Adressen:

Herausgeber: Bundesamt für Konjunkturfragen (Bf K)
Belpstrasse 53
3003 Bern
Tel.: 031/61 21 39
Fax: 031/46 41 02

Geschäftsstelle: RAVEL
c/o Amstein+Walthert AG Leutschenbachstrasse 45 8050 Zürich
Tel.: 01/305 91 11
Fax: 01/305 92 14

Ressortleiter: Daniel Spreng Forschungsgruppe Energieanalysen ETHZ 8092 Zürich
Tel.: 01/25641 89
Fax: 01/251 21 72

Autor: Hanspeter Meyer Claudia Schnetzler Du rena AG Sägestrasse 6 5600 Lenzburg
Tel.: 064/52 00 33
Fax: 064/52 00 40

Diese Studie gehört zu einer Reihe von Untersuchungen, welche zu Handen des Impulsprogrammes RAVEL von Dritten erarbeitet wurde. Das Bundesamt für Konjunkturfragen und die von ihm eingesetzte Programmleitung geben die vorliegende Studie zur Veröffentlichung frei. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den Autoren und der zuständigen Ressortleitung.

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, Juli 1993
Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern (Best. Nr. 724.397.12.55 D)

Form. **724.397.12.55** D **7.93 500**

RAVEL - Materialien zu RAVEL

Materialien zu RAVEL

Elektrische Produktionsverfahren

Hanspeter Meyer
Claudia Schnetzler

RAVEL - Materialien zu RAVEL

Bundesamt für Konjunkturfragen

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	**ZUSAMMENFASSUNG/RESUME**	**1-1**
2.	**ELEKTROTHERM. PROZESSE: ENTWICKLUNG, VERFAHREN, ENERGIE**	
2.1	ENTWICKLUNG DER ELEKTROVERFAHREN	2-1
2.2	WÄRMEÜBERTRAGUNG	2-2
2.3	VERFAHREN	2-4
2.4	ENERGIE	2-16
3.	**MÖGLICHKEITEN UND BEISPIELE**	
3.1	RATIONELLE ANWENDUNG VON ELEKTROTHERMISCHEN PROZESSEN	3-1
3.2	BEISPIELE	3-4
4.	**VORGEHEN, VERFAHRENSEVALUATION**	
4.1	BESONDERE PLANUNGSHINWEISE	4-1
4.2	INFORMATIONSBESCHAFFUNG	4-1
4.3	VERFAHRENSAUSWAHL	4-2
4.4	STÖRUNGSEMPFINDLICHE GERÄTE UND ANLAGEN	4-2
4.5	NETZRÜCKWIRKUNGEN	4-3
4.6	SUVA-BESTIMMUNGEN	4-4
5.	**WIRTSCHAFTLICHKEIT**	
4.1	BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE GESICHTSPUNKTE	5-1
4.2	ALLGEMEINES	5-1
4.3	ELEKTRIZITÄTSSPEZIFISCHE EINFLUSSFAKTOREN	5-2
4.4	BEISPIELE VON VERBESSERUNGEN DER WIRTSCHAFTLICHKEIT	5-2
6.	**BETRIEB UND UNTERHALT**	
6.1	ELEKTRISCHER VERFAHRENSTEIL UND TECHN. EIGENSCHAFTEN	6-1
6.2	NEBENAGGREGATE UND HILFSSTOFFE	6-3
7.	**LITERATURVERZEICHNIS**	

ANHANG ZUM SCHLUSSBERICHT

ANHANG A	Ablageschema
ANHANG B	Literaturverzeichnis
ANHANG C	Matrix der typischen Elektrowärmeverfahren
ANHANG D	Beschreibung der elektrischen Prozessverfahren

1. ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der Metallerschmelzung in Widerstands-, Induktionsund LichtbogenÖfen wurden die elektrothermischen Prozesse verfeinert und weiterentwickelt. Zusammen mit den neuen Verfahren (Elektronenstrahl, Plasma, Laser, Microwellen usw.) ist heute ein breites Spektrum an elektrothermischen Industrieprozessen vorhanden. In vielen Industriezweigen können damit unzählige Prozesse ausgeführt werden.

Durch die moderne Elektronik auf der Leistungs- und der Steuerungsseite werden neue Anwendungen ermöglicht. Hauptvorteile der elektrothermischen Verfahren sind ihre Integrierbarkeit in Produktionsketten, eine weitgehende Emissionsfreiheit und die MÖglichkeit exakter, gezielter, gut regel- und automatisierbarer Anwendungen. Dadurch können Prozesse beschleunigt oder auf tiefem Temperaturniveau geführt werden, was zu einer Schonung der Produkte führt.

Weil es sich - entsprechend der Bezeichnung - um Verfahren und LÖsungen handelt, die mindestens eine Kombination elektrischer und thermischer Wirkungen beinhaltet, ist es fÜr die erfolgreiche Anwendung entscheidend, vom Planungsbeginn an die Hauptbeteiligten

- Prozessingenieure
- Elektroingenieure
- Thermodynamiker
- Kaufleute
- Stromlieferanten

mit ihrer fachlichen Kompetenz und ihrem Spezialwissen in den Entwicklungsprozess miteinzubeziehen. An die Stelle eines linearen Projektierungsablaufes herkömmlicher Art muss eine breit abgestützte integrale Planung treten, die auf Wechselwirkungen der unterschiedlichen Einflussfaktoren flexibel reagieren kann. Moderne Projektorganisationen und Kommunikationstechniken zur LÖsung solcher vernetzter Aufgaben sind vorhanden.

Richtig angewendete elektrothermische Prozesse können umweltgerechte und wirtschaftliche LÖsungen ermöglichen, weil sie besondere Vorteile aufweisen in den Bereichen:

- Sinnvolle Energie- und Rohstoffnutzung: Schonung der Rohstoffreserven, EnergierÜckgewinnung

- Effiziente Energieumsetzung genau dort wo Wirkungen notwendig sind: Rationelle Energieverwendung (RAVEL)

- Kein oder minimaler Verbrauch von Zusatzstoffen: Keine Umweltbelastungen durch Oxidations- oder andere RÜckstände

- Hoher Stand bezüglich Sicherheit, Qualität und Arbeitsbedingungen in der Umgebung der Prozesse. Humane zukunftsgerechte Produktionsmethoden.

Diese stichwortartige Zusammenstellung und die nachfolgenden Ausführungen sollen einen Ueberblick Über den heutigen Stand der elektrothermischen Prozesse und deren Umfeld geben.

1. RESUME

La fonte de métaux par procédés de résistance électrique, par induction et par arc électrique a permis d'affiner et de développer les procédés électrothermiques. Grâce aux nouveaux modes de faire (rayonnement électrique, plasma, laser, micro-ondes, etc), il existe actuellement une large palette de procédés électrothermiques. L'industrie dispose ainsi d'innombrables procédés.

L'électronique moderne appliquée à la puissance et à la commande permet de nouvelles applications. Les avantages principaux des procédés électrothermiques sont leur capacité de s'intégrer aux chaînes de production, leur faible pollution et la possibilité d'une application exacte, ciblée, bien réglée et automatisable. Ils permettent d'accélérer des transformations ou de les réaliser à des niveaux de température inférieurs, ce qui ménage les produits.

Comme ces procédés sont une combinaison d'effets électriques et thermiques, il est indispensable pour réussir chaque application d'associer tous les intervants dès le début de la planification:

- les ingénieurs des procédés
- les ingénieurs électriciens
- les thermodynamiciens
- les vendeurs
- les producteurs d'électricité

Leurs compétences professionnelles et leur savoir-faire spécifique est indispensable au bon développement du procédé. En lieu et place d'une planification linéaire selon le mode traditionnel, il faut introduire une planification intégrale apte à réagir de manière flexible en fonction des différents facteurs d'influence.
Il existe actuellement des organisations de projets et des techniques de communication capables de résoudre des pluridisciplinaires.

Bien utilisés, ces procédés électrothermiques permettent d'obtenir des solutions rentables et ménageant l'environnement. Ils apportent des avantages importants dans les domaines suivants:

- Utilisation rationnelle de l'énergie et de la matière: épargne des réserves de matières premières,

- Transformation efficace et performante de l'énergie (RAVEL)

- Peu ou pas d'utilisation de produits auxiliaires: pas d'atteinte à l'environnement par oxydation ou d'autres résidus.

- Niveau élevé de sécurité, de qualité et des conditions de travail. Méthodes de production respectant l'avenir.

Ce résumé, ainsi que les présentations du rapport donnent un aperçu de l’état actuel des procédés électrothermiques ainsi que de leur champ d’application.

2. ELEKTROTHERMISCHE PROZESSE: ENTWICKLUNG, VERFAHREN

2.1 ENTWICKLUNG DER ELEKTROVERFAHREN

Die klassischen Elektrowärmeverfahren - Widerstands-, Lichtbogen und Induktionserwärmung - dienten hauptsächlich zur Massenproduktion und Metallerschmelzung.

Die primären Anforderungs- und Anwendungskriterien waren und sind:

- Wirtschaftlichkeit
- Qualitätsanforderungen der Metallschmelzen bezüglich Reaktionen mit der Umgebung (Sauerstoff, Stickstoff, Kohle, Verbrennungsrückstände)
- Einsatztemperaturbereiche
- Regulier- und Steuerbarkeit
- Reproduzierbarkeit von Produktionsabläufen

Zum integrierten Einsatz in modernen, hoch automatisierten Produktionsabläufen werden die elektrothermischen Prozesse gezielt weiterentwickelt. Dabei stehen die folgenden Punkte im Vordergrund:

- Lokale Produkteveredelung
  * Härten
  * Beschichten

- Konditionierungen
  * Trocknen
  * Haltbarmachen

- Verpackung und Schutz
  * Verschliessen
  * Schrumpfen
  * Verschweissen

- Geometrische Bearbeitung
  * Trennen, Schneiden
  * Bohren
  * Erodieren

- Zusammenfügen
  * Schweissen
  * Löten

- Herstellung und Bearbeitung neuer Werkstoffe
  * Keramik
  * Sondermetalle

Das Anwendungsspektrum der modernen Verfahren ist durch die Einführung computergestützter Prozessleitsysteme enorm erweitert worden. Es ist möglich, die Verfahren exakt auf die Anforderungen auszurichten und hohe Qualitätsstandards stabil und kontrollierbar zu erfüllen. Dank der Leistungselektronik sind auch Integrationen in Produktionsketten mit vorgegebenen Zykluszeiten möglich.

2.2 WÄRMEÜBERTRAGUNG

Wärmeübertragung von einem thermodynamischen System auf ein anderes geschieht durch Wärmeleitung, Konvektion oder Wärmestrahlung oder eine Kombination dieser Vorgänge.

Im Folgenden sollen diese WärmeÜbertragungsarten etwas genauer ausgeführt werden:

Wärmeleitung

Das Auftreten der Wärmeübertragung durch Leitung (konduktive Uebertragung) ist an das Vorhandensein von Materie gebunden. Ein Wärmeaustausch findet nur zwischen sich berührenden Körpern statt. Durch Uebertragung der Wärmeschwingungen der Teilchen an den Kontaktflächen und ihre Weiterleitung an die benachbarten Teilchen im kälteren Körper durch StÖsse werden Temperaturunterschiede zwischen Körpern ausgeglichen, wobei es von warm nach kalt zu gerichteten wärmeströmen kommt.

In Metallen erfolgt der Wärmetransport primär durch die untergeordnete Bewegung der freien Leitungselektronen die durch elastische StÖsse die Metallionen im Kristallgitter in Wärmeschwingungen versetzen. In Isolatoren werden die Schwingungen der Teilchen bindungsunabhängig als hochfrequente elastische Wellen Übertragen. In Fluiden, d.h. FlÜssigkeiten oder Gasen kommt die Wärmeleitung durch elastische StÖsse der thermisch bewegten MolekÜle zustande, wobei sich die mittlere kinetische Energie der MolekÜle lokal ausgleicht.

Konvektion

Grenzen ein flüssiges oder gasförmiges medium - also ein Fluid und ein fester Körper mit unterschiedlicher Temperatur aneinander, so findet eine normale konduktive WärmeÜbertragung statt. Das Fluidum wird dann natürlich oder künstlich weggespült und kann an einem andern Ort wieder durch konduktive WärmeÜbertragung einen andern Körper erwärmen. Ein Wärmestrom zwischen zwei entfernten Körpern wird durch ein makroskopisch bewegtes Fluidum hergestellt. Auf diese Weise findet ein Temperaturausgleich zwischen zwei durch ein Fluidum verbundene, einander nicht berührende Körper statt.

Wärmestrahlung

Jeder Körper strahlt infolge der molekularen Wärmebewegung an seiner Oberfläche elektromagnetische Wellen aus (Emission) und kann umgekehrt elektromagnetische Wellen aufnehmen und in molekulare Wärmebewegung umwandeln (Absorption). Auf diese Weise kann Energie ohne materielles Medium auf Distanz Übertragen werden, optimal im Vakuum.

Die Emissions- und Absorptionsrate (Leistung) ist von der Oberflächenbeschaffenheit abhängig und bei sogenannten schwarzen Körpern maximal (keine Refklexion!). Zusätzlich ist die Intensität

und das Spektrum (Wellenlänge) der emittierten Strahlung von der Temperatur des strahlenden KÖrpers abhängig (siehe Figur 3, Anhang D)

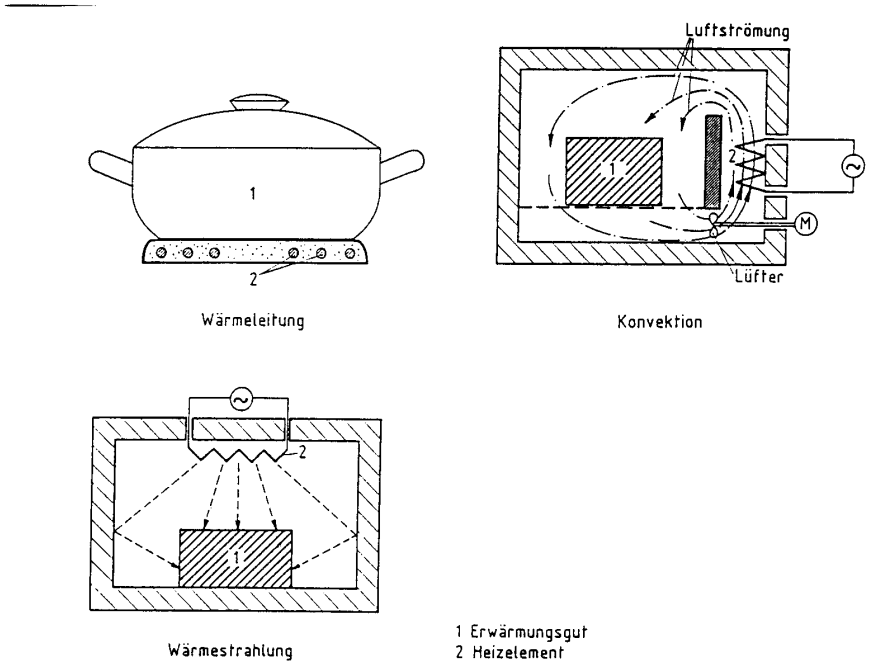
Charakteristische Eigenschaften der Wärmestrahlung sind:

- Der hauptsächliche Anteil der Wärmestrahlung liegt meist im Infrarot-Bereich. Dieser schliesst an den Bereich des sichtbaren Lichts an, beginnt also bei einer Wellenlänge von rund 0,78 #m, und erstreckt sich bis zu Wellenlängen von etwa 400 #m.

- Die Strahlenintensität steigt mit zunehmender Temperatur Überproportional an (4. Potenz) das spektrale Maximum verschiebt sich gleichzeitig gegen kleinere (energiereichere) Wellenlängen.

Beispiele

Die konventionelle Kochplatte ist ein Beispiel für Wärmeleitung. Im Heissluft-Widerstandsofen wird die Wärme durch Konvektion auf das Gut Übertragen. Eine Anwendung der Wärmestrahlung ist der Infrarotofen.



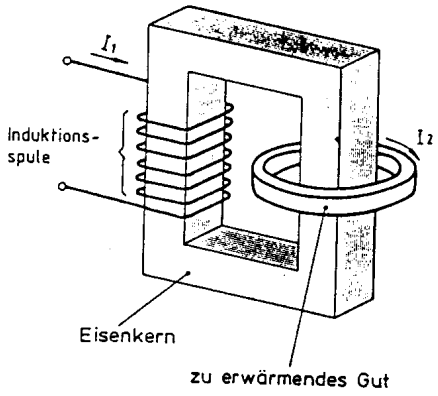
Figur 2.1: Grundtypen der Wärmeübertragung
1 Erwärmungsgut·
2 Heizelement

2.3 VERFAHREN

2.3.1 Induktionserwärmung

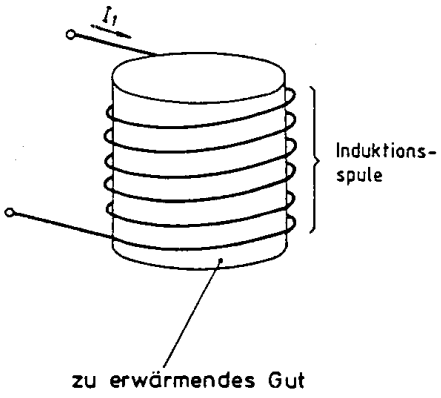
Bei der Erwärmung mit Hilfe der induktiven EnergieÜbertragung sind zwei Grundprinzipien zu unterscheiden:
- Induktive Erwärmung mit Eisenkern
- Induktive Erwärmung ohne Eisenkern

Die Erwärmungsanordnung mit Eisenkern kann als Netztransformator aufgefasst werden. Eine auf den Trafokern aufgewickelte Spule wird mit einem Wechselstrom gespeist, so dass im Kern ein magnetischer Wechselfluss hervorgerufen wird. Das zu erwärmende Gut ist in der Anordnung der Figur 2.2 die Sekundärspule mit nur einer, kurzgeschlossenen Windung. Die induzierte Wechselspannung erzeugt darin entsprechend der elektrischen Leitfähigkeit einen Strom, der die Erwärmung nach dem Joule'schen Gesetz bewirkt.



Figur 2.2: Grundprinzip der induktiven Erwärmung mit Eisenkern

Die Erwärmungsanordnung ohne Eisenkern kennzeichnet sich dadurch, dass der magnetische Hauptfluss statt durch den Eisenkern durch das zu erwärmende Gut selbst geführt wird. Dadurch stehen dort die elektromagnetischen FeldgrÖssen zueinander in Wechselwirkung, so dass sie von der Gutsoberfläche aus nach innen abnehmen. Die Dicke der Oberflächenschicht, in welcher Überhaupt ein nennenswerter Stromfluss entsteht, wird durch die Stromeindringtiefe gekennzeichnet. Die Stärke dieses Skineffektes wird durch die Frequenz des Stromes bestimmt und durch die elektrischen Eigenschaften (Leitfähigkeit und Permeabilität) des zu erwärmenden Gutes. DarÜber hinaus hängt die Örtliche Verteilung der induzierten Spannung ab von GrÖsse und Form des zu erwärmenden Gutes und von der Form und Anordnung der Induktionspule.



Figur 2.3: Grundprinzip der induktiven Erwärmung ohne Eisenkern

Alle Werkstoffe, die den elektrischen Strom leiten, lassen sich induktiv erwärmen.

2.3.2 Lichtbogenerwärmung

Der Lichtbogen-Erwärmungsvorgang wird mit einer ZÜndung eingeleitet. Der Stromfluss durch die touchierenden Elektroden führt bei der darauffolgenden Trennung derselben zur Elektronenemission aus der glühenden Kathode. Im elektrischen Feld zwischen Kathode und Anode entsteht durch Stossionisation der Elektronen mit den Gasmolekülen eine elektrisch leitende Gassäule. Die Ionen werden durch das elektrische Feld beschleunigt und schiessen auf die Kathode. Dadurch entstehen dort Temperaturen, die zur Aufrechterhaltung der Elektronenemission genügen. Die Wärme wird beim brennenden Lichtbogen durch Leitung, Konvektion und Strahlung Übertragen.

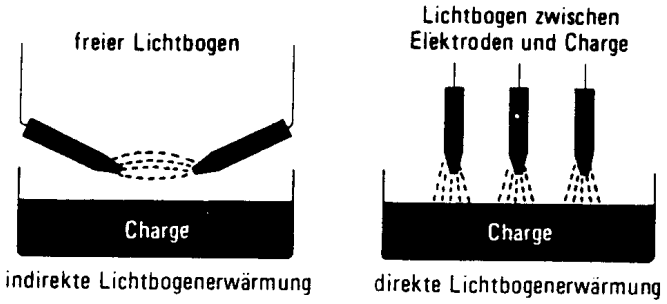


Abb. 8: Lichtbogenschmelzen mit Gleich- und Wechselstrom

Figur 2.4: Prinzip der direkten und indirekten Lichtbogenerwärmung

Die Funkenerosion ist eigentlich auch eine Anwendung der Lichtbogenerwärmung, soll aber wegen der etwas verschiedenen Technik und ihrem grossen Anwendungsgebiet separat behandelt werden.

2.3.3 Funkenerosion

Das Funkenerodieren ist ein abtragendes Fertigungsverfahren durch Lichtbogenerwärmung zum thermischen Trennen von Materialien mit guter elektrischer Leitfähigkeit. Der Lichtbogen wird hervorgerufen durch zeitlich voneinander getrennte, gepulste elektrische Entladungen. Das Prinzip der elektroerosiven Metallbearbeitung ist in Figur 2.5

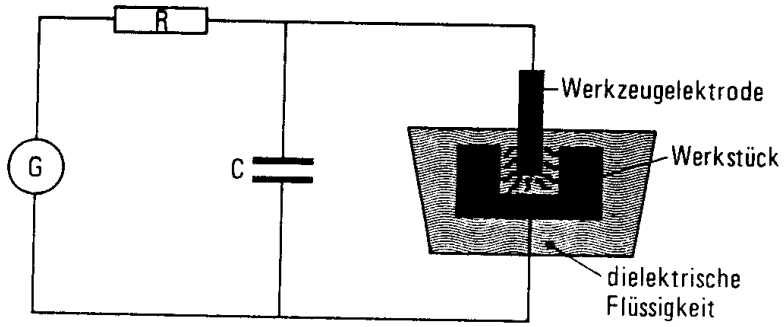


Abb. 57: Prinzip der erosiven Metallbearbeitung

dargestellt:

Figur 2.5: Prinzip der elektroerosiven metallbearbeitung

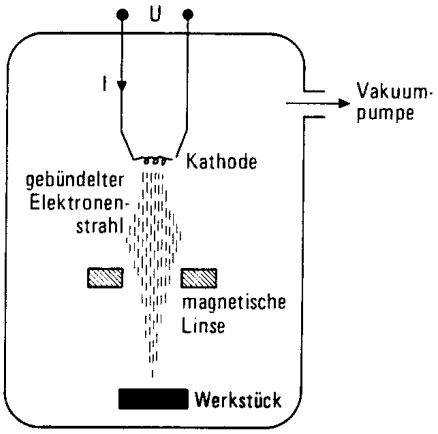
Die Form der Werkzeugelektrode ist derjenigen des herzustellenden WerkstÜckes angepasst. Durch Funken zwischen dem WerkstÜck und der Elektrode wird das Material (vor allem Metalle und Legierungen) geschmolzen und abgetragen. Die Metallabtragung beim Erodieren geschieht unter Zuhilfenahme einer isolierenden (dielektrischen) FlÜssigkeit.

Die Funkenerosion kann mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden. Wesentliche Vorteile sind die grosse Bearbeitungsgeschwindigkeit und einfache Automatisierung und die hohe OberflächengÜte des bearbeiteten Materials. Selbst das Senken gewünschter Formen in gehärteten WerkstÜcken ist möglich. Da bei der Bearbeitung keine grossen mechanischen Kräfte zwischen Elektrode und WerkstÜck auftreten, wird auch das Bearbeiten sehr dünner WerkstÜcke und Materialien mit geringer Festigkeit und das Herstellen scharfer Konturen möglich.

2.3.4 Elektronenstrahl

In einer sogenannten Elektronenkanone werden aus einer elektrisch beheizten Kathode aus Wolfram oder Tantal bei Temperaturen bis zu 2900K Elektronen ins Vakuum emittiert. Diese werden magnetisch gebündelt und in einem zusätzlich angelegten elektrischen Feld zur Anode beschleunigt. Diese ist entweder das WerkstÜck selbst, oder sie lässt die schnellen Elektronen durch ein Loch auf das WerkstÜck ausserhalb der eigentlichen Elektronenkanone auftreffen.

Das elektrische Feld zur Beschleunigung hat eine Stärke von 50 kV bis 3000 kV und wird entweder durch eine Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode (elektrostatischer Beschleuniger) oder durch Mikrowellen (linearer Beschleuniger) erzeugt. Nach Beschleunigung wird der Elektronenstrahl durch eine elektromagnetische Linse



gebündelt.

Figur 2.6: Prinzip der Elektronenstrahlerwärmung

Die Energie des Elektronenstrahls kann entweder am Auftreffpunkt in Wärme umgewandelt werden (thermischer Effekt), oder durch Wischen eine radiochemische Reaktion auslösen, die das Produkt verändern kann.

Im allgemeinen findet die Erwärmung mit Elektronenstrahlen im Vakuum statt um im vorhandenen elektrischen Feld eine maximale Beschleunigung der Elektronen zu erhalten.

FÜr grosse Leistungen ist ein starkes beschleunigendes Feld bzw. eine grosse Beschleunigungsspannung notwendig. Die Leistung ist auch proportional von der Anzahl der auftreffenden Elektronen pro Zeit also vom Elektronenstrom abhängig, der einfach als elektrische Stromstärke gemessen werden kann.

2.3.5 Widerstandserwärmung

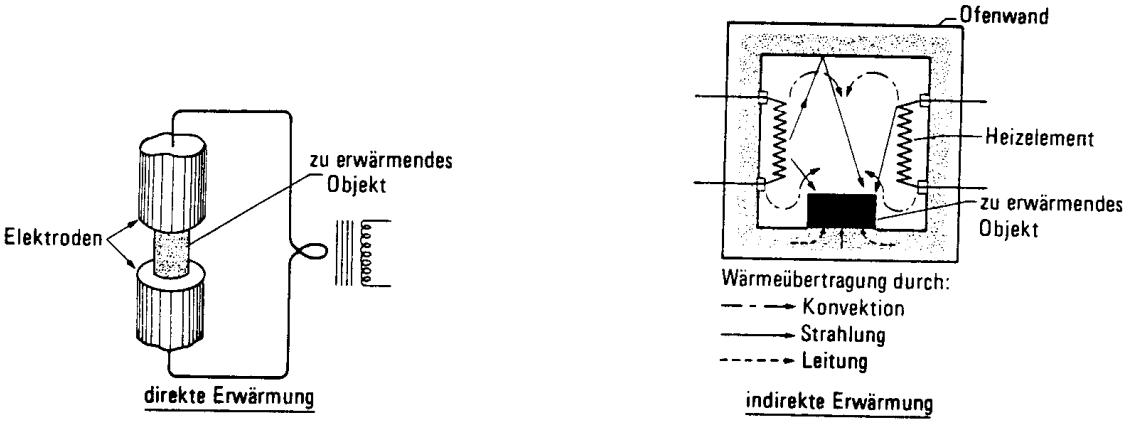
Die Widerstandserwärmung als einfache, herkömmliche Elektroprozessanwendung beruht auf dem Joule'schen Gesetz, nach dem in einem stromdurchflossenen Stoff infolge seines Widerstandes Wärme erzeugt wird. Dabei ist zu beachten, dass der spezifische Widerstand des Leiters - und damit die Wärmeerzeugung - temperaturabhängig ist.

Technisch unterscheidet man zwischen direkter (unmittelbarer) Widerstandserwärmung (konduktive Erwärmung) und indirekter (mittelbarer) Widerstandserwärmung.

Bei der direkten Widerstandserwärmung ist das WerkstÜck selbst der elektrische Leiter, so dass die Wärme direkt in ihm entsteht.

Bei der indirekten Widerstandserwärmung wird die Wärme in Heizelementen ausserhalb des WerkstÜckes erzeugt. Das zu erwärmende Gut und die Heizelemente sind normalerweise in einem abgeschlossenen Ofenraum angeordnet. Die WärmeÜbertragung erfolgt durch Konvektion, Strahlung und Leitung. Dieser Ofentyp ist dank seiner Einfachheit in Aufbau und Handhabung sehr weit verbreitet. (Backofen ...)

Auch die Infrarotstrahlung ist demnach eine mittelbare Widerstandserwärmungsmethode. Sie soll jedoch separat beschrieben werden, da sie ganz andere Anwendungsgebiete hat als die klassische Widerstandserwärmung.



Figur 2.7: Prinzipieller Vergleich von direkter und indirekter Widerstandserwärmung

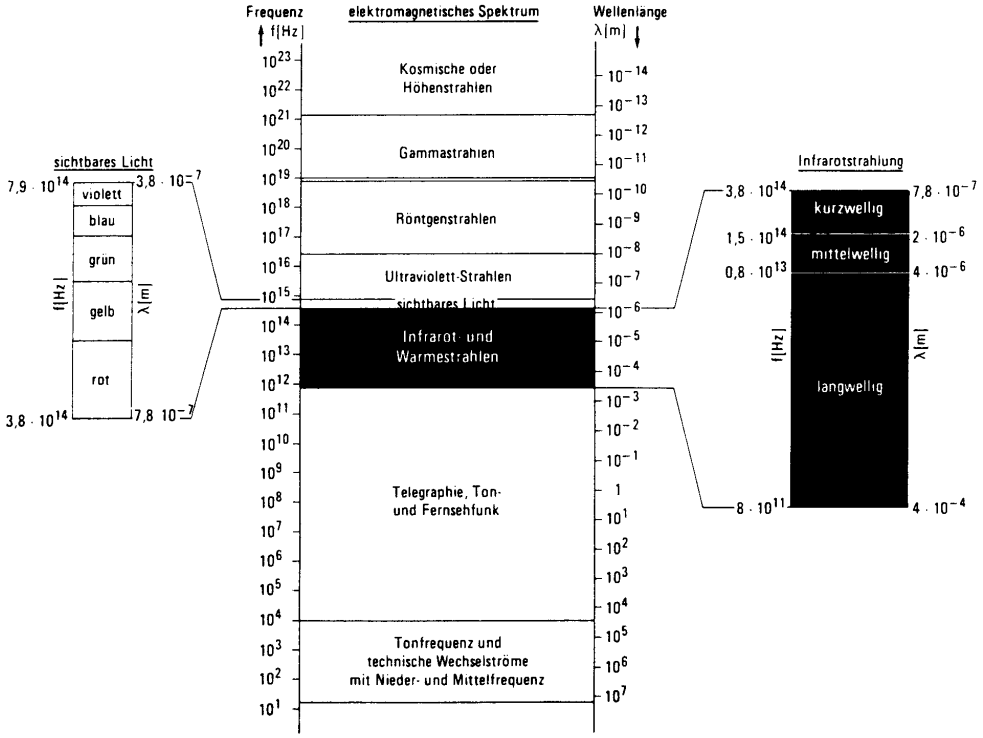
2.3.6 Strahlungserwärmung

Die Strahlungserwärmung ist eine indirekte Methode, bei der ein Heizelement (z.B. Heizwiderstand) elektrisch erhitzt wird und das Gut hauptsächlich durch Wärmestrahlung erwärmt. Intensität und Wellenlänge der Strahlung hängen von der Temperatur des Heizelementes ab.

