Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie

LGA Landesgewerbeanstalt Bayern

ZVO

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz

Luftreinhaltung

Augsburg, 2003 – ISBN 3-936385-51-3

Herausgeber:	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg
Tel.:	(0821) 90 71 – 0
Fax:	(0821) 90 71 – 55 56
E-Mail:	poststelle@lfu.bayern.de
Internet:	http://www.bayern.de/lfu

Auftragnehmer:	LGA, Tillystr. 2, 90431 Nürnberg Ingenieurbüro Beyer, Felsenstr. 79, 90449 Nürnberg
Partnerbetrieb:	Thoma Metallveredelung GmbH, Achstr. 14, 87751 Heimertingen
Projektgruppe/ Redaktion	Dipl.-Phys. Dr. Gerold Hensler, LfU Dipl.-Ing. Dr. Josef Hochhuber, LfU Dipl.-Ing. Josef Hasler, ZVO Dipl.-Ing. (FH) Rudolf Kreisel, ZVO Dipl.-Ing. Berthold Seßler, ZVO Dipl.-Ing. Karl Beyer, Ingenieurbüro Beyer, ZVO Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Lips. LGA Andrea Thoma Böck, Thoma Metallveredelung GmbH Dipl.-Ing. (FH) Rolf Koch, Thoma Metallveredelung GmbH

Titelbild:	Thoma Metallveredelung GmbH
Druck:	Schoder Druck GmbH Co. KG, Gersthofen
Zitiervorschlag:	Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): „Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie“. Augsburg, 2003

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

© Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 11/2003

Gedruckt auf Recyclingpapier

Vorwort

Angesichts der sich abzeichnenden weltweiten Klimaveränderungen durch den Treibhauseffekt kamen die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention 1997 überein, dass die Industriestaaten den Ausstoß klimarelevanter Gase bis zum Durchschnitt der Jahre 2008-2012 auf der Basis des Jahres 1990 um durchschnittlich 5% senken sollen. Die Bundesregierung will zudem als nationales Klimaschutzziel den jährlichen Ausstoß des relevantesten Klimagases Kohlendioxid bis 2005 (Basis 1990) um 25% senken. Die deutsche Industrie hat sich in einer freiwilligen Selbstverpflichtung zu einer Verringerung der CO_2-Emissionen um 28% bis 2005 und aller sechs „Kyoto-Gase“ um 35% bis 2012 bereit erklärt.

Da der weit überwiegende Teil der CO_2-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland bei der Bereitstellung von Energie entsteht, ergeben sich besonders große CO_2-Einsparpotenziale durch eine effizientere Nutzung der vorhandenen Energieressourcen. Am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz wurde daher das Projekt „Minderung öko- und klimaschädigender Abgase aus industriellen Anlagen durch rationelle Energienutzung“ initiiert, das aus Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) finanziert wird. Gerade in der Industrie bestehen oft erhebliche Energiesparpotenziale, die gleichzeitig mit deutlichen Kosteneinsparungen für die Betriebe verbunden sind.

In der vorliegenden Studie werden am Beispiel eines Betriebes der Galvanikindustrie die branchenspezifischen Energiesparpotenziale dargestellt. Die Galvanikindustrie ist streng genommen keine eigenständige Industriebranche. Viele Betriebe mit Galvanikanlagen gehören z. B. der Metallverarbeitenden Industrie an. Allen Betrieben gemeinsam ist aber ein im Verhältnis zur Beschäftigtenzahl relativ hoher Energiebedarf, insbesondere von elektrischem Strom. Typisch für Galvanikbetriebe sind auch hohe Energieverluste durch Absauganlagen und die Problematik von Zugerscheinungen durch unzureichende Luftzuführung. Den Betrieben fehlen oft umfassende Kenntnisse über die technisch machbaren und wirtschaftlich rentablen Energiesparmöglichkeiten. Dieser Bericht soll interessierten Betrieben die Möglichkeit eröffnen, Erkenntnisse aus dem Projektbetrieb auf den eigenen Betrieb zu übertragen. Gerade in Zeiten hoher Energiepreise und internationalen Wettbewerbs ist es existenziell wichtig, sich durch technologischen Vorsprung und Energieeffizienz auszuzeichnen.

Der vorliegende Leitfaden entstand in Kooperation mit dem Partnerunternehmen Thoma Metallveredelung GmbH. In diesem Betrieb wurden die energierelevanten Anlagenbereiche identifiziert und hinsichtlich ihrer Energiebedarfsstruktur vermessen. Die technisch möglichen Energiesparpotenziale wurden ermittelt und nach ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Für die verschiedenen energierelevanten Bereiche in Unternehmen der Galvanikindustrie wurden allgemein die Ansatzpunkte für effiziente Energienutzung ermittelt und dargestellt.

Die Durchführung des Projektes und die Erstellung dieses Energieleitfadens erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Lenkungsgruppe Umwelt im Zentralverband Oberflächentechnik e.V. (ZVO). Dem ZVO, insbesondere den Mitgliedern der Lenkungsgruppe Umwelt, die Ihr umfangreiches Fachwissen eingebracht haben, sei an dieser Stelle sehr herzlich gedankt.

Wenn es gelingt, mit Hilfe dieser Arbeit Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz in der Galvanikindustrie zu ermitteln und andere Betriebe zur Umsetzung zu motivieren, kann dies als Beispiel dafür gelten, dass Ökologie und Ökonomie sich keinesfalls widersprechen müssen, sondern oftmals gleichzeitig verwirklichen lassen.

Augsburg, im November 2003

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG 9

2 ZIELSETZUNG 10

3 ENERGIERELEVANZ GALVANISCHER PROZESSE 11

4 ENERGIENUTZUNGSANALYSE 13

5 PROJEKTPARTNER THOMA METALLVEREDELUNG GMBH 15

6 GLEICHSTROMVERSORGUNG 19

6.1 Gleichrichter 19
6.1.1 Gleichrichter - Wichtige Eigenschaften 19
6.1.1.1 Motorisch geregelte Gleichrichter 19
6.1.1.2 Thyristor-geregelte Gleichrichter 19
6.1.1.3 Getaktete Gleichstromquellen 20
6.1.2 Altgeräte 20
6.2 Technische Daten der Gleichrichter 21
6.2.1 Wirkungsgrad η -Wärmeverluste 21
6.2.2 Leistungsfaktor λ -Blindleistungsverluste 21
6.2.3 Praxisbeispiel: Ermittlung der gleichrichtertypischen Verlustleistung 22
6.3 Kühlsysteme 23
6.3.1 Ölkühlung 24
6.3.2 Wasserkühlung 24
6.3.3 Luftkühlung 24
6.4 Anlagenbeispiele 25
6.4.1 Verlustwärmenutzung durch Wasser-Luft-Wärmetauscher 25
6.4.2 Verlustwärmenutzung durch Wasser-Öl-Wärmetauscher 25
6.5 Spannungsverluste bei der Gleichstromversorgung 28

7 ABLUFT/ZULUFT 31

7.1 Minimierung der Abluftmengen 31
7.1.1 Durch Transportwagen betätigte oder seitlich verfahrbare Abdeckung 31
7.1.2 Teilabdeckung am Gestellträger 32
7.2 Wechselwirkung von Zu- und Abluft 34
7.3 Abluftwärmenutzung 35

8 PROZESS – UND RAUMWÄRME 38

8.1 Wärmeschutz 38
8.2 Energieträger und Beheizungssystem 40
8.3 Prozessbeheizung, Prozesskühlung 42
8.3.1 Prozessbeheizung 42
8.3.2 Prozesskühlung 43

9 TROCKNUNG 45

10 DRUCKLUFTNUTZUNG 48

11 BELEUCHTUNG 52

12 ENERGIEMANAGEMENT 54

GLOSSAR 56

LITERATURVERZEICHNIS 58

ANHANG 59

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Projektablauf 10
Abb. 2: Energiebedarf der Anlagen 16
Abb. 3: Anteile des Energiebedarfs der Einzelverbraucher am Gesamtenergiebedarf 17
Abb. 4: Anteile der Energieträger an der Energieversorgung 2001 17
Abb. 5: Gesamtenergiebedarf galvanisierter Oberflächen bezogen auf 1µm Schichtdicke 18
Abb. 6: Gesamtenergiebedarf galvanisierter Oberflächen, angegeben für branchenübliche Schichtdicken. 18
Abb. 7: Leistungsdaten eines Gleichrichters 15V / 15.000A mit Regeltrafo 21
Abb. 8: Leistungsdaten eines Gleichrichters 15V / 1.000A mit Thyristorsteller ohne Drossel 22
Abb. 9: Darstellung der mittleren Wirkungsgrade an Gleichrichtern 23
Abb. 10: Verlustwärmenutzung von Gleichrichtern durch Wasser-Luft-Wärmetauscher im Zuluftstrom 25
Abb. 11: Verlustwärmenutzung von Gleichrichtern durch Wasser-Öl-Wärmetauscher 26
Abb. 12: Spannungsverluste an einer Galvanozelle 28
Abb. 13: Deckel am Behälter, durch Transportwagen betätigt 31
Abb. 14: Teilabdeckung am Gestellträger (Draufsicht) 32
Abb. 15: Moderne Chemisch-Nickel-Linie 34
Abb. 16: Wechselwirkung von Zuluftführung in Verbindung mit Absaugmaßnahmen 34
Abb. 17: Prinzip Luft-Wasser-Wärmetauscher 35
Abb. 18: Gas-Wasser-Wärmetauscher 36
Abb. 19: Vorbildliche Wärmedämmung an Leitungen und Armaturen des Warmwassernetzes 38
Abb. 20: „Airgenex"- Entfeuchtungssystem 45
Abb. 21: Umlufttrockner nach Tscherwitschke 46
Abb. 22: Beispiel für einen im Umluftkreislauf arbeitenden Brenner 47
Abb. 23: Abwärmenutzung bei Druckluftkompressoren durch Warmwasser- und Warmluftbereitung 49
Abb. 24: Tageslastgänge der erzeugten Druckluft bei der Thoma Metallveredelung GmbH 51
Abb. 25: Moderne Spiegelrasterleuchte 52
Abb. 26: Energiesparpotenziale bei der Beleuchtung 53

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Anlagenübersicht 15
Tab. 2: Technische Daten der Gleichrichter: 22
Tab. 3: Investitionsberechnung - Austausch von Selen-Gleichrichterplatten gegen Siliziumdioden 29
Tab. 4: Einsparungen – Austausch von Selen-Gleichrichterplatten gegen Siliziumdioden 30
Tab. 5: Vergleich der Absaugungen mit / ohne Teilabdeckung 32
Tab. 6: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Teilabdeckung 33
Tab. 7: Betriebsdaten Luft-Wasser-Wärmetauscher 36
Tab. 8: Daten der Investitionsberechnung 37
Tab. 9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Abluftwärmenutzung 37
Tab. 10: Auswahl des Energieträgers 40

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BHKW	Blockheizkraftwerk
CO_2	Kohlendioxid
MWh/a	Megawattstunden pro Jahr
µS/cm	Mikro-Siemens pro Zentimeter
kW	Kilowatt
V	Volt
A	Ampere
kVA	Kilo-Volt-Ampere
PIUS	Produktionsintegrierter Umweltschutz
t/a	Tonnen pro Jahr
VE-Wasser	Vollentsalztes Wasser
kg/h	Kilogramm pro Stunde
m^3/h	Kubikmeter pro Stunde
EIS	Energieinformationssystem
EMS	Energiemanagementsystem
Lux	Beleuchtungsstärke
LSL	Leuchtstofflampe
KWK	Kraftwärmekoppelung
WW	Warmwasserbeheizung
kvar	Blindleistung
Heizöl EL	Heizöl extra leicht
Se	Selen
PE-RT	Polyethylen erhöhter Temperaturbeständigkeit
PP	Polypropylen
PVDF	Polyvenylidenfluorid

1 Zusammenfassung

Galvanische Metallabscheidungsverfahren sind aufgrund der wichtigsten Prozessparameter wie Prozessspannung, Gleichstrommenge und Prozesstemperatur in hohem Maße energieintensiv. Ein weiterer energierelevanter Teilbereich sind Abluftanlagen, die neben Reinigungssystemen für die Abluft fallweise auch Elektrolytrückführsysteme (Verdunster) als Gesamtsystem enthalten.

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) hat deshalb in Kooperation mit der Lenkungsgruppe Umwelt im Zentralverband Oberflächentechnik e.V. und dem Partnerunternehmen Thoma Metallveredelung GmbH die Erstellung des vorliegenden Energieleitfadens für die Galvanikindustrie in Auftrag gegeben. Ziel des Projektes ist es, die Betriebe der Galvanikindustrie anhand der Erfahrungen aus dem Partnerunternehmen bei der Ermittlung der eigenen vorhandenen Energie- und Kostensparpotenziale zu unterstützen und damit einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

Im Rahmen einer umfassenden Energieverbrauchs- und Nutzungsanalyse im Partnerbetrieb wurden folgende Hauptenergieverbraucher ermittelt:

- Gleichrichter
- Prozessbeheizung
- Raumbeheizung
- Antriebe (insbesondere Ventilatoren)

Die ermittelten Energiekennzahlen zeigen, dass insbesondere die Hartverchromung und die chemische Vernickelung als energieintensive Prozesse zu betrachten sind und daher bevorzugt hinsichtlich der Energieeffizienz optimiert werden sollten.

Vor der Umsetzung von End-of-Pipe-Maßnahmen sollten zunächst primäre Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. CO_2-Minderung in Betracht gezogen werden. Eine Energieeinsparung ist besonders durch Reduzierung der Abluftmengen in Verbindung mit einer weitgehenden Abdeckung der Prozessbehälter erreichbar. Dies führt einerseits zur Reduzierung der Ventilatorantriebsleistung, andererseits in der Heizperiode zu geringerem Raumwärmebedarf.

