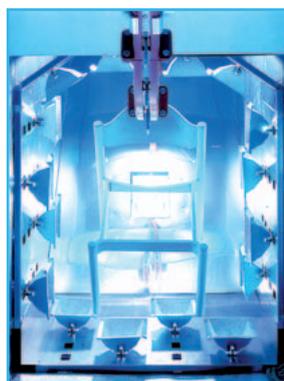
### Härtung mit UV-Strahlen

Die UV-Härtung wird vorwiegend in der Holzveredelungs- und Möbelindustrie eingesetzt für flache Werkstücke, vor allem unter Verwendung von Klarlacken. Für Kunststoffe wird sie serienmäßig angewandt zur Beschichtung von Scheinwerfer-Reflektoren und von Scheinwerfer-Streuscheiben aus Polycarbonat.

Zur Aushärtung dreidimensionaler Teile ist eine aufwändige Anpassung der UV-Strahler an die jeweilige Oberflächengeometrie notwendig, um eine gleichmäßige Bestrahlung aller beschichteten Bereiche zu erreichen. UV-härtende Lacksysteme sind in Spezialfällen eine Alternative, um lösemittelfrei zu lackieren. Das Verfahren ist in der Regel nicht mit Energieeinsparungen verbunden.

#### Vorteile der UV-Härtung:

- › hohe Beschichtungsqualität (Härte, Abriebfestigkeit)
- › Lackierbarkeit von wärmeempfindlichen Substraten
- › Reduzierung der Prozesszeiten (höherer Teiledurchsatz)
- › platzsparende Anlagentechnik
- › schnelle Staubtrockenheit (Reduzierung der Nacharbeit)
- › schnelle Weiterverarbeitbarkeit der Werkstücke
- › Einsatz emissionsfreier Lacke möglich



### Energieeinsparpotenziale im Überblick

Die folgende Tabelle zeigt Energieeinsparpotenziale für einen Umluftlacktrockner und gibt Anhaltswerte für Kosteneinsparungen und Investitionskosten.

Maßnahmen für den Umluftlacktrockner der Modellanlage	Einsparpotenzial in kWh/h	Kosteneinsparung/a	Investitionskosten
<b>Kurzfristig umsetzbare technische und organisatorische Maßnahmen</b>			
Abschalten des Brenners bei Produktionsunterbrechungen (Teilerkennung, z.B. Lichtschranke)	4 (thermisch)	800 Euro	500 Euro
Verwendung von Lacken mit geringerer Aushärtungstemperatur, z. B. 2-Komponentensysteme (beschleunigte Härtung bis ca. 80° C) <b>Hinweis:</b> 2K-Lacke erfordern einen höheren Aufwand bei der Applikation, (z. B. 2K-Dosier- und Mischanlagen) und können nicht zurückgewonnen werden.	77 (thermisch)	14.800 Euro	40.000 Euro
<b>Maßnahmen bei Anlagenmodernisierungen</b>			
Umrüstung, wenn möglich, von indirekter (Luftheritzer) auf direkte Beheizung der Umluft	16 (thermisch)	3.100 Euro	Nachrüstung: 15.000 Euro Neubau: 10.000 Euro
Einbau eines Abluftwärmetauschers	6 (thermisch)	1.100 Euro	5.000 Euro
<b>Neubau:</b> Bei wasserlöslichen Lacken Reduzierung der Trocknertemperatur im Zusammenhang mit einer Entfeuchtung der Umluft (z. B. auf 60° C, nur bei Wasserlacken)	126 (thermisch)	24.200 Euro	40.000 Euro
Verkürzung der Einbrennzeit über Abgasrückführung durch doppelwandige Innenverkleidung (Wärmeabstrahlung)	20 (thermisch)	3.800 Euro	10.000 Euro





## 6. Praxisbeispiel Kunststofflackieranlage

Es wird eine bestehende, neuwertige Kunststofflackieranlage betrachtet. Hergestellt werden Zubehörteile für Automobile (Innentteile) aus Kunststoff im Dreischichtbetrieb. Der Werkstückdurchsatz beträgt ca. 60 m<sup>2</sup> pro Stunde.

Der deutlich geringere Energieverbrauch einer gleichwertigen, aber energetisch optimal konzipierten Lackieranlage soll gezeigt werden.

In der folgenden Tabelle werden für einen energetisch optimalen Neubau im Vergleich zur bestehenden Kunststofflackieranlage (Laufzeit 240 Tage à 24 h) die rechnerischen Energiekosteneinsparungen sowie Investitionsmehrkosten abgeschätzt.

### Der Lackierprozess besteht aus:

- Vorbehandlung (Powerwash) mit nachfolgender Blaszone
- Haftwassertrockner (mit vorgeschalteter Abdunstzone 1, auch als Grundlacktrockner verwendet)
- Flächenspritzkabine mit Abdunstzone 2
- Decklacktrockner

Abgeschätzt werden für dieses Beispiel die erzielbare Reduktion des Energieverbrauchs, die Energiekosteneinsparungen und die entsprechenden Investitionsmehrkosten. Ein Großteil der Maßnahmen gilt auch für die Nachrüstung bestehender Anlagen. Die technische Umsetzbarkeit und die Wirtschaftlichkeit sind im Einzelfall zu prüfen.