Obwohl die Strahlungserwärmung im Prinzip der indirekten Widerstandserwärmung zugerechnet werden kann, rechtfertigt ihr grosses Anwendungsgebiet eine separate Behandlung.

Strahlungswärme kann wie sichtbares Licht fokussiert und reflektiert werden.

Bei der Strahlungserwärmung unterscheidet man Infrarotstrahlung, dessen Frequenzspektrum unterhalb des sichtbaren Lichtes liegt und Ultraviolettstrahlung mit einem Frequenzspektrum Über dem sichtbaren Licht.



Figur 2.8: Frequenzen und Wellenlängenbereiche
elektromagnetischer Schwingungen

Oberflächen absorbieren je nach Beschaffenheit einen mehr oder weniger grossen Teil der elektromagnetischen Strahlung der sie ausgesetzt werden. Dieser Teil entspricht der Energie, die im bestrahlten KÖrper in Wärme umgewandelt wird.

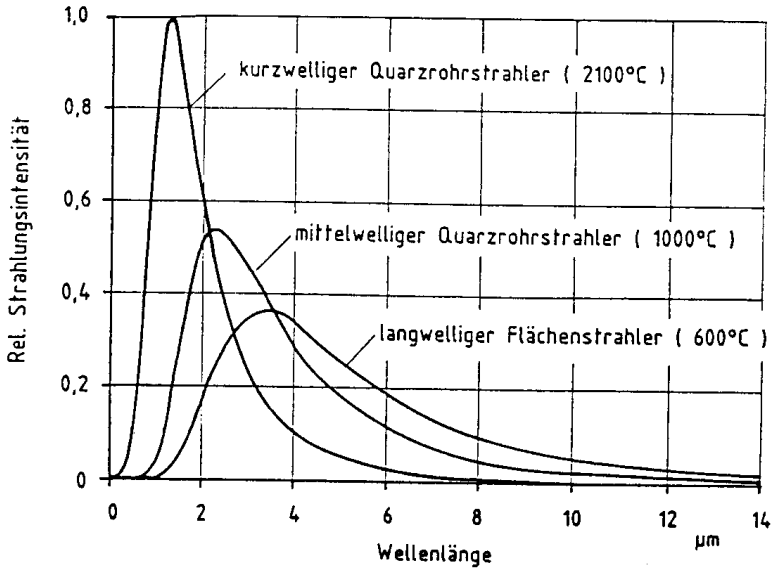
2.3.6.1 Infraroterwärmung

Die Wärme wird durch elektromagnetische Strahlung Übertragen. Im Falle der Infrarotstrahlung handelt es sich um photothermische Energie.

Intensität und Wellenlängenbereich oder -band der Abstrahlung eines Heizelementes hängen von dessen Temperatur ab. Man unterscheidet die Infrarotstrahler nach ihrer Wellenlänge:

Kurzwellige Strahler 0,4 - 2,0 µm
Mittelwellige Strahler 2,0 - 3,8 µm
Langwellige Strahler 3,8 µm - 0,4 mm

Technisch nutzbar ist nur der Anteil der Infrarotstrahlung mit Wellenlängen zwischen 0,8 µm und etwa 10 µm. Mit grösser werdender Wellenlänge wird die absorbierte Energiemenge geringer. Die verschiedenen Infrarotstrahler haben ihre besonderen physikalischen Eigenschaften und ihr spezielles technisches Einsatzgebiet.



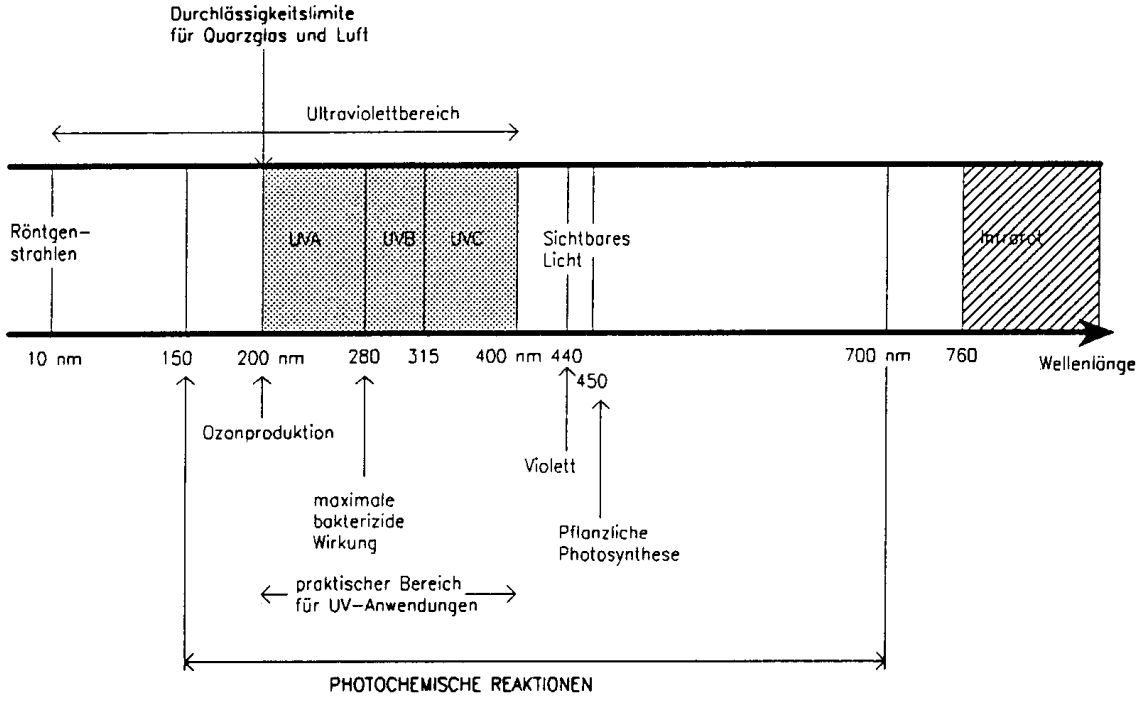
Figur 2.9: Emissionsspektren von Infrarotstrahlern gleicher Gesamtstrahlungsleistung

2.3.6.2 Ultraviolettstrahlung

Auch die Ultraviolettstrahlung besteht aus elektromagnetischen Wellen, mit Wellenlängen zwischen 10 und 400 nm.

Das Spektrum des UV-Lichtes liegt zwischen denjenigen der Röntgenstrahlen und dem des sichtbaren Lichtes. In der Praxis der industriellen Anwendungen wird ein Wellenlängenbereich von 150 bis 700 nm benützt, der in den Bereich des sichtbaren Lichtes übergreift.

Die Frequenzen der UV-Strahlung sind so, dass ihre Energie in der GrÖssenordnung der Atomverbindung liegt und so chemische Reaktionen auslösen kann. UV-Strahlung erzeugt photochemische Energie.



Figur 2.10: Spektrum der UV-Strahlung

Eine Abschirmung ist unbedingt erforderlich (Ozonbildung). Die UV-Strahlung eignet sich vor allem für die Oberflächenbearbeitung und die Behandlung von dünnen Produkten.

2.3.7 Dielektrische Erwärmung

Die dielektrische Erwärmung beruht auf dem Prinzip der Erregung (Wärmebewegung) von elektrisch polaren molekülen in meist nichtleitenden Stoffen unter Einwirkung eines hochfrequenten elektrischen Feldes. Die pro Volumen in Wärme umgewandelte Leistung nimmt quadratisch mit der Feldstärke und linear mit der Frequenz des elektrischen Wechselfeldes zu. Sie hängt ausserdem auch noch vom dielektrischen Verlustwert des behandelten Stoffes ab.

Bei der dielektrischen Erwärmung unterscheidet man zwei Technologien:

- Hochfrequenzerwärmung im elektrischen Feld eines Kondensators
- Mikrowellenerwärmung im elektromagnetischen Strahlungsfeld von fortschreitenden oder stehenden Wellen.

2.3.7.1 Hochfrequenzerwärmung

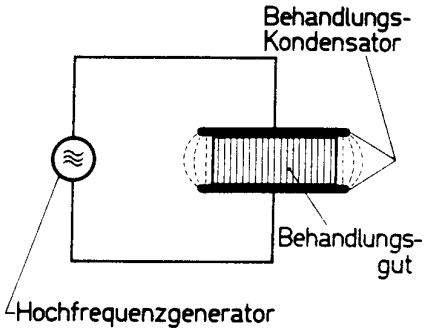
Bei der Hochfrequenzerwärmung im Kondensatorfeld wird eine Spannung mit einer Frequenz von 2 bis 100 MHz zwischen zwei oder mehr Elektroden angelegt.

In den Frequenzbändern	
13,56 MHz	± 0,06 %
27,12 MHz	± 0,6 %
40,68 MHz	± 0,05 %
unterliegt die	gesetzlich zulässige nach aussen abgestrahlte
StÖrfeldstärke	keiner Begrenzung. Die gebräuchlichste Industrie-

frequenz ist die mittlere, schon wegen der grösseren Toleranz.

Die Spannung zwischen den Elektroden muss auf werte beschränkt werden, bei denen zuverlässig ausschliessbar ist, dass keine elektrischen Durchschläge oder Ueberschläge stattfinden können.

Zur Energieversorgung dient ein RÖhrengenerator oder ein Quarzoszillator (Frequenzerzeugung) mit nachgeschaltetem Leistungsverstärker. Als Verbindungsleitung zwischen Generator und Heizkondensator dient ein Koaxialka-



bel.

Figur 2.11: Prinzip der dielektrischen Erwärmung im Kondensatorfeld

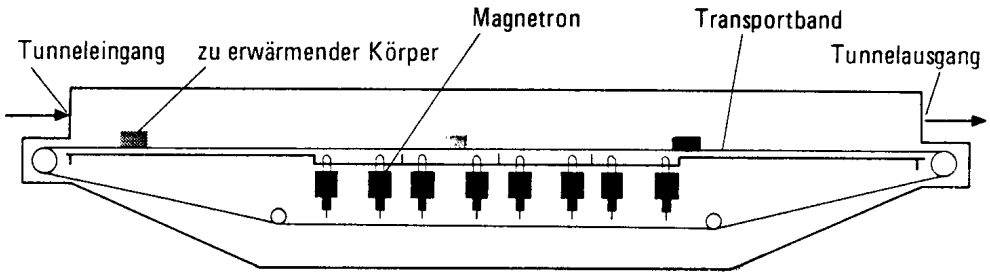
2.3.7.2 Mikrowellenerwärmung

Von den fÜr wissenschaftliche, medizinische und industrielle Anwendungen zugelassenen Frequenzbändern werden im Mikrowellenbereich hauptsächlich die folgenden Frequenzbereiche verwendet:

915 MHz ± 13 MHz
2450 MHz ± 50 MHz

Beim Auftreffen der Mikrowellenstrahlung auf die Oberfläche des zu erwärmenden Gutes wird ein Teil reflektiert. Der absorbierte Anteil dringt ins Erwärmungsgut ein und wird in Wärme umgewandelt.

Die Hauptbestandteile einer Anlage zur Mikrowellenerwärmung sind die Stromversorgungseinrichtungen wie Hochspannungstransformator und Gleichrichter, das Magnetron, die Mikrowellen-Uebertragungsglieder (Hohlleiter) so-



wie die eigentliche Erwärmungsvorrichtung.

Figur 2.12: Tunnelofen für die Mikrowellenerwärmung

2.3.8 Plasmaerwärmung

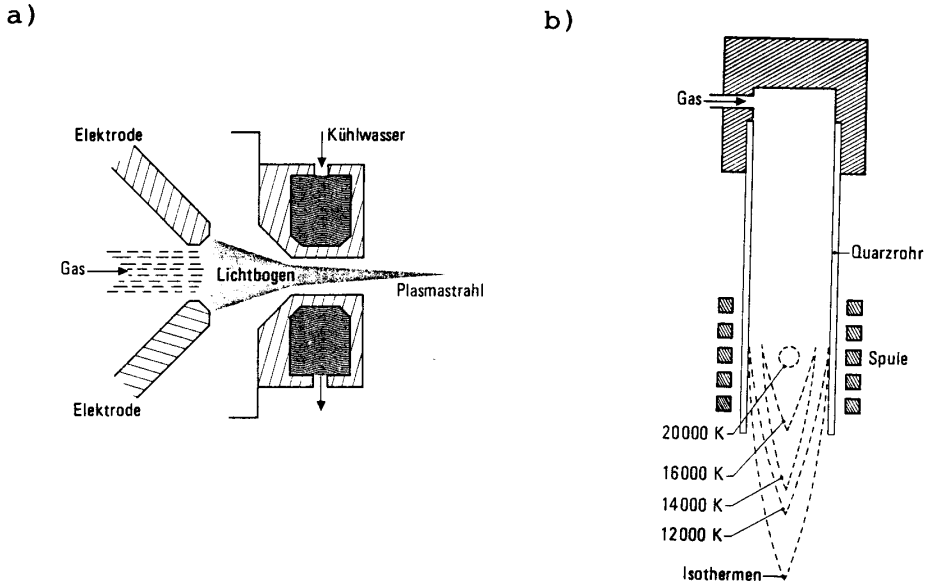
Werden Gase hohen Temperaturen und starken elektrischen Feldern ausgesetzt, treten freie Elektronen aus deren AtomhÜllen aus. Es entsteht eine Mischung von freien Elektronen (-), Ionen (+) und elektrisch neutralen Atomen bzw. MolekÜlen, ein Plasma. Es verhält sich wie ein elektrisch leitender Stoff (Gas).

Wird ein Plasmastrahl von einem elektrischen Strom durchflossen (Gasentladung), kann er mit einem elektromagnetischen Feld eingeschnürt werden. Dabei entsteht gleichzeitig eine starke Temperaturerhöhung, besonders im Kern. FÜr industrielle Anwendungen werden je nach Gas 7000 °K bis 20'000 °K erreicht. Damit lassen sich viele Stoffe schmelzen und verdampfen.

Es gibt zwei verschiedene Techniken zur Erzeugung eines Plasmastrahles:

- Der (Licht-) Bogenplasmabrenner, bei dem - vereinfacht dargestellt - ein Gas durch einen brennenden Lichtbogen geblasen wird.

- Der Hochfrequenzplasmabrenner (induktiver Plasmabrenner), bei dem die Ionisation und Erhitzung des Gases in einem Quarzrohr erfolgt, um das eine, von einem hochfrequenten (5 bis 60 MHz) Wechselstrom durchflossene,

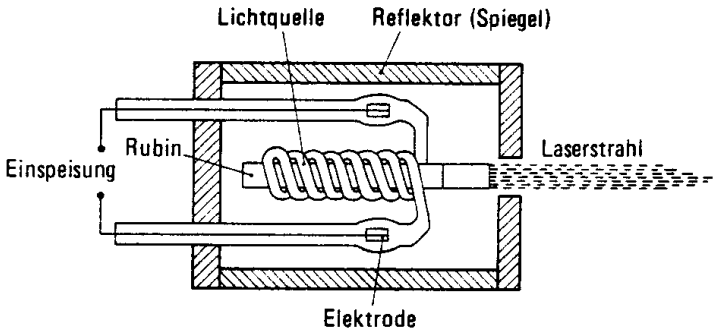


Spule gelegt ist.

Figur 2.13: Prinzip der Plasmabrenner
a) Lichtbogenplasmabrenner
b) Hochfrequenzplasmabrenner

2.3.9 Lasererwärmung

Der Laser (engl. Light amplifaction by stimulated emission of radiation) ist im Prinzip ein Verstärker fÜr elektromagnetische Wellen. Er besteht im Wesentlichen aus einem laseraktiven Medium (C02; Rubin etc.) und einer Lichtquelle.



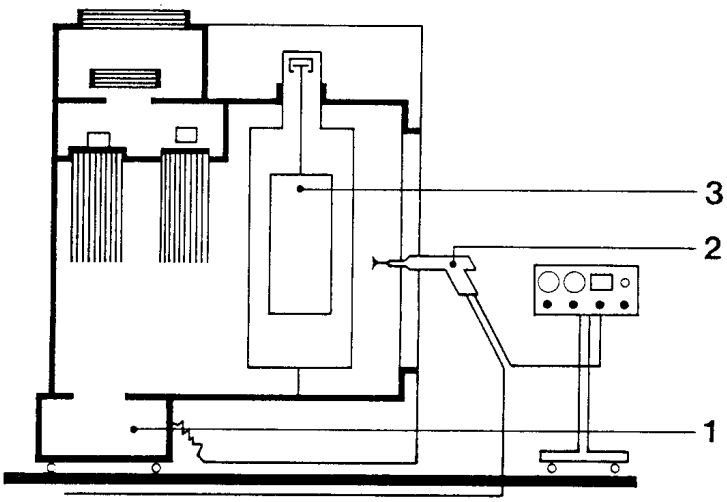
Figur 2.14: Prinzip des Rubin-Lasers

Die Licht- bzw. Energiequellen der Laser sind elektrische Lampen. Bei Pulslaser z.Bsp. Xenon-Blitzlampen. Die Erzeugung des Lichtes erfolgt durch elektrische Entladung zwischen zwei Elektroden in einer gasgefüllten Röhre.

Das Laserlicht ist parallel, kohärent, ev. polarisiert und monochromatisch, hat also einen äusserst schmalen Wellenlängenbereich. Dadurch lässt es sich mit normalen optischen Mitteln auf einen äusserst kleinen Brennpunkt (Fokus) konzentrieren. Die EnergieÜbertragung geschieht berührungsfrei und ist abhängig vom Lasersystem, der Bearbeitungsoptik und dem zu bearbeitenden Material. Bei den mit Laser zu bearbeitenden Materialien sind der Absorptionsgrad, die Wärmeleitung und die fÜr den Bearbeitungsvorgang charakteristischen Umwandlungstemperaturen und -energien von Bedeutung.

2.3.10 Pulverbeschichtung

Die elementare Idee hinter der elektrostatischen Pulverbeschichtung beruht auf der Tatsache, dass sich Teile mit entgegengesetzter elektrischer Ladung anziehen. Daher eignen sich auch die meisten elektrisch leitenden oder thermisch stabilen FestkÖrper fÜr die Pulverbeschichtung.



Figur 2.15: Prinzip eines Pulverbeschichters

Das trockene Beschichtungspulver wird in den Vorratsbehälter (1) gefüllt, fluidisiert oder umgerührt und mittels Druckluft zur SprÜhpistole (2) gefördert. In der Pistole entsteht aus einer Niederspannung von 10 V nach dem Kaskadenprinzip Hochspannung, und eine oder mehrere Elektroden laden hier das Pulver beim SprÜhen mit 60 - 100 kV auf.

Zwischen der Pistole und dem geerdeten Werkstück bildet sich ein elektrisches Feld. Die Pulverpartikel folgen dessen Feldlinien und bleiben aufgrund der Restladung auf dem Objekt (3) haften. So veredelte WerkstÜcke können dann manuell oder automatisch zu einem Trockner gefördert werden, wo das Pulver zu einem glatten Film geschmolzen und ausgehärtet wird.

Die wesentlichsten Vorteile der Pulverbeschichtung liegen in seiner Lösemittelfreiheit und darin, dass der Ueberschuss an Pulver zurückgewonnen werden kann.

Die Pulverbeschichtung gehört an und für sich nicht in die Reihe der elektrothermischen Prozessverfahren, ist aber in seiner Anschaulichkeit gut geeignet, elektrische Verfahren bekannt zu machen, weshalb es in diese Reihe aufgenommen wurde.

2.4 ENERGIE

2.4.1 Grundsätzliches

Mit allen Prozesswärmeverfahren werden definierte Zustandsänderungen möglichst genau herbeigeführt.

Dazu ist immer eine bestimmte menge oder ein Teil eines Gutes in einer definierten Zeit auf eine vorgegebene Temperatur zu bringen oder auf einem Temperaturniveau zu halten.

Die dazu notwendige Nutzleistung P_{Nutz} ist:

$$P_{Nutz} = M_G * \Delta h_G/TE$$

Mit MG = Menge oder Teil des zu erwärmenden Gutes

Δh_G = ErhÖhung der spezifischen Gutsenthalpie zwischen Anfangs- und Endzustand (Normalerweise in Form einer Erwärmung um eine Temperaturdifferenz AT.)

T_E = Zeit für Δh_G

Der zeitliche Ablauf des Erwärmungsvorganges und damit der Leistungsverlauf ist normalerweise gegeben durch:

- Technologische GrÜnde wie Temperaturgradienten fÜr Gefügeumwandlungen oder Vermeidung Örtlicher Ueberhitzungen.

- Verfahrensspezifische GrÜnde wie Verkettung mit andern Teilprozessen, Maximaltemperaturen, geometrische Randbedingungen.

- Produktionszyklen bei integrierten Fertigungsanlagen.

2.4.2 Energiebedarf

Prinzipiell setzt sich der Energiebedarf W_{zu} zusammen aus der Aktivenergie W_A und der Summe der Verlustenergien W_v.

W_A ist die Nutzenergie, die zur Enthalpieerhöhung des gewünschten Teils notwendig ist. Bei partiellen Erwärmungen wie Schweissen, Löten, Oberflächenhärten fallen also nur die entsprechenden Teilmengen in Betracht.

W_V als Summe der Verlustenergien beinhaltet vor allem folgende Verlustanteile:

* Abstrahlung und Konvektion der Anlagen im Betrieb

* Erwärmung von Fluid-Stoffströmen wie Schutzgase, Kühlwasser, Kühlluft ...

* Erwärmung zusätzlicher Stoffmassen, Gefässe,

* Uebermässige Energiezufuhr Über die erforderliche Aktivenergie hinaus.

Der letzte Verlustanteil ist zugleich einer der entscheidenden Vorteile der Elektrotechnologien, die sich fÜr partielle Bearbeitungen eignen (Hochfrequenzerwärmung, Elektronen- oder Laserstrahlerwärmung).

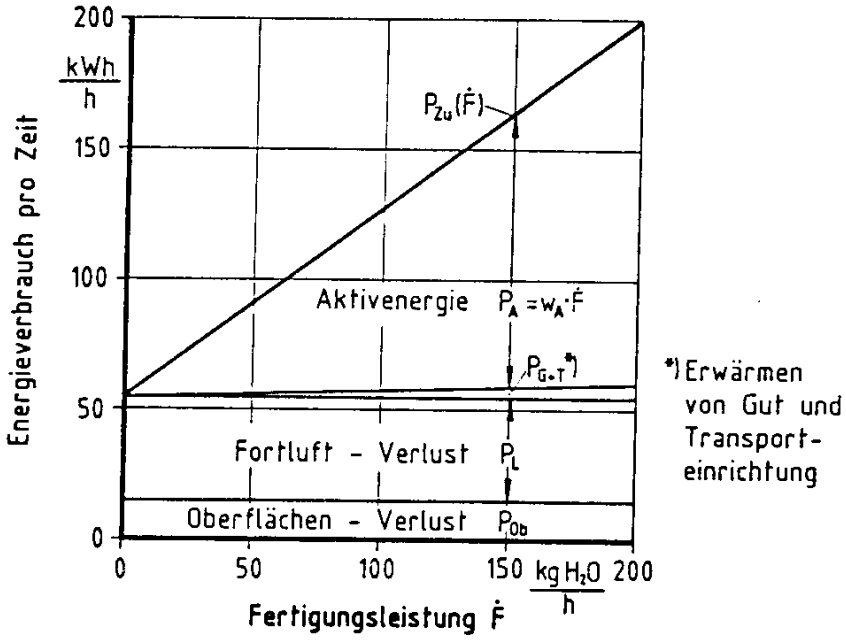
Bei der dielektrischen Trocknung nehmen nur die wasserhaltigen Partien Energie auf: mit fortschreitender Trocknung vermindert sich die Leistungsaufnahme “selbstregelnd”.

Die Rolle der einzelnen Verlustanteile innerhalb einer Anlagenenergiebilanz ist ausserordentlich verschieden. Nur das Zusammenwirken aller Faktoren bestimmt das energetische Betriebsverhalten einer Anlage.

Bei allen energetischen Ueberlegungen sind zwei wesentliche Faktoren zu berücksichtigen:

1. Die energetische Kennlinie für den stationären Betrieb der Anlage. Darin ist normalerweise der lineare Zusammenhang zwischen Lastgrad und zugeführter Energie gut ersichtlich. Ebenso die mehr oder weniger davon unabhängigen Verlustanteile: Bild 2.4.2 zeigt diese Zusammenhänge am Beispiel eines Durchlauftrockners. Das erste Bild zeigt die energetische Kennlinie im stationären Betrieb, wobei klar ersichtlich ist, dass der nahezu konstante Verlustanteil mit zunehmener Fertigungsleistung an Bedeutung verliert.

Das zweite Bild stellt den gleichen Zusammenhang als Wirkungsgrad bzw. spezifischen Energieverbrauch dar.



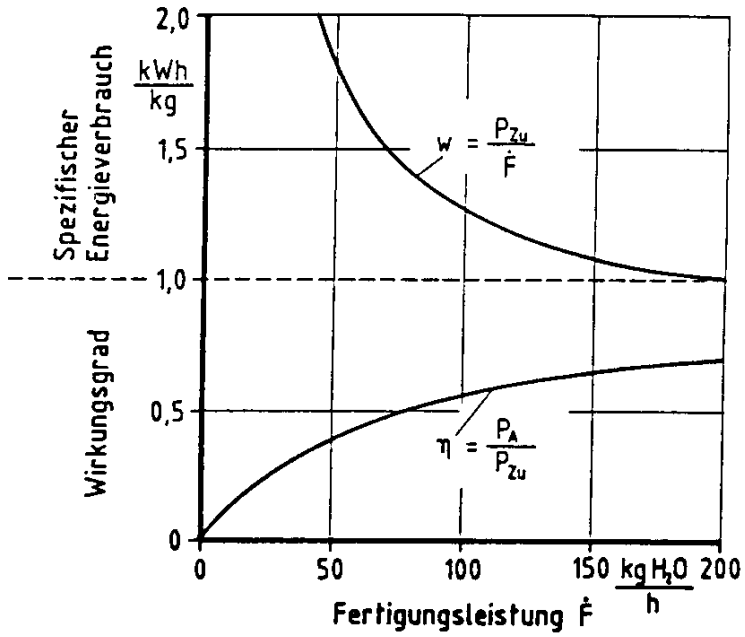


Bild 2.4.2: Elektrischer Durchlauftrockner im stationären Betrieb

2. Zum Energieverbrauch unter stationären Bedingungen kommt fÜr Anfahrlastwechsel- und Auslaufzeiten ein instationärer zusatzverbrauch hinzu. Damit wird das energetische Betriebsverhalten nicht mehr durch Wirkungsgrade sondernd durch einen Gesamtnutzungsgrad der Anlage gekennzeichnet.

Dieses Beispiel zeigt klar die Problematik allgemeingültiger energetischer Aussagen.

Es wird immer notwendig sein, die einzelne Anlage und deren Integration im Produktionsablauf fÜr energetische Ueberlegungen zu berücksichtigen, zeigt doch das vorstehende Bild bereits Differenzen von 1:2 beim Energieverbrauch durch den Einfluss der Fertigungsleistung.

2.4.3 Nutzungsgradketten und Primärenergieaufwand

Der spezifische Endenergieeinsatz ist bei elektrischen Produktionsverfahren meistens wesentlich geringer als bei fossil betriebenen Anlagen.

Eine gesamtheitliche Betrachtung muss sich aber auf den Primärenergieverbrauch beziehen. Es stellen sich also zwei weitere Fragen:

1. Wieviel Primärenergie war notwendig zur Erzeugung der Endenergie Elektrizität und

2. Aus welchen Primärenergiequellen wurde der Strom produziert?

- Wasserkraft (erneuerbar)
- Fossile (Umweltbelastung)
- Kernenergie (Radioaktivität)

Bei Vergleichen des Primärenergieaufwandes fÜr unterschiedliche Technologien sind alle zugehörigen Prozessketten vollständig zu erfassen. Das betrifft zum einen Verluste und Eigenverbrauch bei den verschiedenen Stufen von Energieumwandlung, -transport und -verteilung zwischen den Ebenen der Primärenergiegewinnung bzw. -einfuhr und der Endenergielieferung an den Verbraucher. Bestehen zwischen den Alternativen Abweichungen in den Mengen oder Qualitäten der aufzuwendenden Einsatzstoffe, die mit nennenswerten Unterschieden des Energieaufwandes bei der Herstellung verbunden sind, so müssen sie ebenfalls mitberücksichtigt werden.

Als Beispiel ist in Bild 2.4.3 der Vergleich der energetischen Prozessketten zwischen einem mit Erdgas und einem elektrisch beheizten Kleintiegelofen zum Schmelzen von Aluminium dargestellt.

Bezogen auf die gleiche Nutzenergie und damit die gleiche Menge an erschmolzenem Metall, weist der elektrisch beheizte Ofen wegen des Fehlens von Abgasverlusten und der geringeren Oberflächenverluste mit 137 kWh nur einen Bruchteil des Endenergiebedarfs auf im Vergleich zum gasbeheizten Ofen mit 492 kWh.

Dieser Unterschied wird teilweise kompensiert durch die Verluste im Umwandlungsbereich, die naturgemäss im Falle der thermischen Stromerzeugung wesentlich höher sind als bei der Gasversorgung. Betrachtet man die energetische Prozesskette bis hin zur Stufe der Primärenergie, so ist ausserdem der metallverlust durch Oxitation (Abbrand) von erheblichem Einfluss. Infolge der gleichmässigeren und insbesondere an der Badoberfläche niederigeren Temperaturen beim Elektroofen liegt hier der Abbrand weit unter dem im gasbeheizten Ofen.

BerÜcksichtigt man den Verbrauch an Strom und Brennstoff zur Herstellung des abgebrannten Aluminiums bzw. den dafür erforderlichen Primärenergieaufwand, so resultiert daraus sogar ein grösserer Vorteil fÜr die Primärenergiebilanz des elektrischen Ofens, als aus dem eigentlichen Energieverbrauch fÜr das Schmelzen.