Wesentliche Bedeutung für die Energieeffizienz in der Galvanikindustrie haben auch die technische Optimierung der Gleichrichteranlagen und die Nutzung der Gleichrichterabwärme (insbesondere bei älteren Selen-Gleichrichtern), aber auch die Nutzung des in der Abluft enthaltenen Energiepotenzials. Hierbei sollte insbesondere eine energieoptimierte Zu- und Abluftführung Anwendung finden.

Über die hier genannten Hauptbereiche hinaus existieren in der Galvanikindustrie weitere attraktive Energiesparpotenziale, die sich v.a. durch ein systematisches Energiemanagement erschließen lassen. Hinweise zu den Energiesparmöglichkeiten in den verschiedensten Unternehmensbereichen gibt auch der LfU-Leitfaden „Effiziente Energienutzung im Betrieb“.
Aufgrund der Projektergebnisse lässt sich für Betriebe der Galvanikindustrie im Durchschnitt ein wirtschaftlich erschließbares Energiesparpotenzial von insgesamt ca. 10 – 20 % abschätzen.

2 Zielsetzung

Kohlendioxid (CO_2), das vor allem aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammt, gilt heute als hauptverantwortlich für die weltweiten Klimaveränderungen mit unabsehbaren ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen.

Ziel des Projektes ist die Unterstützung der Industrie bei der Minderung von klimawirksamen Abgasen durch effiziente Energienutzung. Die LGA wurde durch das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) beauftragt, die CO_2-Minderungspotenziale im Bereich der Galvanikindustrie zu ermitteln und Optimierungsvorschläge zur effizienten Nutzung von Energie abzuleiten. Als Projektpartner wurde die THOMA METALLVEREDELUNG GMBH durch das LfU ausgewählt, deren Betrieb trotz aller Inhomogenität der Branche als in vielen Teilen repräsentativ angesehen werden kann.

Der prinzipielle Projektablauf ist in folgender Abbildung dargestellt:

Abb. 1: Projektablauf

Auf der Grundlage einer Energienutzungsanalyse erfolgt die Ermittlung von allgemeinen Energiekennzahlen und Energiesparpotenzialen.
Aus diesen Erkenntnissen werden unter Berücksichtigung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung branchenspezifische Maßnahmen empfohlen und in Form eines Energieleitfadens zusammengefasst.

3 Energierelevanz galvanischer Prozesse

Die galvanischen Verfahren sind aufgrund der wichtigsten Prozessparameter moderner elektrochemischer Metallabscheidungsverfahren in hohem Maß energieintensiv. Der Energieverbrauch mittelständischer Galvanikbetriebe ist in Abhängigkeit von der Art galvanischer Verfahren und Produktionsmengen, sowohl absolut als auch im Verhältnis zu den übrigen fertigungsbedingten Prozesskosten für Chemikalien und sonstigen Materialen als signifikant zu bezeichnen. Für Galvanikbetriebe mittlerer Größe, von ca. 70 – 100 Mitarbeitern, kann der Energieverbrauch ca. 5.000 – 10.000 MWh/a betragen. Der Anteil der Energiekosten in Galvanikbetrieben liegt je nach eingesetzten Verfahren und Energieeffizienz typischerweise im Bereich von 7-20% und damit weit über dem Durchschnitt der Industrie.

Daraus ist erkennbar, welche hohe Bedeutung eine differenzierte Energienutzungsanalyse aus ökologischer und ökonomischer Sicht für die Galvanikindustrie besitzt. Erst nach Kenntnis der differenzierten Energieverbrauchsdaten für die verschiedenen Fertigungsanlagen und der Detaildaten des jeweiligen Fertigungsverfahrens können Maßnahmen zur Einsparung von Energie geplant und realisiert werden.

Grundlage der galvanischen Metallabscheidung ist die Anwendung von Gleichstrom. Weitere energieintensive Vorgänge sind die Prozess-Heizung und der Betrieb von Abluftanlagen, die zur Vermeidung gesundheitsschädlicher Belastungen am Arbeitsplatz und zur Vermeidung von Korrosionen erforderlich sind. Die Abluftanlagen müssen aus Umweltschutzgründen Reinigungs- bzw. Rückführsysteme für die am jeweiligen Prozess entstehenden flüchtigen Stoffe bzw. Aerosole, aufweisen.

Die verfahrenstechnische Vielfalt der chemischen und elektrochemischen Prozesse und eine Übersicht energierelevanter Daten für wichtige Metallabscheidungsprozesse einschließlich Vor- und Nachbehandlung sowie Trocknung sind in den Anhängen 1 und 2 schematisch dargestellt. Sie sollen Hinweise und Anregungen für eine differenzierte Untersuchung zur Energieeffizienz bzw. für Energieeinspar- und Optimierungsmöglichkeiten von Galvanikanlagen geben.

Die einzelnen Prozessschritte für die verschiedenen galvanischen/chemischen Beschichtungsverfahren sind sehr stark vom Anforderungsprofil an die Eigenschaften des herzustellenden Schichtsystems, der Art und der Beschaffenheit des Grundwerkstoffes sowie der Geometrie des Bauteils abhängig.

Grundsätzlich wird die gesamte Prozesskette eines galvanischen Beschichtungsverfahrens in die drei Teilblöcke

- Vorbehandlung (Reinigung)
- Hauptbehandlung (Metallabscheidung)
- Nachbehandlung (z. B. Konversionsschichten) einschl. Trocknung

unterteilt.
Die Vorbehandlung besteht i.d.R. aus mehreren Prozessschritten (z. B. Entfetten, Beizen).
Die Hauptbehandlung besteht aus der Aufbringung einer oder mehrerer metallischer Schichten.
Die Nachbehandlung kann aus der Aufbringung einer oder mehrerer Konversions- und/oder Schutzschichten bestehen.
Nach jedem Prozessschritt erfolgt eine mehrstufige Spülung in Wasser. Die Temperaturfenster für die drei Teilblöcke der wichtigsten galvanischen Prozessschritte sind in Anhang 1 dargestellt.

Energiekennzahlen

Kennzahlen kennt man aus vielen Bereichen der Wirtschaft. Sie sind Ausdruck für die Energieeffizienz, d.h. für den Energiebedarf je Bezugsgröße. Die typischen Energiekennzahlen in der Galvankindustrie haben die Dimension $kWh/m^2\mu m$ oder bezogen auf die praxisnahe tatsächliche Schichtdicke kWh/m^2.

Energiekennzahlen sind ein Hilfsmittel

- zum Vergleich des eigenen Unternehmens oder Produktionsverfahrens mit anderen Unternehmen der Branche (Voraussetzung: Vergleichbarkeit des Produktes).
- zur Eigenkontrolle des Unternehmens bei Vergleich der Zahlen über einen bestimmten Zeitraum hinweg.

Vergleich von Energiekennzahlen

Im Internet werden heute Programme angeboten, mit deren Hilfe ein Betrieb basierend auf branchenüblichen Energiekennwerten seinen Energieverbrauch beurteilen lassen kann.
Eine Musterdiagnose ist z. B. unter www.meisterlich-energiesparen.de zum Preis von derzeit 105 € erhältlich. Das Programm enthält Kennzahlen für ca. 40 Branchen. Die Musterdiagnose ist u.a. für Mitgliedsunternehmen des VDMA oder des VDA kostenlos.

4 Energienutzungsanalyse

Grundlage für die Erstellung von betrieblichen Energiekonzepten ist eine Energienutzungsanalyse. Ziel der Analyse ist es, die wesentlichen Energieverbraucher zu identifizieren. In einem weiteren Schritt ist es möglich, die Energiesparpotenziale der verschiedenen Bereiche zu ermitteln.

Grundlagenermittlung
Allgemeine Ziele der Grundlagenermittlung sind eine Erfassung der betrieblichen Situation bezüglich Energieerzeugung, Energieverteilung und Energieverbrauch sowie die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Hinweise zur Datenbeschaffung und Istanalyse liefert u.a. der LfU-Leitfaden „Effiziente Energienutzung im Betrieb“[13].

In **Galvanikbetrieben** sind insbesondere folgende Bereiche in die Energienutzungsanalyse einzubeziehen:

- Gleichstromversorgung
- Antriebe
- Abluft/Zuluft
- Beheizung (Arbeitsräume/Produktionsräume und Prozesse)
- Prozesskühlung
- Trocknung
- Druckluft
- Beleuchtung

Folgende ***Liste*** zeigt eine *beispielhafte Aufzählung* von Untersuchungsinhalten im Rahmen der Energienutzungsanalyse sowie mögliche Energiesparpotenziale:

Allgemeine Ermittlungen

- Dokumentation und Auswertung der Verbrauchsabrechnungen für die eingesetzten betrieblichen Energieträger
- Vertragliche Energiebezugsbedingungen
- Darstellung der Energieverteilung bzw. des Energieflusses der einzelnen Energieträger (Abb. 3) auf den Ebenen Einspeisung, Umwandlung und Anwendung für die einzelnen Galvanisieranlagen
- Erstellung von Tages- und Wochenganglinien der bezogenen elektrischen Energie für einzelne Anlagen (Ermittlung durch EVU)
- Anlagenbezogene Messungen sonstiger Energiequellen (Heißwasser, Dampf)

Hauptenergieverbraucher

- Ermittlung aller wesentlichen elektrischen Antriebe einschl. zeitlicher Nutzung
- Ermittlung des theoretischen Wärmebedarfs für die Beheizung der einzelnen Prozesse bzw. Fertigungsschritte
- Ermittlung des theoretischen Energiebedarfs für Gleichrichter der einzelnen Anlagen unter Berücksichtigung des gemessenen oder angenommenen Wirkungsgrades

Hauptquellen von Abwärme

- Ermittlung der über die Abluft abgeführten Wärme
- Ermittlung der über die Gleichrichter abgeführten diffusen Wärme

Maßnahmen zur Energieeinsparung, Optimierungsmöglichkeiten

- Reduzierung der Abluftmengen der abzusaugenden Prozesse durch weitestgehende Abdeckung freier Elektrolytoberflächen
- Nutzung der Abluftwärme z.B. zur Raumbeheizung
- Nutzung der Abwärme von Öl- bzw. Wasser-gekühlten Gleichrichtern zur Warmluft- und/oder (Prozess-) Warmwassererzeugung
- Austausch von Gleichrichtern älterer Bauart (z.B. Selengleichrichter) gegen Gleichrichter mit Schaltnetzteil- oder Thyristortechnik
- Überprüfung der Antriebe, Raumheizung, Prozessheizung und Lüftung im Hinblick auf bedarfsgerechte Zu- und Abschaltung
- Optimaler Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), soweit im jeweiligen Betrieb sinnvoll
- Optimierung der Druckluftversorgung (z. B. Minderung der Leckagen)
- Optimierung der Beleuchtungsanlagen

Energiekennzahlen

Für die Schichtsysteme der einzelnen Anlagen lassen sich Kennzahlen in der Dimension $kWh/m^2 \cdot \mu m$ gefertigte Oberfläche, bezogen auf die tatsächlich behandelte Oberfläche (beidseitig), ermitteln (Beispiel siehe Abbildung 5). Daneben kann auch der Gesamtenergiebedarf pro m^2 galvanisierte Oberfläche und definierte Schichtdicken angegeben werden (Beispiel siehe Abbildung 6).

5 Projektpartner Thoma Metallveredelung GmbH

Die Thoma Metallveredelung GmbH betreibt in Heimertingen ein Galvanikunternehmen. Das Familienunternehmen beschäftigt derzeit ca. 100 Mitarbeiter und produziert auf ca. 9.000 m² Betriebsfläche galvanische und chemische Beschichtungen im 3-Schicht-Betrieb. Das Leistungsspektrum umfasst funktionelle, technische und dekorative Schichtsysteme mit jeweils hohem Korrosionsschutz.

Folgende Verfahrensprozesse werden angewandt:
- galvanische Verchromung (funktionelle Hartverchromung und dekorative Verchromung)
- chemische (außenstromlose) Vernickelung
- galvanische Verzinkung einschl. Konversionsschichten sowie Zinklegierungssysteme
- galvanische Verkupferung
- galvanische Vernickelung.

Jährlich werden in den Anlagen der Thoma Metallveredelung GmbH ca. 10.000 t Metallbauteile mit einer Oberfläche von ca. 650.000 m² einer galvanischen/chemischen Behandlung unterzogen.

Galvanische Prozesse
Bei der Thoma Metallveredelung GmbH sind folgende automatische und manuell betriebene Anlagen für die o.g. Beschichtungsverfahren zur galvanischen bzw. chemischen Oberflächenver-edelung vorhanden.