Komponenten und Maßnahmen für eine energetisch optimal konzipierte Kunststofflackieranlage:	Verringerung des Energieverbrauchs in kWh/h	Energiekosteneinsparung in Euro/a	Investitionsmehraufwand in Euro
<b>Vorbehandlung</b>			
Abschalten der Spritzpumpen in Pausen, während Transportlücken und bei Fördererstillstand	9 (thermisch)	2.600	2.000
Wärmedämmung der Rohrleitung und Wärmetauscher außerhalb der Anlage	1 (thermisch)	300	500
frequenzgeregelte Umwälzpumpen (anstelle von Drosselklappen) in den Rohrleitungen	4 (elektrisch)	1.800	2.500 Nachrüstung 4.000
Kondensationsaggregat für einen abluftfreien Betrieb	7 (thermisch)	3.200	9.000
<b>Abdunstzone 1</b>			
Ventilatoren mit höherem Wirkungsgrad und energieeffizienten Motoren	2 (elektrisch)	900	3.500
Umluftbetrieb bei Grundierung	13 (thermisch)	3.700	5.000 Nachrüstung: 9.000
Teilstrom Umluft- und Teilstrom Frisch-/Abluftbetrieb	11 (thermisch)	3.200	Keine Mehrkosten Nachrüstung: 1.500
<b>Haftwassertrockner (Grundlacktrockner)</b>			
optimierte Öffnungszeiten der Klappstore	2 (thermisch)	600	Keine Mehrkosten Nachrüstung: 1.000
Ventilatoren mit höherem Wirkungsgrad und energieeffizienten Motoren	3 (elektrisch)	1.400	5.000
Temperaturreduzierung (Entfeuchtung der Umluft: d. b. auch eine Verringerung des benötigten Trockervolumens) - nur für Wasserlackierung	30 (thermisch)	8.600	15.000 Nachrüstung: 25.000

Komponenten und Maßnahmen für eine energetisch optimal konzipierte Kunststofflackieranlage:	Verringerung des Energieverbrauchs in kWh/h	Energiekosteneinsparung in Euro/a	Investitionsmehraufwand in Euro
<b>Spritzkabine</b>			
Abschalten der Spritzkabine während Arbeitspausen (Berücksichtigung des Nachlaufs für die technische Lüftung)	31 (thermisch)	8.900	3.000
Geringere Luftbefeuchtung (60 statt 80 %)	174 (thermisch)	50.000	keine Mehrkosten Nachrüstung: für Einstellarbeiten 1.000
Ventilatormotoren mit Frequenzumrichtern	20 (elektrisch)	9.200	10.000 Nachrüstung: 18.000
Umluftbetrieb mit Teilstrom Frisch-/Abluft (bei gleichzeitiger Reduzierung der Befeuchtung von 80 auf 60 %, s. o.), Abluftreinigung notwendig	370 (thermisch)	107.000	60.000
<b>Abdunstzone 2</b>			
Ventilatoren mit höherem Wirkungsgrad und energieeffizienten Motoren	2 (elektrisch)	900	3.500
Umluftbetrieb bei Decklackierung	34 (thermisch)	9.800	5.000 Nachrüstung: 9.000
Teilstrom Umluft- und Teilstrom Frisch-/Abluftbetrieb	26 (thermisch)	7.500	Keine Mehrkosten Nachrüstung: 1.500
<b>Lackrockner</b>			
optimierte Öffnungszeiten der Klappstore	2 (thermisch)	600	Keine Mehrkosten
Ventilatoren mit höherem Wirkungsgrad und energieeffizienten Motoren	3 (elektrisch)	1.400	5.000
Einstellen der Trocknerabluft auf die notwendige Mindestabluft	8 (thermisch)	2.300	Keine Mehrkosten
<b>Belüftungsanlage</b>			
Ventilator mit höherem Wirkungsgrad und energieeffizientem Motor	3 (elektrisch)	1.600	6.000
Ventilatormotor mit Frequenzumrichter	s. Abdunstzonen	s. Abdunstzonen	2.500
<b>Geringerer Energieverbrauch gesamt und Erhöhung der Investitionskosten im Vergleich zur bestehenden Anlage</b>	708 (thermisch) 38 (elektrisch)	225.000	133.000



Der berechnete thermische Energieverbrauch einer energetisch optimal konzipierten Lackieranlage liegt um ca. 60 %, die berechneten Energiekosten liegen um ca. 225.000 Euro niedriger als in der bestehenden Anlage.

Abdunstzonen und Spritzkabine werden mit Umluft plus Teilstrom Frisch-/Abluft betrieben. Hierfür ist eine Abluftreinigung notwendig.

## 7. Checkliste

In der folgenden Checkliste werden die wichtigsten Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Lackieranlagen beschrieben.