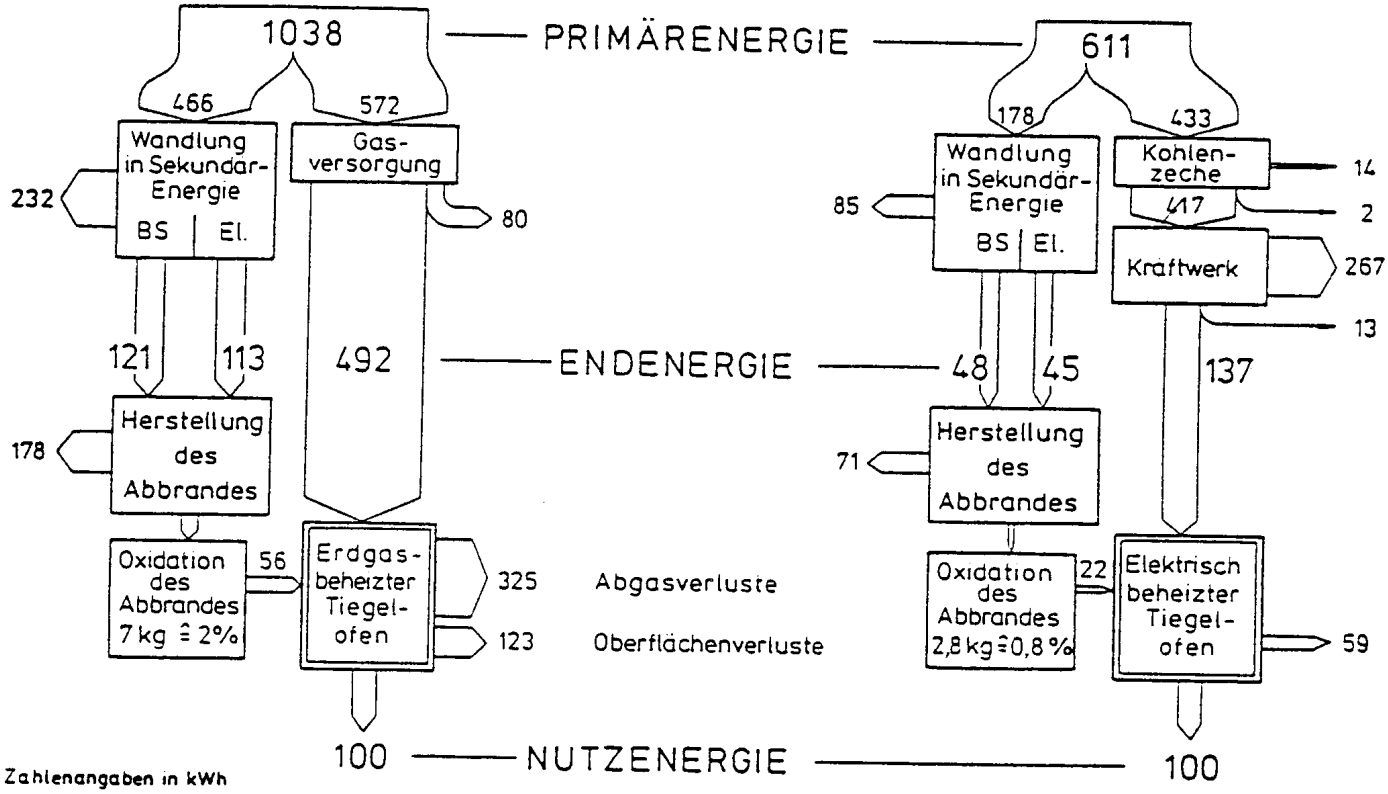


Bild 2.3.4: Energetische Prozesskette für das Schmelzen von 350 kg Aluminium in Kleintiegelöfen mit 150 kg Tiegelinhalt

3. MÖGLICHKEITEN UND BEISPIELE

zur rationellen Verwendung von Elektrizität

3.1 RATIONELLE ANWENDUNG VON ELEKTROTHERMISCHEN PROZESSEN

Ueberall, wo mit minimalem Energieeinsatz eine zeitlich und Örtlich begrenzte Wirkung zu erzielen ist, bietet sich die Anwendung elektrischer Prozessverfahren an.

Wesentlich ist dabei, dass kurzzeitig partiell hohe Leistungsdichten erzeugt werden können. Dadurch entfallen An- und Auslaufvorgänge. Streuwirkungen können minimiert werden, Eindringtiefen und Bearbeitungszonen lassen sich in einfacher Weise automatisch prozessangepasst steuern und regeln.

Durch diese Konzentration auf das Notwendige lassen sich meist optimale Gesamtwirkungsgrade erzielen. Der spezifische Energieeinsatz pro Produktionseinheit wird minimal im Vergleich mit anderen Verfahren. Hohe Anforderungen an die Qualitätssicherung können erfüllt und langzeitig garantiert werden.

Beim Einsatz elektrischer Energie fÜr wärmetechnische Produktionsverfahren ergeben sich durch die speziellen physikalischen Eigenschaften dieser Energieart vielfältige AnwendungsmÖglichkeiten zur Verbesserung von

- Energie- und Rohstoffnutzung
- Umwelt
- Produktqualität und
- Fertigungsablauf

3.1.1 Sinnvolle Energie- und Rohstoffnutzung

Bei Prozessen wie Schmelzen, Wärmen und Umformen entstehen bedeutende Material- und damit Energieverluste (Abbrand, Oberflächenoxidation, Grate). Viele elektrische Erwärmungsverfahren führen zu spürbaren Verbesserungen durch kürzere Aufheizzeiten, genauere TemperaturfÜhrung und gleichmässige, grossflächige Erwärmung und somit zu Rohstoffeinsparungen. Dies wird bei Verfahren, bei denen die Wärme im WerkstÜck entsteht, besonders deutlich.

Jede Energieumsetzung ist mit Verlusten verbunden. Diese Verluste können Wärmequellen fÜr einen anderen Prozess darstellen. Eine analytische Gegenüberstellung aller Wärmequellen und -senken eines Betriebes ist der Startpunkt fÜr eine Integration der gesamten Energieversorgung und -nutzung. So kann zum Beispiel betriebliches Abwasser eine gute Energiequelle fÜr die Bereitstellung von Niedertemperaturwärme sein oder bei Trocknungsprozessen der Fortluft die Feuchte, und damit auch grosse Energiemengen, entzogen werden und dann im Umluftbetrieb gefahren werden. Die frei werdende Kondensationswärme wird zum Aufheizen der Zuluft verwendet.

3.1.2 Verbesserung der Umwelt

Feuerungs- und verfahrenstechnisch bedingte Verluste bei brennstoffbeheizten Erwärmungsanlagen führen zu einer höheren wärmebelastung am Arbeitsplatz. Bei elektrischen Erwärmungsverfahren kann die aufgewandte Prozessenergie vielfach vor Ort zu einem höheren Prozentsatz in Nutzenergie umgewandelt werden. Eine spürbare Verminderung der Temperatur in der Umgebung der Erwärmungsanlage ist die Folge.

Werden brennstoffbeheizte Schmelz- und Erwärmungsanlagen eingesetzt, um die Aggregatzustände oder die Werkstoffeigenschaften eines Materials zu verändern, so wird fast immer der Bau von Abgasanlagen zur AbfÜhrung oder zur Reinigung dieser Abgase erforderlich. Dies bedingt neben zusätzlich anfallenden Investitionsund Betriebskosten auch eine verstärkte BerÜcksichtigung der mÖglichen Eingliederung der Erwärmungsanlage in den Produktionsprozess sowie eine Einschränkung bei der Standortwahl des Betriebes. Bei den meisten Elektrowärmeverfahren fallen keine Abgase an. Aus diesem Grunde können sie dort in den Produktionsablauf integriert werden, wo sie ein Optimum an produktionstechnischen und somit betriebswirtschaftlichen Vorteilen hervorrufen.

Zur Sicherung und Erhaltung einer sauberen Umwelt tragen Entstaubungsanlagen an emittierenden Produktionsstätten wesentlich bei. Da die Kosten der Staubabscheidung einen bedeutenden Anteil der Produktionskosten ausmachen, sind erleichterte EntstaubungsmÖglichkeiten von grossem Vorteil.

Viele Elektrowärmeverfahren tragen zur Minderung der Umweltbelastung und zur Kostensenkung bei.

Abfälle und Reststoffe der modernen Konsum- und Industriegesellschaft können ohne EinfÜhrung neuer Verfahren der Abfallverwertung und RÜckfÜhrung in Verbrauchs- und Produktionsprozesse nicht bewältigt werden. Die elektrische Energie leistet zum Recycling wesentliche Beiträge, wie Schrotteinschmelzung im Lichtbogenofen, elektrolytische MetallrÜckgewinnung aus Abwässern oder Wiedereinschmelzen von Altglas.

3.1.3 Verbesserung der Produktaualität

Der Maschinenbau kennt viele Elemente, die hohen dynamischen und statischen Belastungen ausgesetzt sind. DafÜr sind zähe (elastische) Werkstückabschnitte und -kerne mit verschleissfesten Zonen und Oberflächen zu versehen. Eine partielle Erwärmung zur teilweisen Oberflächenhärtung wird erforderlich. Die Erwärmungszone ist in Tiefe und Länge genau zu steuern. Die erzielten werte müssen gut reproduzierbar sein. Mit elektrothermischen Prozessen sind diese Forderungen erfüllbar.

Durch die Erwärmung von Metallen entstehen abhängig von der Erwärmungszeit mehr oder weniger starke Oberflächenoxide. MÖglichst kurze Erwärmungszeiten, wie sie bei elektrischen Erwärmungsverfahren erreicht werden, vermindern die Zunderbildung und verbessern dadurch die Produktqualität.

Das Streben nach verbesserten technischen Merkmalen von Maschinenbauteilen erfordert eine erhöhte Qualität und Gleichmässigkeit der Wärmebehandlungsverfahren. Einfache Handhabung und Reproduzierbarkeit der angestrebten Verfahrensgänge mindern Betriebskosten und Ausschussraten.

Ständig steigende AnsprÜche an die Qualität und GÜteeigenschaften von Sonderwerkstoffen haben zur Anwendung spezieller Schmelztechnologien geführt.

Ohne den Einsatz elektrischer Energie lassen sich viele dieser Sonderwerkstoffe, wie zum Beispiel Edelstahl, Silizium, Ferrosilizium, -molybdän, -chrom, Titan und Spezialglas, in der geforderten Reinheit gar nicht oder wirtschaftlich nicht mehr vertretbar herstellen.

3.1.4 Verbesserung des Fertigungsablaufs

In zahlreichen Produktionsbetrieben der Metallindustrie werden Erwärmungsvorgänge zum anschliessenden Warmformen oder metallurgischen Behandeln durchgeführt. Elektrische Erwärmungsverfahren machen in vielen Fällen durch ihre verfahrenstechnischen Vorteile wie kurze Aufheizzeit oder Wärmeerzeugung im WerkstÜck selbst ein Bereithalten von erwärmtem Material ÜberflÜssig.

In den Fertigungsablauf integrierte Erwärmungsverfahren verbessern den Produktionsablauf, sparen Platz und Zeit und erhöhen die AutomatisierungsmÖglichkeiten. Kurze Wärmzeiten schaffen dafür verbesserte AusgangsmÖglichkeiten, gleichzeitig werden damit metallurgische Veränderungen der WerkstÜckoberflächen erheblich eingeschränkt (zum Beispiel Oxydation, Entkohlung). Elektrische Erwärmungsverfahren sind vielfach brennstoffbeheizten Ofenanlagen Überlegen. Die Aufheizzeiten reduzieren sich bis zu 90 %.

Können Prozesswärmeanlagen weitgehend in den Fertigungsablauf integriert werden, so ist damit meist eine bessere Automatisierung der Gesamtanlage möglich, die häufig zu erheblichen Produktionssteigerungen führt.

FlÜssige oder gasförmige Stoffe, die in Rohrleitungen transportiert werden, müssen oft auf ganz bestimmte Temperaturen gebracht oder gehalten werden, damit der optimale Zustand fÜr den Transportvorgang und am Verbrauchsort auch bei intermittierendem Betrieb erhalten bleibt. Um diese Forderungen zu erfüllen, muss der erforderliche Wärmebedarf durch Fremdenergie gedeckt werden. Das geschieht heute vielfach mit elektrischen Rohrbegleitheizungen.

3.2 BEISPIELE

Nachfolgend werden zu den in Kapitel 2.3 vorgestellten Verfahren einige Anwendungsbeispiele gegeben. Zum Teil ergänzende und ausführlichere Informationen sind im Anhang D dieses Berichtes gegeben.

3.2.1 Induktion

Das Erwärmungsprinzip mit Eisenkern wird vor allem angewendet beim Induktions-Rinnenofen. Ausserdem wird es auch zur gleichmässigen Erwärmung ringförmiger Metallteile verwendet (z.B. zum Aufschrumpfen von Laufkränzen auf Eisenbahnräder).

Die Haupteinsatzgebiete der induktiven Erwärmung ohne Eisenkern sind:
- Partielle, exakt definierbare Erwärmung elektrisch leitender Werkstücke: Wärmebehandlung, Härtung, Weich- und HartlÖten, Schweissen
- Schmelzen von elektrisch leitenden Materialien oder von Stoffen in elektrisch leitenden Tiegeln, insbesondere unter speziellen Umgebungsbedingungen
- Lokale Wärmeerzeugung in automatischen Prozessketten, z.B.Verschliessen von Getränkeflaschen mit kunststoffbeschichteten Aludeckeln, Härten von Lagerpartien

3.2.2 Lichtbogen

Hauptanwendungen der LichtbogenÖfen sind:
- Eisen- und Stahlschmelzen mit den folgenden Einzelschritten * Einschmelzen von Schrott
* Frischen (Oxidationsphase zur Herabsetzung des Phosphor-, Kohlenstoff und Schwefelgehaltes)
* Feinen (Desoxidation des Metallbades durch Reaktionen mit reduzierender Schlacke)
* Legieren

- Gewinnung von Ferrolegierungen, Silicium, Calciumcarbid und Phosphor in Lichtbogen-ReduktionsÖfen.
- Vakuumschmelzen von Stahl und Sondermetallen zum Reinigen, Entgasen und Homogenisieren. Erlaubt die Gewinnung von hochreinen Sondermetallen (z.B. Ta, Ti, Zr, Mo, Nb, Hf, W) sowie Edelstählen und Superlegierungen, die hinsichtlich Warmfestigkeit, Verformbarkeit und Schlag- und ErmÜdungsfestigkeit hervorragende Eigenschaften aufweisen.
- Lichtbogenschweissen mit oder ohne Schutzgasatmosphäre
- Unterpulverschweissen
- Unterschienenschweissen

3.2.3 Funkenerosion

Die wesentlichen Vorteile der funkenerosiven Bearbeitung liegen in der grossen Bearbeitungsgeschwindigkeit, der beliebigen Formgebung, der Verarbeitung aller Metalle und Legierungen, einer sehr guten Oberflächenqualität und hoher Formtreue und Wiederholgenauigkeit. Sie kann fÜr vieles verwendet werden und bietet der Industrie neue und breitere Perspektiven bei der Metallbearbeitung, insbesondere zum

- Herstellen von Werkzeugen wie Matrizen und Giessformen
- Bearbeiten von schwierigen Einzelteilen und Materialien wie Turbinenschaufeln, Kugellager und Stempel
- Herstellen von DurchbrÜchen wie Profilbohrungen und schmalen DurchbrÜchen
- Gravieren, Nachbearbeiten und Polieren von scharfen Kanten

3.2.4 Elektronenstrahlerwärmung

Die Elektronenstrahlerwärmung wurde ursprünglich vorwiegend zum Schmelzen und Schweissen von Metall und deren Legierungen entwickelt. Heute stehen weitere Anwendungen wie Beschichten, Härten, Bohren, Trennen usw. zur Verfügung.

Besonders im Bereich hochreiner Werkstoffe hat das Schmelzen und Schweissen mit Elektronenstrahlen entscheidende Vorteile: Das Vakuum führt zu einem Reinigungseffekt der Schmelze und mit dem Elektronenstrahl werden keine Fremdmaterialien eingebracht.

Weitere Einsatzgebiete sind das Metallbedampfen unterschiedlicher Substrate fÜr optische Beschichtungen sowie in der Elektronik. Ein verwandtes Verfahren ist das Ionenplatieren als Kombination von Aufdampfen und Kathodenstrahlzerstäubung.

Auch bei nichtthermischen Verfahren gewinnt der Elektronenstrahleinsatz an Bedeutung. Hier wird die zugeführte Strahlungsenergie zur Polymerisierung von makromolekulären Materialien (Farben, Lacke und Beschichtungen) eingesetzt. Z.B. können auf diese Weise Textilien so veredelt werden, dass sie flammhemmend sind.

Im medizinischen Bereich wird die Elektronenstrahltechnik zur Sterilisation von Verbrauchsmaterial und im Nahrungsmittelsektor fÜr die Ionisation (Entbakterisierung) von landwirtschaftlichen Produkten eingesetzt.

3.2.5 Widerstandserwärmung

Die direkte Widerstandserwärmung hat viele Anwendungsgebiete,

wie:

- Erwärmen von Strangmaterialien, Drähten, Bändern, Rohren in Produktionsprozessen
- Widerstandsschweissen
- Schmelzen von Glas

- Herstellung und Raffinierung von Aluminium (SchmelzflussElektrolyse)

Herstellung von Elektrographit und Siliciumcarbid Dampferzeugung in Elektrodenkesseln
Elektroschlackeumschmelzen

Die indirekte Widerstandserwärmung hat ein besonders grosses, bekanntes Anwendungsspektrum; neben Oefen aller Art sind auch Spezialanlagen fÜr Behandlungen unter Vakuum oder anderen speziellen Bedingungen darunter.

3.2.6 Strahlungserwärmunq

Die Anwendungen der Strahlungserwärmung sind je nach Frequenzbereich sehr verschieden:

3.2.6.1 Infrarotstrahlunq

Das Trocknen von Beschichtungen vielfältiger Art auf den unterschiedlichsten Trägermaterialien gehört zu den Hauptanwendungen der Infrarottechnik:

- Austreiben von LÖsungsmiteln aller Art
- Trocknen von Lack fÜr Oberflächenveredelung und verfahrenstechnische Beschichtung
- Aufsintern von Kunststoffpulver
- metallerwärmung vor Verformungsprozessen, Gefügeveränderungen, Oberflächenveredelungen etc.
- Vortrocknung von Klebstoffen auf Folien
- Einsatz in Schrumpffolie-Verpackungsmaschinen
- Oberflächenveredelungen von Kunststoffteilen
- Erwärmung thermoplastischer Stoffe zur Verformung
- Vortrocknung in der Textilindustrie
- Imprägnieren, Färben von Textilien mit anschliessender Trocknung
- Nachbehandlung von synthetischen Fasern
- Gelieren von PVC-Pasten auf textilem Träger
- Trocknen von Farben und Lacken (insbesondere Fahrzeugreparaturlackierung)
- Vortrocknen in der Papierindustrie
- Infrarote Druckfarbentrocknung
- Kochen, Braten, Backen, Bräunen und Stabilisieren von Nahrungsmitteln
- Beheizung von Industrieräumen

Die verschiedenen Infrarotstrahler haben ihre besonderen physikalischen Eigenschaften und ihr spezielles technisches Einsatzgebiet. Die Wahl eines Strahlers hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von:

- Wellenlänge, abhängig von der Absorptionscharakteristik des zu erwärmenden Produktes
- Strahlungsintensität und Aufenthaltszeit des Produktes im Strahlungsfeld
- Verhältnis von Konvektions- zu Strahlungswärme
- Installationsart
- Erwärmungsmuster und Ansprechzeit

3.2.6.2 UV-Strahlung

Die Hauptanwendungsgebiete der UV-Strahlung sind sehr breit gefächert:
- Polymerisierung von Tinten und Lacken auf Papier, Karton, Metall, Glas und Holz
- Sterilisierung von Wasser und Instrumenten
- Entkeimung im Nahrungsmittel- und Landwirtschaftsbereich
- Behandlung von Kunststoffoberflächen vor der Bemalung
- Einsatz in der Druckindustrie mit speziellen polymerisierbaren Druckfarben
- Anwendungen in der Holzindustrie, chemischen Industrie, Abwasserbehandlung und pharmazeutischen Industrie

3.2.7 Dielektrische Erwärmung

Die Anwendungen der dielektrischen Erwärmung sind je nach Frequenzbereich ziemlich verschieden:

3.2.7.1 Hochfreauenzerwärmung

Bei der Hochfrequenztrocknung ergeben sich folgende Vorteile gegenüber der Konvektionstrocknung in einem Heissluftofen:
- schnellere Trocknung
- gleichmässigere Trocknung
- einheitliche Trocknung
- geringere thermische Belastung des Gutes

Hauptsächliche Anwendungsgebiete der HF-Erwärmung sind
- Schweissen von thermoplastischen Kunststoffen
- vorwärmen von warmhärtenden Kunstharzen und Gummi
- Konservieren von tierischen und pflanzlichen Rohstoffen, von Lebensmitteln und Arzneien
- Auftauen von Lebensmitteln
- Backen von Lebensmitteln
- Trocknen von Chemie-,Glas-, Textilfasern, Papier, Holz, Giesskernen und Lebensmitteln
- Verleimen von Holz und Zellstoffprodukten

3.2.7.2 Mikrowellenerwärmung

Im Haushalt- und Gastronomiegewerbe werden Mikrowellengeräte eingesetzt zum:
- Erwärmen von Fertiggerichten, Getränken usw.
- Garen von Lebensmitteln
- Auftauen von tiefgefrorenen Lebensmitteln

Eine Vielzahl von EinsatzmÖglichkeiten ist zusätzlich gegeben, von denen die folgenden erwähnt sein sollen:
- Erwärmen von Gummi zum Vulkanisieren
- Aushärten von Teilen aus Epoxydharz
- Verschweissen von thermoplastischen Kunststoffteilen
- Erwärmen von Strangpressen thermoplastischer Kunststoffe
- Erwärmen zur Haltbarmachung von Lebensmitteln (Pasteurisieren, Sterilisieren)

Trocknen und Backen von Lebensmitteln
Anwendungen im medizinischen Bereich: Diathermie, Erwärmung von Frischblutkonserven, Auftauen tiefgefrorener Spenderorgane.

3.2.8 Plasmaerwärmung

Plasmaanwendungen sind vor allem im Hochtemperaturbereich verbreitet. Das Schmelzen und Verdampfen von hochschmelzenden Werkstoffen ist der Grundprozess fÜr

- Schmelzen von Metallen und hochschmelzenden Werkstoffen
- Schweissen und Schneiden von Metallen (hochlegierte Stähle, Leichtmetall-Legierungen).

- Aufdampfen und Aufspritzen von Stoffen wie: Metalle (z.B. Molybdän, Titan, Silber, Kupfer, Wolfram); Oxide (z.B. Aluminium-, Magnesium-, Zirconoxid; chemische Verbindungen (Karbide,' Nitride, Boride)
- AusfÜhrung chemischer Reaktionen bei hohen Temperaturen (Erzeugung von Acetylen, Cyanwasserstoff, Cyan usw.)
- Ziehen von Einkristallen (Metalle, keramische Oxide usw.)
- Erschmelzen von Feinkohle
- Behandlung von Staub
- Vernichtung von Abfall

3.2.9 Lasererwärmung

Die Lasertechnik wird in allen Bereichen des maschinenbaus, der Elektrotechnik und Elektronik dort angewandt, wo Verschleissfreiheit, berührungslose EnergieÜbertragung, präzise Verarbeitung auch bei kleineren Abmessungen, hohe Leistungsdichte beim Schmelzen und Verdampfen, veränderliche Eindringtiefe und geringe thermische Belastung des Werkstoffes selbst bei andererseits hoher thermischer Erfordernis an der Bearbeitungsstelle erwünscht sind. Als Spezialanwendung kennt man das partielle Härten in exakt begrenzter Tiefe.

Eine weit verbreitete Anwendung ist das Laserstrahlschneiden. Hier ist zu unterscheiden zwischen Lasersublimierschneiden und dem Laserbrennschneiden. Beim Schneiden von Blechen mit einer Dicke unter 5 mm gibt es ausser der Lasertechnik kein anderes ernsthaft konkurrierendes Verfahren.

In der Elektroindustrie allgemein und in der Mikroelektronik insbesondere werden Laser zum LÖten eingesetzt. Zur Kennzeichnung von Wafern, Metall- und Keramikteilen dient das Beschriften durch Laserstrahlung. Laser werden auch zum Ausheilen von Gitterfehlern benutzt.

Mit der Lasertechnologie lassen sich auch sehr harte Materialien wie Keramik und Diamant bearbeiten.

3.2.10 Pulverbeschichtunq

Die meisten elektrisch leitenden oder thermisch stabilen FestkÖrper eignen sich fÜr die Pulverbeschichtung. Vor allem metallische Objekte sind heute in immer weiter zunehmendem Masse elektrosta-

tisch pulverbeschichtet:

- Haushaltmaschinen
- Büromöbel
- GartenmÖbel
- AutozubehÖr
- Armaturen
- Drahtwaren
- Profile
- Fassadenelemente

Die Art des eingesetzten Pulvers (Epoxidharzpulver, Epoxidharz/Polyesterharzpulver, Polyesterharz-/TGIC-Pulver, Polyurethanpulver, Emailpulver) richtet sich nach den jeweiligen Anforderungen (Dekoration, Innen-/Aussenbereich, Lebensmittelbereich etc.).

4. VORGEHEN, VERFAHRENSEVALUATION

4.1 BESONDERE PLANUNGSHINWEISE

Bei Planungen und Evaluationen sind 3 Besonderheiten zu beachten:

- Tiefes Verfahrenswissen ist bei Anlagelieferanten, Kunden und grossen europäischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen aus ausgeführten Anlagen vorhanden. Weil es sich, wie bei anderen neuen Technologien, oft um Pionier- oder Pilotanlagen handelt, die in Zusammenarbeit mit Kunden erarbeitet wurden, ist es unter Umständen in einer ersten Phase schwierig, detaillierte Daten zu erhalten. In solchen Fällen bieten die meisten grossen Elektrizitätsunternehmen grosszügige Planungsunterstützung. Auch Energie- und Kostendaten sind auf diesem Weg erhältlich.

- Die grossen Unterschiede zu anderen nicht elektrischen Verfahren liegen in der Integrierbarkeit in bestehende Prozesse, d.h.: Es sind immer Betrachtungen Über ganze Produktionsprozesse, inklusive aller Infrastrukturen und Folgeaufwendungen, notwendig.

- Der Zusammenarbeit mit den Stromlieferanten ist ab Planungsbeginn grosse Beachtung zu schenken. Nur so können wirtschaftliche und technische Rahmenbedingungen befriedigend erfüllt werden: Lastmanagement, Qualitätssicherung, Netzkapazitäten etc.

4.2 INFORMATIONSBESCHAFFUNG

Der Informationsbeschaffung kommt- insbesondere fÜr neue Verfahren- entscheidende Bedeutung zu. Nachfolgend sind stichwortartig Hinweise und Quellen zusammengestellt.

- Primär Elektrizitätsversorger, weil andere Quellen, insbesondere bei neuen Verfahren aus KonkurrenzgrÜnden, eher schwierig erschliessbar sind

- Studium vergleichbarer Prozesse in anderen Branchen

- Energetische, technische und wirtschaftliche Vorabklärungen bei
* Anlagenherstellern
* Elektrizitätsversorgern (auch fremde, die vergleichbare Anlagen am Netz haben)
* Referenzanlagen vergleichbarer Art und GrÖsse
* Prozess- und Fabrikationsplanern der vor- und nachgeschalteten Produktionsanlagen

bilden eine umfassende, solide Entscheidungsgrundlage, wenn das entsprechende Wissen im Betrieb noch nicht vorhanden ist.

Grundsätzlich sind frühzeitig Angaben und Ueberlegungen in den Bereichen:

- Schadstoffbetrachtungen
- Produktequalität
- Arbeitsplatzqualität
- Anlagenflexibilität bezüglich Verfahrensumstellung, Kapazitätsänderungen, Steuer- und Regelbarkeit

konkret in die Projektierung einzubeziehen.

4.3 VERFAHRENSAUSWAHL

Die integrale Betrachtung der wesentlichen Faktoren unter 4.1 und
4.2 sowie die Liefer- und Tarifbedingungen der Stromlieferanten
sind bereits in den frühen Planungsphasen entscheidend!

In Zukunft wird die Integrierbarkeit in Fertigungsinseln und CIMKonzepte bedeutungsvoller.

4.4 STÖREMPFINDLICHE GERÄTE UND ANLAGEN

Im Folgenden sollen einige bekannte Empfindlichkeiten verschiedener Geräte und Anlagen aufgelistet werden mit ihren Abhilfemassnahmen, sofern sie sich auf einen einfachen Nenner bringen lassen.

Elektrische Schmelzöfen sind empfindlich gegen SpannungseinbrÜche in der GrÖssenordnung einer Stunde und länger. Eine Reserveeinspeisung kann solche SpannungseinbrÜche ÜberbrÜcken.

Hochfrequenz- und Mikrowellenerwärmungsanlagen sind empfindlich gegen SpannungseinbrÜche (10 - 100 %) von der Länge einer halben Stunde an.

Auch der Empfindlichkeit von PlasmaÖfen, Elektronenstrahlgeräten und Lasereinrichtungen gegen SpannungsunterbrÜche von mehreren Minuten bis zu einigen Stunden kann mit einer Reserveeinspeisung begegnet werden.

Anlagen industrieller Verfahrenstechnik im allgemeinen sind alle empfindlich gegen Spannungsein- und -unterbrüche von kurzer und längerer Dauer. Ueblicherweise wird nur die Steuerung gegen Störungen geschätzt, wenn die Prozessanlage selbst eine ausreichende Trägheit besitzt. Je nach Sachverhalt der Störung kann eine der folgenden Lösungen fÜr Abhilfe sorgen:

- Aenderung des Anschlusses an das Versorgungsnetz (separate Versorgungsleitung, eigener Transformator usw.)
- Reserveeinspeisung
- Batteriepuffer eines Umformers mit Schwungmasse oder Notstromaggregat
- Einsatz superschneller Schutzeinrichtungen.

4.5 NETZRÜCKWIRKUNGEN

Bei der Planung ist die Netzqualität besonders zu beachten.

Die meisten elektrothermischen Prozessanlagen haben im Leistungsteil Frequenzumformer, Thyristorschaltungen oder andere Leistungsbauteile, die zu NetzrÜckwirkungen führen können.

Weil in praktisch allen Neuanlagen auch elektronische Steuerungen eingebaut sind, die auf eine qualitativ gute Stromversorgung angewiesen sind, ist es zwingend, diese Problematik frühzeitig zu bearbeiten.

Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um NetzrÜckwirkungen soweit möglich an der Quelle zu vermeiden, bzw. deren Auswirkungen zu begrenzen. Aufwendige Netzfilter sollten nur als allerletzte NotlÖsung in Betracht gezogen werden.