Tab. 1: Anlagenübersicht

Anlagenbezeichnung / Steuerung	Verfahren
automatische Hartverchromung I+II	Hartchrom (funktionell)
manuelle Hartverchromung	Hartchrom (funktionell)
Chemisch-Nickel-Automat I+II	Chemisch Nickel
Zink-Gestell-Automat I	Zink, cyanidisch
Zink-Gestell-Automat II	Zink, sauer
Zink-Trommel-Automat	Zink, sauer + alkalisch
manuelle Zink-Gestell- / Zink-Trommel-Anlage	Zink, sauer + alkalisch Zink-Nickel
automatische Kupfer-Nickel-Chrom- Gestell-Anlage	Kupfer, cyanidisch Nickel glänzend Chrom, glänzend
manuelle Kupfer-Nickel-Chrom-Gestell-Anlage	Kupfer, cyanidisch Nickel, matt Nickel, glänzend Chrom, glänzend

Energieanalyse im Betrieb der Thoma Metallveredelung GmbH

Die folgenden Abbildungen zeigen einige Beispiele der Ergebnisse, die im Rahmen der Energienutzungsanalyse der Thoma Metallveredelung GmbH ermittelt wurden:

Energieverbrauchsanalyse

Abb. 2: Energiebedarf der Anlagen

Abb. 3: Anteile des Energiebedarfs der Einzelverbraucher am Gesamtenergiebedarf

Energieversorgungsanalyse

Abb. 4: Anteile der Energieträger an der Energieversorgung 2001

Energiekennzahlen

Abb. 5: Gesamtenergiebedarf galvanisierter Oberflächen bezogen auf 1µm Schichtdicke

*) Schichtdicke an wesentlichen Stellen

Abb. 6: Gesamtenergiebedarf galvanisierter Oberflächen, angegeben für branchenübliche Schichtdicken

6 Gleichstromversorgung

Die Gleichstromversorgung in der galvanischen Fertigung zählt zu den wichtigsten Prozessfaktoren. Der spezifische Energie- bzw. Strombedarf ist für die einzelnen galvanischen Verfahren unterschiedlich hoch. Daher müssen die Entscheidungsträger auf der Basis eines Kriterienkataloges bei der Neuanschaffung von Gleichrichtern einzelfallspezifische Lösungen treffen.

6.1 Gleichrichter

Grundsätzlich unterscheidet man folgende Gleichrichtertypen:

a) Motorisch geregelte Gleichrichter (Stelltransformator), vorwiegend Öl-gekühlt mit Siliziumdioden, früher Selendioden (Altgeräte); geringer Anteil auch in Luft-gekühlter Variante

b) Thyristor-geregelte Gleichrichter, vorwiegend in Öl- oder Wasser-gekühlter Version; fallweise auch kombiniert Öl-/Wasser-gekühlt, jeweils mit Siliziumdioden

c) Getaktete (Schaltnetzteil-) Gleichrichter in Luft- oder Wasser-gekühlter Bauart

6.1.1 Gleichrichter - Wichtige Eigenschaften

6.1.1.1 Motorisch geregelte Gleichrichter

(insbesondere die der jüngeren Generation mit Siliziumdioden)

- großer Leistungsbereich
- Leistungsfaktor konstant hoch
- mechanische/motorische Verstellung (Stelltransformator; in der Regel Stromwärmeverluste)
- Öl- oder Wasser-gekühlt, dadurch robuster Aufbau (geeignet für aggressive Umgebung)
- Restwelligkeit < 5 %
- Gewicht und Volumen werden hauptsächlich durch den Haupttransformator bestimmt.

6.1.1.2 Thyristor-geregelte Gleichrichter

- großer Leistungsbereich
- Luft- oder Wasser-gekühlt; fallweise auch Öl-gekühlt
  (bei Luft-gekühlten Geräten ist saubere Umgebungsluft erforderlich).
- Restwelligkeit, typisch 5 - 7% bei Nennlast (im Teillastbetrieb markanter Anstieg der Restwelligkeit, die durch Glättungseinrichtungen gemindert werden kann)
- wenig Verschleißteile
- Leistungsfaktor bzw. Blindleistung abhängig vom Verhältnis Prozessspannung zu Nennspannung (z. B. bei 75% Nennspannung beträgt Leistungsfaktor 0,75)
- Da in Galvanoanlagen Teillastbetrieb die Regel ist, können Thyristor-geregelte Gleichrichter nur bedingt empfohlen werden.
- Gewicht und Volumen werden hauptsächlich durch den Haupttransformator bestimmt.

6.1.1.3 Getaktete Gleichstromquellen

- großer Leistungsbereich durch Einsatz moderner Technik
- Leistungsfaktor i.d.R. bei 0,95, fallweise auch 0,75
- geringe Restwelligkeit (< 2 % über den gesamten Bereich)
- kompakter Aufbau, bedingt durch HF-Trafo (z. B. 25 kHz)
- geringes Gewicht
- Luft- oder Wasserkühlung; bei Luft-gekühlten Gleichstromquellen: Zufuhr sauberer Umgebungsluft erforderlich.

Der erstgenannte Gleichrichtertyp, der motorisch geregelte Gleichrichter, der früher mit Selendioden bestückt war, wird seit Jahrzehnten eingesetzt und besitzt in Öl-gekühlter Ausführung i.d.R. eine sehr hohe Lebensdauer. Er wird in dieser Bauart nachfolgend unter dem Überbegriff „Altgerät“ näher betrachtet.

Der motorisch geregelte Gleichrichter (Stelltransformator), bestückt mit Siliziumdioden, sowie die beiden anderen Gleichrichtertypen (Thyristor-geregelte und getaktete Gleichrichter) sind neuere Entwicklungen und werden im Unterkapitel „Neue Gleichrichtertypen“ eingehend beschrieben.

6.1.2 Altgeräte

Es ist seit mehreren Jahrzehnten in der Fachwelt und aufgrund von Literaturangaben [7] bekannt, dass Gleichrichter mit Selendioden durch „Alterung“ eine Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften erfahren.

Messungen an Öl-gekühlten Selen-Gleichrichtern der Baujahre 1975 - 1985 der THOMA Metallveredelung GmbH ergaben je nach Betriebsweise bzw. Verhältnis von Prozessspannung zu Nennspannung eine Verlustleistung (Stromwärmeverluste) von 24 – 40%. Der Wirkungsgrad dieser Stromversorgungsanlagen liegt daher je nach Selenzustand bei 60 – 76%. Der Wirkungsgrad berücksichtigt im Wesentlichen die verursachten Stromwärmeverluste, die von den Strom-durchflossenen Komponenten erzeugt werden.

Die wesentlichen Verlustkomponenten sind:

- die Verstelleinheit (Stelltransformator)
- der Transformator
- die Gleichrichterdioden bzw. der Gleichrichtersatz (Selen).

Die elektrischen Eigenschaften für die Verstelleinheit und den Transformator bleiben während der Betriebszeit des Gleichrichters weitgehend unverändert.
Die Gleichrichtereinheiten aus Selen erfahren während der langjährigen Betriebszeit hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften eine Verschlechterung, d.h. der Durchlasswiderstand und auch die Restwelligkeit steigen an. Ein ursprünglich vorhandener Spannungsverlust durch Selendioden von ca. 1 V kann um 1,5 – 2 V ansteigen, wodurch sich die Betriebskosten um ca. 10 – 20% erhöhen.

Daher sollten „Altgeräte“ ohne Prüfung der elektrischen Funktionsteile und des tatsächlichen Wirkungsgrades nicht ohne weiteres in neue Anlagen integriert werden, da neben einem hohen Ausfallrisiko, gegebenenfalls auch die betriebswirtschaftlichen Daten eine Umrüstung oder eine Neubeschaffung rechtfertigen.

6.2 Technische Daten der Gleichrichter

6.2.1 Wirkungsgrad η -Wärmeverluste

Der Wirkungsgrad ist der Quotient aus erzeugter (abgegebener) Wirkleistung und der aus dem Versorgungsnetz aufgenommenen Wirkleistung. Die erzeugte Wirkleistung ergibt sich aus dem Produkt des produzierten Gleichstroms bei der sich einstellenden Prozessspannung. Die Wirkleistung wird in kW gemessen. Die Verlustleistung (entspricht den erzeugten Stromwärmeverlusten) ist somit die Differenz zwischen aufgenommener und abgegebener Wirkleistung.

6.2.2 Leistungsfaktor λ -Blindleistungsverluste

Für Stelltransformatorgeräte ergibt sich ein konstanter geringer Blindleistungsanteil, der mittels Verschiebungswinkel φ bestimmt wird.

Bei elektronisch geregelten Systemen (Thyristor-geregelt und Schaltnetzteil-primär getaktet) entstehen Verluste (Steuerblindleistung), die als Blindleistungsverluste mit dem Leistungsfaktor λ definiert sind. Der Leistungsfaktor beziffert daher eine zusätzliche Verlustgröße.
Der Leistungsfaktor ist bei Thyristor-geregelten Gleichrichtern abhängig vom Verhältnis Prozessspannung zu Nennspannung. Dieser kann Werte von 0,1 -0,91 aufweisen. Bei Stelltransformatoren liegt der Leistungsfaktor bei ca. 0,9. Der Leistungsfaktor als auch der Verschiebungswinkel berücksichtigen ausschließlich den zusätzlichen Energiebedarf, der durch die sogenannte Blindleistung erzeugt wird.

Nachfolgende Grafiken zeigen beispielhaft Zusammenhänge zwischen Wirkungsgrad, Leistungsfaktor und Verschiebungswinkel φ.

Abb. 7: Leistungsdaten eines Gleichrichters 15V / 15.000A mit Regeltrafo

Abb. 8: Leistungsdaten eines Gleichrichters 15V / 1.000A mit Thyristorsteller ohne Drossel

Der Einsatz einer Blindleistungskompensation ist unabhängig von der Gleichrichterbauart (Thyristorgeräte oder getaktete Gleichrichter).

Falls das EVU dem Kunden nur denjenigen Anteil an Blindarbeit berechnet, der 50 % der Wirkarbeit übersteigt, kann eine Kompensationsanlage u.U. entsprechend kleiner dimensioniert werden.

6.2.3 Praxisbeispiel: Ermittlung der gleichrichtertypischen Verlustleistung

Im Rahmen der Energienutzungsanalyse bei der Thoma Metallveredelung GmbH wurde die Gleichrichterverlustleistung ermittelt durch:

- Messung der Eingangsleistung (am Transformator)
- Messung der Ausgangsleistung (am Gleichrichter)

Zur Darstellung der durch die Gleichrichter verursachten Energieverluste wurde jeweils ein Gleichrichter an einer Hartchromanlage und einer Zink-Gestell-Anlage exemplarisch untersucht.

Tab. 2: Technische Daten der Gleichrichter:

	Hartchromanlage	Zink-Gestell-Anlage
Bauart	Selen-Gleichrichter (Öl-gekühlt)	Se- Gleichrichter (Öl-gekühlt)
Eingangsspannung	234 / 408 V	234 / 408 V
Eingangsströme je Phase	76,4 A / 77,8 A / 79,8A	43,0 A / 43,0 A / 43,3 A
Ausgangsstrom	2.800 A	3.000 A
Ausgangsspannung	14,4	5,9 V
Auslastung der Anlage	Ca. 90 %	Ca. 90 %

Die Untersuchungen ergaben folgende Ergebnisse:

Abb. 9: Darstellung der mittleren Wirkungsgrade an Gleichrichtern

Die Verluste an den beiden Gleichrichtern betragen 24% bei der Hartverchromung bzw. 40% bei der Verzinkung. Darüber hinaus entstehen zusätzlich Leitungsverluste vom Gleichrichter bis zu den Prozessen von etwa 3%, so dass sich die gemessenen Gesamtwirkungsgrade auf 73% bzw. 57% belaufen. Im Allgemeinen liegen die Wirkungsgrade von Selen-Gleichrichtern bei Volllast im Bereich zwischen ca. 75 - 85 %.
Die tatsächlichen Wirkungsgrade unterliegen weiteren Schwankungen, da die Gleichrichter im Einzelfall auch nur teillastig betrieben werden. Im Allgemeinen ist ein Teillastbetrieb mit niedrigeren Wirkungsgraden verbunden.

6.3 Kühlsysteme

Je nach Gleichrichtertyp werden folgende Kühlsysteme eingesetzt:

- Ölkühlung (ÖK)
- Luftkühlung (LK)
- Wasserkühlung (WK)

Die einzelnen Kühlsysteme weisen folgende **Vor-(+)** und Nachteile**(-)** auf:

6.3.1 Ölkühlung

- Schutzart (IP55) **(+)**
- Wartung Kühlsystem **(+)**
  (Anmerkung: Die Wartung des Kühlsystems wird in den Bedienungsanleitungen vorgegeben, in der Praxis jedoch oft vernachlässigt)
- Betriebskosten (begrenzt auf Ölaustausch) **(+)**
- Sehr stabiles Betriebsverhalten **(+)**
- Auslaufschutz für Öl erforderlich (aus Gründen des Gewässerschutzes) **(-)**
- Zugänglichkeit bei Reparaturen **(-)**
- Gewicht, großer Raumbedarf **(-)**
- Abwärme wird in der Regel ungenutzt an die Umgebung emittiert **(-)**

6.3.2 Wasserkühlung

- Schutzart (IP55) **(+)**
- kompakter Aufbau **(+)**
- geringes Gewicht **(+)**
- Aufstellungsort in Badnähe **(+)**
- Abwärme wird in den eigenen Kühlkreislauf eingetragen (Möglichkeit der Wärmerückgewinnung) **(+)**
- erhöhte Betriebskosten **(-)**
- höhere Investitionskosten **(-)**

6.3.3 Luftkühlung

- kompakter Aufbau **(+)**
- geringes Gewicht **(+)**
- einfache Aufstellung (Umgebungsabhängig) **(-)** **(+)**
  Hinweis: Eine Aufstellung Luft-gekühlter Gleichrichter in unmittelbarer Nähe von Galvanoanlagen ist nicht zu empfehlen, da die Lebensdauer aufgrund prozessbedingter Raumluftbedingungen eingeschränkt ist
- Aufstellungsort nicht beliebig **(-)**
- Wartungsintensiv **(-)**
- Schutzart (IP21) **(-)**

Für die verschiedenen Gleichrichtertypen kommen folgende Kühlsysteme in Frage:

Gleichrichtertyp	Kühlsystem
Motorisch geregelte Gleichrichter	ÖK, LK
Thyristor-geregelte Gleichrichter	ÖK, LK,WK
Getaktete Gleichstromquelle	LK, WK

6.4 Anlagenbeispiele

6.4.1 Verlustwärmenutzung durch Wasser-Luft-Wärmetauscher

In jüngster Zeit werden Wasser-gekühlte Schaltnetzteile von einem zentralen Kühlaggregat versorgt und über einen Luft-Wasser-Wärmetauscher die Abwärme einer Nutzung zugeführt. Die Abbildung 10 zeigt, dass die Warmluft für betriebliche Zwecke genutzt werden kann. Durch Ansteuerung einer Kanalweiche ist eine gezielte Luftlenkung in verschiedene Räume möglich.
Im Winter kann das z. B. die Beheizung von Fertigungshallen sein und in den Sommermonaten ein Lagerraum, in dem z. B. Hydroxidschlämme getrocknet werden. Bei Öl-gekühlten Gleichrichtern kann in analoger Weise mittels Wärmetauscher die Abwärme genutzt werden.