Maßnahmen	Bemerkungen	Verweis
<b>Energie allgemein</b>		
Kontrolle des Energieverbrauchs und der Energiekosten		S. 5
Bildung von Energiekennzahlen	Durchsatz lackierter Teileoberfläche pro Betriebszeit (z. B. m <sup>2</sup> /h)	S. 6
<b>Vorbehandlung</b>		
Tauchen	für Serienfertigung, Massengüter: Einsparung von 50 % möglich	S. 12, 13
Verzicht auf nasschemische Vorbehandlung (z. B. Stahlbau)	Energieeinsparung	S. 13
Senkung der Temperatur	Einsatz von Chemikalien	S. 13
<b>Lackapplikation</b>		
manuell: HVLP-Spritzpistolen automatisch: el. Hochrotationsglocken	Erhöhung des Lackauftragswirkungsgrads, Einsparung von Lack und Druckluft, Verringerung des Frischluftbedarfs	S. 8
Metall – Pulverlackierung	lösemittelfrei, bei einer 1-Schichtlackierung Reduktion des Energieverbrauchs um 50 % möglich	S. 9
<b>Beispiel Holzlackierung:</b>		
Fluten (vollautomatisch) statt Spritzauftrag Lackieren von Flachteilen mit Elektrostatik	reduziert den Energieverbrauch auf ca. ein Drittel Erhöhung des Lackauftragswirkungsgrads	S. 8 S. 8
<b>Trocknung</b>		
temperaturempfindliche Werkstücke:	mit entfeuchteter Luft, nur für Wasserlacke, Reduktion der Trocknungszeit, Energieeinsparung von 50 % möglich	S.20, 22
UV-Härtung von Holz, Kunststoff	schnelle Härtung von Lackschichten auf temperaturempfindlichen Substraten, 3-D-Anwendung möglich (Anpassung der Strahler an die jeweilige Geometrie aufwändig)	S. 22
Mikrowellentrocknung	für Wasserlacke auf Holz und Kunststoff; 3D-Anwendung möglich	S. 21
IR-Strahler (gasbetriebene Katalyststrahler sinnvoll)	Reduktion von Trocknungszeit und Energieverbrauch, hohe Produktionsleistung, geringe Kapitalkosten	S. 20
Induktionstrocknung (nur für Metalle, sinnvoll für Teile mit großer Masse)	Reduktion von Platzbedarf, Prozesszeit und Energieverbrauch	Langfassung/ Internet
<b>Wärmerückgewinnung</b>		
manuelle Lackierung	Zuluftvorwärmung über Wärmetauscher	S. 16
automatische Lackierung	Umluftführung	S. 16
<b>Abschalten während Arbeitspausen</b>		
Spritzvorbehandlung, Spritzkabine, Abdunstzone, Lacktrockner, Beleuchtung	geringinvestive Maßnahmen, Amortisation innerhalb von 1 – 2 Jahren	S. 12, 13, 17, 18, 22
<b>Frequenzsteuerung von Motoren/Ventilatoren</b>	deutliche Energieeinsparung im Teillastbetrieb	S. 7

## Impressum

Augsburg 2006 – ISBN 3-936385-89-0

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
 Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg  
 Telefon 08 21/90 71-0  
 Telefax 08 21/90 71-55 56  
 E-Mail poststelle@lfu.bayern.de  
 Internet www.bayern.de/lfu

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV).

### Bearbeitung:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

### Mitherausgeber/ Redaktion:

Bayerisches Institut für Angewandte Umweltforschung  
 und -technik GmbH (BlfA)  
 Fachhochschule Augsburg,  
 Fraunhofer Institut Produktionstechnik und  
 Automatisierung (IPA),  
 Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA),  
 Fachverband Oberflächentechnik,  
 Bayerischer Industrie- und Handelskammertag (BIHK),  
 Bayerischer Handwerkstag (BHT)

### Layout:

aia orange – büro für gestaltung, 86167 Augsburg

### Bildnachweis:

Eisenmann: S. 10 (Blocktrockner),  
 11, 12, 13, 14, 20  
 Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und  
 Automatisierung: S. 21  
 Hymmen: S. 6  
 Konrad Rump Oberflächentechnik: S. 10  
 Rippert Anlagentechnik: S. 22  
 VDMA: S. 9  
 Venjakob Maschinenbau: S. 16  
 J. Wagner, Markdorf: S. 5, 7, 9, 25  
 WIWA, Wilhelm Wagner: S. 8

### Druck:

Druck: Schroff Druck und Verlag GmbH, Augsburg  
 Gedruckt auf Recyclingpapier

### Zitiervorschlag Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg.):

„Klima schützen – Kosten senken, Energie sparen bei der  
 Lackierung“ – Augsburg, 2006

© Bayerisches Landesamt für Umwelt, März 2006



## **Bayerisches Landesamt für Umwelt**

Bürgermeister-Ulrich-Str. 160  
86179 Augsburg

Telefon 08 21/90 71-0

Telefax 08 21/90 71-55 56

E-Mail [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet [www.bayern.de/lfu](http://www.bayern.de/lfu)



Überreicht durch:

ISBN 3-936385-89-0