In der Planungsphase ist es möglich, günstige Frequenzbereiche zu definieren und die Trafo- und Verteildisposition diesen Bedingungen anzupassen. Dies kann soweit gehen, fÜr Prozess- und Steuerungsenergie je einen unabhängigen Verteilkreis vorzusehen.

Im Folgenden ist eine Tabelle gegeben, die verschiedene von Prozessenergieanwendungen verursachte Störungen und ihre Abhilfemassnahmen auflistet Im Anschluss daran werden die von einem Lichtbogenofen verursachten Stö-

Geräte-Typ	Leistung	Verursachte Störung und ihre Beseitigung							Bemerkungen
		Spannungs-einbrüche u. -schwankungen [1]			Ober-schwin-gungen	Einspeisung anderer Frequenzen ins Netz	Blind-leistung	Stör-strahlung	
		[1a]	[1b]	[1c]	[2]	[3]	[4]	[5]	
Induktionsöfen	10-2000 kW				C1	C2	C1	G	
Lichtbogenöfen	3-100 MW	A,B,D	A,B		C1	C1,C2	C1	G	[3] Erzeugung aller Frequenzen
Lichtbogen-Schweissen		A,B	A,B				A		
Widerstandsheizgeräte	1-36 kW		A,E	A,E	C1				[1] Im Augenblick des Einschaltens, wenn die Last gegenüber der Kurzschlussleistung des Netzes gross ist
indust. Widerstandsheizung	10 kW-2 MW		A,B,E	A,B,E	C1				[1b] elektrische Steuerungen [1a] im Augenblick des Einschaltens [3] bei best. elektronischen Steuerungen
Widerstandsdirektheizung	100 kW-80 MW		A,B						
HF-Heizung	10-600 kW							G	
Mikrowellenheizung	10-100 kW							G	
Plasmaöfen	einige MW					C1	A		die anderen Störungen sind in Untersuchung
Laser	einige MW								in Untersuchung

Spannungseinbrüche bis 10%

[1a] Dauer bis etwa 2 sec
[1b] Dauer zwischen 2 sec und 1 Min
[1c] Dauer über 1 Min

Auflistung der möglichen Abhilfemassnahmen

A - Erhöhung der Kurzschlussleistung am Einspeisepunkt
B - Änderung des Anschlusses: getrennter Abzweig von der nächstgelegenen Anlage, getrennter Transformator
C1 - parallel angeschlossener Saugkreis
C2 - in Serie angeschlossener Sperrkreis (abgestimmt auf die störende Frequenz, z.B. auf die Steuerfrequenz einer Rundsteueranlage
D - dynamische Blindlastkompensatoren
E - Aufteilung der Lasten
G - Abschirmung

rungen etwas genauer untersucht.

Tabelle 4.1: StÖrende Geräte und Abhilfemassnahmen

Lichtbogen

Ein Drehstrom-Lichtbogenofen kann in mehrfacher Weise störend auf das Versorgungsnetz zurückwirken.

Unsymmetrische Belastung in den 3 Phasen ergeben sich vorwiegend durch Reaktanzunterschiede der einzelnen Phasen der Starkstromleitungen im Ofenkreis. Durch magnetisch symmetrische Leitungsführung und eventuell individuelle Regelung der einzelnen Phasenspannungen können diese Asymmetrien weitgehend behoben werden.

Oberschwingungen werden durch die nichtlineare Strom-SpannungsKennlinie des Lichtbogens verursacht. Je grösser die Länge des Lichtbogens ist, desto stärker wird die Lichtbogenspannung durch oberschwingungen mit ungeraden Vielfachen der Grundfrequenz verzerrt. Durch entsprechend abgestimmte Filter lassen sich diese oberschwingungen zum grössten Teil vom Versorgungsnetz fernhalten. Die in diesen LC-Filterkreisen enthaltenen Kondensatoren können gleichzeitig fÜr die Kompensation der GrundschwingungsBlindleistung mitbenutzt werden.

Unregelmässige Belastungsschwankungen rühren vor allem von stochastischen Veränderungen der Lichtbogenlänge und damit des Lichtbogen-Widerstandes her. Die hauptsächliche Folge davon ist eine stochastische Amplitudenmodulation von Ofenspannung und -strom in einem Frequenzbereich zwischen 3 und 10 Hz. Dies setzt sich in Form einer Scheinleistungsschwankung in das Versorgungsnetz hinein fort und führt dort zu Spannungsschwankungen bei allen aus diesem Netz versorgten Verbrauchern (Flicker). Eine Begrenzung der zulässigen Spannungsmodulation auf Werte von etwa 0,3 % leitet sich von der Empfindlichkeit des menschlichen Auges auf Schwankungen von Beleuchtungsstärken in diesem Frequenzbereich ab. Um dieser Anforderung zu genügen, muss die Netzkurzschlussleistung am VerknÜpfungspunkt mindestens das 80- bis 100fache der dort im Nennbetrieb des Ofens zu Übertragenden Scheinleistung betragen. Falls die Ofenanlage mit einer Einrichtung zur dynamischen Blindleistungskompensation ausgerüstet ist, reduziert sich dieser Faktor auf Werte von 30 bis 40.

4.6 SUVA-BESTIMMUNGEN

Ein Barometer fÜr den Bekanntheitsgrad eines Prozessverfahrens sind die SUVA-Bestimmungen. FÜr die meisten der modernen Verfahren existieren (noch) keine solchen; eine Ausnahme ist die Laserstrahlung, fÜr welche - neben SUVA-Richtlinien - auch ein Videofilm Über den Schutz vor Laserstrahlung vorhanden ist.

Auch wenn von der SUVA noch keine Bestimmungen ausgearbeitet wurden, so gibt es doch Normen, Benutzerrichtlinien und Sicherheitsvorschriften zu den einzelnen Prozessverfahren, die beim Schweizerischen Elektrotechnischen Verband (SEV/ASE) in Zürich erhältlich sind.

Nachfolgend werden die Unterlagen fÜr die Laseranwendung aufgeführt und eine Zusammenstellung der wichtigen Adressen fÜr die Informationsbeschaffung gegeben.

Da immer neue Unterlagen in Bearbeitung sind, ist es wichtig, sich bei SUVA, SEV und allenfalls noch anderen Stellen wie ESTI (eidg. Starkstrominspektorat), PTT und EDMZ nach solchen Richtlinien zu erkundigen. Anlagenhersteller sollten sehr genau Über die gültigen Normen und Bestimmungen Bescheid wissen und sind deshalb auch als Informationsquellen geeignet.

Laser

SUVA Video 25131: Schutz vor Laserstrahlung (1989) Es wird erklärt, welche Gefahren bei der Arbeit mit Lasern auftreten können, beispielsweise Verletzungen von Augen und Haut.

Es werden Lasereinrichtungen, eingeteilt in 5 Klassen mit unterschiedlichen Gefährdungsgraden, vorgeführt. Technische, bauliche und persönliche Sicherheitsmassnahmen werden gezeigt, die eine Gefährdung ausschliessen.

SUVA Richtlinie Nr. 6502 (Ausgabe 7.90): “Laserstrahlung”

SEV Strahlungssicherheit von Lasereinrichtungen, Klassifizierung von Anlagen, Anforderungen und Benutzer-Richtlinien SEV/ASE 3669.1988 (identisch mit der internationalen Norm IEC-825).

SEV Elektrische Sicherheit von Lasergeräten und -anlagen, IEC-820 bzw. europ.Normenentwurf prEN 60820

SEV PersÖnlicher Augenschutz, prEN 207 und 208 (europ. Normenentwurf)

SUVA Anleitung zur Dimensionierung von Laserschutz- und Justierbrillen, Mitteilung der Sektion Physik

SUVA Anleitung zur Klassifizierung von Lasereinrichtungen, Mitteilung der Sektion Physik

svs Richtlinien Über Arbeitssicherheit beim Schweissen und bei verwandten Verfahren, SVS-710

Adressen
EDMZEidgenÖssische Drucksachen- und Materialzentrale, Fellerstrasse 21, 3027 Bern
(Postadresse EDMZ, 3003 Bern)

PTT Generaldirektion PTT, Bibliothek und Dokumentation, Viktoriastrasse 21, 3030 Bern

SEV Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Postfach, 8034 ZÜrich

SNV Schweizerische Normenvereinigung, Postfach, 8032 ZÜrich

SUVA Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Postfach 6002 Luzern

SVS Inspektorat des Schweizerischen Vereins fÜr Schweisstechnik, Postfach, 4006 Basel

5. WIRTSCHAFTLICHKEIT

5.1 BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE GESICHTSPUNKTE

Um die Wirtschaftlichkeit einer Anlage beurteilen zu können, sind generell Aufwand und Nutzen, die mit Anschaffung und Betrieb verbunden sind, gegeneinander abzuwägen.

Der Aufwand setzt sich zusammen aus verschiedenen Kostenbestandteilen, die aus Anschaffung und Betrieb resultieren. Einerseits sind fixe Kosten, die vom Umfang der Produktion kaum abhängen, zu beachten:

- Anlagenkosten und Raumkosten
- Wartungs- und Instandhaltungskosten

Auf der anderen Seite stehen die beweglichen Kosten, die vor allem von der Fertigungsmenge abhängen:

- Energiekosten
- Personalkosten (Teile davon können auch fixe Kosten sein)
- Betriebsmittel- und Hilfsstoffkosten (KÜhlwasser, Schutzgas ...)
- Umweltschutzkosten (Filter, Reststoffverwertung...

Dazu kommen noch mittelbare Kostenauswirkungen: Die benötigte Menge an Material zur Herstellung eines Produktes hängt vom Materialverlust während des Prozesses (Verzunderung, Abbrand) und von der Ausschussrate durch nicht eingehaltene Fertigungstoleranzen ab.

5.2 ALLGEMEINES

Bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen ist im Zusammenhang mit elektrischen Prozessen speziell zu beachten, dass die richtigen Systemgrenzen gewählt werden.

Weil als Energiealternativen meistens Gas oder Oel im Vordergrund stehen, ist es wesentlich, folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Leistungsverlauf
- Energieverbrauch inkl. aller Verluste (insbesondere An- und Auslaufvorgänge)
- Umgebungsbedingungen im Prozessbereich (Rauchgase, Fremdstoffe, Schutzgase)
- Zusatzenergien fÜr LÜftungen, KÜhlsysteme, Filteranlagen, KÜhltÜrme usw.
- Entsorgungskosten fÜr Filterstaub, Schlacken, BadrÜckstände USW.
- Bedingungen fÜr Energielieferungen, Vorratshaltung, Tarifstruktur, Netzkapazitäten (bei Gas und Strom)

5.3 ELEKTRIZITÄTSSPEZIFISCHE EINFLUSSFAKTOREN

FÜr die Wirtschaftlichkeit von zentraler Bedeutung ist die Abstimmung des Leistungsbezuges auf die Gegebenheiten der Stromversorgung.

Bei grösseren und grossen Verbrauchern kann es aus wirtschaftlichen GrÜnden entscheidend sein, den Leistungsbezug der Anlagen flexibel zu halten. Als Beispiel kann ein Schmelzbetrieb genannt werden.

Weil unsere Stromversorgung im Allgemeinen nachts (und im Sommer auch tagsüber) Leistungsreserven hat und keine teure Spitzenlastenergie eingesetzt werden muss, sind die Stromtarife in diesen Zeiten niedrig. Diese Situation führt fÜr Schmelzbetriebe zu folgendem Betriebskonzept, das z.B. in Frankreich schon als selbstverständlich ist:

- Erschmelzen eines Tagesbedarfs an flüssigem Material mit Hochleistungs-Schmelzanlagen nachts bzw. in Schwachlastzeiten der Stromversorgung.

- Speichern der Schmelze bis zum Vergiessen in Warmhalteöfen niedriger Anschlussleistung.

Aehnliche Konzepte lassen sich auch auf kurzzeitige Lastreduktion mit entsprechender Speicherung anwenden. (Z.B. während der elektrischen Mittagsspitze von etwa 11.15 bis 12.00 Uhr.)

Wenn solche Ueberlegungen rechtzeitig ins Projekt einfliessen, können sie entscheidende Kosteneinsparungen fÜr das vorgelagerte Netz bewirken.

Grundsätzlich ist zu beachten, dass bei der elektrischen Energie immer mit leistungs- und netzlastabhängigen Kosten gerechnet werden muss. Sobald es um grössere Anlagen geht, führen Wirtschaftlichkeitsvergleiche mit Durchschnittspreisen zu ungenauen Resultaten. Wird differenziert gerechnet, können aus den KostenÜberlegungen die Konzeptvorgaben angepasst werden, was in vielen Fällen zu verbesserten Lösungsansätzen führen kann.

5.4 BEISPIELE VON VERBESSERUNGEN DER WIRTSCHAFTLICHKEIT

5.4.1 Rohrbogenfertigung

Das nachfolgende Beispiel stammt aus dem Heft 38/1991 aus “Schweizerischer Maschinenmarkt”.

Rund zwei Drittel aller weltweit hergestellten Stahlrohrleitungen dienen der BefÖrderung von FlÜssigkeiten, Gasen oder staubförmigen Gütern. Die bei komplexen Rohrleitungssystemen auftretenden Richtungsänderungen, Verästelungen oder Durchmesserveränderungen gelten als kritische Punkte. Diese “Hürden” werden in der Regel durch das Einschweissen spezieller RohrformstÜcke, sogenannter Schweissfittinge, Überwunden.

Diese RohrformstÜcke werden in einem speziellen Verfahren (Hamburger-Verfahren, 1950) hergestellt. Das KernstÜck dieser Warmformgebungsmethode ist der sogenannte “Biegedorn”, Über welchen die in dieser Region auf rund 900 °C erhitzten Stahlrohre geschoben werden. Ziel dieses Verformungsverfahrens ist die Realisierung eines Rohrbogens mit durchgängig konstanter Wandstärke. Das Verfahren selbst hat sich bis heute bewährt, jedoch wurden die Beheizungsmechanismen im Verformungsbereich geändert.

FrÜher wurde das Material zum Beispiel in eine FeuerhÜlle eingebunden und mit Oel- oder Gasbrennern erhitzt. Man musste abwarten bis sich die Wärme praktisch durch die Rohrwandstärke von aussen nach innen fortgepflanzt hatte. Die Zeit, die fÜr diesen Vorgang benötigt wurde, limitierte den Rohrbogen-Output und damit die Produktivität.

Es wurde deshalb ein elektroinduktiv arbeitendes HochfrequenzErwärmungsverfahren fÜr die Rohrbogenproduktion entwickelt, um diese Produktivität zu erhöhen.

Im gewünschten Erwärmungsbereich des Biegegutes werden Induktionsspulen angebracht. Durch HochfrequenzstrÖme geraten Spulen und Biegematerial in eine Kurzschluss-Situation mit der Folge, dass sich das Material von innen erwärmt. So kann die Wärme genau an der Stelle erzeugt werden, wo sie benötigt wird. Die praktische Konsequenz ist eine ErhÖhung der Produktionsgeschwindigkeit an diesem markanten Punkt um das FÜnffache. Die Durchsatzgeschwindigkeit an den Biegemaschinen hängt somit nicht mehr von der Erwärmungszeit, sondern vom Materialhandling ab.

Die Anwendung des elektroinduktiven Hochfrequenz- Erwärmungsverfahrens führt zu einer entscheidenden ErhÖhung der Produktivität. Die bei der Gasbeheizung konventionelle Steuerung des Erwärmungsprozesses muss durch Computersimulationen ersetzt werden. Umweltprobleme mit den Rauchgasen der Gasverbrennung sind nicht mehr vorhanden.

5.4.2 Beschichten mit Lasertechnik

Das nachfolgende Beispiel stammt aus dem Heft 2/1992 der Schweizerischen Technischen Zeitschrift.

Die Lasertechnik wird heute erfolgreich im Bereich der Materialoberflächenbehandlungen eingesetzt.

Mit dem Laserbeschichten können Oberflächen gezielt verändert werden. Geringe Nachbearbeitung, hohe Reproduzier- und Automatisierbarkeit und minimaler Verbrauch teurer Legierungselemente sind einige seiner Vorteile gegenüber anderen Oberflächenbehandlungsverfahren.

Der Laser ist zurzeit die einzige verfügbare Wärmequelle, mit der an einer Luftatmosphäre Energiedichten bis zu 107 W/cm2 erreicht werden können. Diese hohe Intensität erlaubt ein gezieltes Erwärmen, Aufschmelzen oder sogar Verdampfen aller existierenden Werkstoffe. Die Laserverfahren sind allen Übrigen Methoden Überlegen, wenn unter atmosphärischen Bedingungen gearbeitet wird und, um

gewünschte Oberflächeneffekte zu erreichen, hohe Temperaturgradienten nötig sind. Die Laserbehandlung gehört zu den thermischen Verfahren, wobei sekundär auch mechanische und chemische Prozesse beteiligt sein können.

Das Laserbeschichten kann auf zwei verschiedene Arten durchgeführt werden. Zum einen besteht die MÖglichkeit, eine vorher aufgetragene Schicht mit dem Laser umzuschmelzen (zweistufiges Laserbeschichten). Zum anderen kann man das Pulver mit einer Förderanlage in den Laserstrahl einblasen, aufschmelzen und direkt als metallurgisch verbundene Schicht mit der Substratoberfläche verschweissen (einstufiges Laserbeschichten). Das einstufige Verfahren ist in den meisten Fällen wirtschaftlicher, da nur ein Prozess durchgeführt werden muss.

Das in den Laserstrahl geblasene und auf die WerkstÜckoberfläche geförderte Pulver wird innerhalb von Sekundenbruchteilen aufgeschmolzen und mit dem Substrat verbunden.

Durch gleichzeitige Einwirkung des Laserstrahls auf das Pulver und die Substratoberfläche entsteht eine sehr dünne, aufgeschmolzene Oberflächenschicht. Dadurch wird eine metallurgische Haftung des Beschichtungswerkstoffs mit dem Substrat erzielt. Der aufgetragene Beschichtungswerkstoff bildet zudem eine vom Substratwerkstoff her aufwachsende, dichte und verschmolzene Schicht. Die Verunreinigung der Beschichtung mit Elementen aus dem Substrat liegt bei richtiger ProzessfÜhrung unterhalb von drei Volumenprozenten. Dadurch weist die aufgebrachte Schicht praktisch dieselbe chemische Zusammensetzung auf wie das zugeführte Pulver. Die Eigenschaften des Beschichtungsmaterials können somit bereits bei dünnen Schichten voll genutzt werden.

Die hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit und damit sehr rasche Erstarrung des Beschichtungsmaterials wirkt sich positiv auf Härte und Zähigkeit der Beschichtung aus, da dadurch ein sehr feinkörniges GefÜge entsteht. Die konzentrierte Energieeinbringung ermöglicht es, dass das Bauteil minimal thermisch belastet (100 °C bis 300 °C ohne zusätzliche KÜhlmassnahmen) und somit minimal verzogen wird.

Durch die Präzision des Laserstrahls kann das Auftragen von Schichten nahe der Endform erreicht werden. Damit wird nicht nur zeitraubende Nachbearbeitung eingespart und Werkzeugverschleiss vermieden, sondern vor allem der Verbrauch von kostspieligem Beschichtungsmaterial entscheidend reduziert.

Bedingt durch die gute Automatisier- und Reproduzierbarkeit, wird zusätzlich der Ausschuss verringert.

5.4.3 Elektrostatische Pulverbeschichtung anstelle der Nasslackierung

Die nachfolgenden Beispiele wurden uns freundlicherweise von der Gema-Volstatic zur VerfÜgung gestellt. Sie sind etwa 15 Jahre alt, aber technisch heute absolut noch gültig.

In der Oberflächentechnik dominierten bis vor einigen Jahren Methoden wie Einbrennlackierung, Elektrophorese usw. Es ist eine bekannte Tatsache, dass diese Verfahren eine enorme Belastung sowohl fÜr die Umwelt wie auch fÜr die Finanzen der anwendenden Unternehmen darstellen:

1) Durch die Gewässer- und Luftverschmutzung, respektive deren VerhÜtung in Form von kostspieligen Kläranlagen und Luftreinigungs- bzw. Nachverbrennungseinrichtungen

2. Die enormen Rohstoffverluste, welche dadurch entstehen, dass Farben in Grossanlagen ca. 35 % Feststoffe und ca. 65 % LÖsungsmittel enthalten. Letztere werden nach dem Spritzvorgang verdunstet und gehen als Giftstoffe weg. Farbe, welche nicht direkt am Objekt haftet, verschmutzt die Gewässer und geht verloren.

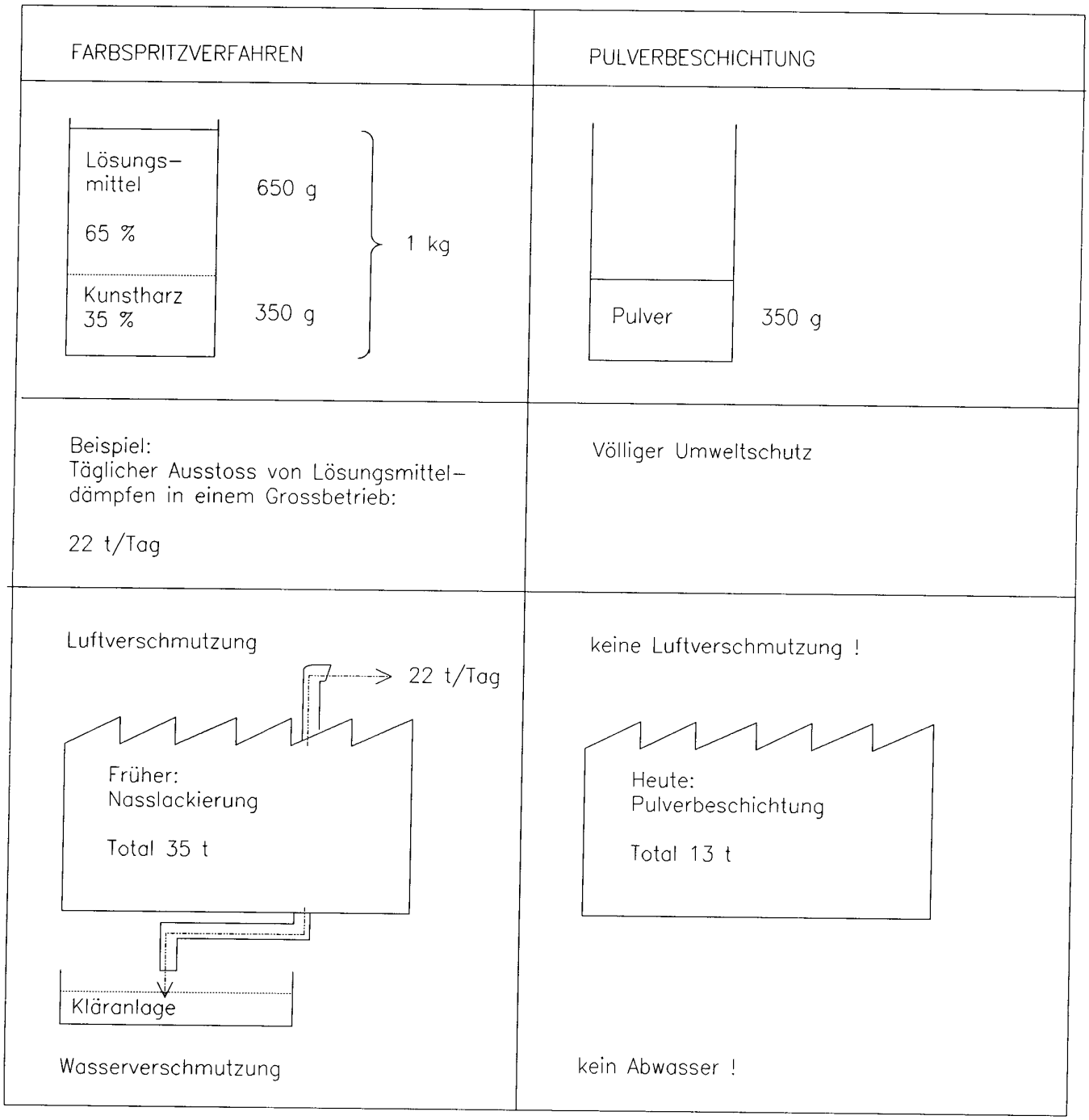
Kurz gesagt, es werden wertvolle Rohstoffe produziert und vergeudet und zusätzlich enorm hohe Beträge ausgegeben, um die schädlichen Nebenwirkungen zu verhüten.

Beim Verfahren der elektrostatischen Pulverbeschichtung, welches in fast sämtlichen metallverarbeitenden Industrien (Haushaltwaren, KühlmÖbel, Draht- und Blechwaren, Automobilbranche usw.) heute bereits seine Anwendung findet, werden trockene Kunststoffpulver elektrostatisch aufgeladen und mittels Druckluft gegen die zu beschichtenden Objekte gesprüht. Das am Objekt haftende Pulver wird anschliessend im Ofen gesintert und ausgehärtet. Der entstehende Film ist wesentlich widerstandsfähiger gegen chemische und physikalische EinflÜsse als Lackfilme. Der Prozess selber erzeugt keinerlei Gase und ist absolut umweltfreundlich.

Ausserdem wird nicht am Objekt haftendes Pulver abgesaugt und neu versprüht. Die Anwendungstechnik ist wesentlich einfacher als bei der herkömmlichen Lackiertechnik.

Es resultieren also hieraus wesentliche Vorteile:
- keine Luftverschmutzung
- keine Abwässer
- gewaltige Rohstoffeinsparung
- Qualitätsverbesserung
- Personaleinsparung
- grosse Kosteneinsparung
- bessere Arbeitsbedingungen

Figur 5.1 zeigt graphischen einen Vergleich zwischen Farbspritzverfahren und Pulverbeschichtung.



Figur 5.1: Vergleich zwischen Nasslackierung und Pulverbeschichtung

Zur UeberprÜfung der Wirtschaftlichkeit wurden die zwei folgenden Tests gemacht:

1) 1000 Rohre aus 0,62 mm elektrolytisch verzinktem Stahlblech, gefalzt, 500 mm lang, 47 mm #, auf der äusseren Seite mit gut deckendem FarbÜberzug (Grundierung) versehen, mit leichtem Eingriff oben und unten ins Innere der Rohre.

Farbe: Kunstharz-Email, blaugrün
Ein Zeit- und Materialvergleich ergab die folgenden Zahlen:

Verfahren	Verarbeitungszeit	Farbverbrauch
Druckluft-Farbspritzpistole	11,55 Std.	42,0 kg
El.Stat.-Handbeschichtungs-apparat GEMA	3,25 Std.	15,5 kg

Das heisst, das Pulverbeschichtungsverfahren erbrachte eine Zeiteinsparung von 71,8 % und eine Farbeinsparung von 63 %.

2) 300 Spulenbehälter aus 0,62 mm dec. Stahlblech, äussere Oeffnung 56 mal 56 mal 31 cm tief, punktgeschweisst, sollen einen allseitigen FarbÜberzug erhalten, innen und aussen (Grundierung) mit Kunstharz-Email, blaugrün.

Ein Zeit- und Materialvergleich ergab in diesem Fall:

Verfahren	Verarbeitungszeit	Farbverbrauch
Druckluft-Farbspritzpistole	8,30 Std.	66 kg
El.Stat.-Handbeschichtungs-apparat GEMA	4,20 Std.	36 kg

Das Pulverbeschichtungsverfahren erbrachte also hier eine Zeiteinsparung von 49,4 % und eine Farbeinsparung von 45,4%
Diese zwei Beispiele verdeutlichen die enormen Einsparungen, die, neben den oekologischen Verbesserungen, mit der Pulverbeschichtung möglich sind.

6. BETRIEB UND UNTERHALT

6.1 ELEKTRISCHER VERFAHRENSTEIL UND TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

Die mit elektrischer Energie erreichbaren Temperaturen sind theoretisch nach oben unbegrenzt, praktisch jedoch durch die Temperaturfestigkeit der verwendeten Werkstoffe (Heizleiter, Auskleidungen) limitiert. Mit Hilfe der Elektrowärme wurden damit hauptsächlich im Bereich der Grundstoffindustrie Prozesse erschlossen, die beim Einsatz von Brennstoffen gar nicht möglich gewesen wären (Graphitherstellung, CaC2-Gewinnung).

Die elektrische Leistungszufuhr kann meist durch Aenderung der Arbeitsspannung gesteuert werden. Diese technisch relativ einfache Steuerung ist von Natur aus trägheitslos und mit praktisch beliebigen Gradienten möglich und somit Brennstoffen Überlegen. Da zudem elektrische GrÖssen wie Spannung, Strom, Leistung und Arbeit zuverlässig, exakt und mit geringem Aufwand messtechnisch erfassbar sind, kann der zeitliche Ablauf eines elektro-thermischen Prozesses genauer und einfacher reproduziert werden als beim Einsatz von Brennstoffen. Damit wird eine Automatisierung solcher Prozesse sehr erleichtert bzw. meist erst ermöglicht. Ausserdem liegt die Qualität der elektrisch erwärmten Produkte oft in engeren Toleranzgrenzen, womit eine Reduzierung des Ausschusses erreicht wird.

Die Örtliche Temperaturverteilung in einem Gut kann bei seiner Erwärmung erheblichen Einfluss auf dessen Eigenschaften haben.

Bei den mittelbaren elektrischen Erwärmungsmethoden (indirekte Widerstandserwärmung, Induktionserwärmung nichtmetallischer Produkte, indirekte Lichtbogenerwärmung, Plasma-, Infrarot-, UV- und Laserstrahlerwärmung) erfolgt die Örtliche Temperaturverteilung ebenso wie bei der Erwärmung über Wärmeträger oder Verbrennungsgase, von aussen nach innen. FÜr eine gleichmässige Temperaturverteilung innerhalb des Produktes erfordert dies lange Erwärmungszeiten.

Bei der unmittelbaren elektrischen Erwärmung (Induktionserwärmung metallischer Produkte, direkte Widerstandserwärmung, Dielektrische Erwärmung (HF und Mikrowellen), direkte Lichtbogenerwärmung und Elektronenstrahlerwärmung) findet dagegen die Wärmeerzeugung im Innern des zu erwärmenden Stoffes selbst statt. Bei Verwendung einer der Dicke des Gutes angepassten Frequenz lässt sich ein sehr gleichmässiges Temperaturprofil im Gut erreichen. Andererseits kann durch Verwendung hoher Frequenzen bei entsprechend hohen Leistungsdichten die Erwärmung auf die äussersten Randbereiche des zu erwärmenden Objektes konzentriert werden (Oberflächenhärtung).

Mit den herkömmlichen Erwärmungstechnologien der Brennstoffbeheizung sowie der mittelbaren Widerstandserwärmung lassen sich Über Strahlung und Konvektion in Hochtemperaturprozessen maximale Wärmeleistungsdichten Übertragen, die um etwa 105 W/m2 liegen.