Abb. 10: Verlustwärmenutzung von Gleichrichtern durch Wasser-Luft-Wärmetauscher im Zuluftstrom

Grafik: Munk GmbH

6.4.2 Verlustwärmenutzung durch Wasser-Öl-Wärmetauscher

Der Öl-gekühlte Gleichrichter ist die robusteste Bauart, besonders beim Einsatz innerhalb einer galvanischen Fertigung. Der Nachteil des großen Platzbedarfes ist im Beispiel der Abbildung 11 dadurch kompensiert, dass 7 Gleichrichter 15 V / 1200 A in einem Gehäuse untergebracht sind und zusätzlich über einen Luft-Öl-Wärmetauscher die Verlustwärme für die Beheizung von Räumen genutzt wurde

Durch Wegfall der Kühlfläche, wie sie bei Einzelgeräten in Selbstkühlung erforderlich ist, wurde die benötigte Grundfläche der Geräte halbiert. Bei Wartungsarbeitenen kann jeder Gleichrichter aus dem Gehäuse entfernt werden, ohne dass der Gesamtprozess unterbrochen wird.

Abb. 11: Verlustwärmenutzung von Gleichrichtern durch Wasser-Öl-Wärmetauscher

Bild: Driesch Anlagen GmbH

Gleichrichter: Sanierung oder Ersatz?

Umrüstung

Soweit ältere Selen-Gleichrichter noch voll funktionsfähig sind, ist **aus energetischen und betriebswirtschaftlichen Gründen** eine Umrüstung auf Siliziumdioden sinnvoll. Die entsprechenden Umrüstkosten betragen bei 10 bzw. 15 V / 4.000 – 6.000 A ca. 3.000 – 4.000 €. Das Einsparpotenzial an Energiekosten beträgt gemäß o.g. Ausführung, in Abhängigkeit von der Höhe der Alterung und der Nennspannung, 10 – 20%.

Neuanschaffung

Am Beispiel von je einem Galvanisierautomat zur Verchromung und Verzinkung (Gestellteile) wurde eine Beschaffung von Gleichrichtern hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen Aspekte geprüft. Die Auswahl des Gleichrichtertyps wurde von den geforderten Leistungsdaten (15 V / 6.000 A bzw. 10 V / 3.500 A) und der Spannweite der benötigten Prozessspannung von 50 – 100% der Nennspannung, bestimmt.

Geprüft wurden jeweils die Gleichrichtertypen:
- Stelltransformator (Öl- bzw. Öl-/Wasser-gekühlt)
- Thyristor-Gleichrichter (bei Chrom immer mit Glättung!)
- getaktete Gleichrichter

Wegen des großen Arbeitsfensters (stark variable Ströme und Spannung) und wegen ausreichender Platzverhältnisse wurde bei der THOMA Metallveredelung GmbH für beide Anlagen unter Würdigung der Investitionskosten und der Betriebskosten (Wirkungsgrad ca. 84%, Leistungsfaktor ca. 0,95), die Anschaffung von Stelltrafo-Gleichrichtern in Betracht gezogen.

Die Richtpreise (ohne MWSt.) je Gerät betragen (Stand 2003):

Verchromung:	15 V / 6000 A,	Öl-selbstgekühlt/Stelltrafo	ca. 14.000 €
		Öl-/Wasser-gekühlt/Stelltrafo	ca. 15.000 €
Verzinkung:	10 V / 3500 A,	Öl-selbstgekühlt/Stelltrafo	ca. 8.500 €

6.5 Spannungsverluste bei der Gleichstromversorgung

Die Abb. 12 verdeutlicht die Einzel-Widerstände und damit die Spannungsverluste im galvanischen Abscheidungsprozess:

Abb. 12: Spannungsverluste an einer Galvanozelle

Die Verluste entstehen im Wesentlichen an folgenden Komponenten:

- Gleichrichter
  - Trafos
  - Gleichrichterdioden

- Zuleitungen zu Kathode und Anode:
  zusätzliche Widerstände an Verbindungsstellen, insbesondere zu den Anodenschienen und den Warenträgern (Kontaktböcke)

- Widerstand zwischen Anodenaufhängung und Anodenschiene

- Widerstand zwischen Kathodenschiene und Galvanisiergestell

- Widerstände zwischen Anodenoberfläche und zu galvanisierenden Teilen, bedingt durch nicht optimierte Anodenabstände/Anodenoberfläche (z.B. Schüttung des Anodenmaterials in den Anodenkörben!)

- Elektrolytwiderstände (z. B. durch nicht optimierte Leitfähigkeit des Elektrolyten).

Je nach Art des galvanischen Metallabscheidungsverfahrens beträgt der Anteil der Kosten für die Gleichstromversorgung 20 - 80% aller übrigen fertigungsbedingten Energiekosten.

TIPP :

Die Spannungsverluste im Gleichrichter können minimiert werden durch

- Austausch der Selenplatten gegen Silizumdioden.

Durch diese Maßnahme ist eine Verbesserung des Wirkungsgrades um 10 – 20 % erreichbar.
Der Austausch bietet sich insbesondere bei routinemäßigen Wartungsarbeiten an Öl-gekühlten Gleichrichtern an.

Die Spannungsverluste an den Kontakten können minimiert werden durch

- Regelmäßige Reinigung der Kontaktböcke
- Einsatz von Leitfett
- Austausch von schadhaften Kontakten gegen verbesserte Systeme (z.B. Klemmsysteme)
- Verbesserung des Stromübergangs vom Gestell zu den zu galvanisierenden Bauteilen

Hinweis: Gekühlte Kontaktböcke sind Energievernichter!

Die Spannungsverluste im Elektrolyten und im System können minimiert werden durch

- Erhöhung der Leitfähigkeit des Elektrolyten
- Verringern des Abstandes Anode/Kathode
- Anpassung der Anode an den Warenträger (Galvanisiertrommel)

Praxisbeispiel Thoma Metallveredelung GmbH

Die Kosten für den Umbau eines Gleichrichters durch Austausch der Selenplatten gegen Siliziumdioden für Geräte von 4.000 bis 6.000 A liegen im Bereich von ca. 4.000 bis 6.000 € .

Tab. 3: Investitionsberechnung - Austausch von Selen-Gleichrichterplatten gegen Siliziumdioden

Prozesse	Investition [€]	Nutzungs-dauer [a]	Annuität Zins 6%	Jahreskosten [€/a]
Hartchromanlage I	21.000	20	0,0872	1.831
Hartchromanlage II	31.500	20	0,0872	2.746
Zink-Gestellautomat	22.000	20	0,0872	1.918

Die Verbesserung des Wirkungsgrades der Gleichrichter hat eine Reduzierung des elektrischen Energiebedarfs zur Folge.

Tab. 4: Einsparungen – Austausch von Selen-Gleichrichterplatten gegen Siliziumdioden

Einsparung Energiekosten an den Anlagen	**[€/a]**
Hartchromanlage I (Energie -10 % ⇒ 55 MWh/a; 68 €/MWh)	- 3.735
Hartchromanlage II (Energie -10 % ⇒ 124 MWh/a; 68 €/MWh)	- 8.420
Zink-Gestellautomat (Energie -20 % ⇒ 82 MWh/a; 68 €/MWh)	- 5.546
Jahresgesamtkosten	**[€/a]**
Hartchromanlage I	- 1.904
Hartchromanlage II	- 5.673
Zink-Gestellautomat	- 3.628

Amortisationszeit [a] Zins 6%, Energiekostensteigerung 2%	
Hartchromanlage I	**6,5**
Hartchromanlage II	**4,1**
Zink-Gestellautomat	**4,4**

Die Amortisationszeiten dieser Maßnahme betragen im vorliegenden Beispiel, je nach Auslastung der Gleichrichter und erzielbarer Effizienzsteigerung, ca. 4 – 7 Jahre.

Hinweis: Bei stark reduzierter Nennleistung fällt der Wirkungsgrad deutlich ab (Leistungskurve ermitteln). Hierzu sind Verlustleistungsmessungen erforderlich. Auf dieser Basis einen Kostenvoranschlag für Umbau einholen (Wirtschaftlichkeitsberechnung unter dem Gesichtspunkt des Alters des Gerätes).

7 Abluft/Zuluft

Der weit überwiegende Teil der im Betrieb eingesetzten Energie wird in Wärme umgewandelt und verlässt das Betriebsgebäude mit der Abluft. Daher kommt der Optimierung des Zu- und Abluftsystems besondere Bedeutung für die Energiebilanz des Betriebes zu.

7.1 Minimierung der Abluftmengen

Vor der Umsetzung von End-of-Pipe-Maßnahmen sollten zunächst primäre Maßnahmen zur Energieeinsparung bzw. CO_2-Minderung in Betracht gezogen werden. Eine Energieeinsparung ist durch Reduzierung der Abluftmengen erreichbar. Dies führt einerseits zur Reduzierung der Ventilatorantriebsleistung, andererseits in der Heizperiode zu geringerem Raumwärmebedarf.
Bei der Minimierung der Abluftmengen sind die Anforderungen des Arbeits- und Immissionsschutzes zu berücksichtigen.

Zur Minderung der Abluftmengen kommen z. B. folgende Maßnahmen in Betracht, die in einem Leitfaden des Fachverbandes Oberflächentechnik e.V. ausführlich beschrieben sind [5]:

- Abdeckung, die durch den Transportwagen betätigt wird oder seitlich verfahrbar ist
- Teilabdeckung am Gestellträger

7.1.1 Durch Transportwagen betätigte oder seitlich verfahrbare Abdeckung

Die freie Elektrolytoberfläche ist nur während des Ein- und Ausfahrens der Ware in die Prozess-Station offen. Diese Art der Abdeckung ist besonders dann vorteilhaft, wenn auch in Behandlungspausen Schadstoffe emittiert werden.

Abb. 13: Deckel am Behälter, durch Transportwagen betätigt, Bild: Stohrer GmbH

7.1.2 Teilabdeckung am Gestellträger

Die freie Badoberfläche ist während der Belegung der Behandlungsstation mit Ware weitgehend abgedeckt. Die Maßnahme ist besonders dann geeignet, wenn nur während der Behandlung Schadstoffe emittiert werden.

Abb. 14: Teilabdeckung am Gestellträger (Draufsicht), Bild: Thoma Metallveredelung GmbH

Praxisbeispiel der Thoma Metallveredelung GmbH

Die Vorbehandlungsbecken eines Zink-Gestellautomaten wurden bei der Thoma Metallveredelung GmbH mit einer Teilabdeckung versehen Die Abbildung 14 zeigt die praktische Umsetzung einer derartigen Teilabdeckung. In der Tab. 5 werden die verringerten Absaugluftmengen, die durch diese Maßnahme erreicht wurden, ersichtlich.

Tab. 5: Vergleich der Absaugungen mit / ohne Teilabdeckung

Prozess	Tempera-tur in [°C]	Empfohlene Mindesterfassungs-geschwindigkeit [m/s]	Luftmenge ohne Teilabdeckung [m³/h]	Luftmenge mit Teil-abdeckung [m³/h]	∅ verringerter Verlust an Raumwärme-leistung während der Heizperiode*) [kW]
2 x Heißentfettung	60	0,3	5.000	3.000	9,7
4x Beizent-fettung	37	0,4	13.000	7.600	26,2
1x Elektrol. Entfettung	45	0,3	2.500	1.500	4,9
Summe			**20.500**	**12.100**	**40,8**

**) Heizperiode von September bis Mai*

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit werden die Kosten der oben genannten Maßnahme den verringerten Raumwärmeverlusten während der Heizperiode gegenübergestellt. Zudem wird eine entsprechend geringere Ventilatorleistung angenommen. Eine erhöhte Absaugung beim Herausfahren des Gestellträgers (kurzzeitig keine Abdeckung) wurde an der untersuchten Anlage nicht realisiert und bleibt im vorliegenden Beispiel unberücksichtigt:

Tab. 6: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Teilabdeckung

	Investition [€]	**Nutzungs-Dauer [a]**	**Annuität Zins 6%**	**Jahreskosten [€/a]**
Teilabdeckung am Gestellträger inkl. Montage	5.000	15	0,1030	515

Einsparungen bei Verringerung der Abluftmenge um 8.400 m³/h (~41%)	**[€/a]**
geringere Betriebskosten des Abluftventilators (4,1 kW; 4.900 h/a; 68 €/MWh)	- 1.366
verringerter Raumwärmeverlust (8.400 m³/h bei 4,85 Wh/m³; 3.675 h/a Betrieb während der Heizperiode; 34 €/MWh)	- 5.093
Jahresgesamtkosten	**- 5.944**

Amortisationszeit [a]	**0,8**

TIPP

Abluftmengenminimierung

- Vor der Durchführung von Sekundärmaßnahmen zur Abluftwärmerückgewinnung sollte als primäre Maßnahme die Minimierung der Abluftmengen in Betracht gezogen werden
- Hinweise zur Abluftmengenminimierung **LEITFADEN ZUR AUSLEGUNG VON ABLUFTANLAGEN,** Fachverband Oberflächentechnik e.V., Hilden, Stand 03/2003
- Zu beachten: Anforderungen des Arbeitsschutzes und Immissionsschutzes*!*

Hinweise [5]:
Die Wirksamkeit der Abluftanlage wird entscheidend durch die Zuluftanlage bestimmt. Folgende Regeln sind z. B. zu beachten:
- Gezielte, turbulenzarme und zugfreie Zuluftführung
- Ausreichende Versorgung der Mitarbeiter mit unbelasteter Frischluft
-„Natürliche Lüftung“ über Fenster oder Hallentore ist ungeeignet

Die BG-/BIA-Empfehlung „Oberflächenveredelung, Galvanotechnik und Eloxieren“ legt die Kriterien für die Einhaltung bzw. die dauerhaft sichere Einhaltung der Luftgrenzwerte für den Verzicht auf Kontrollmessungen nach TRGS 402 in Arbeitsbereichen der Oberflächenveredelung, Galvanotechnik und beim Eloxieren fest. Sie basiert auf umfangreichen Arbeitsplatzmessungen in galvanotechnischen Betrieben. Die BG/BIA-Empfehlung enthält eine Übersicht über die zugrunde liegenden Messdaten.

Die Abbildung 15 zeigt eine neue Chemisch-Nickel-Linie, bei der die *Abluftmenge*n durch Abdeckung der Prozesse und optimierte Absaugung im Vergleich zu älteren Anlagen *minimiert* wurden.

Abb. 15: Moderne Chemisch-Nickel-Linie, Bild: Thoma Metallveredelung GmbH

7.2 Wechselwirkung von Zu- und Abluft

Während jeder Galvanikbetrieb eine Luftabsaugung hat, ist eine korrespondierende gezielte Luftzuführung nur in den wenigsten Betrieben zu finden. Dies führt verbreitet zu unkontrolliertem Luftzutritt und damit zu erheblichen Zugerscheinungen. Eine gezielte Luftzuführung unterstützt zudem eine Nutzung von Abwärme.

Die Wirkung der Abluftmaßnahmen kann nur durch eine geeignete Luftzuführung sichergestellt werden. Zuluft- und Abluftmenge müssen sich entsprechen. Die Luftströmungen sollen sich so ausbilden, dass Dauerarbeitsplätze im Frischluftbereich liegen. Um Verwirbelungen mit den zu erfassenden Stoffen zu minimieren, sollte die Zuluft impulsarm zugeführt werden [5].

Abb. 16: Wechselwirkung von Zuluftführung in Verbindung mit Absaugmaßnahmen [5]

7.3 Abluftwärmenutzung

Die Energiezufuhr in den Produktionsbereich erfolgt im Wesentlichen durch

- die Abwärme der Gleichrichter und anderer Anlagen, v.a. auch Joulesche Wärme aus den Prozessen
- die Erwärmung der Prozessbäder und Halten der Prozesse auf Betriebstemperatur mittels Heizenergie
- die Erwärmung der Hallenluft mit Heizgeräten

Die Energieabfuhr aus dem Produktionsbereich erfolgt nahezu vollständig über die Abluft mit Ausnahme bei fremdgekühlten Gleichrichtern und Prozessen. Die Wärmeabgabe über die Bauteile der Produktionshallen hat in der Regel wesentlich geringere Bedeutung.

Wenn die Möglichkeiten zur Minimierung der Abluftmengen ausgeschöpft sind, kommt zur Nutzung des Energiepotenzials der Abluft folgende Technologie in Betracht:

Wärmerückgewinnung durch Einbau eines Wärmetauschers in den Abluftstrom

Das Wärmepotenzial der Abluft wird hierdurch zur Vorwärmung der Zuluft genutzt und führt zu einer Einsparung der Heizkosten durch die Erwärmung der Raumluft.
Aus Gründen des Korrosionsschutzes werden in der Praxis Luft-Wasser-Wärmetauscher auf Kunststoffbasis (z.B. PE-RT/PP oder in Sonderfällen PVDF) eingesetzt. Die folgende Abbildung 17 zeigt das Prinzip der Wärmerückgewinnung nach dem Kreislauf-Verbund-System.

Abb. 17: Prinzip Luft-Wasser-Wärmetauscher

Zur weiteren Erwärmung der Zuluft wird ein zusätzliches Nachheizregister empfohlen.

Die folgende Abbildung 18 zeigt einen Gas-Wasser-Wärmetauscher.

Abb. 18: Gas-Wasser-Wärmetauscher, Bild: CALORPLAST Wärmetechnik GmbH

Praxisbeispiel: Thoma Metallveredelung GmbH:
Hartverchromung, Wärmerückgewinnung mit Wärmetauscher nach Abgasreinigungsanlage

Für die Abluftanlage im Bereich der Hartverchromung bietet sich die Installation einer Wärmerückgewinnungsanlage an. Die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme wurde im Folgenden untersucht. Es wurden die in Tab. 7 dargestellten Daten zugrundegelegt.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Tab. 7: Betriebsdaten Luft-Wasser-Wärmetauscher

		Heizperiode
Abluftmenge	m³/h	30.000
Ablufttemperatur am Lufteintritt	°C	18,5
relative Feuchte Lufteintritt Abluft	%	90
Ablufttemperatur am Luftaustritt	°C	15
Temperatur korrespondierende Frischluft (Eintritt)	°C	5,1
Temperatur korrespondierende Frischluft (Austritt) Bez. auf Nm³/h	°C	13,1
Übertragene Leistung	kW	83,3

Festkosten
Zu den Festkosten zählen die Investitionskosten des Wärmetauschers sowie sonstiger zugehöriger Einrichtungen (z. B. Tropfenabscheider, Abreinigungseinrichtung, Montagematerial) und die jährlich gleichbleibenden Betriebskosten.

Tab. 8: Daten der Investitionsberechnung

	Investition [€]	Nutzungs-Dauer [a]	Annuität Zins 6%	Jahreskosten [€/a]
Wärmetauscher mit Gehäuse	13.500	15	0,1030	1.390
Tropfenabscheider	3.500	15	0,1030	360
Abreinigungseinrichtung	2.000	15	0,1030	206
Montage, Verrohrung	19.000	15	0,1030	2.059
Zusätzl.Heizregister mit Montage*	25.000	20	0,0872	2.180

* Die Kosten für das *zusätzliche* Heizregister enthalten:

- Wärmetauscher
- 20 m Rohrnetz einschließlich aller Armaturen und Wärmeisolierung, Anschluss an bestehendes Rohrnetz
- Schalt- und Regeltechnik
- Montage

Die betriebsgebundenen Kosten werden pauschal mit 2.000 € für das Gesamtjahr angenommen.

Variable Kosten und Erträge

Die Verbrauchskosten sind u. a. abhängig vom Temperaturniveau der Zuluft. Im folgenden Beispiel werden eine mittlere Jahres(außen)temperatur von 5,1°C in der Heizperiode September bis Mai sowie eine mittlere Ablufttemperatur von 18,5°C auf der Grundlage von Messungen vorausgesetzt.

Folgende Energiekosten liegen den Berechnungen zugrunde:

- Elektrische Energie: 68 € pro MWh
- Thermische Energie: 34 € pro nutzbarer MWh.

Tab. 9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Abluftwärmenutzung

Verbrauchsgebundene Kosten	**[€/a]**
Elektrische Energie Zuluftventilator 7 kW, 5.840 h/a; Frischwasser zur Abreinigung	3.225
Erträge	
Wärmegutschrift durch vermiedene Heizkosten (übertr. Leistung 83,3 kW; 5.840 h/a)	-16.548
Jahresgesamtkosten	**- 5.128**

Amortisationszeit [a]	**6,4**

8 Prozess – und Raumwärme

Ein erheblicher Teil des betrieblichen Energieverbrauchs entfällt auf die Bereitstellung von Wärme, nicht nur für Produktionsprozesse, sondern auch zur Gebäudebeheizung.
Mit Blick auf eine effiziente Energienutzung sind insbesondere zu betrachten:

- Wärmeschutz
- Energieträger und Beheizungssystem
- Prozessbeheizung, Prozesskühlung

Ausführliche Hinweise enthält der Leitfaden der Technischen Wärmelehre[14].

8.1 Wärmeschutz

Baulicher Wärmeschutz/Anlagentechnik

Mindestanforderungen an eine effiziente Energienutzung im Gebäudebereich stellt die Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden ***(Energieeinsparverordnung - EnEV)***.

TIPP

- Bringen Sie an Halleneinfahrten automatische Schnellverschlusstore an.
- Gute Wärmedämmung von Betriebsgebäuden, Leitungen und Ventilen spart nicht nur Energie, sondern verbessert auch den Komfort durch Vermeidung unnötiger Wärmelasten v. a. im Sommer.

Abb. 19: Vorbildliche Wärmedämmung an Leitungen und Armaturen des Warmwassernetzes
Bild: Thorey Gera Textilveredelung GmbH

Wärmedämmung an den Anlagen

Aus energetischen Gründen und zur Gewährleistung eines Unfallschutzes sind Prozessbehälter mit einer Wärmedämmung zu versehen. Dies betrifft primär Behälter aus metallischen Werkstoffen wie Stahl. Hingegen ist bei Behältern aus Kunststoffen keine Wärmedämmung bzw. kein Unfallschutz erforderlich. An beheizten Behältern aus Kunststoff ist eine Wärmedämmung zwar sinnvoll, Wärmeverluste durch die Behälterwand haben hier aber nur untergeordnete Bedeutung.

Eine Wärmedämmung besonders für metallische Behälter ist bei Temperaturen >40° C aus energetischen Gründen und >60° C für den Unfallschutz notwendig.

Folgende Maßnahmen sind Stand der Technik:

- Hartgummierung (> 3 mm Dicke)
- Wärmedämmschicht aus Fasermatten 50 mm mit Verkleidung aus
    - Kunststoffplatten, z. B. Polypropylen
    - Stahlblech mit Schutzlackierung
    - Blech aus nicht rostendem Stahl

Ausführliches Schrifttum über die Berechnung der Wärmedämmsysteme liegt vor [16].

8.2 Energieträger und Beheizungssystem

Die Auswahl eines energieeffizienten Heizungssystems hängt von einer Vielzahl von Einzelfaktoren ab, die im Rahmen einer Einzelfallbetrachtung zu beachten sind. Folgende Tabelle gibt Hinweise, die bei der **Auswahl des Energieträgers** berücksichtigt werden sollten.

Tab. 10: Auswahl des Energieträgers

Endenergieträger	Heizöl EL EN 590	Erdgas DVGW G260	Flüssiggas DIN 51622	Fernwärme	Elektrischer Strom
Verfügbarkeit	Bevorratung vor Ort	Eingeschränkt[3]	Bevorratung vor Ort	Eingeschränkt[3]	Hoch
Versorgungs-sicherheit	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch
Infrastruktur	Heizöllagertank, ggf. Abfüllplatz[1]	Erdgasleitung, Übergabestation	Flüssiggaslager-behälter	Fernwärmeleitung	Elektrische Versorgung
Brand- und Explosionsgefahr	A III-Flüssigkeit (Flammpunkt > 55 °C)	Hochentzündlich (F+) nach GefStoffV	Hochentzündlich (F+) nach GefStoffV	-	-
CO_2-Emissionsfaktor (CO_2-Äquivalente) bezogen auf kWh Nutzwärme	379 g/kWh	295 g/kWh	320 g/kWh	215 g/kWh	659 g/kWh
Umwelt-gefährdung	WGK 2, mittlere Emissionsrelevanz (Abgase)	Nicht wassergefährdend Geringe Emissionsrelevanz (Abgase)	Nicht wassergefährdend Geringe Emissionsrelevanz (Abgase	Ggf. WGK 1 durch Zusatz von Korrosionsschutz/ Frostschutz	-
Genehmigung	Genehmigung nach Baurecht, ggf. BImSchG	Genehmigung nach Baurecht, ggf. BImSchG	Genehmigung nach Baurecht, ggf. BImSchG	Genehmigung nach Baurecht	-
Erstmalige und wiederkehrende Prüfungen	Länderspez. VAwS bei unterirdischer bzw. bei ober-irdischer Lagerung[2], 1. BImSchV, TA Luft	DVGW-Regelwerk, 1. BImSchV, TA Luft	TRD-Regelwerk bzw. BetrSichV, 1. BImSchV, TA Luft	-	BGV A2
Heizwert H_u	41 MJ/kg	20 MJ/m^3 (Stadtgas, 0 °C, 1013 hPa)	93,4 MJ/m^3 (Propan, 0 °C, 1013 hPa))	-	-

[1] Ein Abfüllplatz ist aufgrund VAwS erforderlich, falls die Häufigkeit der Befüllung des Heizöltanks über der im privaten Bereich liegt

[2] In Bayern erstmalige und wiederkehrende Prüfungen (Prüfintervall 5 a) bei unterirdischer Lagerung sowie für oberirdische Lageranlagen der Gefährdungsstufe C und D (> 10.000 l) nach § 6 VAwS (außerhalb von Schutzgebieten)

[3] Erdgas- bzw. Fernwärmeversorgung nicht flächendeckend vorhanden

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Kraft-Wärme-Kopplung ist die Erzeugung von Strom bei gleichzeitiger Nutzung der dabei entstehenden Wärme. Bei der üblichen Stromerzeugung in Kraftwerken mit Nutzungsgraden von etwa 35-45% wird die Wärme meist ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Bei Anlagen mit KWK hingegen kann der Energiegehalt des Brennstoffes zu mehr als 90% genutzt werden. Im Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe (IMA) wird bereits 1997 die KWK als wichtigste Einzelmaßnahme zur Einsparung von Primärenergie und damit CO_2-Reduktion eingestuft.