Durch die hohen Temperaturen des Lichtbogens können bei der Lichtbogenerwärmung Leistungsdichten von bis zu 10^6 W/m^2 erreicht werden. Auch die erreichbaren Leistungsdichten bei dielektrischer, konduktiver und induktiver Erwärmung sind etwa in dieser GrÖssenordnung, da statt Wärme zu Übertragen elektrische Energie ins Gut eingebracht wird.

Hohe Leistungsdichten führen zu grossen Erwärmungsgeschwindigkeiten und diese gestatten es ihrerseits wieder, ein Verfahren in verkettete Fertigungsabläufe miteinzubeziehen ohne den Gesamttakt des Arbeitsablaufes zu verlangsamen. DarÜber hinaus ergibt sich in der Metallbehandlung noch der Vorteil, dass der Abbrand durch Verzunderung infolge der kurzen Erwärmungszeiten erheblich zurückgeht (Materialkosteneinsparung und Vermeiden von Komplikationen bei der Weiterverarbeitung).

Leistungsdichten bis zu 10^8 W/m^2 sind beim induktiven Härten mit Hochfrequenz erreichbar. Dadurch sind ausserordentlich hohe Aufheizgeschwindigkeiten möglich.

Hohe Leistungsdichten stehen oft in Verbindung mit der Konzentration der EnergieÜbertragung auf sehr kleine Wirkungsquerschnitte. Dies ist bei Schweiss- und Schneidevorgängen sehr erwünscht. Teilweise erreicht man durch Fokussierung extrem hohe Leistungsdichten durch die sich an der Einwirkstelle in Sekundenbruchteilen alle Arten von Materialien verdampfen lassen (Elektronenstrahl-, Laserstrahlerwärmung). Damit sind unter anderem sehr exakte Abtragevorgänge wie Bohren und Schneiden möglich.

Beim Einsatz von Brennstoffen zur Prozesswärmeerzeugung entstehen zum Teil heisse Verbrennungsgase, die zu unerwünschten chemischen Veränderungen an dem zu erwärmenden Gut führen können. Elektrowärmeverfahren gestatten in dieser Hinsicht eine weitgehende Freiheit bezüglich der Art der Prozessatmosphäre und dem Druck. Erwärmung im Vakuum ist möglich, ohne dass der Prozessraum vom wärmeerzeugungsraum abgeschlossen sein muss. Dies erlaubt einige bedeutende Qualitätsverbesserungen von Metallen wie Frischen, Reinigen oder Vakuumwärmebehandlungen zur ErhÖhung der Qualität und Dichte von Oberflächen.

Da grundsätzlich keine Verbrennungsabgase an die Atmosphäre abgegeben werden, sind Elektrowärmeverfahren besonders umweltfreundlich. Auch die Wärmebelastung am Arbeitsplatz ist normalerweise geringer als bei einer brennstoffbeheizten Anlage. Dies erlaubt eine grössere Freiheit bei der Standortwahl.

Zusammenfassend kann aus dem Vorhergehenden folgendes gesagt werden:

- Durch die erreichbaren hohen Temperaturen können neue Prozesse erschlossen werden.

- Die Qualität der Produkte liegt meist in kleineren Toleranzgrenzen, was eine kleinere Ausschussrate nach sich zieht.

- Abbrandverluste werden geringer und die Materialkosten können so verringert werden.

-Das An- und Abfahren, wie bei brennstoffbeheizten Anlagen, fällt grösstenteils weg.

-Die elektrothermischen Verfahren sind durch die zeitliche Dosierbarkeit der Leistungszufuhr sehr gut steuer- und regelbar und daher ist eine gute Automatisierbarkeit gegeben.

-Die Umweltfreundlichkeit der elektrothermischen Verfahren ist gegeben, da keine Verbrennungsabgase anfallen (damit fallen auch Abgasfilter und Staubentsorgung weg).

-Die Arbeitsplatzqualität steigt, da die Wärmebelastung nicht mehr so gross ist wie bie brennstoffbeheizten Verfahren.

Die neuen Verfahren und Anlagen sind betriebs- und sicherheitstechnisch auf einem sehr hohen Stand. Weil aus der Umsetzung von Strom in Wärme keine Nebenprodukte entstehen, ist insbesondere der Betrieb ausgesprochen einfach.

6.2 NEBENAGGREGATE UND HILFSSTOFFE

Betriebs- und Unterhaltsarbeiten beschränken sich bei den meisten Verfahren auf die Umgebung des Prozesses. Dabei sind besonders KÜhlkreisläufe zu beachten. Eine sorgfältige integrale Planung, die möglichst auch WärmerÜckgewinnungsmassnahmen beinhaltet, ist nötig.

Zusatzstoffe wie Schutzgase, Druckluft, SpÜlmedien sind im allgemeinen problemlos handhabbar, da es sich meist um reine, inerte Stoffe handelt.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Der vorliegende Bericht stützt sich, neben anderen, vor allem auf die nachfolgend aufgeführten Quellen:

[1] RWE, “Die industriellen Elektrowärmeverfahren”, RWEAnwendungstechnik II/32-79

[2] RWE, “Elektroprozesswärmeverfahren in der Industrie”, RWEEnergie, Verfahrensinformation, 1991

[3] M. Rudolph, H. Schaefer, “Elektrothermische Verfahren”, Springer-Verlag, 1989

[4] Infel, “Elektrizitätsanwendung in der Praxis”, Infel-Info Nr. 2/Juni 1988

[5] Hans Lienhard, “MÖglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik”, Technische Rundschau

[6] RWE, “Industrielle Elektroprozesswärme”, Fachtagung der RWE-Anwendungstechnik, NÜrnberg 1985

[7] Prof. H. Kirn, “Elektrowärme”, Juni 1983

[8] H. Barber, R. Djion, “Techniques and applications of industrial elektroheat”, UIE, 13th Congress of World Energy Conference, 1986

[9] UIE, “Arc Plasma Processes, a maturing technology in industry”, UIE Arc Plasma Review 1988

[10] JÖrg Fasholz, “Induktive Erwärmung; Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen” RWE-Anwendungstechnik, Essen 1984

[ll] J.N. Calvet, “Techniques électriques nouvelles, les applications industrielles du bombardement électronique et du laser”, intervention ‘a l''ecole d’été du CFE, 1987

[12] Electra, “Les plasmas dans l’industrie”, Dopée 85, EDF 1991

[13] Electra, “Guide de l’ingénierie électrique des réseaux internes d’usines”, Dopée 85, EDF 1985

[14] Electra, “Les fours industriels ä résistances électriques”, Dopée 85, EDF

[15] Electra, “Environnement et électricité”, Dopée 85, EDF

[16] U. Ritter et al., “Dank Laser schneller, präziser und kostengünstiger beschichten”, Schweizerische Technische Zeitschrift 2/1992, S.14 ff

[17] K. Pichler, “Der Computer führt Regie; Rohrbogenfertigung aus hochwertigen Stählen”, Schweizerischer Maschinenmarkt 38/1991, S.36 ff

[18] Gema-Volstatic, “Elektrostatisches Pulverbeschichten”

[19] Gema-Volstatic, “Warum elektrostatische Pulverbeschichtung anstelle der Nasslackierung?”, ca. 1977

[20] EDF-Industrie, “Palette des techniques électriques”

INHALTSVERZEICHNIS

ANHANG

ANHANG A	Ablageschema
ANHANG B	Literaturverzeichnis
ANHANG C	Matrix der typischen Elektrowärmeverfahren
ANHANG D	Beschreibung der elektrischen Prozessverfahren

ANHANG A

Klassifizierungsschema der Unterlagen zu Ravel 12.55.

KLASSIFIZIERUNGSSCHEMA RAVEL 12.55

Eine Klassifizierungsinformation setzt sich zusammen aus

- 2-stellige Zahl fÜr Verfahren
- 2-stellige Zahl fÜr Industriezweig
- 2-stellige Zahl fÜr Informationstiefe bzw. -art
- 3-stellige Zahl um innerhalb der gleichen Kategorie zu differenzieren

Zum Beispiel

Verfahren	: Induktion (10)
Industriezweig	: Metall (50)
Informationsart	: Anwendungstechnologie (50)

Laufende Nummer in Kategorie 10.50.50 : 3

Daraus ergibt sich die Klassifizierungsinformation 10.50.50.003

Das Klassifizierungsschema ist in der Tabelle auf der folgenden Seite gegeben.

KLASSIFIZIERUNG RAVEL 12.55

#	Verfahren	Industriezweig	Informationstiefe
10	Induktion	Chemie	Forschungsbericht
15	Infrarot / UV	Papier/Druck	Lehrbuch
20	Mikrowellen / Hochfrequenz	Textil	Impuls
25	Laser	Nahrungmittel	VSE Bulletin
30	Plasma	Brauereien	Statistik
35	Pulverbeschichtung	Milchverarbeitung	Fachberatung
40		Glas / Keramik	Anlageninformation
45	Widerstandserwärmung	Aluminium	Betriebserfahrung
50	Lichtbogen	Stahl / Metall	Anwendungstechnologie RWE,cfe,CINELI,INFEL
55	Elektronenstrahl	Maschinen	zusätzliche Technologie
60	Funkenerosion	Zement / Ziegel / Stein / Kies	Verfahrensinformation
65	Wärmepumpe	Holz	Zusammenfassungen / Tabellen
70	mech. Brüdenverdichtung	Kunststoff	Standards
75			Konzepte/Methodik
80			Ausbildungsinfo
84			Audiovisuelles
85	Prix ETA		Poster, Ausstellungsinfo
90	Verfahrenübergreifendes	Branchenübergreifendes	Firmeninformation,Produktinformation,Prospekte
95	Andere	Diverses	Prototyp
98			Publikationslisten
99			andere

OKT92/NUM-RAV.XLS

ANHANG B

Literaturverzeichnis

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Verfahren	Industriezweig	Informationstiefe	Laufende Nummer	Autor/Organisation	Titel	Stichworte	Ablage
2	10	10	40	001	UIE	Chauffage de réacteurs par induction		45.90.65.002
3	10	10	50	001	cfe	Application du chauffage par induction électromagnétique aux milieux granulaires		
4	10	10	50	002	cfe	Application de l'induction électromagnétique au chauffage des réacteurs chimiques		
5	10	10	50	003	UIE 11	Le générateur thermo-inductiv		UIE/Málaga/CES
6	10	10	90	001	EDF Industrie	Schenectady SA		
7	10	25	50	001	cfe	Chauffeuse à induction en métal expansé pour fluides visqueux		10.25.50.001
8	10	25	50	002	cfe	Générateur à induction pour la cuisson professionnelle		
9	10	25	50	003	cfe	Cuisson par induction: une nouvelle génération de sysèmes inducteurs		
10	10	25	50	004	cfe	Les applications du chauffage par induction à la cuisson-extrusion dans le secteur agro-alimentaire		
11	10	25	50	005	UIE 11	Le générateur thermo-inductiv		UIE/Málaga/CES
12	10	25	90	001	cfe	Application du chauffage par induction dans les industries agro-alimentaires		
13	10	40	50	001	cfe	Elaboration de verres par induction directe		
14	10	40	50	002	cfe	Application des plasmas générés par induction à l'élaboration de matériaux métalliques et céramiques		30.50.50.001
15	10	40	50	003	cfe	La moyenne fréquence au service de la fibre optique		
16	10	40	50	004	cfe	Synthèse de poudres céramiques non-oxydes par plasmas inductif haute fréquence		30.40.50.001
17	10	40	55	001	cfe	Indikationssystem zum Zustand keramischer Tiegel in Induktionsschmelzanlagen		
18	10	45	40	001	UIE	Fusion d'aluminium en fours à induction à creuset		45.90.65.002
19	10	45	40	002	caddet	Induction heating and melting		
20	10	45	50	001	cfe	Ein Induktionstiegelofen für das Speichern und Schmelzen von Aluminium mit optimalem Wirkungsgrad		
21	10	45	50	002	IEEC	Medium frequency furnaces for bulk melting aluminium foundry alloys		BKW/Bertschinger
22	10	45	90	001	EDF Industrie	Société Masselane de Mécanique		
23	10	50	15	001	cfe	Induction melting of metals in cold crucible		
24	10	50	15	002	cfe	State-of-the-art of induction channel furnaces and prospects for their development		
25	10	50	15	003	UIE 11	Regimes électriques et thermiques dans des installations appropriées au chauffage par inductions		UIE/Málaga/CES
26	10	50	15	004	UIE 11	Heating characteristics and control method of hot bar edge heaters for steel plate finishing mills		UIE/Málaga/CES
27	10	50	40	001	JET	Machine de revenu par induction		
28	10	50	40	002	UIE	Fusion d'alliages ferreux par four à induction basse et moyenne fréquences		45.90.65.002
29	10	50	40	003	UIE 11	Induction heating equipment for a continous steelmaking process		UIE/Málaga/CES
30	10	50	40	004	UIE 11	Applications électrothermiques: Politique de qualité		UIE/Málaga/CES
31	10	50	40	005	caddet	Induction heating and melting		10.45.40.002
32	10	50	45	001	cfe	Le réchauffage de rives du train à bandes de sollac fos		
33	10	50	45	002	UIE 11	Experience with electrified techniques in the finnish process industry		UIE/Málaga/CES
34	10	50	50	001	cfe	Les particularités du chauffage en brasage par induction		
35	10	50	50	002	cfe	Induktionswärme für Schweisstechnik, Rohrherstellung und Weiterverarbeitung		

	A	B	C	D	E	F	G	H
36	10	50	50	003	cfe	Einsatz von Induktionswärmungsanlagen für das kontinuierliche Verzinnen von Bandmaterial aus Schwermetall und Möglichkeiten der Erwärmung von Bändern aus Leichtmetall, Schwermetall und Stahl für andere Anwendungen		
37	10	50	50	004	cfe	Kompakt Destillationsanlage mit Vakuum-Induktionstiegeln		
38	10	50	50	005	cfe	Recyclage d'alliages de Titane en creuset froid inductif		
39	10	50	50	006	cfe	Fusion en creuset froid et pulverisation de carbure de Tungstene		
40	10	50	50	007	cfe	Vergleich des rentablen Einsatzes von Induktionsrinnen und Tiegelöfen für das Schmelzen und Warmhalten von Zn, Al und Zn-Al Legierungen in grossen Anlagen zur Stahlbandbeschichtung		
41	10	50	50	008	cfe	Chauffeuse de masselottes		
42	10	50	50	009	cfe	Magnetodynamic channel-type induction furnaces with controlled mass transfer between channel and bath		
43	10	50	50	010	cfe	Die Anwendung der Induktionserwärmung beim Feuerverzinken von Stahlband		
44	10	50	50	011	cfe	Application des plasmas générés par induction a l'élaboration de matériaux métalliques et céramiques		30.50.50.001
45	10	50	50	012	cfe	Juste à temps avec l'induction pour le laminage direct de brames minces		
46	10	50	50	013	cfe	Four à induction destiné au chauffage de billettes pour l'extrusion		
47	10	50	50	014	cfe	Recent advances in induction heating for forging		
48	10	50	50	015	cfe	La chauffeuse à induction "idéale"		
49	10	50	50	016	cfe	Chauffage inductif dans le traitement en continu des bandes d'acier		
50	10	50	50	017	cfe	Application du chauffage par induction à la cuisson de vernis sur bandes d'acier pour emballage		
51	10	50	50	018	cfe	Polymérisation de vernis par induction sur des toles magnétique fines		
52	10	50	50	019	RWE	Induktives Schmelzen und Warmhalten von Gusseisen		Infel
53	10	50	50	020	elektrowärme international	Haftvermittlung zwischen Metall und Kunststoff mit Hilfe von induktiver Erwärmung		10.70.50.001
54	10	50	50	021	EC (86) Invest electric	Medium frequency furnaces		BKW/Bertschinger
55	10	50	50	022	IEEC	Electric heating for ferrous metal forming		BKW/Bertschinger
56	10	50	50	023	IEEC	Electric heating for non-ferrous metal forming		BKW/Bertschinger
57	10	50	50	024	UIE 11	Le générateur thermo-inductiv		UIE/Málaga/CES
58	10	50	50	025	UIE 11	Improvement in strength and service life of heavily loaded parts due to induction heat treatment		UIE/Málaga/CES
59	10	50	50	026	UIE 11	Application of electroheating techniques to steelmaking processes		UIE/Málaga/CES
60	10	50	50	027	UIE 11	Traitements thermiques par induction des cylindres de laminoirs		UIE/Málaga/CES
61	10	50	50	028	UIE 11	The all-electric steel foundry		UIE/Málaga/CES
62	10	50	55	001	cfe	Automatisation par utilisation du "meltminder" en fours de fusion		
63	10	50	55	002	UIE 11	Industrial load management application in a foundry with electric melting furnaces		UIE/Málaga/CES
64	10	50	90	001		Madylam		
65	10	50	90	002		Junker		
66	10	50	90	003	EDF Industrie	Fournier SA		
67	10	50	90	004	EDF Industrie	La Boule Obut SA		
68	10	50	90	005	EDF Industrie	Fonderie de Meung-sur-Loire		
69	10	50	90	006	EDF Industrie	Forges Barriol et Dallière		

	A	B	C	D	E	F	G	H
70	10	50	90	007	madylam	Madylam		
71	10	55	50	001	cfe	Two-frequency system for surface hardening of gears		
72	10	55	50	002	cfe	New equipment for high temperature heating		
73	10	55	50	003	UIE 11	The design of induction heating machines for single-shot hardening of large ring-gears or gear-wheels		UIE/Málaga/CES
74	10	55	90	001	cfe	SMAE		
75	10	55	90	002	cfe	Erich Neumayer GmbH		
76	10	55	90	003	cfe	Kuhn SA		
77	10	70	50	001	cfe	Qualitätsverschlüsse in der Verpackungsindustrie durch Versiegeln unter Anwendung der Induktion		
78	10	70	50	002	cfe	Fusion de noyaux par induction		
79	10	70	50	001	elektrowärme international	Haftvermittlung zwischen Metall und Kunststoff mit Hilfe von induktiver Erwärmung		
80	10	70	50	002	UIE 11	High frequency induction heating in optical fiber manufacture		UIE/Málaga/CES
81	10	90	10	001	edf/ADE	Rapport: activité : Induction		90.90.10.002
82	10	90	15	001	cfe	Inductive mixing forces in ash melting		
83	10	90	15	002	Dr. H.Sobotka	Hochfrequenz-Industriegeneratoren für induktive Erwärmung ,1962		Infel
84	10	90	15	003	Dr. K:H:Brakmeier (BBC)	Induktives Schmelzen, 1966		Infel
85	10	90	15	004	UIE 11	Procédés électriques de separation		UIE/Málaga/CES
86	10	90	15	005	UIE 11	Gerichtete Schmelzenströmung in Induktionsrinnenöfen		UIE/Málaga/CES
87	10	90	35	001	UIE 11	Diskussionsbeiträge		UIE/Málaga/CES
88	10	90	40	001	ABB Technik	Induktionsbeheizte Speichertiegelöfen als Alternative zu Rinnenöfen		
89	10	90	40	002	UIE 11	The capenhurst rotary induction kiln		UIE/Málaga/CES
90	10	90	45	001	UIE 11	Mittelfrequenz-Induktionserwärmungsanlagen, die mit Inverter im Impulsbetrieb gespeist werden		UIE/Málaga/CES
91	10	90	50	001	cfe	Chauffeuse à induction en métal expansé pour fluides visqueux		
92	10	90	50	002	cfe	Transistorized generator with series resonant circuit for induction heating		
93	10	90	50	003	cfe	Transistorized generator for induction heating applications		
94	10	90	50	004	cfe	Non-metal material melting in induction furnaces with cold crucible		
95	10	90	50	005	cfe	L'operculage par la technique du scéllage par induction		
96	10	90	50	006	cfe	Vers une nouvelle génération de plasmas d'induction		30.90.50.001
97	10	90	50	007	cfe	Thermal processing of solids using "Rotek"		
98	10	90	50	008	cfe	Du nouveau dans le chauffage par induction		30.90.50.001
99	10	90	50	009	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		45.90.50.001
100	10	90	50	010	UIE 1986	Techniques and applications of industrial electroheat		90.90.50.004
101	10	90	50	011	IEEC	Induction surface hardening		BKW/Bertschinger
102	10	90	50	012	UIE 11	Le générateur thermo-inductiv		UIE/Málaga/CES
103	10	90	50	013	UIE 11	High frequency transistorized generator for induction heating		UIE/Málaga/CES
104	10	90	50	014	UIE 11	Les techniques électriques appliquées au séchage		UIE/Málaga/CES
105	10	90	50	015	UIE 11	New trends in the development of induction melting furnaces		UIE/Málaga/CES
106	10	90	55	001	cfe	Régulation de puissance en chauffage par induction		
107	10	90	60	001	CINELI	Quels sont les avantages du chauffage par induction?		

	A	B	C	D	E	F	G	H
108	10	90	65	001		Electroheat Techniques for Industry		45.90.65.001
109	10	90	65	002		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
110	10	90	65	003	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002
111	10	90	65	004	badenwerk	Information		90.90.65.005
112	10	90	80	001	JET	Le groupe "chauffage par induction" de la SEE		10.50.40.001
113	10	90	85	001	cfe	L'induction et ses applications industrielles	Posters	
114	10	90	85	002	cfe	L'induction et ses applications industrielles	Ausstellung	
115	10	90	90	001	Linn High Therm GmbH	Eine neue Familie von Hochfrequenz-Leistungsgeneratoren auf Halbleiterbasis zur induktiven Erwärmung		
116	10	90	90	002	cfei	Le chauffage par induction		
117	10	95	50	001	cfe	Automatisation et induction: traitement thermique de vilebrequins		
118	10	95	50	002	cfe	Lutte contre les dépots de paraffine dans les puits de pétrole par réchauffage de la colonne de production au moyen d'un procédé électromagnétique		
119	10	95	55	001	UIE 11	Les transistors remplacent les tubes dans les générateurs de chauffage par induction		UIE/Málaga/CES
120	10	95	90	001	cfe	General Motors		
121	10	95	90	002	cfe	SAFE		
122	15	15	35	001	EC	Accelerated drying of printing inks and coatings		
123	15	15	40	001	RWE	Infrarot-Trockner in einer Bogenoffset-Druckmaschine		
124	15	15	40	002	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004
125	15	15	40	003	UIE	Séchage d'encre par infrarouge et par ultraviolet		45.90.65.002
126	15	15	40	004	IEEC	Electric IR and UV print drying		BKW/Bertschinger
127	15	15	40	005	caddet	Drying paper with infrared radiation		
128	15	15	45	001	UIE 11	Experience with electrified techniques in the finnish process industry		UIE/Málaga/CES
129	15	15	50	001	RWE	Das Härten von Druckfarben und Beschichtungen durch den Einsatz ultravioletter Strahlungsenergie		Infel
130	15	15	50	002	IEEC	Accelerated drying of printing inks and coatings (UV/IR)		BKW/Bertschinger
131	15	15	50	003	UIE 11	Application des rayonnements infrarouge et ultraviolet dans les industries papetieres et polygraphiques		UIE/Málaga/CES
132	15	15	60	001	RWE	Das Härten von Druckfarben und Beschichtungen durch den Einsatz ultravioletter Strahlungsenergie		BKW/Bertschinger
133	15	20	40	001	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004
134	15	20	45	001	edf	Réalisation dans l'industrie textile; préséchage infrarouge électrique		
135	15	20	50	001	cfe	L'infrarouge électrique, ses applications dans l'industrie textile		30.90.50.001
136	15	20	60	001	RWE	Die Infraroterwärmung in der Textil- und Lederindustrie		
137	15	25	40	001	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004
138	15	25	50	001	UIE 11	Decontamination de produits alimentaires par rayonnement infrarouge exemples		UIE/Málaga/CES
139	15	35	60	001	CINELI	Comment stériliser le lait par des procédés électriques?		
140	15	40	40	001	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004
141	15	50	40	001	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004
142	15	50	40	002	IEEC	UV curing for metal decoration		BKW/Bertschinger
143	15	50	50	001	UIE 11	Maximising the performance of corridor infra-red ovens		UIE/Málaga/CES
144	15	60	40	001	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004

	A	B	C	D	E	F	G	H
145	15	65	40	001	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004
146	15	70	40	001	IRW/Belgique	Infrarouge		15.90.15.004
147	15	70	40	002	UIE	Polymérisation de cadres de raquettes et séchage de peinture par infrarouge		45.90.65.002
148	15	70	50	001	UIE 11	Maximising the performance of corridor infra-red ovens		UIE/Málaga/CES
149	15	90	10	001	edf/ADE	Rapport: activité :Rayonnement infrarouge		90.90.10.002
150	15	90	15	001	INFEL, RWE	Innovative Stromanwendungen im Industriebereich		55.90.15.001
151	15	90	15	002	RWE	Infrarotstrahlung für industrielle Trocknungs- und Erwärmungsprozesse		
152	15	90	15	003	BNCE	Electric Infrared Heating for Industrial Processes		INFEL/Böhlen
153	15	90	15	004	IRW/Belgique	Infrarouge		
154	15	90	15	005	cfe/M. Chateauminois	Introduction au rayonnement infrarouge et ses applications		Infel
155	15	90	15	006	UIE 11	Procédés électriques de séparation		UIE/Málaga/CES
156	15	90	35	001	EC	Electric infra-red equipment for process heating		
157	15	90	35	002	UIE 11	Diskussionsbeiträge		UIE/Málaga/CES
158	15	90	35	003	UIE 11	Electricité et developpement de l'entreprise		UIE/Málaga/CES
159	15	90	50	001	JET	Chauffage infrarouge et régulation		10.50.40.001
160	15	90	50	002	RWE	Infrarotstrahlung für industrielle Trocknungs- und Erwärmungsprozesse		90.90.10.001
161	15	90	50	003	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		45.90.50.001
162	15	90	50	004	elektrowärme international	Infrarot-Heiztechnik zum industriellen Trocknen und Erwärmen		
163	15	90	50	005	UIE 1986	Techniques and applications of industrial electroheat		90.90.50.004
164	15	90	50	006	UIE 11	Les techniques électriques appliquées au séchage		UIE/Málaga/CES
165	15	90	55	001	P.S.Jagrovic/ Technische Rundschau	Internationale Konferenz über Strahlentechnologien. RadTech Europe '89 war ein voller Erfolg		
166	15	90	60	001	CINELI	Quelles sont les applications industrielles du rayonnement ultraviolet?		
167	15	90	60	002	CINELI	Pourquoi utiliser les rayons ultraviolets pour durcir les vernis?		
168	15	90	65	001		Electroheat Techniques for Industry		45.90.65.001
169	15	90	65	001		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
170	15	90	65	002	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002
171	15	90	65	003	badenwerk	Information		90.90.65.005
172	15	95	35	001	RWE	Infrarottrocknung für die Fahrzeuglackierung		
173	15	95	35	002	RWE	Moderne Autolackiererei		
174	15	95	35	003	IRW/Belgique	Chauffage de postes de travail		BKW/Bertschinger
175	15	95	40	001	UIE	Traitement par infrarouge électrique		45.90.65.002
176	15	95	45	001	edf	Réalisation dans l'industrie automobile; chaîne de cuisson de retouches de peinture		
177	20	10	10	001	Congrès Micro Ondes	Synthèse organique en milieu hétérogène: activation par les microondes		Vol. 2
178	20	10	10	002	Congrès Micro Ondes	Activation catalytique du méthane par un champ microonde intense		Vol. 2
179	20	10	10	003	Congrès Micro Ondes	Synthese organique sous microondes: Activation anionique en absence de solvant		Vol. 2
180	20	10	15	001	Congrès micro ondes	Comportement des polymeres et des matériaux		Vol 1
181	20	10	50	001	Congrès Micro Ondes	Radio frequency assisted dewatering of filter cake		Vol. 2
182	20	10	60	001	Congrès Micro Ondes	Mise en oeuvre des micro-ondes dans un granulateur-sécheur spherique industriel, La Turbo-Sph		Vol. 2

	A	B	C	D	E	F	G	H
183	20	10	85	001	Congrès Micro Ondes	Microwave treatment of hazardous wastes: "Chemical fixation" of organics like dioxins in contaminated soil		Vol. 2
184	20	10	85	002	Congrès Micro Ondes	Chauffage par pertes diélectriques de propergol et produits sensibles. Application au préchauffage de propergol et à la déstruction de nitroglycerine présenté dans des acides forts.		Vol. 2
185	20	10	85	003	Congrès Micro Ondes	Hypothèses théoriques de l'interaction onde-molecule pour l'interprétation des cinétiques chimiques sous micro-ondes		Vol. 2
186	20	15	35	001	Congrès Micro Ondes	Etudes aux micro-ondes de feuilles de papiers humides		Vol. 2
187	20	15	40	001	EC	Dielectric drying of paper		
188	20	15	45		Congrès micro ondes	Paper Industrie		Vol 1
189	20	15	45		Congrès micro ondes	Paper Converting		Vol 1
190	20	15	50	001	RWE	Hochfrequenztrocknung in der Papier- und Textilindustrie		90.90.10.001
191	20	15	50	002	JFE	La haute fréquence en sécherie de papier, exemple des papeteries soustre		10.50.40.001
192	20	15	50	003	Congrès Micro Ondes	Le séchage haute fréquence en papeterie		Vol. 2
193	20	15	85	001	Congrès Micro Ondes	Etouffage de ver a soie par micro ondes		Vol. 2
194	20	15	85	002	Congrès Micro Ondes	Mésure de température sans contact par radiométrie micro-ondes		Vol. 2
195	20	20	40	001	UIE	Séchage de fibres textiles par pertes diélectriques		45.90.65.002
196	20	20	40	002	Congrès Micro Ondes	Un applicateur d'énergie pour le séchage par micro-ondes d'une traversée d'équipement a haute tension		Vol. 2
197	20	20	45		Congrès micro ondes	Textile drying		Vol 1
198	20	20	50	001	RWE	Hochfrequenztrocknung in der Papier- und Textilindustrie		90.90.10.001
199	20	20	50	001	Congrès Micro Ondes	Etude physico-chimique de traitements de materiaux textiles par champ électromagnétique de haute fréquence du micro-ondes perspectives d'utilisation des resultats		Vol. 2
200	20	20	50	002	Congrès Micro Ondes	Technologies non conventionelles dans le finissage des matériaux textiles en utilisant les micro-ondes et les hautes fréquences		Vol. 2
201	20	20	50	003	Congrès Micro Ondes	Economic analysis of industrial radio frequency package dryers compared to conventional pressure dryers		Vol. 2
202	20	20	60	001	Congrès Micro Ondes	Air radio frequency assisted oven system		Vol. 2
203	20	20	85	001	Congrès Micro Ondes	Séchage par haute-fréquence de nappes enroulées		Vol. 2
204	20	25	10	001	Congrès micro ondes	Heat treatment of foods necessity and consequences role of microwaving		Vol 1
205	20	25	15	001	Congrès micro ondes	Le four domestique a micro-ondes		Vol 1
206	20	25	40	001	RWE	Mikrowellenanlage zur Schnittbrot-Pasteurisierung		
207	20	25	40	002	UIE	Cuisson diélectrique		45.90.65.002
208	20	25	40	003	Congrès Micro Ondes	Recently installed Microwave equipments		Vol. 2
209	20	25	40	003	Congrès Micro Ondes	Cuisson et pasteurisation de produits agro-alimentaires en cavitéstereomode		Vol. 2
210	20	25	45	001	Congrès Micro Ondes	Understanding microwave bumping - from art to science		Vol. 2
211	20	25	45	002	Congrès Micro Ondes	Mayor problems in heating foods in microwave ovens		Vol. 2
212	20	25	45	003	Congrès micro ondes	RF Postbaking of Biscuit		Vol 1
213	20	25	50	001	UIE 11	Radio frequency assisted baking		UIE/Málaga/CES
214	20	25	50	002	Congrès Micro Ondes	Radio frequency assisted dewatering of filter cake		Vol. 2
215	20	25	60	001	Congrès Micro Ondes	Air radio frequency assisted oven system		Vol. 2