KWK kann z. B. erfolgen durch

- Feuerungsanlagen mit Dampfturbinen
- Blockheizkraftwerke (BHKW) mit Gas- oder Dieselmotoren
- Gasturbinen, ggf. als GuD-Kraftwerke (Gas- und Dampf-Kraftwerke)
- Brennstoffzellen

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht hängt die Rentabilität des Einsatzes eines BHKW insbesondere von folgenden Faktoren ab:

- Möglichst gleichmäßiger Wärmebedarf und möglichst gleichzeitiger Wärme- und Strombedarf
- Günstiger Brennstoffpreis im Verhältnis zum Strompreis
- Hohe jährliche Laufzeiten (empfohlen möglichst über 5.000 - 6.000 h)

Auf Grund der Wärmeverbrauchsstruktur in Galvanikunternehmen (z. B. Prozessbeheizung) ist die Abnahme der thermischen Energie i. d. Regel ganzjährig gewährleistet. Auf eine effizienzmindernde Energievernichtung über einen Notkühler kann in der Regel auch im Sommer weitgehend verzichtet werden.

Weitere Informationen zur Kraft-Wärme-Kopplung, insbesondere auch zur aktuellen Gesetzeslage und zu möglichen Förderungen erhalten Sie z.B. beim Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung e.V. (B.KWK) unter *www.bkwk.de* oder unter *www.bhkw-info.de.*

TIPPS

- Achten Sie auf die richtige Dimensionierung und Auslegung von Heizkesseln. Da Heizungsanlagen im Teillastbetrieb unwirtschaftlich sind, sollten sie nicht überdimensioniert sein. Moderne Brennwertkessel erreichen den höchsten Wirkungsgrad allerdings bereits unterhalb der Volllast. Mögliche Betriebserweiterungen sind bei der Planung zu berücksichtigen.

- Wenn Sie Ihre Energieträger frei auswählen können, entscheiden Sie sich für einen mit geringen CO_2-Emissionen. Erdgas als Brennstoff verursacht unter den fossilen Energieträgern die geringsten CO_2-Emissionen und ist durch seinen zumindest für die Industrie günstigen Preis attraktiv. Hinzu kommt der geringe Aufwand für die Infrastruktur und die Abgasreinigung sowie der besonders effiziente Einsatz in Brennwertkesseln. Elektrischer Strom sollte wegen der hohen Umwandlungsverluste ausgehend vom Primärenergieträger nur im Ausnahmefall für Heizzwecke eingesetzt werden.

- Nutzen Sie die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus Abgasströmen zur Luftvorwärmung für andere Prozesse. Achten Sie bei der Installation von Wärmetauschern auf die für die jeweilige Luftqualität notwendige Korrosionsbeständigkeit (siehe Kapitel 7.3).

- Nutzen Sie die Abwärme von Druckluftkompressoren (siehe Kapitel 10), Transformatoren und Gleichrichtern (siehe Kapitel 6) für Gebäudeheizung und Warmwasser.

- Setzen Sie in Ihrem Betrieb Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ein, wenn dies unter den Rahmenbedingungen Ihres Betriebes sinnvoll ist. Berücksichtigen Sie dabei auch Aspekte wie den möglichen Einsatz der KWK-Anlage als Notstromaggregat. Schöpfen Sie Ihre betrieblichen Möglichkeiten zur Steigerung der Laufzeiten aus. Berücksichtigen Sie hierbei z.B. die Einbindung in andere Heizungssysteme (Einspeisung in Kesselkreislauf) oder Netzeinspeisung elektrischer Energie.

8.3 Prozessbeheizung, Prozesskühlung

8.3.1 Prozessbeheizung

Allgemeines

Anforderungen an die Prozessbeheizung, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Prozesssicherheit sind:

- Konstanthaltung der Solltemperatur des Prozesses
- annähernd homogenes Wärmefeld im gesamten Elektrolyten
- Einhaltung der vorgesehenen Aufheizzeit für den Anlaufzustand des Fertigungsprozesses.

Die Prozesstemperatur muss mit Regelkreisen geringster Trägheit konstant gehalten werden, da ein Energieverbrauch durch folgende Vorgänge stattfindet:

- Energieaustrag als Konvektionswärme
- Energieaustrag als Verdunstungswärme
- Wärmeaufnahme durch zu galvanisierende Bauteile
- Wärmebedarf durch Ein- und Ausschleppverluste von Flüssigkeit bzw. Elektrolyt

Soweit in den Prozessen Wärmequellen im Sinne einer Heizung wie z. B. „Joulesche Wärme“ auftreten und diese größer sind als die o.g. Wärmeverluste, muss der Prozess mit einer Kühleinrichtung (siehe Prozesskühlung) ausgestattet werden.

Art des Energieträgers und des Beheizungssystems

Grundsätzlich muss zwischen zwei Gruppen von Energieträgern, nämlich

- Heißwasser-, Dampf- und Gasbeheizung sowie
- Elektrizität

unterschieden werden.

Heißwasser-, Dampf- und Gasbeheizung

Über Auslegungen von Heißwasser-, Dampf- und Gasheizungen liegt ein ausführliches Schrifttum vor [14,15]. Zum Einsatz kommen vor allem alle Varianten von Plattenwärmetauschern aus Kunststoffen, Edelstahl und Titan für den Energieträger Heißwasser.

Elektrische Beheizung

Eine elektrische Beheizung von Prozessbädern kam in der Vergangenheit hauptsächlich wegen der guten Regelbarkeit, des geringen Wartungsaufwandes und der relativ geringen Gestehungskosten zum Einsatz. Die am häufigsten benutzte Ausführungsvariante ist der Tauchbadwärmer.

Wegen des hohen Primärenergiebedarfs und aus Kostengründen sollte elektrischer Strom nach Möglichkeit nicht für Heizzwecke (mit Tauchbadwärmern) eingesetzt werden. Daneben sprechen aber auch Sicherheitsaspekte gegen eine elektrische Beheizung. Im Zusammenhang mit Prozessbehältern aus Kunststoff bzw. Kunststoffauskleidung können Brandgefahren auftreten (siehe hierzu [18]). Daher sollten bei Anwendung von elektrischen Tauchbadwärmern neben Temperaturfühlern unbedingt Sensoren zur Überwachung des Flüssigkeitsstandes eingesetzt werden.

Bei Betriebstemperaturen von Prozessen > 60 °C und gleichzeitig vorhandener Abwärme (z. B. Gleichrichter und Abluft) sollte eine Wärmekopplung zur Erzeugung von Heißwasser als Zusatzheizung geprüft werden (siehe Tipp Kapitel 6).

8.3.2 Prozesskühlung

Die bei galvanischen Prozessen entstehende Joulesche Wärme ist bei vielen Anwendungen höher als die in Kapitel „Prozessbeheizung“ beschriebenen Wärmeverluste. Zu diesen Anwendungen zählen u. a. die bei Raumtemperatur zu betreibenden Zinkelektrolyte sowie die Hartchromelektrolyte. Die theoretisch zu erwartende Wärmemenge ist berechenbar, so dass unter Abzug der Wärmeverluste die erforderliche Kühlleistung ermittelt werden kann.

Mögliche Kühlsysteme, die dem Stand der Technik entsprechen, sind:

- **Verdunsteranlage bzw. Rieselkühlturm zur Verdunstungskühlung der Prozesswässer und gleichzeitigen Aufkonzentrierung der Prozesswässer**
- **Kühlung mit Kälte aus Grundwasser oder Frischwasser über Kühlschlangen bzw. Kühlregister**
- **Kühlung mit Kühlwasser von einem Kühlturm außerhalb des Gebäudes**
- **Kältemaschine mit Wärmerückgewinnung**
- **Kältemaschinen mit Freikühlung**

Die Auswahl der geeigneten Kühlanlage ist von zahlreichen Randbedingungen wie z. B. erforderliche Kühlleistung, Solltemperatur des zu kühlenden Elektrolyten, Abwärmenutzung, Grundwasserverfügbarkeit, Wasserbezugs- und Abwasserkosten abhängig. Das Kühlsystem sollte unter Energiegesichtspunkten nach der oben genannten Reihenfolge ausgewählt werden.

Für die Auswahl sind vor allem die speziellen Randbedingungen des jeweiligen Betriebes zu beachten. Beispielsweise ist zu prüfen, ob die zurückgewonnene Wärmeenergie vollständig genutzt und ganzjährig benötigt wird und wie hoch der Anteil an elektrischer Zusatzleistung für die Rückgewinnung der Energie ist. Zu prüfen ist auch, ob unter Berücksichtigung von Strom- und Wärmeabnehmern eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung sinnvoll und rentabel ist.

Grundsätzlich sollte bei galvanischen und chemischen Prozessen primär geprüft werden, ob der Einsatz einer **Verdunsteranlage** (horizontale oder vertikale Bauweise), wahlweise eines Rieselkühlturmes, verfahrenstechnisch durchführbar ist. Da hierbei eine Kombination von Elektrolytkühlung, Elektrolytverdunstung mit Wertstoffrückführung und der Abluftreinigung stattfindet, ist diese Verfahrenstechnik aus ökologischer und ökonomischer Sicht sowie insbesondere der Energieeffizienz zu befürworten.

Der Einsatz von **Kühlschlangen** bzw. **Kühlregistern** mit Frischwasser als Kühlmedium, das anschließend als Spülwasser genutzt wird, ist vor allem in den Fällen zu favorisieren, in denen die o.g. Anlagenkonzepte aus verfahrenstechnischen Gründen nicht einsetzbar sind. Dabei ist zu beachten, dass die erforderliche Spülwassermenge durch das Kühlsystem nicht nachteilig beeinflusst wird. Ferner kann das Kühlmedium als vorgewärmtes Frischwasser in vielfältiger Form als Brauch- bzw. Prozesswasser sinnvoll verwendet werden.

Soweit **Grundwasser** in ausreichender Menge verfügbar ist und von der zuständigen Wasserwirtschaftsverwaltung aus hydrologischen Gründen eine Genehmigung zur Nutzung erteilt wurde bzw. in Aussicht gestellt wird, sollten aus Gründen der Energieeffizienz vorrangig der Einsatz von Kühlschlangen / Kühlregistern bzw. Kühltürmen mit Grundwasser als Kühlmittel geprüft werden. Grundwasser stellt ganzjährig ein Temperaturniveau von 10-14°C zur Verfügung.

Für den Fall, dass Kühlwasser aktiv gekühlt werden muss, bietet sich als energieeffizienteste Variante der Betrieb eines **Kühlturms** außerhalb des Betriebsgebäudes an. Die Kosteneinsparungen für die Energie sind hierbei gegen den Wartungsaufwand und mögliche Einschränkungen an sehr heißen Tagen abzuwägen.

Wenn der Kühlbedarf mit o.g. Verfahren nicht gedeckt werden kann und **Kältemaschinen** eingesetzt werden müssen, sollten die Möglichkeiten einer **Wärmerückgewinnung** geprüft werden.

TIPP

Unter energetischen Gesichtpunkten sollte die Auswahl des Kühlsystems nach folgender Priorität erfolgen:

- Verdunsteranlage mit Elektrolytrückführung, Elektrolytkühlung und Abluftreinigung; alternativ Rieselkühlturm
- Kühlschlangen bzw. Kühlregister mit Grund- oder Frischwasser als Kältequelle
- Kühlturm für Kühlwasser
- Kältemaschine mit Wärmerückgewinnung
- Kältemaschine mit Freikühlung

9 Trocknung

Galvanisierte Bauteile müssen fleckenfrei getrocknet werden. Bei starkwandigen Bauteilen, die genügend Wärme aufnehmen, genügt eine Heißwasserspülung (z. B. Hartverchromung). Allerdings kann grundsätzlich bei Einsatz von Leitungswasser keine fleckenfreie Trocknung erzielt werden.

Für dekorative Bauteile oder galvanische Teile mit analogen Anforderungen an die Oberfläche wird das einzusetzende Wasser mittels Ionenaustauscher entsalzt und der jeweils erforderliche Reinheitsgrad des Spülwassers durch kontinuierliche Messung der Leitfähigkeit (i.d.R.< 1 µS/cm) überwacht und gesteuert.

Die eigentliche Trocknung erfolgt in entsprechenden Trockenbehältern, die i.d.R. in Analogie zu den übrigen Prozessen von oben automatisch beschickt werden. Die Ein- und Ausfahrstelle der Trockenbehälter ist entsprechend der Breite der behängten Gestelle bzw. der Trommeln geöffnet. Die Trockner werden mit Heißwasser, Gasbefeuerung oder elektrisch beheizt. Die auf 50 - 120°C erwärmte Luft wird mittels Ventilatoren zur Beschleunigung des Trocknungsvorganges umgewälzt.

In den letzten Jahren wurden die Trockenbehälter zunehmend mit automatisch gesteuerten Deckeln in aufklappbarer oder horizontal verschiebbarer Version ausgerüstet, die somit weitgehend geschlossene Kammern mit zeitlich geringen Öffnungsphasen und damit *geringeren Energieverlusten* aufweisen. Eine Optimierung erfolgt über Messung der Luftfeuchtigkeit mittels Hygrometer zur Steuerung der Frischluftmenge und damit Austrag der eingeschleppten Wassermenge über die Abluft.

Anlagenbeispiele

Eine spezielle Entwicklung der letzten Jahre ist das Umluftsystem mit Luftvortrocknung und Wärmerückgewinnung der Fa. Harter **für Gestell- und Trommelfertigung**, die durch Kreislaufschließung *geringere Energieverluste* aufweist. In Abbildung 20 ist das Funktionsprinzip dargestellt. Dem Vorteil der Wärmerückgewinnung steht der Nachteil des Betriebes mit elektrischem Strom und damit hohem Primärenergieeinsatz gegenüber. Die Energiebilanz ist für den jeweiligen Einsatzzweck zu prüfen

Airgenex ® - das Entfeuchtungssystem

1 Eintrittsstutzen Feuchtluft
2 Luftfilter
3 Luftvorkühler als Lamellen -WT
4 Lufthauptkühler als Lamellen -WT
5 Luftvorerhitzer als Lamellen -WT
6 Lufterhitzer als Lamellen -WT
7 Umluftventilator
8 Austrittsstutzen Trockenluft
9 Zusatzwärmetauscher für Überschußwärme
10 Zusatzventilator für Überschußwärme

Abb. 20: „Airgenex"- Entfeuchtungssystem, Grafik Harter GmbH

Für die Trocknung von Bauteilen der Trommelfertigung sind in den letzten 20 Jahren verschiedene Varianten von Technologien zum Einsatz gekommen. Deren Prinzip ist z.B. die Erzeugung von Unterdruck, fallweise Vakuum, mit gezielter Warmluftumwälzung in nahezu geschlossenen Trockneraggregaten zum weitgehenden Flüssigkeitsentzug von der Bauteiloberfläche bzw. der Trommel.

Ein weiteres Umlufttrocknungsprinzip nach Tscherwitschke wird in Trommeltrockner eingesetzt (mit Wärmetauschern zur Energierückgewinnung aus der Abluft). Abbildung 21 zeigt einen Umlufttrockner.

Abb. 21: Umlufttrockner nach Tscherwitschke, Bild: Richard Tscherwitschke GmbH

Für die Einhaltung einer kurzen Trocknungszeit sowie zur Erreichung von Objekttemperaturen oberhalb 80° C, wie sie zum Beispiel beim Trocknen von Dickschichtpassivierungen erforderlich sind, sind in der Trockenkammer unter Normalbedingungen oft Umlufttemperaturen von über 100° C erforderlich. In der Praxis werden zur Erwärmung der Luft vielfach elektrische Energie oder mit Heißwasser bzw. Wasserdampf betriebene Heizregister eingesetzt.

Als Alternative dazu bietet sich der Einsatz Gas-betriebener Direktheizsysteme im Umluftstrom an. Hierbei wird ein spezieller Gasbrenner in einer Zusatzkammer direkt in den Umluftkanal eingebaut. Die zu erwärmende Luft wird von den Verbrennungsgasen erwärmt, ohne dass dabei nennenswerte Schadstoffe entstehen. Durch die einfache Konstruktion lassen sich bestehende Anlagen mit geringem Aufwand umrüsten und mit geringem Wartungsaufwand betreiben.
Bei einem feuerungstechnischen Wirkungsgrad von 100% wird eine sehr saubere Verbrennung erreicht, die alle bekannten Normen für die direkte Raumluftheizung erfüllt oder übertrifft.
Das bei der Verbrennung entstehende Wasser wird in einem kontinuierlichen Abluftstrom zusammen mit der dem Trockengut entzogenen Feuchtigkeit ausgeschleust.
Gegenüber elektrisch betriebenen Heizungen lassen sich Kosteneinsparungen bis zu 50 % erzielen. Die CO_2-Äquivalente reduzieren dabei sich um über 60 % im Vergleich zur Beheizung mit Strom.

Abb. 22: Beispiel für einen im Umluftkreislauf arbeitenden Brenner, Grafik Sessler GmbH

Über die Optimierung der Trockner hinaus sollten auch bauteilspezifische Einzellösungen mit Sonderapplikationen geprüft werden, die eine mechanische Vorabtrennung von Wasser bringen. (z. B. Rüttelmechanismen oder Presslufteinsatz mit gezielter Luftströmung zur Abtrennung von Flüssigkeitsresten von den Bauteilen, Pulsblastrocknung).

10 Druckluftnutzung

Druckluft ist ein Energieträger, der aufgrund seiner positiven Eigenschaften in fast jedem Produktionsbetrieb eingesetzt wird. Während für die Drucklufterzeugung in Deutschland etwa 7% des industriellen Stroms aufgewendet werden, hat dieser Bereich in der Galvanikindustrie wegen des hohen Strombedarfs anderer Anwendungsbereiche relativ deutlich geringere Bedeutung. Dennoch bringt die Optimierung der Druckluftnutzung auch für Galvanikbetriebe erheblichen Nutzen, weil sich die Energiesparpotenziale vielfach ohne großen Investitionsaufwand erschließen lassen. Zudem sind viele Galvaniken nur Teil eines Metall-verarbeitenden Betriebes, in dem die Druckluftnutzung dann eine erhebliche Bedeutung haben kann. Nach den Erfahrungen des LfU betragen z.B. allein die Leckageverluste von Druckluft in zahlreichen Betrieben 30-50%.

Bild: Kaeser Kompressoren GmbH

Organisatorische Maßnahmen zur energetischen Optimierung von Druckluftanlagen:

- Regelmäßige Wartung der Anlagen und regelmäßiges Wechseln der Filter
- Regelmäßige Kontrolle des Druckluftnetzes auf Leckagen; Die grobe Ortung kann nach Gehör oder mit einem Ultraschall-Messgerät erfolgen. Für die Feinortung eignen sich Seifenwasser oder spezielle Sprays.
- Auswahl eines geeigneten Aufstellungsortes für die Druckluftanlagen: Dieser sollte die Ansaugung ausreichender Mengen trockener, kalter (Nordseite), sauberer Luft gewährleisten und die Möglichkeit der Abwärmenutzung zur Lufterwärmung oder Warmwasserbereitung bieten.
- Einstellung eines möglichst niedrigen Netzdruckes, ggf. dezentrale Druckerhöhung
- Verwendung von Druckluft nur für die fertigungstechnisch notwendigen Zwecke und nicht für Trocknung, Reinigung; auch Schalter und Ventile lassen sich i.d.R. elektrisch effizienter bewegen als pneumatisch.

Technische Maßnahmen zur energetischen Optimierung von Druckluftanlagen:

- Einsatz technisch optimierter Kompressoren nach dem Stand der Technik (z.B. Hocheffizienzmotoren, drehzahlvariable Antriebe);
- Auslegung der Druckluftstation: Bessere Auslastung des einzelnen Kompressors durch den Einsatz mehrerer Kompressoren mit unterschiedlichen Leistungen und übergeordneter intelligenter Steuerung

- Vermeidung von Druckverlusten im Leitungsnetz durch Verwendung von Rohren mit ausreichendem Querschnitt, geringer Innenrauigkeit sowie weiten Bögen und Hosenstücken statt Knie- und T-Stücken
- Aufstellung von ausreichend großen Druckluftspeichern in der Nähe von Anlagen mit starken Verbrauchsschwankungen
- Druckluftaufbereitung (Trocknung, Entölung) nach dem Prinzip „Soviel wie nötig - so wenig wie möglich“
- Nutzung der Kompressorenabwärme für Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung; am einfachsten durch Verwendung von Kühlluft der Kompressoren in der Heizperiode als Frischluft für den Betrieb

Abb. 23: Abwärmenutzung bei Druckluftkompressoren durch Warmwasser-(links) und Warmluftbereitung (rechts), Bilder: Kaeser Kompressoren GmbH

Weitere Hinweise zum Thema „Rationelle Druckluftnutzung“ gibt es in zahlreichen Veröffentlichungen und auf den Internetseiten der vom LfU unterstützten Kampagne „Druckluft effizient“ unter www.druckluft-effizient.de.

Leckagebestimmung von Druckluftanlagen

Für die Ermittlung von Druckluftleckagen stehen zahlreiche professionelle Dienstleister zur Verfügung. Eine erste Grobabschätzung der Leckageverluste können Sie i.d.R. aber auch einfach selbst durchführen. Sie erfolgt durch Einschaltdauermessung mit einem ausgewählten Kompressor des betroffenen Netzes. Diese Methode ist nur bei Kompressoren mit Aussetz- und Leerlaufbetrieb anwendbar. Die Bestimmung erfolgt zu einer betriebsfreien Zeit (z.B. am Wochenende), in der die Verbraucher zwar ausgeschaltet, jedoch unter Druck sind. Durch die Leckagen im System wird Druckluft verbraucht und der Netzdruck sinkt. Der Testkompressor muss die Leckageverluste immer wieder ersetzen.

Über eine bestimmte Messzeit t_M hinweg (z.B. eine Stunde – die Messzeit sollte aber mindestens fünf Schaltzyklen umfassen) werden die Einzellaufzeiten des Kompressors (t_1, t_2,...) gemessen und addiert. Über die Nennleistung des Kompressors wird damit die für Leckagen aufgewendete Energiemenge in dieser Stunde ermittelt. Über die jährlichen Betriebsstunden des Druckluftsystems kann auf den Energieverbrauch pro Jahr für Leckagen hochgerechnet werden. Dieser wird ins Verhältnis gesetzt zum gesamten gemessenen Stromverbrauch für die Druckluftkompressoren. Der Betrieb kann aus diesem Anteil der Leckageverluste am Energiebedarf der Drucklufterzeugung die Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen ermitteln.

Beispiel: Messzeit t_M = 60 min = 1 h
Gesamtlaufzeit des Testkompressors $t = t_1+t_2+...$= 20 min = 0,33 h
Nennleistung des Testkompressors: P_N = 180 kW
Jahresbetriebszeit des Druckluftnetzes: t_B = 5.000 h
Jährlicher Stromverbrauch aller Druckluftkompressoren des Netzes:W=1.000.000kWh

$$\text{Leckagerate} = \frac{t * t_B * P_N}{t_M * W} = \frac{0{,}33h * 5.000h * 180kW}{1h * 1.000.000kWh} = 0{,}3 = 30\%$$

Erfahrungsgemäß liegen die Leckageverluste in zahlreichen Betrieben bei 30-50%. In der Regel amortisiert sich daher der Aufwand zur Beseitigung von Leckagen innerhalb weniger Monate. Druckluftverluste sind in herkömmlichen Druckluftsystemen jedoch unvermeidlich. Die Maßnahmen zur Beseitigung der letzten kleinen Leckagen können irgendwann teurer sein als die erreichbaren Einsparungen. Leckageraten, die aus wirtschaftlichen Gründen toleriert werden sollten, sind:

Max. 5% bei kleinen Netzen
Max. 7% bei mittleren Netzen
Max. 10% bei größeren Netzen
Max. 13-15% bei sehr großen Netzen (z.B. Stahlwerke, Werften)
[Quelle: Druckluft-Kompendium, Ulrich Bierbaum, Verlag Marie Leidorf GmbH, 2. Aufl. 1999]

Druckluftnutzung im Praxisbeispiel Thoma Metallveredelung GmbH:

Die Messungen an der Druckluftversorgungsanlage der Thoma Metallveredelung GmbH ergaben Leckageverluste von ca. 50 % des durchschnittlichen jährlichen Druckluftbedarfs. Dies liegt weit über den für diese Betriebsgröße unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten (s. oben) anzustrebenden ca. 10%.

Abb. 24: Tageslastgänge der erzeugten Druckluft bei der Thoma Metallveredelung GmbH

Energiesparpotenziale:

Neben einer Reihe kleinerer Verbesserungsmöglichkeiten (z.B. Wochenendabschaltung der Druckluftanlagen) wurde als Sofortmaßnahme eine Reduzierung der Leckageverluste auf 10% empfohlen. Dies bringt bei geringem Investitionsbedarf eine jährliche Stromeinsparung von ca 45.000 kWh.

11 Beleuchtung

Gutes Licht im Betrieb erhöht sowohl das Wohlbefinden als auch die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter. Dabei müssen gute Beleuchtung und Energieeinsparung keine Gegensätze darstellen. Sinnvoll ist die bereichsabhängige Anpassung der Beleuchtungsstärken nach DIN 5035.

TIPP

Energieeinsparung durch Tageslichtnutzung

Nutzen Sie so weit als möglich natürliches Tageslicht. Direktes Tageslicht wird von den meisten Menschen als am angenehmsten empfunden und ist obendrein kostenlos. Bei großen Fensterflächen ist jedoch zusätzlicher Schutz (z.B. Außenjalousien) erforderlich, damit es im Sommer nicht zu Überhitzung und im Winter zu großer Abkühlung kommt. In den vergangenen Jahren wurde auch eine Reihe innovativer Systeme der Lichtleittechnik entwickelt, mit denen es möglich ist, direkte Sonnenstrahlung abzuschirmen und Tageslicht tief ins Innere von Gebäuden zu lenken.

Zur effizienten Auslegung der Beleuchtungseinrichtungen werden folgende Maßnahmen empfohlen:

TIPP

Energieeinsparung bei Beleuchtungsanlagen

Energieeinsparungen bei der Beleuchtung lassen sich durch folgende Maßnahmen erzielen:

- Einsatz von energieeffizienten Leuchtstofflampen mit Spiegelraster-Reflektoren
- Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten
- Zeit- und Tageslichtabhängige Steuerung
- Bewegungsmelder
- Einhaltung der Nennbeleuchtungsstärke von 300 Lux für Betriebe der Galvanikbranche nach DIN 5035 [8] beachten.
- Regelmäßige Reinigung von Lampengehäusen (Erhöhung der Lichtausbeute um bis zu 20%)
- Bereichsabhängige Anpassung der Beleuchtungsstärken
- Zielgerichtete Ausleuchtung der relevanten Bereiche

Mit modernen Spiegelrasterleuchten lassen sich in vielen Fällen zwei Leuchtstofflampen durch eine ersetzen.

Abb. 25: Moderne Spiegelrasterleuchte, Bild: Kompass

Abb. 26: Energiesparpotenziale bei der Beleuchtung, Grafik: OSRAM GmbH

Praxisbeispiel Thoma Metallveredelung GmbH

Die Beleuchtungsanlagen im Partnerbetrieb Thoma Metallveredelung GmbH sind zu über 90% Standardleuchten mit Leuchtstofflampen (26 mm Durchmesser) und opaler Abdeckung. Diese Lampen werden zu etwa 90% noch mit einem konventionellen Vorschaltgerät (KVG) betrieben.