	A	B	C	D	E	F	G	H
216	20	25	85	001	Congrès Micro Ondes	Détermination par aproche expérimentale des process de séchage convectif avec assistance micro-ondes a 2450 MHz ayant pour objectiv la maitrise de la qualité.		Vol. 2
217	20	25	85	002	Congrès Micro Ondes	Use of microwave energy for drying agricultural products		Vol. 2
218	20	25	85	003	Congrès Micro Ondes	Environmental benefits from RF post-baking drying		Vol. 2
219	20	25	85	004	Congrès Micro Ondes	Application of electromagnetic energy for the processing of agricultural and horticultural		Vol. 2
220	20	25	85	005	Congrès Micro Ondes	Food surface browning by static microwave ovens		Vol. 2
221	20	25	85	006	Congrès Micro Ondes	Dielectric spectroscopy and its application in the food industry		Vol. 2
222	20	35	40	001	Congrès Micro Ondes	Recently installed Microwave equipments		Vol. 2
223	20	40	10	001	Congrès Micro Ondes	A high performance ceramic tool-bit produced by microwave heating		Vol. 2
224	20	40	10	002	Congrès Micro Ondes	Modélisation de la réticulation des résines époxydes : Réaction sur support et sous microondes du phénylglycidyl-éther avec l'aniline		Vol. 2
225	20	40	40	001	RWE	Mikrowellenanlage zur Trocknung von Keramikfiltern		
226	20	40	40	002	Congrès Micro Ondes	Recently installed Microwave equipments		Vol. 2
227	20	40	40	003	Congrès Micro Ondes	Les fours thermiques micro-ondes		Vol. 2
228	20	40	45	001	Congrès Micro Ondes	Microwace heating at vitrification of radioactive wastes		Vol. 2
229	20	40	50	001	UIE 11	Problems of applying and construction of new h.f. plasma units and installations for heating dielectrics		UIE/Málaga/CES
230	20	40	60	001	Congrès Micro Ondes	Procede de gelification de résines vinyliques par ondes élektromagnétiques		Vol. 2
231	20	40	85	001	Congrès Micro Ondes	Behaviour under microwaves of epoxy - copper powder composites		Vol. 2
232	20	45	55	001	Congrès Micro Ondes	Le chauffage du carbone par énergie micro-ondes et ses effets sur la croissance crystalline compare au chauffage conventionnel		Vol. 2
233	20	50	45	001	Congrès Micro Ondes	Microwave sintering of ferrites using traveling-wave resonator		Vol. 2
234	20	50	85	001	Congrès Micro Ondes	Behaviour under microwaves of epoxy - copper powder composites		Vol. 2
235	20	50	85	002	Congrès Micro Ondes	Microwave susceptors and magnetic materials		Vol. 2
236	20	50	85	003	Congrès Micro Ondes	L'utilisation de l'énergie des micro-ondes dans les processus de fonderie		Vol. 2
237	20	60	35	001	Congrès Micro Ondes	Microwaves heating applied to the curing of mortars		Vol. 2
238	20	60	35	002	Congrès Micro Ondes	Analyse des transferts lors du séchage de beton cellulaire par micro-ondes		Vol. 2
239	20	65	45	001	UIE 11	Experience with electrified techniques in the finnish process industry		UIE/Málaga/CES
240	20	65	45	002	Congrès micro ondes	Woodworking Industry		Vol 1
241	20	65	50	001	Congrès Micro Ondes	Les applications de la haute fréquence dans l'industrie du bois		Vol. 2
242	20	65	50	002	Congrès Micro Ondes	Collage par micro-ondes dans l'industrie du bois. Amélioration de la reactivité des colles, optimisation des process. Conception d'applicateurs spécifiques.		Vol. 2
243	20	65	85	001	Congrès Micro Ondes	Détermination par aproche expérimentale des process de séchage convectif avec assistance micro-ondes a 2450 MHz ayant pour objectiv la maitrise de la qualité.		Vol. 2
244	20	65	85	002	Congrès Micro Ondes	Technical and industrial aspects of dielectric heating in the wood industry: the case of wood glueing in a static press		Vol. 2
245	20	70	10	001	Congrès Micro Ondes	Radio frequency heating of graphite epoxy composite structures		Vol. 2
246	20	70	15	001	Congrès micro ondes	Macromoléculaires sans apport d'énergie micro-ondes		Vol 1
247	20	70	15	002	Congrès micro ondes	Industrial vulcanization of rubber		Vol 1
248	20	70	35	001	Congrès Micro Ondes	Installation d'expérimentation et de caracterisation de traitement thermique par haute-fréquence		Vol. 2
249	20	70	40	001	UIE	Soudage haute fréquence de matières plastiques		45.90.65.002

	A	B	C	D	E	F	G	H
250	20	70	40	002	UIE	Vulcanisation de caoutchouc par micro-ondes		45.90.65.002
251	20	70	45	001	UIE 11	Experience with electrified techniques in the finnish process industry		UIE/Málaga/CES
252	20	70	45	002	Congrès Micro Ondes	Intérêt de la haute fréquence dans les procédés de collage. Descriptif de l'installation permettant la réalisation industrielle du rayon arrière de la citroën ZX aux Ets Manducher		Vol. 2
253	20	70	50	001	UIE 11	Traitements industriels de surface de polymeres par action des plasmas froids post dechargé micro-onde		UIE/Málaga/CES
254	20	70	55	001	UIE 11	Automatische Regulierung der Hochfrequenzgeneratoren grosser Leistung beim dielektrischen Schweissen von Thermoplastfolien		UIE/Málaga/CES
255	20	70	60	001	CINELI	Comment utiliser les micro-ondes pour la vulcanisation du caoutchouc?		
256	20	70	60	002	Congrès Micro Ondes	Procédé de gelification de résines vinyliques par ondes élektromagnétiques		Vol. 2
257	20	70	85	001	Congrès Micro Ondes	Crosslinking under microwaves of unsaturated polyester resins: Dependence on the mode of electromagnetic emission		Vol. 2
258	20	70	85	002	Congrès Micro Ondes	Behaviour under microwaves of epoxy - copper powder composites		Vol. 2
259	20	70	85	003	Congrès Micro Ondes	Microwave assisted pultrusion		Vol. 2
260	20	90	10	001	elektrowärme international	Industrial processing using dielectric heating		
261	20	90	10	002	edf/ADE	Rapport: activité :Rayonnement haute fréquence et micro-onde		90.90.10.002
262	20	90	10	003	Congrès Micro Ondes	Influence of mass transfer parameters in radio frequency drying		Vol. 2
263	20	90	10	004	Congrès Micro Ondes	The role of TMz cavity modes in microwave ovens		Vol. 2
264	20	90	10	005	Congrès Micro Ondes	Microwave leaky-wave applicators. Efficiency evaluation and design criteria.		Vol. 2
265	20	90	15	001	INFEL, RWE	Innovative Stromanwendungen im Industriebereich		55.90.15.001
266	20	90	15	002	RWE	Industrielle Anwendung der dielektrischen Erwärmung		
267	20	90	15	003	Dr. H.Sobotka	Hochfrequenz-Industriegeneratoren für induktive Erwärmung ,1962		Infel
268	20	90	15	004	UIE 11	Procédés électriques de séparation		UIE/Málaga/CES
269	20	90	15	005	UIE 11	Hautes frequences et micro-ondes industrielles		UIE/Málaga/CES
270	20	90	15	006	Congrès Micro Ondes	Calcul numérique du champ électromagnétique dans une cavité micro ondes chargée		Vol. 2
271	20	90	15	007	Congrès Micro Ondes	Fonction de green du four micro-ondes		Vol. 2
272	20	90	15	008	Congrès Micro Ondes	Microwave modelling by the finite element method - principle, possibilities, limits		Vol. 2
273	20	90	15	009	Congrès Micro Ondes	Loading effects in a microwave cavity evaluated by means of finite elements and finite difference methods		Vol. 2
274	20	90	15	010	Congrès Micro Ondes	Modelling of dielectric heating applications		Vol. 2
275	20	90	15	011	Congrès Micro Ondes	Material characterization using microwave active systems		Vol. 2
276	20	90	15	012	Congrès Micro Ondes	Computational methods for electromagnetic fields in waveguides and cavities		Vol. 2
277	20	90	15	013	Congrès Micro Ondes	Temperature distribution in microwave oven heating. The influence of packaging material		Vol. 2
278	20	90	15	014	Congrès Micro Ondes	Far beyond small perturbations or an electric field effect in microwave irradiation of liquids		Vol. 2
279	20	90	15	015	Congrès micro ondes	Propagation et diffusion		Vol 1
280	20	90	15	016	Congrès micro ondes	Propagation guidée et reflexion		Vol 1
281	20	90	15	017	Congrès micro ondes	Propriétés de transport des fluides - éléments de mécanique des fluides et de transferts de chaleur		Vol 1
282	20	90	15	018	Congrès micro ondes	Propriétés diélectriques des matériaux		Vol 1
283	20	90	15	019	Congrès micro ondes	Theorie avancée des lignes, guides et cavités		Vol 1

	A	B	C	D	E	F	G	H
284	20	90	15	020	Congrès micro ondes	Simplified presentation of microwave heating applicators and resonant cavities		Vol 1
285	20	90	15	021	Congrès micro ondes	Les générateurs hautes fréquences et micro-ondes industriels		Vol 1
286	20	90	15	022	Congrès micro ondes	Mesures électriques des charges et des quadripôles		Vol 1
287	20	90	15	023	Congrès micro ondes	Appareillage et méthodes		Vol 1
288	20	90	15	024	Congrès micro ondes	Mesures des permittivités - mesures des températures - mesure de la teneur en eau		Vol 1
289	20	90	15	025	Congrès micro ondes	Mesures des flux radiatifs et températures par détection infrarouge		Vol 1
290	20	90	15	026	Congrès micro ondes	Thermometrie par radiometrie micro-ondes		Vol 1
291	20	90	15	027	Congrès micro ondes	Drying by radio fréquancy and microwave energy		Vol 1
292	20	90	35	001	Congrès Micro Ondes	Computer modelling of dielectric drying processes		Vol. 2
293	20	90	35	002	Congrès micro ondes	Research and education in Europe		Vol 1
294	20	90	40	001	EC	Dielectric heating		
295	20	90	45	001	EC (84)	Dielectric heating (RF and microwave)		BKW/Bertschinger
296	20	90	50	001	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		45.90.50.001
297	20	90	50	002	UIE 1986	Techniques and applications of industrial electroheat		90.90.50.004
298	20	90	50	003	IEEC	Industrial applications of dielectric heating (RF and micro-waves)		BKW/Bertschinger
299	20	90	50	004	UIE 11	Les techniques électriques appliquées au séchage		UIE/Málaga/CES
300	20	90	50	005	UIE 11	Developments in dielectric heating at radio and microwave frequencies		UIE/Málaga/CES
301	20	90	55	001	UIE 11	C.A.D. in dielectric heating		UIE/Málaga/CES
302	20	90	55	002	Congrès Micro Ondes	Evaluation des performances d'un four a micro ondes domestique en régime continument variable		Vol. 2
303	20	90	55	003	Congrès Micro Ondes	Stabilisation en fréquence et en puissance des magnetrons par un convertisseur à résonance série		Vol. 2
304	20	90	55	004	Congrès Micro Ondes	Power adjustment of continuous wave magnetrons at 2450 MHz using the magnetic		Vol. 2
305	20	90	55	005	Congrès Micro Ondes	Frequency locking in multi-magnetron systems		Vol. 2
306	20	90	55	006	Congrès Micro Ondes	Methods of modelling of vacuum-tube (triod) oscillators in range frequency 1-40-(80)		Vol. 2
307	20	90	55	007	Congrès Micro Ondes	Measurement of temperatur and other process parameters in the microwave or RF environnement		Vol. 2
308	20	90	55	008	Congrès Micro Ondes	A high power vector generator system		Vol. 2
309	20	90	55	009	Congrès Micro Ondes	Applicateurs pour hyperthermie micro ondes externe et interne. Controle de température par radiométrie micro-ondes. Reconstruction des cartes thermiques.		Vol. 2
310	20	90	60	001	RWE	Industrielle Anwendung der dielektrischen Erwärmung		Infel
311	20	90	60	002	CINELI	Qu'est-ce qui différencie le chauffage haute fréquence du chauffage par micro-ondes?		
312	20	90	65	001		Electroheat Techniques for industry		45.90.65.001
313	20	90	65	003		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
314	20	90	65	004	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002
315	20	90	65	005	badenwerk	Information		90.90.65.005
316	20	90	85	001	Congrès Micro Ondes	Microwave heating of catalyst substrate material		Vol. 2
317	20	90	85	002	Congrès Micro Ondes	Slow wave structures and their application		Vol. 2
318	20	90	85	003	Congrès Micro Ondes	Propriétés électriques de milieux hétérogènes: Modelisation		Vol. 2
319	20	90	85	004	Congrès Micro Ondes	Analyse par la méthode des élements finis des qualités thermiques d'antennes microfentes pour hyperthérmie à 434 MHz		Vol. 2

	A	B	C	D	E	F	G	H
320	20	90	85	005	Congrès Micro Ondes	Analyse thermique et électrique de lignes à fortes pertes dans le domaine temporel		Vol. 2
321	20	90	85	006	Congrès Micro Ondes	High frequency device for activation of non-sprayed gas absorbers in kinescopes		Vol. 2
322	20	90	85	007	Congrès Micro Ondes	Applicateur resonnant haute fréquence pour traitement des matériaux plans en defilement continu		Vol. 2
323	20	90	85	008	Congrès Micro Ondes	Elliptical microwave applicator		Vol. 2
324	20	90	85	009	Congrès Micro Ondes	Microwave device for irradiation of polar liquids. Thermal and hydrodynamic behavior		Vol. 2
325	20	90	85	010	Congrès Micro Ondes	Approche expérimentale de la propagation électromagnétique en milieu diélectrique dense. Role des interfaces.		Vol. 2
326	20	90	85	011	Congrès Micro Ondes	Microwave power sources applied in the national economy		Vol. 2
327	20	90	85	012	Congrès Micro Ondes	Reflexion and transmission of a dissipative dielectric slab role of permittivity and thickness of the slab		Vol. 2
328	20	90	85	013	Congrès Micro Ondes	L'application industrielle des micro-ondes performances - limités - technologies		Vol. 2
329	20	90	85	014	Congrès Micro Ondes	Thermie 1990 - 1994		Vol. 2
330	20	90	90	001	sairem	micro-ondes et HF (radiofrequencies = HF)		BKW/Bertschinger
331	20	90	90	002	edf	Centres techniques et laboratoires disposants de matériels d'essai en HF ou micro-ondes		
332	20	90	90	003	edf	Quelques constructeurs français de matériel HF ou micro-ondes		
333	20	90	99	001	Congrès Micro Ondes	Rayonnement électromagnétique des appareils ISM		Vol. 2
334	20	90	99	002	Congrès Micro Ondes	The EC directive on EMC: Implications for radio frequency dielectric heating		Vol. 2
335	20	95	15	001	Congrès micro ondes	Biological effects of radiowaves and microwaves		Vol 1
336	20	95	85	001	Congrès Micro Ondes	Cutoff waveguide applicators for cancer treatment		Vol. 2
337	25	40	60	001	J.Steffen/J.P.Randin	Bearbeiten von Keramikwerkstoffen mit Laserstrahlen		
338	25	50	45	001	Technische Rundschau	Lasercaving als neue Bearbeitungsmethode/MAHO mit einem EMO-Schlager		25.55.45.001
339	25	50	50	001	Technische Rundschau	Wissenstransfer in zukunftsweisende Bereiche /Schweissen und Schneiden		
340	25	50	50	002	C.Meyer-Kobbe	Bekommt der Laser Konkurrenz?		
341	25	50	50	003	Technische Rundschau	Effektiveres Schweissen mit polarisiertem Laserstrahl		
342	25	50	50	004	elektrowärme international	Laserumschmelzhärten von Schnellarbeitsstählen		
343	25	50	50	005	UIE 11	Laser surface treatment with different absorption coatings		UIE/Málaga/CES
344	25	50	50	006	UIE 11	Surface Treatment by high power CO2 Laser: Hardfacing alloy deposition		UIE/Málaga/CES
345	25	50	60	001	E.Blank/M.Pieratoni	Laser für die Metallbeschichtung/Innovationen in der Oberflächenmodifikation		
346	25	50	60	002	F.Allgayer	Lasercaving- eine neue Bearbeitungstechnologie		
347	25	55	45	001	Technische Rundschau	Lasercaving als neue Bearbeitungsmethode/MAHO mit einem EMO-Schlager		
348	25	90	15	001	INFEL, RWE	Innovative Stromanwendungen im Industriebereich		55.90.15.001
349	25	90	15	002	J.N.Calvet	Techniques électriques nouvelles "les applications industrielles du bombardement électronique et du laser		55.90.15
350	25	90	35	001	Technische Rundschau	Markt für Laserbearbeitung wächst stark		
351	25	90	35	002	UIE 11	Diskussionsbeiträge		UIE/Málaga/CES
352	25	90	50	001	JET	Le centre d'applications des lasers Flandres-Artois (Calfa)		10.50.40.001
353	25	90	60	001	CINELI	Quelles sont les applications industrielles du laser?		
354	25	90	65	001		Electroheat Techniques for Industry		45.90.65.001
355	25	90	65	002		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		
356	25	90	65	003	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002

	A	B	C	D	E	F	G	H
357	30	10	10	001	Congrès Micro Ondes	Microwave induced plasma process for tungsten carbide powder synthesis		Vol. 2
358	30	10	40	001	UIE 11	Applications électrothermiques: Politique de qualité		UIE/Málaga/CES
359	30	10	40	002	edf	Applications industrielles du plasma de forte puissance à l'étranger (2)		
360	30	10	50	001	UIE 11	La torche à plasma d'induction		UIE/Málaga/CES
361	30	10	50	001	UIE 11	Advance made in use of plasma heating for thermochemical treatments		UIE/Málaga/CES
362	30	10	50	002	Congrès Micro Ondes	Dechargés micro-ondes d'air: Caractérisation et application en chimie des plasma		Vol. 2
363	30	10	60	001	UIE	Arc Plasma Processes		30.10.60.001
364	30	15	60	001	UIE	Arc Plasma Processes		30.10.60.001
365	30	20	50	001	UIE 11	Procédés plasmas pour le traitement de surface des materiaux polymeriques et metalliques (Plasma froid)		UIE/Málaga/CES
366	30	20	50	001	Congrès Micro Ondes	Plasmas microondes post-decharge en ecoulement. Applications industrielles et études en cas		Vol. 2
367	30	40	50	001	cfe	Application des plasmas générés par induction a l'élaboration de matériaux métalliques et céramiques		30.50.50.001
368	30	40	50	002	cfe	Synthèse de poudres céramiques non-oxydes par plasmas inductif haute fréquence		
369	30	40	50	003	UIE 11	Procedes plasmas pour le traitement de surface des materiaux polymeriques et metalliques (Plasma froid)		UIE/Málaga/CES
370	30	40	50	004	UIE 11	La torche à plasma d'induction		UIE/Málaga/CES
371	30	40	60	001	UIE	Arc Plasma Processes		30.10.60.001
372	30	50	10	001	Congrès Micro Ondes	Microwave induced plasma process for tungsten carbide powder synthesis		Vol. 2
373	30	50	35	001	UIE 11	La création des mini-usines à plasma dans les pays en voie de développement		UIE/Málaga/CES
374	30	50	35	002	UIE 11	Is there a future for plasma steelmaking processes?		UIE/Málaga/CES
375	30	50	40	001	UIE 11	A plasma furnace for melting and smelting processes		UIE/Málaga/CES
376	30	50	40	002	UIE 11	Study of the injection and treatment of electric arc furnace dusts ins a plasmacan		UIE/Málaga/CES
377	30	50	40	003	edf	L'application Uckange		
378	30	50	40	004	edf	Applications industrielles du plasma de forte puissance à l'étranger (1)		
379	30	50	40	005	edf	L'application SFPO		
380	30	50	40	006	edf	Applications industrielles du plasma de forte puissance en France (1)		
381	30	50	40	007	edf	Applications industrielles du plasma de forte puissance en France (2)		30.60.40.001
382	30	50	50	001	cfe	Application des plasmas générés par induction a l'élaboration de matériaux métalliques et céramiques		
383	30	50	50	002	Technische Rundschau	Plasmanitrieren für die Oberflächenhärtung		
384	30	50	50	003	Industrial World	High speed cutting combines water-injected plasma with pure oxygen		
385	30	50	50	004	Technische Rundschau	Wissenstransfer in zukunftsweisende Bereiche /Schweissen und Schneiden		25.50.50.001
386	30	50	50	005	Technische Rundschau	Luft-Plasma-Schneiden löste das Stanzen ab		
387	30	50	50	006	UIE 11	Application of electroheating techniques to steelmaking processes		UIE/Málaga/CES
388	30	50	50	007	UIE 11	La flamme électrique;La torche à plasma d'arc et l'électrobrûleur		UIE/Málaga/CES
389	30	50	50	008	UIE 11	Procédés plasmas pour le traitement de surface des matériaux polymeriques et métalliques (Plasma froid)		UIE/Málaga/CES
390	30	50	50	009	UIE 11	La torche à plasma d'induction		UIE/Málaga/CES
391	30	50	50	010	Congrès Micro Ondes	Plasmas microondes post-decharge en ecoulement. Applications industrielles et études en cas		Vol. 2

	A	B	C	D	E	F	G	H
392	30	50	60	001	UIE	Arc Plasma Processes		30.10.60.001
393	30	50	95	001	Congrès Micro Ondes	Microwave induced plasma process for tungsten carbide powder synthesis		Vol. 2
394	30	55	50	001	Technische Rundschau	Plasmanitrieren für die Oberflächenhärtung		30.50.50.002
395	30	55	50	002	UIE 11	Problems of applying and construction of new h.f. plasma units and installations for heating dielectrics		UIE/Málaga/CES
396	30	60	40	001	edf	Applications industrielles du plasma de forte puissance en France (2)		
397	30	60	50	001	UIE 11	Problems of applying and construction of new h.f. plasma units and installations for heating dielectrics		UIE/Málaga/CES
398	30	60	60	001	UIE	Arc Plasma Processes		30.10.60.001
399	30	70	40	001	UIE 11	Applications électrothermiques: Politique de qualité		UIE/Málaga/CES
400	30	70	50	001	UIE 11	Procédés plasmas pour le traitement de surface des materiaux polymeriques et metalliques (Plasma froid)		UIE/Málaga/CES
401	30	70	50	002	UIE 11	Traitements industriels de surface de polymeres par action des plasmas froids post dechargé micro-onde		UIE/Málaga/CES
402	30	70	50	001	Congrès Micro Ondes	Plasmas microondes post-decharge en ecoulement. Applications industrielles et études en cas		Vol. 2
403	30	70	95	001	UIE 11	Traitements industriels de surface de polymeres par action des plasmas froids post dechargé mictro-onde		UIE/Málaga/CES
404	30	90	10	001	edf/ADE	Rapport: activité : Plasma		90.90.10.002
405	30	90	10	002	Congrès Micro Ondes	Hollow plasmas created by intense electromagnetic waves in a transversely magnetized plasma wavequide		Vol. 2
406	30	90	15	001	W. Rieder/Vieweg Verlag	Plasma- und Lichtbogen, 1967		Infel
407	30	90	15	002	Congrès micro ondes	Les plasmas hautes fréquences et micro-ondes		Vol 1
408	30	90	35	001	UIE 11	Diskussionsbeiträge		UIE/Málaga/CES
409	30	90	40	001	CBEE	Processus industriels avec torches à plasma		90.95.40.001
410	30	90	40	002	UIE 11	Die Plasmalanze; Theorie und Praxis einer Neuentwicklung		UIE/Málaga/CES
411	30	90	40	003	edf	Four centrifuge à arc transféré (PRF)		
412	30	90	50	001	cfe	Vers une nouvelle génération de plasmas d'induction		
413	30	90	50	002	cfe	Le plasma et le 1er congrès européen d'Odeillo		
414	30	90	50	003	cfe	Plasma for industrie and environment		
415	30	90	50	004	JET	Cubilot de fonderie une torche à plasma pour surchauffer l'air de combustion		
416	30	90	50	005	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		45.90.50.001
417	30	90	50	006	UIE 1986	Techniques and applications of industrial electroheat		90.90.50.004
418	30	90	50	007	UIE 11	New trends in the development of induction melting furnaces		UIE/Málaga/CES
419	30	90	50	008	edf	Description et présentation des torches à plasma d'arc		
420	30	90	50	009	Congrès Micro Ondes	Plasma thermique par induction haute frequence dans une torche a cage metallique refroidie		Vol. 2
421	30	90	60	001	UIE	Arc Plasma Processes		30.10.60.001
422	30	90	65	001		Electroheat Techniques for Industry		45.90.65.001
423	30	90	65	002		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
424	30	90	65	003	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002

	A	B	C	D	E	F	G	H
425	30	90	65	004	badenwerk	Information		90.90.65.005
426	30	90	65	005	UIE 11	Arc plasma processes: a maturing technology in industry		UIE/Málaga/CES
427	30	90	85	001	Congrès Micro Ondes	Microwave plasma installation		Vol. 2
428	30	90	95	001	edf	Les électrobrûleurs à pré-ionisation		
429	45	10	40	001	UIE 11	Séchage d'engrais par batterie de resistances pilotées par automate à la Soc.Timac-Saint-Malo		UIE/Málaga/CES
430	45	10	50	001	RWE	Elektrische Widerstandserwärmung: Technik und Beispiele aus der Chemie-, Nahrungsmittel- und Metallindustrie		90.90.10.001
431	45	10	60	001	RWE	Elektrothermische Reduktion		50.10.60.001
432	45	15	90	001	La Rochette Venizel	La Rochette Venizel: Historique (entreprise de fabrication de papier)		
433	45	25	50	001	RWE	Elektrische Widerstandserwärmung: Technik und Beispiele aus der Chemie-, Nahrungsmittel- und Metallindustrie		90.90.10.001
434	45	40	40	001	UIE	Fours électriques de cuisson de faïences		45.90.65.002
435	45	40	50	001	UIE 11	Latest development of resistance heating in industrial furnace application		UIE/Málaga/CES
436	45	45	60	001	RWE	Widerstandsbeheizte Tiegelöfen zum Schmelzen und Warmhalten von Aluminium-Legierungen		Infel
437	45	50	40	001	UIE	Récupération de métaux par conduction dans des fours électriques de fusion		45.90.65.002
438	45	50	40	002	UIE	Four électrique de traitement thermique sous vide		45.90.65.002
439	45	50	40	003	UIE 11	Elektrischer Schmelz- und Warmhalteofen Pozen mit direkt im Metallbad eingetauchten Heizkörpern aus Siliziumkarbid		UIE/Málaga/CES
440	45	50	40	004	UIE 11	Applications électrothermiques: Politique de qualité		UIE/Málaga/CES
441	45	50	40	005	edf	Réchauffe de poche de coulée		
442	45	50	50	001	JET	Résistances: four électrique de forge		10.50.40.001
443	45	50	50	002	RWE	Elektrische Widerstandserwärmung: Technik und Beispiele aus der Chemie-, Nahrungsmittel- und Metallindustrie		90.90.10.001
444	45	50	50	003	IEEC	Electric heating for ferrous metal forming		BKW/Bertschinger
445	45	50	50	004	IEEC	Electric resistance furnaces for heat treatment of metals		BKW/Bertschinger
446	45	50	55	001	UIE 11	Industrial load management application in a foundry with electric melting furnaces		UIE/Málaga
447	45	50	60	001	RWE	Elektrothermische Reduktion		50.10.60.001
448	45	50	60	002	CINELI	Quels matériaux peut-on chauffer par conduction?		45.90.60.001
449	45	55	40	001	UIE	Cuisson de pièces émaillées dans un four électrique à résistances		45.90.65.002
450	45	55	40	002	UIE	Chauffage direct par conduction avant formage de ressorts		45.90.65.002
451	45	60	40	001	UIE	Thermomaturation de tuyaux en béton dans des étuves électriques chauffées par résistances		45.90.65.002
452	45	60	90	001	PPB	Guide des composants et modules constructibles		
453	45	70	35	001	UIE 11	Electricité et developpement de l'entreprise		UIE/Málaga/CES
454	45	90	10	001	edf/ADE	Rapport: activité : Fours à résistances		90.90.10.002
455	45	90	15	001	UIE 11	Procédés électriques de séparation		UIE/Málaga/CES
456	45	90	35	001	UIE 11	Lebensdauerprüfung von Rohrheizkörpern		UIE/Málaga/CES
457	45	90	35	002	UIE 11	Diskussionsbeiträge		UIE/Málaga/CES
458	45	90	40	001	UIE 11	Applications électrothermiques: Politique de qualité		UIE/Málaga/CES
459	45	90	40	002	edf	Les tubes de passage direct de courant		

	A	B	C	D	E	F	G	H
460	45	90	40	003	edf	Les applications et les réalisations industrielles des résistances tubulaires		
461	45	90	40	004	edf	Les applications et les réalisations industrielles des résistances tubulaires (2)		
462	45	90	40	005	edf	Thermoplongeur à résistance en graphite		
463	45	90	50	001	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		
464	45	90	50	002	UIE 1986	Techniques and applications of industrial electroheat		90.90.50.004
465	45	90	50	003	UIE 11	Regulation auto-adaptative et amélioration des performances des fours a résistances		UIE/Málaga/CES
466	45	90	50	004	UIE 11	Les techniques électriques appliquées au séchage		UIE/Málaga/CES
467	45	90	55	001	edf	Les résistances électriques de chauffage		
468	45	90	60	001	CINELI	Quels matériaux peut-on chauffer par conduction?		
469	45	90	65	001		Electroheat Techniques for Industry		
470	45	90	65	002	UIE	Elektrowärme		
471	45	90	65	003		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
472	45	95	40	001	IEEC	Electric boiler provides summer steam		BKW/Bertschinger
473	50	10	60	001	RWE	Elektrothermische Reduktion		
474	50	50	15	001	UIE 11	Neues Messverfahren zur Bestimmung des Flickers von Lichtbogenöfen aus dem Belastungsstrom		UIE/Málaga/CES
475	50	50	15	002	UIE 11	Numerisches Modell zur Analyse der Blindleistungskompensation und der Netzrückwirkungen von Stahlschmelzöfen		UIE/Málaga/CES
476	50	50	40	001	UIE	Four à arc pour la production d'aciers spéciaux		45.90.65.002
477	50	50	50	001	UIE 11	Integradet oxygen-enrichment control to attain maximum overall economy in steelmaking arc furnaces		UIE/Málaga/CES
478	50	50	50	002	UIE 11	Ways to improve the efficiency of UHP electric arc furnaces		UIE/Málaga/CES
479	50	50	50	003	UIE 11	Development of a laboratory scale var furnace		UIE/Málaga/CES
480	50	50	50	004	UIE 11	Untersuchungen zur Arbeitsweise von lonenerwärmungsanlagen bei Gleichstromspeisung und impulsförmiger Stromeinspeisung		UIE/Málaga/CES
481	50	50	50	005	UIE 11	Expériences sur un four a arc triphase de moyenne capacité approbie au fontionnement en courant continu		UIE/Málaga/CES
482	50	50	55	001	UIE 11	Automatic optimum input power controller for arc furnaces		UIE/Málaga/CES
483	50	50	60	001	RWE	Elektrothermische Reduktion		50.10.60.001
484	50	55	50	001	UIE 11	Thermo-chemical treatment of machine components and tools by means of ion		UIE/Málaga/CES
485	50	70	50	001	UIE 11	New resistance-arc furnace for melting of non-metallic materials		UIE/Málaga/CES
486	50	90	15	001	W. Rieder/Vieweg Verlag	Plasma- und Lichtbogen, 1967		Infel
487	50	90	35	001	UIE 11	Diskussionsbeiträge		UIE/Málaga/CES
488	50	90	40	001	UIE 11	Optimisation of the submerged-arc furnace design for carbon ferromanganese and pig iron smelting processes		UIE/Málaga/CES
489	50	90	50	001	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		45.90.50.001
490	50	90	50	002	UIE 1986	Techniques and applications of industrial electroheat		90.90.50.004
491	50	90	65	001		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
492	50	90	65	002	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002
493	50	95	40	001	UIE 11	Influence of electrical operation and process parameters on graphite electrode		UIE/Málaga/CES

	A	B	C	D	E	F	G	H
494	50	95	50	001	UIE 11	The influence of electrode tip shape and penetration in electric smelting furnaces		UIE/Málaga/CES
495	50	95	50	002	UIE 11	Application of electric arc heating for melting treatment of sewage sludge and municipal incinerator residue		UIE/Málaga/CES
496	55	45	90	001	CNIM	CNIM		
497	55	50	60	001	CINELI	Quelles sont les applications industrielles du bombardement électronique?		
498	55	50	90	001	CNIM	CNIM		
499	55	90	15	001	INFEL, RWE	Innovative Stromanwendungen im Industriebereich		
500	55	90	15	002	J.N.Calvet	Techniques électriques nouvelles "les applications industrielles du bombardement électronique et du laser		
501	55	90	35	001	SEV	Zur Reduktion der gasförmigen Schadstoffe in Abgasen mit Hilfe elektrischer Entladungen		
502	55	90	50	001	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		45.90.50.001
503	55	90	55	001	P.S.Jagrovic/ Technische Rundschau	Internationale Konferenz über Strahlentechnologien. RadTech Europe '89 war ein voller Erfolg		15.90.55.001
504	55	90	65	001		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
505	55	90	65	002	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002
506	60	90	50	001	H.Lienhard/Technische Rundschau	Möglichkeiten und Verfahren industrieller Elektrowärmetechnik		45.90.50.001
507	60	90	65	001		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
508	65	25	40	001	UIE 11	Applications électrothermiques: Politique de qualité		UIE/Málaga/CES
509	65	25	40	002	edf	Production frigorifique et thermique par pompe à chaleur en salaisonnerie		65.90.90.001
510	65	25	40	003	sogéquip	Installation en salaisonnerie par thermofrigopompe		65.90.90.001
511	65	25	90	001	sogéquip	Références en agro-alimentaire		65.90.90.001
512	65	30	40	001	edf	Pompe à chaleur et chaudière électrique à haut flux en malterie		65.90.90.001
513	65	90	10	001	edf/ADE	Rapport: activité :Pompe à chaleur		90.90.10.002
514	65	90	15	001	UIE 11	Procédés électriques de séparation		UIE/Málaga/CES
515	65	90	35	001	UIE 11	Electricité et developpement de l'entreprise		UIE/Málaga/CES
516	65	90	40	001	IEEC	Electric heat pump drying		BKW/Bertschinger
517	65	90	50	001	RWE	Elektromotorische Wärmepumpe in der industriellen Produktion - Anwendungsbeispiele, Energiebedarf und wirtschaftliche Aspekte		90.90.10.001
518	65	90	50	002	IEEC	Electric heat pumps for product drying		BKW/Bertschinger
519	65	90	50	003	UIE 11	Les techniques électriques appliquées au séchage		UIE/Málaga/CES
520	65	90	50	004	edf	La PAC + CMV		70.90.50.001
521	65	90	65	001		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
522	65	90	65	002	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002
523	65	90	90	001	sogéquip	Sogéquip installation		
524	65	95	40	001	UIE	Séchage de tabac par pompe à chaleur		45.90.65.002
525	65	95	40	002	UIE 11	Development of water working fluid high-efficiency high-temperature heat pump system		UIE/Málaga/CES
526	65	95	50	001	EC	Heat pumps and heat recovery techniques in agriculture and horticulture		BKW/Bertschinger
527	65	95	50	002	IEEC	Heat recovery for industry (heat pump,thermal weel,run-around coils,plate heat exchanges, heat pipe and thermosyphon)		BKW/Bertschinger

	A	B	C	D	E	F	G	H
528	65	95	50	003	IEEC	Electric methods for drying compressed air (heat pumps, adsorption dryers)		BKW/Bertschinger
529	65	95	50	004	UIE 11	Achieving the benefits of heat pumps without the capital investment		UIE/Málaga/CES
530	65	95	50	005	UIE 11	Development of heat pump air-conditioning system with reduced heat accumulation tank capacity		UIE/Málaga/CES
531	65	95	50	006	UIE 11	Analysis of application of heat-pump and solar collector combination with influence of the nonstationarity disturbances		UIE/Málaga/CES
532	70	10	60	001	edf	Séchage vapeur avec CMV		70.25.60.002
533	70	15	40	001	edf	Les évaporateurs		
534	70	15	90	001	La Rochette Venizel	La Rochette Venizel: Historique (entreprise de fabrication de papier)		45.15.90.001
535	70	25	40	001	UIE	Compression mécanique de vapeur et production de jus concentré de tomate		45.90.65.002
536	70	25	50	001	UIE 11	Electricité et concentration dans les industries agricoles et alimentaires en France		UIE/Málaga/CES
537	70	25	60	001	CINELI	Quelles sont les applications de la compression mécanique de vapeur?		
538	70	25	60	002	edf	Séchage vapeur avec CMV		
539	70	35	50	001	UIE 11	Electricité et concentration dans les industries agricoles et alimentaires en France		UIE/Málaga/CES
540	70	65	60	001	edf	Séchage vapeur avec CMV		70.25.60.002
541	70	90	10	001	edf/ADE	Rapport: activité :Concentration et séchage à la vapeur surchauffée avec compression mécanique de vapeur		90.90.10.002
542	70	90	15	001	UIE 11	Procédés électriques de séparation		UIE/Málaga/CES
543	70	90	50	001	edf	La PAC + CMV		
544	70	90	50	002	edf	Turbo compresseur: les compresseurs centrifuges		
545	70	90	60	001	CINELI	Comment concentrer un liquide sans gaspillage énergétique?		
546	70	90	60	002	CINELI	Quelles sont les applications de la compression mécanique de vapeur?		70.25.60.001
547	70	90	65	001		Tableau général des principales applications de l'électrothermie dans l'industrie		25.90.65.002
548	70	90	65	002	UIE	Elektrowärme		45.90.65.002
549	85	90	40	001	VDEW	ETA-Wettbewerb Strom und Innovation/ Teilnehmer und Preisträger 1990		
550	85	90	40	002	England	PEP Awards 1990		
551	85	90	90	001	edf	Grand prix ETA France 1990		
552	90	10	10	001	elektrowärme international	Elektrochemische Verfahrenstechnik		
553	90	10	10	002	edf/ADE	Rapport d'activité :chimie		90.90.10.002
554	90	10	10	003	edf/ADE	Rapport: activité : Electrochimie		90.90.10.002
555	90	10	50	001	RWE	Metallrückgewinnung durch Elektrolyse		
556	90	10	50	002	RWE	Metallische Elektrolyse		
557	90	10	50	003	RWE	Nichtmetallische Elektrolyse		
558	90	15	10	001	edf/ADE	Rapport d'activité :Secteur papetier/imprimerie		90.90.10.002
559	90	20	90	001	EC (87) Invest electric	Textile Industry and Electricity		BKW/Bertschinger
560	90	25	10	001	edf/ADE	Rapport d'activité : Industries agroalimentaires		90.90.10.002
561	90	25	15	001	grow-electric	Electricity in Horticulture		
562	90	25	35	001	Verband der EW's Baden-Würtemberg	Getreidetrocknung mit elektrischen Luftvorwärmern (bis 10 kW)		BKW/Bertschinger
563	90	25	50	001	Südzucker/Frankenzucker	Neue Verfahren in der Lebensmittelindustrie		Zuckermühle Rupperswil|Taeschle
564	90	25	50	002	EC	Grain drying, conditioning and storage		BKW/Bertschinger

	A	B	C	D	E	F	G	H
565	90	25	90	001	EC (87) Invest electric	Electricity is a natural for the food and drinks industry		BKW/Bertschinger
566	90	30	40	001	M. Willimann	Energieeinsatz in der Schweizer Brauindustrie		Infel
567	90	35	10	001	edf/ADE	Concentration en industrie laitière		90.90.10.002
568	90	35	60	001	CINELI	Comment fabriquer de la poudre de lait à l'aide de techniques électriques?		
569	90	35	60	002	CINELI	Comment stériliser le lait par des procédés électriques?		15.35.60.001
570	90	40	15	001	UIE 11	Process and equipment for producing leucosaphire crystals		UIE/Málaga/CES
571	90	40	40	001	IEEC	Glass annealing		BKW/Bertschinger
572	90	40	90	001	EC (88)	Ceramics and industry		BKW/Bertschinger
573	90	50	15	001	UIE 11	Computational methods for the analysis of 2d and 3d eddy current devices in electroheat applications		UIE/Málaga/CES
574	90	50	15	002	UIE 11	Numerisches Modell zur Analyse der Blindleistungskompensation und der Netzrückwirkungen von Stahlschmelzöfen		UIE/Málaga/CES
575	90	50	35	001	UIE 11	Rationalizing the use of energy in the heat treatment of ferrous materials: an analytical comparison of the electric furnace versus the fuel fired furnace		UIE/Málaga/CES
576	90	50	40	001	IEEC	Metal melting		BKW/Bertschinger
577	90	50	50	001	RWE	Metallrückgewinnung durch Elektrolyse		90.10.50.001
578	90	50	50	002	RWE	Metallische Elektrolyse		90.10.50.002
579	90	50	50	003	UIE 11	Direction of intensifying and improving HP ore reduction electric furnaces		UIE/Málaga/CES
580	90	50	60	001	RWE	Öfen in Leichtbauweise für die Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen		Infel
581	90	50	90	001	bonmartin	Bonmartin : laminoirs du dauphiné		
582	90	60	10	001	edf/ADE	Rapport d'activité : Matériaux de construction et BTP		90.90.10.002
583	90	65	10	001	edf/ADE	Rapport d'activité :Bois		90.90.10.002
584	90	65	60	001	RWE	Die technische Holztrocknung		Infel
585	90	70	50	001	IEEC	Elecrtical methods of heating viscous petroleum and coal tar products		
586	90	90	10	001	RWE	Industrielle Elektroprozesswärme - Energiewirtschaftliche, fertigungstechnische und wirtschaftliche Aspekte		
587	90	90	10	002	edf/ADE	edf/ département applications de l'électricité : Rapport d'activité 1990		
588	90	90	15	001	RWE	Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen		Infel
589	90	90	15	002	RWE	Elektroprozesswärmeverfahren in der Industrie		Infel
590	90	90	15	003	Prof H.Kirn	Elektrowärme		
591	90	90	15	004	Atlas Copco	Heat recovery		BKW/Bertschinger
592	90	90	30	001	UIE 11	Evolution des consommations d'énergie dans l'industrie		UIE/Málaga/CES
593	90	90	30	002	UIE 11	A case study of energy substitution to electricity in Japan		UIE/Málaga/CES
594	90	90	35	001	UIE 11	List of questions extracted from session reports		UIE/Málaga/CES
595	90	90	35	002	UIE 11	Mesh belt furnaces, their design and use for heat treatment		UIE/Málaga/CES
596	90	90	45	001	EC (82)	Electric drying for industry		BKW/Bertschinger
597	90	90	50	001	RWE	Möglichkeiten zur Senkung der Beheizungskosten von Fertigungs- und Lagerhallen		90.90.10.001
598	90	90	50	002	RWE	Die industriellen Elektrowärmeverfahren		
599	90	90	50	003	UIE 1988	Industrial Drying by Electricity		Infel
600	90	90	50	004	UIE 1986	Techniques and applications of industrial electroheat		
601	90	90	50	005	UIE 1988	Le séchage électrique dans l'industrie		

	A	B	C	D	E	F	G	H
602	90	90	50	006	UIE	Techniques and applications of industrial electroheat / 13.Congress of world energie conference 86		BKW/Bertschinger
603	90	90	55	001	UIE 11	The control and monitoring of industrial trace heating systems for safety and efficiency		UIE/Málaga/CES
604	90	90	60	001	cfe/G. Develey	Les aspects électriques de l'électrothermie		Infel
605	90	90	65	001	P.Höltkemeier	Rationelle Energieverwendung (1987)		
606	90	90	65	002	P.Höltkemeier	Rationelle Energieverwendung (1988)		
607	90	90	65	003	P.Höltkemeier	Rationelle Energieverwendung (1989)		
608	90	90	65	004	P.Höltkemeier	Rationelle Energieverwendung (1991)		
609	90	90	65	005	badenwerk	Information		
610	90	90	65	006	UIE 11	Research and education in electroheat		UIE/Málaga/CES
611	90	90	70	001	BNCE	Standards, recommandations, European Community Directives and guidelines for electroheat equipment		
612	90	90	75	001	UIE 11	The contribution of a technology transfer unit to increasing the market for elektroheat		UIE/Málaga/CES
613	90	90	80	001	cfe	Eléctrothermie et enseignement		
614	90	90	80	002	UIE 11	Problematik der Fachausbildung auf dem Gebiet der Elektrowärme		UIE/Málaga/CES
615	90	90	80	003	UIE 11	Training of electroheat specialists in the USSR		UIE/Málaga/CES
616	90	90	84	001	EC	Electricity publications and videos for industry		90.90.98.001
617	90	90	90	001		Contifonte		
618	90	90	90	002	BNCE	Electroheat equipment suppliers directory		
619	90	90	90	003	CBEE	Constructeurs, Importateurs et Bureaux d'études / Membres du CBEE		
620	90	90	90	004	CICOF	Forni industriali / Liste der italienischen Ofenbauer		
621	90	90	90	005	UIE	List of applications on the UIE Technical Support Project September 1990		
622	90	90	98	001	EC	Electricity publications and videos for industry		
623	90	90	99	001	Infel Info	Elektrizitätsanwendung in der Praxis		Infel
624	90	95	40	001	CBEE	Chauffage électrique de bâtiments industriels		
625	90	95	40	002	UIE	Un abattoir de volailles "tout électrique"		45.90.65.002
626	90	95	40	003	UIE	Chauffage électrique des locaux		45.90.65.002
627	90	95	40	004	UIE	Préparation de l'eau chaude		45.90.65.002
628	90	95	40	005	IEEC	Effluent treatment		BKW/Bertschinger
629	90	95	50	001	EC	Water heating for the dairy farmer		BKW/Bertschinger
630	90	95	50	002	IEEC	Process hot water by electricity		
631	90	95	50	003	IEEC	Heat recovery for industry (heat pump,thermal weel,run-around coils,plate heat exchanges, heat pipe and thermosyphon)		BKW/Bertschinger
632	90	95	50	004	UIE 11	Le convecteur électrique devient "intelligent"		UIE/Málaga/CES
633	90	95	75	001	RWE	Methodik zur Erfassung und Optimierung des Energieverbrauchs		90.90.10.001
634	90	95	75	002	RWE	Energiekonzepte für den Betrieb - Ziele, Lösungswege und Realisierungen		90.90.10.001
635	95	15	10	001	edf/ADE	Rapport d'activité :métallurgie/sidérurgie		90.90.10.002
636	95	15	40	001	caddet	Automatic inking system for letter press printing		caddet
637	95	15	55	001	caddet	Tubefeeder - Advances simplicity of bulk material handling		caddet
638	95	20	40	001	caddet	Foam processing		caddet
639	95	25	40	001	caddet	Cooling system for fruit and vegetable storage plant		caddet
640	95	25	50	001	UIE 11	Electricité et concentration dans les industries agricoles et alimentaires en France		UIE/Málaga/CES

	A	B	C	D	E	F	G	H
641	95	25	50	002	UIE 11	A new wine-making process effectively utilizing membrane techniques		UIE/Málaga/CES
642	95	40	40	001	caddet	Pair of regenerative ceramic burners		caddet
643	95	50	15	001	UIE 11	Neues Messverfahren zur Bestimmung des Flickers von Lichtbogenöfen aus dem Belastungsstrom		UIE/Málaga/CES
644	95	50	15	002	UIE 11	A study of new prediction method of voltage flicker caused by steel-making arc furnaces		UIE/Málaga/CES
645	95	50	15	003	UIE 11	Numerisches Modell zur Analyse der Blindleistungskompensation und der Netzrückwirkungen von Stahlschmelzöfen		UIE/Málaga/CES
646	95	50	50	001	iew	Linienglühen mit Xenon-Lampen		
647	95	50	50	002	IEEC	Metal recovery by electrolysis		BKW/Bertschinger
648	95	50	50	003	UIE 11	Application of electroslag technology for the production of shaped casting and composite billets		UIE/Málaga/CES
649	95	50	99	001	cfe	L'acier électrique en France		30.90.50.001
650	95	55	90	001		Kuhn	: für die Landwirtschaft	
651	95	90	10	001	edf/ADE	Rapport: activité :Membranes		90.90.10.002
652	95	90	15	001	UIE 11	Procédés électriques de séparation		UIE/Málaga/CES
653	95	90	15	002	UIE 11	Flicker measurement and evaluation results of the activity of UIE working group "Disturbances"		UIE/Málaga/CES
654	95	90	15	003	UIE 11	An application of the new static var compensator utilizing the PWM converters		UIE/Málaga/CES
655	95	90	35	001	UIE 11	Diskussionsbeiträge		UIE/Málaga/CES
656	95	90	40	001	IEEC	Electric air knife drying		BKW/Bertschinger
657	95	90	40	002	IEEC	Process steam heating		BKW/Bertschinger
658	95	90	50	001	IEEC	Electric air knives for drying, spreading and stripping liquid films		BKW/Bertschinger
659	95	90	50	002	UIE 11	The latest experiences in designing and using industrial power systems supplying large arc furnaces and some other variable loads		UIE/Málaga/CES
660	95	90	50	003	edf	Des membranes : pour quoi faire?		
661	95	90	60	001	CINELI	Comment choisir un module d'ultrafiltration?		
662	95	90	60	002	CINELI	Quelles sont les diverses techniques de séparation par membranes et leurs		
663	95	90	65	001	badenwerk	Information		90.90.65.005
664	95	90	65	002	edf	Des membranes, comment c'est fait? comment ça marche?		
665	95	90	65	003	edf	Membranes: une technique qui possède des atouts...		
666	95	90	90	001		cfe		
667	95	90	90	002	edf	Membranes : des constructeurs, des chercheurs, quelques adresses utiles		
668	95	90	99	001	UIE 11	Electricity and electroheat in CMEA countries		UIE/Málaga/CES
669	95	90	99	001	edf	Pourqoui une activité de recherche en membranes ?		
670	95	95	15	001	RWE	Kälte-Wärme-Kopplung in der Industrie		90.90.10.001
671	95	95	40	001	IEEC	Electric steam raising for drying		BKW/Bertschinger
672	95	95	40	002	IEEC	Electric steam raising		BKW/Bertschinger
673	95	95	40	003	IEEC	Electric space heating for industrial premises		BKW/Bertschinger
674	95	95	40	004	IEEC	Electric vat heating		BKW/Bertschinger
675	95	95	50	001	EC	Fan ventilation systems for livestock		BKW/Bertschinger
676	95	95	50	002	EC	The control of ventilation in livestock housing		BKW/Bertschinger

	A	B	C	D	E	F	G	H
677	95	95	50	003	EC	Heating for weaner pigs		BKW/Bertschinger
678	95	95	50	004	EC	Pig creep heating		BKW/Bertschinger
679	95	95	50	005	EC	Hay drying		BKW/Bertschinger
680	95	95	50	006	IEEC	Steam raising by electricity		
681	95	95	50	007	UIE 11	La variatioélectronique de vitesse des moteurs électriques		UIE/Málaga/CES
682	95	95	50	008	UIE 11	La ventilation hygromodulante des logements		UIE/Málaga/CES
683	95	95	50	009	UIE 11	Chauffage des locaux par petits climatiseurs reversibles		UIE/Málaga/CES
684	95	95	50	010	UIE 11	Praxisorientiertes Verfahren zur genauen Messung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Trennwänden		UIE/Málaga/CES
685	95	95	50	011	UIE 11	Applications des rubans chauffants dans les installations d'eau chaude sanitaire		UIE/Málaga/CES
686	95	95	75	001	RWE	Kraft-Wärme-Kopplung - Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen		90.90.10.001
687	95	95	75	002	RWE	Wärmeversorgung von Wohn- und Verwaltungsgebäuden mit Wärmepumpenheizzentralen (RWE-Nahwärmekonzept)		90.90.10.001
688	95	95	75	003	UIE 11	Electricity marketing strategy in the countries of the members of unipede		UIE/Málaga/CES
689	95	95	75	004	UIE 11	EDF Industrie: Une nouvelle stratégie pour conquerir le marché énergétique des PMI		UIE/Málaga/CES
690	95	95	90	001	ife	Qu'est-ce que l'ife ? (institut francais de l'energie)		BKW/Bertschinger
691	95	95	90	002	UIE	Rapport d'activité 1989		
692	95	95	90	003	collins walker	Automatic electrode hot water boilers		
693	95	95	90	004	edf	Le site des Renardières		
694	95	95	90	005	edf	Electricité de France: Direction des études et recherches		
695	95	95	99	001		Flux-expert	nulation numérique	
696	95	95	99	002	UIE 11	Outlook of electroheat development in czechoslovakia and examples of its efficient utilization in households and utility services		UIE/Málaga/CES

ANHANG C

Matrix der typischen Elektrowärmeverfahren in verschiedenen Industrien

TYPISCHE ELEKTROWÄRMEVERFAHREN IN VERSCHIEDENEN INDUSTRIEN

Industriebereiche Elektrische Verfahren	Hüttenbereiche Maschinenbau u. Elektroindustrie	Bauwesen, Oeffentl. Bauten und Baumaterial	Chemische Industrie	Glas Keramik	Gummi-Kunststoff-Industrie	Nahrungsmittel-Industrie	Textil-Industrie	Leder- und Pelz Industrie	Papier- und Pappe-Industrie Druck-Industrie	Holz-Industrie	Spezial-Anwendungen
INDUKTIONS-ERWÄRMUNG	Schmelzen Warmhalten Erhitzen zum Warmformen Wärmebehandlung Schweissen (Weich- und Hartlöten) Magnetformen Galvanisierung Härten Glühen		Kesselerwärmung	Schmelzen im Labormassstab	Erhitzen von Formen Erwärmen für die Extrusion	Backen im Extruder Backen Garen von Fertig-gerichten					
LICHTBOGEN-ERWÄRMUNG	Schmelzen (hohe Reinheitsgrade) Schweissen Schneiden										Behandlung von Industrieabfällen
ELEKTRONENSTRAHL-ERWÄRMUNG	Schmelzen (hohe Reinheits-grade) Schweissen Wärmebehandlung Oberflächenbehandlung Metallisierung, Bohren Trennen, Schneiden		Polymerisieren Sterilisieren von Medikamenten	Metallisierung		Entbakterisierung	Oberflächen-behandlung		Trocknen von Druckerfarbe	Trocknen Nachbehandlung von Lack	
WIDERSTANDS-ERWÄRMUNG (direkte und indirekte)	Schmelzen Warmhalten Erhitzen zum Warmformen Wärmebehandlung Oberflächenbehandlung Galvanisierung Erwärmen von Formen und Matrizen Schweissen	Betonabbinden Trocknen Brennen Warmhalten von Emulsionen und Bitumen Warmwassererzeugung Stoffe frostfrei halten Vorwärmen des Betons vor dem Giessen	Erwärmung zur Förde-rung chemischer Reaktionen Sonstige Flüssigkeits- und Gaserwärmungen Trocknungsprozesse	Schmelzen und Läutern von Glas Wärmebehandlung Erwärmen zum Warmformen von Flachglas Warmhalten Schmelzen von Email Feedererwärmung Brennen von Keramik	Extruder- und Düsenerwärmung Vulkanisierung	Erwärmung von Flüssigkeiten Warmwasser- und Dampferzeugung, Backen Rösten Trocknen	Warmwasser- und Dampferzeugung Erwärmung von Bädern Trocknen	Warmwassererzeugung Erwärmung von Bädern Lufterwärmung	Trocknen Dampferzeugung	Trocknen	
STRAHLUNGS-ERWÄRMUNG Infrarot (IR) Ultraviolett (UV)	Trocknen von Farben und Lacken Endbehandlung Schmelzen von Zinn Erhitzen zum Warmformen	Stoffe rostfrei halten Trocknen	Trocknen Polymerisieren	Trocknen Erwärmen Trocknen von Farben und Lacken Glasieren	Erwärmen Trocknen Warmumformung Oberflächenbehandlung	Backen Stabilisieren Rösten Garen	Vortrocknen Trocknen Heizfixierung	Trocknen	Trocknen von Papier Trocknen von Druck-farben und Lacken Fixieren	Trocknen Nachbehandlung von Lack	
DIELEKTRISCHE ERWÄRMUNG Hochfrequenz (HF) Mikrowellen (UHF)	Schmelzen		Trocknen Polymerisieren	Kontaktlinsenherstellung Sintern	Warmumformen Schweissen Vulkanisieren Polymerisieren	Trocknen Garen Auftauen Sterilisieren Kochen Blanchieren Dehydrieren Backen Pasteurisieren	Trocknen		Trocknen von Papier und Druckfarben Trocknen von Leim	Trocknen von Holzleim	
PLASMASTRAHL-ERWÄRMUNG	Schmelzen Zusatzheizung zum Hochofen Schneiden, Schweissen Oberflächenbeschichten Erschmelzen von Feinkohle Ziehen von Einkristallen		Synthese chemischer Verbindungen/ Zusammensetzungen Auslösen chemischer Reaktionen bei hohen Temperaturen (Produktion v.Acetylen	Ziehen von keramischen Einkristallen			Schneiden	Schneiden	Schneiden		Abfallvernichtung Behandlung von Filterstaub Behandlung von feuerfesten Materialien
LASERERWÄRMUNG	Schweissen, Löten, Schneiden, Bohren, Perforieren Wärmebehandlung Oberflächenbehandlung Gravieren, Beschriften Präzisionsschneiden von kleinsten Teilen Präzisionsmessen Partielles Härten			Schneiden Gravieren, Beschriften Aussheilen von Gitterfehlern (Silicium-Wafer)	Schweissen Schneiden		Schneiden Oberflächenbe-handlung	Schneiden	Drucken Schneiden Perforieren	Schneiden Eingravieren Präzisionsmessung	

ANHANG D

BESCHREIBUNG DER ELEKTRISCHEN PROZESSVERFAHREN

EINFÜHRUNG

INDUKTION

LICHTBOGEN

FUNKENEROSION

ELEKTRONENSTRAHL

WIDERSTAND

STRAHLUNGSERWÄRMUNG (Infrarot, Ultraviolett)

DIELEKTRISCHE ERWÄRMUNG (Hochfrequenz, Mikrowellen)

PLASMA

LASER

PULVERBESCHICHTUNG

EINFÜHRUNG

Während es sich in einem brennstoffbeheizten Verfahren praktisch immer um den gleichen chemischen Prozess handelt, bei dem sich feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe und Sauerstoff unter Wärmeentwicklung miteinander verbinden, lässt sich die Elektroprozesswärme mit sehr unterschiedlichen physikalischen Prozessen erzeugen. Hierin liegt auch die BegrÜndung, warum ein'elektrisches Verfahren ein brennstoffbeheiztes Verfahren in den meisten Fällen nicht einfach substituiert, sondern dem Anwender darüber hinaus neue verfahrenstechnische MÖglichkeiten bietet, die er innovativ nutzen kann.

Im Folgenden werden verschiedene elektrische Prozessverfahren beschrieben. Die Berichte sind folgendermassen aufgebaut: Nach einer Kurzbeschreibung des Verfahrens wird auf alle möglichen uns bekannten technischen Eckdaten wie

- Hauptleistungsbereich
- Mindestanschlussleistung und
- Infrastruktur

eingegangen. Das darauffolgende Kapitel beschreibt die Hauptanwendungsgebiete. Falls verfahrensspezifische Daten (z.B. Elektroschmelzen induktiv: 500 kWh/Tonne geschmolzenes Eisen) bekannt sind, sind sie im vierten Teil des jeweiligen Berichtes aufgelistet. Der fünfte Teil befasst sich noch mit Verschiedenem, das vorher nicht beschrieben wurde wie

Pulverherstellung fÜr die Pulverbeschichtung, oder
Flickerprobleme beim Lichtbogenschmelzen

Zum Teil können ergänzende Informationen zu den einzelnen Verfahren auch aus Kapitel 2 und 3 dieses Berichtes entnommen werden.