An energiesparenden Technologien sind bereits vorhanden:

- Tageslichtabhängige Steuerung der Beleuchtung in einzelnen Bereichen der Produktion
- Steuerung der Beleuchtung in Teilen des Untergeschosses mit Bewegungsmeldern
- Elektronische Vorschaltgeräte an einzelnen Leuchten

Die Umsetzung aller technisch sinnvollen Maßnahmen zur Optimierung der Beleuchtung hätte pro Jahr eine Einsparung von etwa 116 MWh elektrischer Energie zur Folge. Dies ist ein Anteil von 77% am elektrischen Energiebedarf der bisherigen Beleuchtung bzw. ein Anteil von 2,35% gemessen am Strombedarf des Gesamtbetriebes. Dies entspräche einer Emissionsreduzierung von 78,9 t/a CO_2-Äquivalenten.

Die Amortisationszeiten für diese Maßnahmen liegen je nach Strompreis im Bereich von 5-10 Jahren. Diese Amortisationszeiten liegen aber wesentlich niedriger, wenn der Zeitpunkt für die Umrüstung mit einem routinemäßigen Lampenwechsel oder anderen Sanierungsarbeiten verbunden wird.

12 Energiemanagement

Inhalte und Grundprinzipien

Im Gegensatz zu vielen anderen Managementsystemen, die durch Gesetze oder Normen definiert sind, gibt es keine Vorgaben für Energiemanagementsysteme. Im Allgemeinen versteht man unter Energiemanagement die systematische Vorgehensweise hin zum effizienten Einsatz von Energie. Sie beinhaltet sowohl technische als auch organisatorische Maßnahmen. Ziel ist die Minimierung des Energieverbrauchs bzw. der Energiekosten.

Schulung der Mitarbeiter im Bereich verhaltensabhängiger Energieeinsparung

Ein Teil der Energiesparmöglichkeiten kann ohne jegliche Investitionen allein durch das Verhalten von betrieblichen Mitarbeitern und Entscheidungsträgern ausgeschöpft werden (z.B. Abschalten von Maschinen in Betriebspausen). Viele Betriebe haben mit der Einrichtung von „Energieteams“ gute Erfahrungen gemacht. Es handelt sich hier um Arbeitsgruppen aus Mitarbeitern der verschiedensten Abteilungen. Dadurch wird es möglich, Energiefragestellungen und Aktionen betriebsweit zu koordinieren.

Innerbetriebliches Vorschlagswesen

Wenn Vorschläge zur Energieeinsparung z.B. im Rahmen des innerbetrieblichen Vorschlagswesens ausdrückliche Anerkennung finden, entwickeln die Mitarbeiter oft ein hohes Maß an Bewusstsein für Energieeffizienz und Energieeinsparung.

Integration des Energiemanagements in ein Umweltmanagementsystem

Ein Energiemanagement kann Teil eines Umweltmanagementsystems sein. In beiden Fällen sind die Energieströme zu erfassen, zu dokumentieren und weitere Schritte zu veranlassen. Ein Energiemanagement kann ein bestehendes Umweltmanagement ohne großen Zusatzaufwand erweitern. Umgekehrt kann ein Energiemanagement einen Teil der Basisdaten für ein Umweltmanagementsystem z.B. nach ISO 14.000 ff bzw. EMAS liefern. Nähere Informationen zum Umweltmanagement nach EMAS liefert der STMLU-IHK-Leitfaden „EMAS – Das neue EG-Öko-Audit in der Praxis“

Lastmanagement

Lastmanagement lässt sich vor allem beim Strombezug praktizieren. Lastmanagement bedeutet die teilweise Verschiebung des Energiebezugs von Spitzenlastzeiten zu Niedriglastzeiten. Dadurch lassen sich teure Lastspitzen für den Betrieb vermindern. Wirkungsvoll sind automatische Lastmanagement- bzw. Lastabwurfsysteme, die zu Spitzenlastzeiten weniger betriebsrelevante Energieverbraucher (z.B. Belüftungsanlagen, Klimaanlagen) zeitweise vom Netz nehmen.

Der Umweltpakt Bayern

Die bayerische Staatsregierung und die bayerische Wirtschaft haben am 23. Oktober 2000 den Umweltpakt Bayern unterzeichnet. Er soll die Grundlagen für ein nachhaltiges Wirtschaften im 21. Jahrhundert schaffen. Staat und Wirtschaft haben sich darin zu einer Reihe freiwilliger Maßnahmen zur Stärkung des Umweltschutzes in Betrieben verpflichtet. Die Maßnahmen zielen darauf ab, durch Umweltschutz auch wirtschaftliche Vorteile für die teilnehmenden Betriebe zu erschließen. Daneben gibt es Erleichterungen bei Berichts- und Dokumentationspflichten in der Anlagenüberwachung und bei Genehmigungsverfahren. Grundlage ist die Einführung von Umweltmanagement im Betrieb. Neben dem Umweltmanagement nach der EMAS-Verordnung haben sich eine Reihe weiterer Managementsysteme für die Umwelt entwickelt. Die Normenreihe der ISO 14.001 ff, das OKOPROFIT oder der Qualitätsverbund umweltbewusster Handwerksbetriebe (QUH) sind eng mit EMAS verknüpft und dienen oft als Einstiegssystem mit dem Ziel der Hinführung zu EMAS. Mitte 2003 umfasst der Umweltpakt Bayern etwa 3.400 Teilnehmer. Nähere Informationen finden Sie unter www.umweltpakt.bayern.de

Glossar

Beizen Entfernen von Oxidschichten von metallischen Bauteilen, i.d.R. durch Behandlung in verdünnten Mineralsäuren

Chromatierung Fertigungsverfahren mit Lösungen aus CrVI-Verbindungen zur Erzeugung einer Konversionsschicht (0,1µm bis max. 1 µm); vorwiegend bestehend aus Reaktionsprodukten des behandelten Metalls (z. B. Zink) und Chromaten

Dekapieren Entfernen von dünnen Oxid- oder Anlaufschichten, i.d.R. mit stark verdünnten Mineralsäuren

Elektrolytische Entfettung In wässerigen, alkalischen Reinigungslösungen werden die Bauteile mit Hilfe von Gleichstrom kathodisch (Wasserstoffentwicklung) oder anodisch (Sauerstoffentwicklung) geschaltet, wodurch ein hoher Reinigungsgrad erreicht werden kann.

Emissionen sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen

Entfetten Teilbereich der Vorbehandlung zur Entfernung von Ölen, Fetten und verwandten Stoffe. Anwendung finden vorwiegend wässerige, alkalische Reinigungsmittel mit/ohne elektrolytischer Unterstützung und fallweise organische Lösungsmittel. Beide Reinigungsvarianten können in Sonderfällen mit Ultraschall optimiert werden.

Heizöl El Heizöl extra leicht

Kohlendioxid (CO_2) Entsteht bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Der Anstieg des CO_2-Gehaltes in der Atmosphäre wird als Hauptursache für mögliche Klimaveränderungen gesehen.

Leistungsfaktor Definition Leistungsfaktor:

Metallabscheidung

- chemische (außenstromlos)

Mit Hilfe eines Reduktionsmittels wird aus einer Metallsalzlösung das Metallion zum Metall reduziert. Zur Verbesserung der Eigenschaften (z. B. Korrosions- und/oder Verschleißbeständigkeit) werden Metallionen oder Metalloide (z.B. P) in die jeweilige Schicht eingelagert. Bedeutende Verfahren sind die Kupfer- und die Nickelabscheidung.

Metallabscheidung

- galvanisch

Fertigungsverfahren zur Erzeugung dünner Metallschichten (ca. 0,1 µm bis 100 µm, fallweise bis zu einigen Millimetern). Hierzu werden aus dem Elektrolyt, der das betreffende Metall in ionogener oder komplexgebundener Form gelöst enthält, mittels Gleichstrom zum Metall reduziert. Zur Verbesserung der Elektrolyt- und Schichteigenschaften werden anorganische und organische Stoffe dem Elektrolyt zugesetzt.

Die wichtigsten Verfahren sind:

- Verkupferung
- Vernickelung
- Verchromung:
- Verzinkung

Nachbehandlung

Hauptverfahren:

- mechanische Verfahren: Schleifen und Polieren
- chemische Verfahren: Konversionsverfahren wie z. B. Passivieren, Chromatieren
- physikalische Verfahren: Versiegelungsverfahren mit anorganischen oder organischen Stoffen

Primärenergie

wird als der Energiegehalt von Energieträgern bezeichnet, die noch keiner Umwandlung unterworfen worden sind. Primärenergieträger sind fossile Brennstoffe, z. B. Stein- und Braunkohle, Erdöl und –gas, aber auch erneuerbare Energien wie Wasserkraft, Sonnenenergie, Windkraft und Erdwärme.

Vorbehandlung

Erzeugung einer metallisch reinen Oberfläche mit chemischen und/oder physikalischen (bzw. elektrochemischen) Methoden

Vorschaltgeräte

Sie sind für den Betrieb von Leuchtstofflampen erforderlich, da in der Regel die Netzspannung für die Zündung der Lampen nicht ausreicht. Durch den Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) anstelle von konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) ist eine Energieeinsparung möglich.

Literaturverzeichnis

[1] Branchenführer Galvanotechnik, 5. Auflage, T.W. Jelinek, LEUZE-Verlag

[2] VDI - Richtlinie 2066: Staubmessung in strömenden Gasen

[3] GEMIS 4.1 Stand 02/02 Globales Emissionsmodell integrierter Systeme

[4] VDI 2067 Bl. 1: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen; Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen

[5] Leitfaden zur Auslegung von Abluftanlagen an Galvanikanlagen (03/2003) FVO Fachverband Oberflächentechnik e.V., Hilden

[6] Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie, Fachtagung vom 26.06.2002, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

[7] Dettner-Elze; Handbuch Galvanotechnik, Band I, Seite 438ff.

[8] DIN 5035 Beleuchtung mit künstlichem Licht, 1990

[9] Druckluft-Kompendium, Ulrich Bierbaum, Verlag Marie Leidorf GmbH, 2. Aufl. 1999

[10] Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Recknagel, H., R. Oldenbourg Verlag, 2000

[11] Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren, ABAG-Abfallberatungsagentur, 1995

[12] OSRAM LIGHTCONSULTING GMBH, Daten aus Ecos

[13] Effiziente Energienutzung im Betrieb – Leitfaden für Energie- und Kosteneinsparung in Industrie und Gewerbe

[14] Richter, H.: Leitfaden der Technischen Wärmelehre nebst Anwendungsbeispielen, Berlin, Springer Verlag 1950

[15] Schock, A.: Der industrielle Wärmeübergang, 5.Auflage Düsseldorf, Verlag Stahleisen mbH 1957

[16] Dettner-Elze; Handbuch Galvanotechnik, Band I, Seite 602 ff.

[17] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Effiziente Energienutzung im Betrieb, Leitfaden für Energie- und Kosteneinsparung in Industrie und Gewerbe, 2004

[18] ZVEI, Fachverband Galvanotechnik e. V.: Checkliste von Brandgefahren in der Galvanotechnik, 1997

Bandbreite energierelevanter Daten für galvanische Beschichtungsprozesse

Gesamtanlage:

Automatisierte Prozesse: z.B. 2-10 Fahrwagen (Fahr- und Hubmotor)	2 -	4	kW
Mehrere Umsetzer z.B.		1	kW
Abluftanlage einschl. Nasswäscher: z.B. 15.000 – 40.000 m³/h	10 -	35	kW

Einzelprozesse:

Schematische Darstellung des Beschichtungsprozesses - Zink-Trommelanlage

Installierte Anschlusswerte:

Gesamtanlage:

4 Fahrwagen/Fahr-/Hubmotor [kW]	0,8 + 1,6 (0,4)	Laufzeit [h] je 0,25/h; 4
3 Umsetzer [kW] 3 x 0,2	0,6	Laufzeit [h] je 0,5/h; 3
1 Ventilator + Nasswäscher [kW]	**9**	→ **15.000 m³/h**
16 Trommelrotation [kW] á 0,25	4	
8 Pumpen [kW]	2	

Einzelprozesse

Heizung [kW] + Lüfter	WW	WW	WW							**60 +1,1**
Gleichrichter [V/A]		15/800			**6 x 10/ 800**	**2 x 10/ 800**				
Pumpe [kW]			0,25							
Filterpumpe [kW]					3	0,5				
Ausfrieranlage [kW]						3				

	Vorbehandlung				Hauptbehandlung		Nachbehandlung			
	Heiß-entfett. 2 m³	Elektr. Entfett. 1,2 m³	Beize 2 m³	Dek. 1 m³	Zink sauer 6 m³	Zink alk. 2,1 + 2,5 m³	Chromat blau 1 m³	Chromat gelb 1 m³	Chromat schwarz 1 m³	Trockner

IST-Aufnahmen der eingesetzen Energie und sonstige Daten

zwischen allen Prozessstufen ist eine Mehrfachspülung

Temperatur [°C]	55± 5	50± 2	45± 2		30± 2	25± 2				70 ± 2
Gleichstrom [A]		600 1)2)			**2950** 1)	**750** 1)				
Spannung [V]		11			**7,3**	**8,2**				
Belegfaktor für Hauptprozess [%]					90	90				
Oberfläche[m²/d]					1000	3-Schichtb.				

1) ohne Wirkungsgrad 2) 24 min./h

Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Telefon 0821/9071-0
Telefax 0821/9071-5556
E-Mail poststelle@lfu.bayern.de
Internet www.bayern.de/lfu

ISBN 3-936385-51-3