INDUKTION

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Alle Werkstoffe, die elektrischen Strom leiten, lassen sich induktiv erwärmen. Im allgemeinen werden Metalle und deren Legierungen induktiv erwärmt, denn sie besitzen eine gute elektrische Leitfähigkeit. Wird der zu erwärmende MetallkÖrper dem Einfluss eines elektromagnetischen Wechselfeldes ausgesetzt, so wird in ihm ein elektrischer Strom induziert. Der Stromfluss bewirkt eine Erwärmung des Metalls.

Die Dicke der Oberflächenschicht, in welcher Überhaupt ein nennenswerter Stromfluss entsteht, wird durch die Stromeindringtiefe # gekennzeichnet. # ist die Tiefe, bei der die Stromdichte auf 37 % ihres Maximalwertes gesunken ist. Die Stromeindringtiefe hängt vom Stoff und von der Frequenz ab. Je höher die Frequenz ist, desto kleiner wird die Stromeindringtiefe.

Je nach erforderlicher Eindringtiefe wählt man die Betriebsfrequenz der Induktionsanlage. Die Skala der anwendbaren Frequenzen reicht von der Netzfrequenz bis zum Kurzwellenbereich. Man unterscheidet

Niederfrequenz	50 Hz -	500 Hz
Mittelfrequenz	500 Hz -	10 kHz
Hochfrequenz	10 kHz -	10 MHz

KernstÜck jeder Induktionserwärmungsanlage ist die Induktionsspule bzw. der Induktor. Das ist derjenige Teil der Anlage, der durch elektromagnetische Einwirkung auf das Gut die Erwärmung hervorruft. Die Spule bzw. der Induktor besteht im allgemeinen aus einem Kupferhohlprofil, das von KÜhlwasser durchflossen wird. Die Spulen - bzw. Induktorform ist dem zu erwärmenden Gut angepasst.

Die induktive Erwärmung kann eingeteilt werden in “Induktives Erwärmen” und “Induktives Schmelzen”. Induktives Erwärmen umfasst alle Anwendungsgebiete die in den Temperaturbereich unterhalb des jeweiligen Gutschmelzpunktes fallen. Dazu zählen die Wärmebehandlungen Härten, Anlassen und GlÜhen; das LÖten, Schweissen und Sintern; das Erwärmen zum anschliessenden Warmumformen und zahlreiche Sonderanwendungen, wie die induktive Kesselbeheizung oder das Zonenziehen und Reinigen von Halbleitern.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Induktive Schmiedeblockerwärmungsanlagen haben gegenüber brennstoffbefeuerten Oefen wesentliche Vorteile. Bei der freien Wahl des Standortes wirken sich ihr geringer Platzbedarf und ihre problemlose Energieversorgung günstig aus. Daneben führen die kurzen Aufheizzeiten bei induktiver Erwärmung zu

geringem Zunderanfall (unter 0,5 %) und damit zu einer Einsparung im Einsatzgewicht (keine Bearbeitungszugaben), keiner Randentkohlung sowie keiner Grobkornbildung

Infolge der Zunderarmut erhöht sich die Lebensdauer der teuren Schmiedegesenke (höhere Gesenkstandzeiten). Weitere Vorteile, die
fÜr die induktive Schmiedeerwärmung sprechen sind

- geringer Ausschuss der geschmiedeten Teile durch gleichmässige Blocktemperatur und gleichmässiges Gefüge.
- Keine unnötige Erwärmung der BlÖcke durch die MÖglichkeit, den Schmiedeerhitzer bei Stillstand der Verformungsmaschine sofort abzuschalten. Ein Ueberhitzen der Schmiederohlinge ist praktisch unmöglich.
- Sofortige Betriebsbereitschaft zu Beginn der Produktion.
- Keine Belästigung des Bedienungspersonals durch Abgase, Verbrennungsprodukte oder stark wärmeabstrahlende Ofenräume.
- Keine Umweltverschmutzung,durch Verbrennungsrückstände
- Einfache Bedienung

Die gleichen Vorteile wie fÜr das Schmieden bieten die induktiven Erwärmungseinrichtungen fÜr das Strangpressen.

Ausgangsmaterial sind die in den Metall- und Stahlwerken durch Kokillen- oder Strangguss erzeugten Pressbolzen. Diese Bolzen werden auf Presstemperatur erwärmt und dem Aufnahmezylinder (Rezipienten) einer hydraulischen Presse zugeführt. Die Presse drückt den Bolzen mittels eines Pressstempels durch eine Matrize und gibt ihm so das Profil, das als Oeffnung in die Matrize eingearbeitet ist. Auf diese Weise lassen sich auch komplizierte Profile besonders einfach herstellen.

Symmetrierung

Anlagen die ausschliesslich mit Netzfrequenz arbeiten, können direkt oder Über Regeltransformatoren an das speisende Drehstromnetz angeschlossen werden. Dem Regeltrafo folgt eine Symmetriereinrichtung zur gleichmässigen Verteilung der einphasigen Last auf die drei Phasen des Netzes.

Blindenergiekompensation

Der Induktorspule werden immer eine Reihe von Kondensatoren parallelgeschaltet. Damit soll erreicht werden, dass die Spule dem Stromversorgungsnetz nur die Energie entnimmt, die auch in Wärmeenergie umgewandelt wird. Die zum periodischen Aufbau des magnetischen Feldes notwendige Blindenergie, die nicht in wärme umgewandelt wird, entnimmt die Spule den Kondensatoren.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Direkte Erwärmung

Induktives Erwärmen

Die Induktionshärtung ist ein bewährtes Verfahren zur Qualitätssteigerung von Bau- und Konstruktionsteilen aus Stahl, Stahlguss oder Gusseisen. Solche WerkstÜcke können gehärtet werden, indem man sie auf ca. 900 °C erwärmt und sofort danach abschreckt. Als Abschreckmittel kommen Wasser, Luft, Oel oder Emulsionen in Frage. Bei der Härtung spielt der Kohlenstoffgehalt des Stahls eine entscheidende Rolle. Für eine nennenswerte Härteannahme sollte der Kohlenstoffanteil nicht weniger als 0,35 % betragen.

Das induktive Verfahren bietet insbesondere die MÖglichkeit, die Erwärmung gezielt auf eine oder mehrere begrenzte Partien der Gesamtoberfläche zu konzentrieren und auf die tatsächlich zu härtenden Zonen zu beschränken. Diese dem Verschleiss unterliegenden Zonen sind zum Beispiel bei einer Kurbelwelle die Lagerflächen, bei einer Nockenwelle die Nocken.

Der Hauptvorteil des induktiven Verfahrens liegt in der Gleichmässigkeit der Härtewerte und des Härteverlaufs. Es lassen sich beliebige Härteverläufe und Einhärtetiefen programmieren und stets reproduzieren. Induktionsanlagen lassen sich leicht automatisieren. Die Sauberkeit des Aufheizvorgangs und der geringe Platzbedarf gestatten eine Aufstellung derartiger Anlagen direkt in der Fertigungsstrasse, wodurch kostspielige WerkstÜcktransporte entfallen.'Weitere Vorteile sind:

- partielle Härtung
- schnelle Erwärmung
- hoher Durchsatz
- Zunderarmut
- geringster Verzug
- keine Grobkornbildung
- keine Wärmebelästigung
- keine Umweltbelastung

Unter GlÜhen versteht man die Erwärmung auf eine bestimmte Temperatur und Halten bei dieser Temperatur mit nachfolgendem, in der Regel langsamem AbkÜhlen. Wichtig fÜr alle GlÜhungen ist ein gleichmässiges, durchgreifendes Erwärmen.

FÜr das WeichlÖten, HartlÖten und Schweissen, letzteres insbesondere bei längsnahtgeschweissten Rohren, wird das induktive Verfahren seit Jahren mit Erfolg angewendet.

Induktives Schmelzen

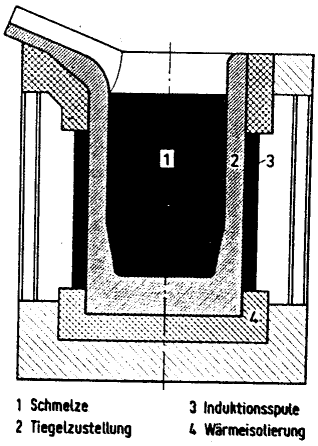
Zunehmende Anforderungen an die Qualität der Gusswerkstoffe sowie die Notwendigkeit, möglichst umweltfreundliche Schmelzaggregate einzusetzen, führten zum wachsenden Einsatz von Induktionsschme1zÖfen in Eisen-, Stahl- und Leichtmetallgiessereien.

Man unterscheidet vom Prinzip her zwei Arten von Induktions-

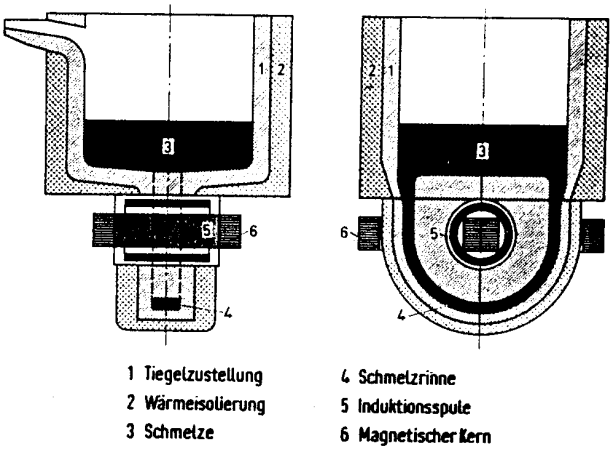
schme1zÖfen:

- Induktions-Tiegelofen (Figur 1) - Induktions-Rinnenofen (Figur 2)

Beide unterscheiden sich in Form und Wirkungsweise in wesentlichen Punkten. Während im Rinnenofen nur in der angesetzten Rinne selbst elektrische Schmelzenergie induziert wird, ist beim Tiegelofen der gesamte Tiegel von der Induktionsspule umschlossen.



Figur 1: Schema eines Induktions-Tiegelofens



Figur 2: Schema eines Induktions-Rinnenofens

Der Induktionstiegelofen

Das gesamte in den Tiegel eingesetzte Metall wird durch induzierte StrÖme erwärmt. Dabei ist die Stromeindringtiefe ein massgebender Faktor fÜr den optimalen Schmelzprozess.

Ein Kaltanfahren dieses Ofens ist wegen der verhältnismässig grossen Stromeindringtiefe bei Netzfrequenz häufig nur mit sogenannten AnfahrblÖcken oder mit flüssigem Material möglich.

Der Netzfrequenz-Induktionstiegelofen ist, bedingt durch die Fahrweise mit einem flüssigen Sumpf, das ideale Schmelzaggregat zum Einschmelzen kleinstückigen Materials sowie bei geringem Legierungswechsel. Er kommt daher vornehmlich in Graugiessereien, Schwermetallgiessereien (insbesondere Späneschmelzen) und Aluminiumgiessereien zum Einsatz. Auch Stahl und Edelstähle werden im Netzfrequenz-Induktionstiegelofen unter bestimmten Voraussetzungen günstig erschmolzen.

Der Über einen Frequenzwandler gespeiste Mittelfrequenz-Tiegelofen wird vorwiegend mit stückigem Einsatzgut beschickt. Er ist das ideale Schmelzaggregat bei häufigem Legierungswechsel, zum Beipiel bei Erzeugung von verschiedenen Edelstählen oder Kupferlegierungen.

Hinsichtlich der Metallurgie des Schmelzprozesses gibt es keine Unterschiede, ob im Mittelfrequenz- oder Netzfrequenz-Tiegelofen geschmolzen wird. Die Unterschiede in der Metallurgie können nur durch verschieden grosse Badbewegung, verschiedene Schmelzzeiten und verschiedene Temperatursteigerungsgeschwindigkeiten entstehen. GleichgÜltig, ob diese Verschiedenheit durch Aenderung der Frequenz oder bei gleicher Frequenz durch Aenderung der spezifischen Leistung hervorgerufen wird.

Der Induktions-Rinnenofen

Die Bezeichnung dieses Schmelz- und Warmhalteofens als Induktions-"Rinnenofen" rührt von seiner Bauform her. Im Gegensatz zum Tiegelofen wird hier nur ein Teil der Schmelze dem elektromagnetischen Wechselfeld ausgesetzt. Dieser Teil der Schmelze befindet sich in der sogenannten “Schmelzrinne” (Fig.2)

Während der Rinnenofen in der Eisenindustrie fast ausschliesslich als Warmhalteofen eingesetzt wird, findet er in der NE-Metallindustrie auch als Schmelzaggregat weitgehend Verwendung.

FÜr Schmelzaufgaben eignet er sich dann besonders, wenn es sich um das Einschmelzen grobstückigen Materials und möglichst gleichbleibende Legierungen handelt.

Als Warmhalteofen wird er im sogenannten “Duplexbetrieb” dem eigentlichen Schmelzaggregat - brennstoffgefeuert oder elektrisch beheizt - nachgeschaltet. Er dient dann nur zum Sammeln, Ueberhitzen und Vergleichmässigen des flüssigen Materials. Die Ueberhitzung der zugeführten Schmelze lässt sich in kurzer Zeit mit geringen Energiekosten erreichen. Im Rinnenofen steht dann ständig geschmolzenes Metall zum Vergiessen bereit. Vergiess- und

Schmelzbetrieb können so weitgehend unabhängig voneinander arbeiten.

Indirekte Erwärmung

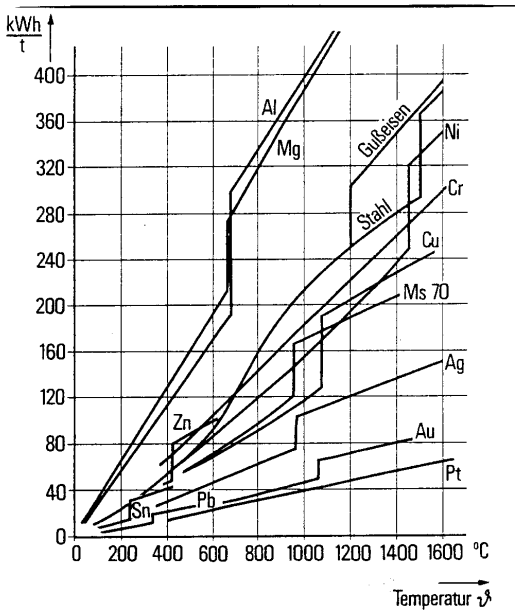
Die Induktionserwärmung wird auch in verschiedenen Anwendungen zur indirekten Erwärmung eingesetzt:

- chemische Reaktoren
- Erwärmung von thermischen FlÜssigkeiten und Dampferzeugung
- Erwärmen von Fertiggerichten
- Erwärmung - Extrusion

Das Induktionsverfahren wird heute erfolgreich auch in der Rohrbogenfertigung aus hochwertigen Stählen eingesetzt.

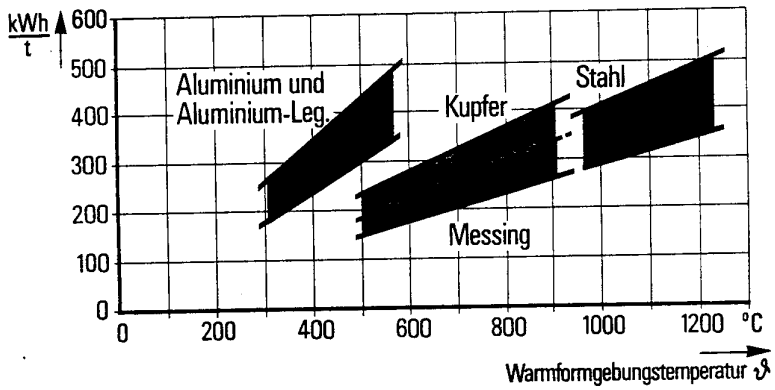
4. VERFAHRENSSPEZIFISCHE DATEN

Um eine Tonne Stahl auf Schmiedetemperatur (1200 °C) zu erhitzen, ist die Zufuhr einer Nutzwärmemenge von 248 kWh erforderlich (siehe auch Figur 3). Unter Berücksichtigung des Uebertragungswirkungsgrades von 85 - 95 % (Verluste der Zuleitungen und des Umrichters), des elektrischen Wirkungsgrades von 70 - 85 % (Kupferverluste der Spule) und des thermischen Wirkungsgrades von 85 - 90 % (Wärme + Energieverluste des Heizgutes) berechnet sich der netzseitige Energiebedarf zu 340 - 490 kWh/t.



Figur 3: Energieaufnahme verschiedener Metalle

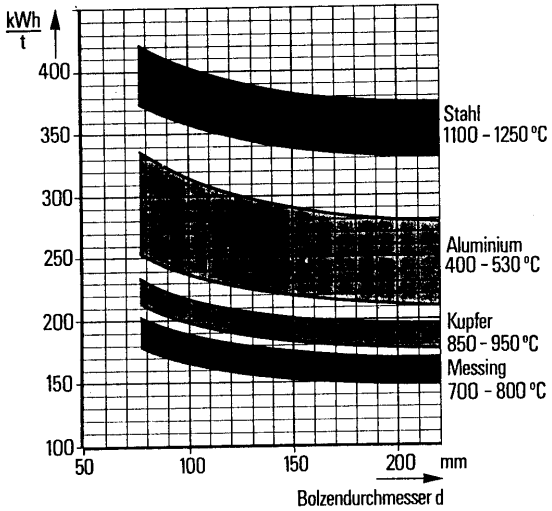
weitere überschlägige Energiebedarfszahlen können Figur 4 entnommen werden.



Figur 4: Richtwerte des netzseitigen spezifischen Energiebedarfs beim induktiven Erwärmen fÜr das Warmformen.

Nach Abschätzung des gewünschten Durchsatzes in kg pro Stunde ergibt sich aus den angegebenen netzseitigen Energiebedarfszahlen Überschlägig die erforderliche Anschlussleistung einer Anlage in kw.

Der Strombedarf beim induktiven Erwärmen von Bolzen ist in Figur 5 ersichtlich.



Figur 5: Strombedarf beim induktiven Erwärmen von Bolzen

Die charakteristischen Daten von Induktions-TiegelÖfen und Induktions-Rinnenöfen sind in Figur 6, resp. Figur 7, zusammengefasst

		Energiebedarf in kWh/t	Tiegelinhalt in t
Stahl	bis 1 600 °C	650 – 550	0,5 – 150
Gußeisen	bis 1 500 °C	600 – 520	0,5 – 60
Kupfer	bis 1 200 °C	500 – 340	0,5 – 70
Messing (60 % Cu)	bis 1 000 °C	320 – 240	0,5 – 70
Aluminium	bis 750 °C	650 – 480	0,2 – 25
		Ofennenn-leistung in kW	Schmelz-leistung in t/h
Stahl	bis 1 600 °C	90 – 40000	0,1 – 70
Gußeisen	bis 1 500 °C	90 – 20000	0,1 – 35
Kupfer	bis 1 200 °C	150 – 12000	0,3 – 30
Messing (60 % Cu)	bis 1 000 °C	150 – 12000	0,5 – 40
Aluminium	bis 750 °C	80 – 6000	0,1 – 12

Figur 6: Charakteristische Daten von Netzfrequenz-TiegelÖfen

Überhitzen	Nutz-fassungs-vermögen in t	Ofen-leistung in kW	Über-hitzungs-leistung um 100 K in t/h	Anhalts-zahlen Energie-bedarf in kWh/t
Gußeisen	5 – 130	100 – 4200	3 – 110	40
Schmelzen			Schmelz-leistung in t/h	
Gußeisen	7,5 – 50	400 – 2500	0,5 – 6	550
Kupfer	0,3 – 93	70 – 2000	0,2 – 8	270
Messing (58 % Cu)	0,3 – 93	70 – 2300	0,3 – 11	220
Zink	0,7 – 150	40 – 2550	0,3 – 15	120
Aluminium	0,3 – 38	40 – 2000	0,1 – 5	450

Figur 7: Charakteristische Daten von Induktions-Rinnenöfen

LICHTBOGEN

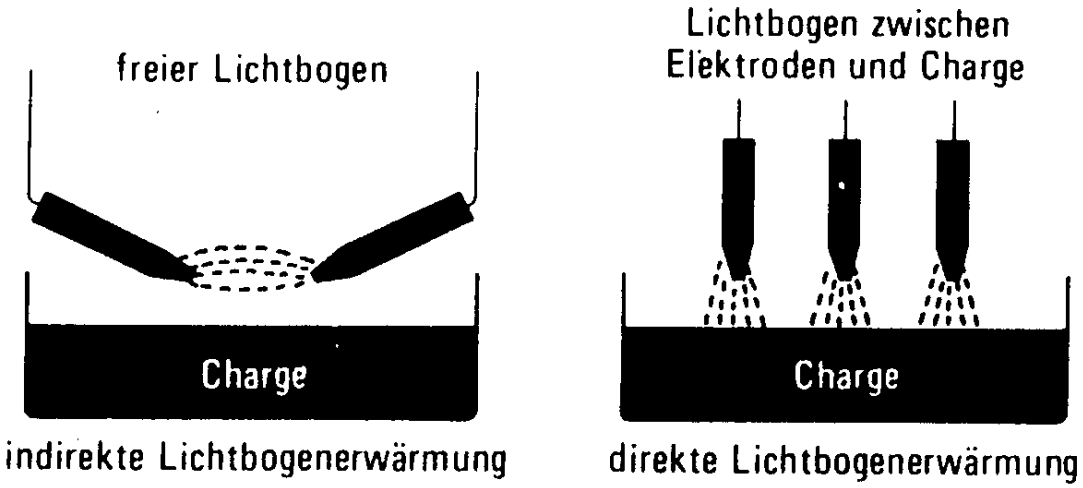
1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Der Lichtbogen-Erwärmungsvorgang der LichtbogenÖfen wird eingeleitet mit dem ZÜndvorgang. Unter Anlegung einer genügend hohen Spannung werden entweder zwei Elektroden oder Elektrode und Werkstück in BerÜhrung gebracht und darauf getrennt (Figur 1). Dadurch fliesst ein Strom, dem bei der Trennung eine Elektronenemission der glühenden Kathode folgt; die Elektronen bewegen sich in dem elektrischen Feld zwischen den Elektroden auf die Anode zu und treffen auf ihrem Weg auf GasmolekÜle, die durch Stossionisierung leitfähig werden und nun innerhalb der Gassäule die Stromleitung Übernehmen. Auch diese Ionen werden durch das vorhandene elektrische Feld beschleunigt, treffen auf die Kathode, erhitzen sie und halten damit die Elektronenemission aufrecht.

Grundsätzlich wird zwischen indirekter und direkter Lichtbogenerwärmung unterschieden. Bei der indirekten Erwärmung brennt der Lichtbogen zwischen den Elektroden ohne BerÜhrung mit dem Schmelzgut. Die Wärme wird durch Strahlung und Konvektion auf das Gut Übertragen.

Die indirekte Erwärmungsart wurde in Einphasen-TrommelÖfen angewendet. Wegen des hohen Stromverbrauchs und der schlechten Haltbarkeit der Ausmauerung arbeiten diese Oefen unwirtschaftlich und sind heute nicht mehr gebräuchlich.

Bei der direkten Erwärmung brennt der Lichtbogen zwischen Elektrode und Schmelzgut. Die Wärme wird durch Leitung, Konvektion und Strahlung auf das Gut Übertragen.

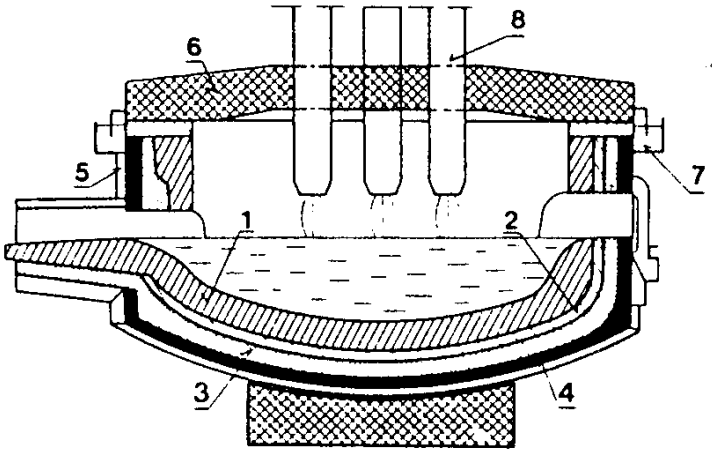


Figur 1: Prinzip der direkten und indirekten Lichtbogenerwärmung

In der Praxis werden die 3 Kohlenstoffelektroden eines Lichtbogenofens mit sehr hohen StrÖmen (30’000 bis 60’000 Ampe’res pro Elektrode) in Niederspannung (Gleich- oder Wechselspannung 300 bis 900 V) gespiesen.

Auf der Grundlage der Betriebsart wird zwischen diskontinuierlich und kontinuierlich arbeitenden LichtbogenÖfen, nach der Bauart zwischen Schme1zÖfen und ReduktionsÖfen unterschieden.

Bei den diskontinuierlich arbeitenden Schme1zÖfen wird das Ofengefäss mit Schmelzgut beschickt und der Einsatz niedergeschmolzen, anschliessend wird raffiniert und abgegossen. Dann wird wieder eine neue Charge in den Ofen eingebracht. Derartige Schme1zÖfen finden in der Elektrostahlerzeugung, aber auch bei der Herstellung von Ferrochrom, Ferromangan, Ferromolybdän, Ferrovanadium und Ferrowolframlegierungen Anwendung. Das Prinzip geht aus Figur 2 hervor.



Figur 2: Prinzip eines Lichtbogenofens mit Auskleidung. 1 Kohle, 2 Elektrodenmasse, 3 Schamotte, 4 Schamottegrus, 5 Eisenblechmantel, 6 Silikat/Korund/Schamotte, 7 Dichtungstasse, 8 Elektroden

Bei den kontinuierlichen Verfahren wird dem Ofen dagegen das Ofeneinsatzgut stetig zugeführt und dann einem Reduktionsprozess unterzogen. FrÜher wurde nur die VerhÜttung schwer schmelzbarer Metalloxyde derart erschmolzen, heute findet jedoch das kontinuierliche Elektroverfahren auch in der Roheisengewinnung Anwendung. Auch fÜr die Herstellung von Karbid und Phosphor wird dieses Verfahren angewendet.

Der grundsätzliche Unterschied zwischen Schme1zÖfen und Reduktionsöfen bedingt voneinander abweichende Bauformen. Zwei Arten sind in der Praxis von Bedeutung:

- Die direkte Lichtbogenerwärmung der Schme1zÖfen. In diesem Fall brennt der Lichtbogen zwischen den in das ofengut eingesenkten Elektroden oder der Elektrode und der im Ofenboden angebrachten Gegenelektrode.

- Bei den ReduktionsÖfen tauchen die Elektroden direkt in das Ofengut ein, und wenn auch - je nach ofengut - kleinere Lichtbogen auftreten können, so handelt es sich im wesentlichen doch um einen Stromfluss von Elektrode zu Elektrode durch das Schmelzgut und damit um eine direkte Widerstandserwärmung. Die technische Einordnung der ReduktionsÖfen zu den LichtbogenÖfen ist wesentlich bedingt durch den beinahe gleichen Ofenbau.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Ein Lichtbogen ist eine elektrische Wärmequelle mit hoher Energiedichte und deshalb fÜr Schmelzvorgänge gut geeignet. Man kann mit Temperaturen von bis zu 4000 °C, mit Leistungsdichten von etwa 30 kW/cm3 und Schmelzleistungen bis zu 1200 kW/m' Badeoberfläche rechnen. LichtbÖgen können mit Gleichstrom oder Wechselstrom betrieben werden. Bei GleichstromÖfen tritt der Abbrand an der Anode ein, was zu einem erheblichen Elektrodenverbrauch führt. Die Gleichstromofentechnik ist noch zu wenig gefestigt. Die ersten grossen ofeneinheiten sind erst im Bau.

Ueblicherweise werden die LichtbogenÖfen Über einen Ofentransformator und einen Netztransformator direkt ans Hochspannungsnetz der Elektrizitätsversorgung angeschlossen. Sie können aber auch vom Mittelspannungsnetz gespiesen werden, falls dieses eine genügend grosse Kurzschlussleistung hat.

Normalerweise haben Lichtbögen bei den in LichtbogenÖfen Üblichen Stromstärken eine fallende Strom-Spannungs-Charakteristik, die eine Impedanz als Vorwiderstand erfordert; oft wird deshalb dem Ofentransformator hochspannungsseitig eine Drossel vorgeschaltet. Bei grossen Oefen kann die Impedanz des Transformators ausreichend sein.

Durch elektrodynamische Kräfte, die bei hohen Stromdichten auftreten, wird eine Kontraktion des Lichtbogens bewirkt, die Auswirkungen auf die Kathodenbeanspruchung haben kann. Diese Kräfte treten nicht nur innerhalb des Lichtbogens, sondern auch an der Eindringstelle in die flüssige Schmelze auf und führen zum PinchEffekt. Der flüssige Leiter wird in radialer Richtung kontrahiert. Daneben entstehen durch intensive Gas- bzw. Dampfentwicklung auch mechanische Kräfte, die zusätzlich eine Durchquirlung der Schmelzoberfläche bewirken.

Beim Widerstands-Erwärmungsvorgang in den ReduktionsÖfen kommt es vor allem darauf an, den Strom im Ofengut derart zu lenken, dass die elektrische Energie an der richtigen Stelle und in geeigneter Leistungdichte genutzt wird. Bei vorgegebener, temperaturabhängiger Leitfähigkeit des Ofengutes fliesst der Strom, von der Elektrode ausgehend, den Weg des geringsten Widerstands durch das Ofengut. Hierbei spielen der Elektrodenabstand und der Abstand Elektrodenspitze-Ofenwannenboden eine Rolle, wenn der Strom von dem geerdeten Ofengefäss abgeleitet wird. Die Stromstärke ist dann bei gegebenem Widerstand beziehungsweise Elektrodenabstand proportional zur Ofenspannung. Die Praxis hat gezeigt, dass auf die Einstellung optimaler Spannungsverhältnisse besonders geachtet werden muss.

Durch Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit des Ofengutes können optimale Verhältnisse erzielt werden, wenn auch durch die Ofenspannung und die Elektrodenbelastbarkeit Grenzen gesetzt sind.

Die LichtbogenÖfen Üblicher Bauart werden mit Phasenspannungen von 600 bis 700 V und Stromstärken von 50 bis 100 kA bei Leistun-

gen von 40 bis 100 MVA betrieben. Derartige Oefen müssen direkt an das Hochspannungsnetz angeschlossen werden; ein Ofentransformator mit ausreichendem Spannungsbereich wird dazwischengeschaltet. Die erforderlichen Spannungsstufen können durch Anzapfungen, durch Umschaltung von Stern auf Dreieck und umgekehrt oder durch stetig verstellbare Transformatoren eingestellt werden.

Die elektrischen Betriebsbedingungen fÜr einen Lichtbogenofen sind anspruchsvoll. Spannungsabsenkungen im speisenden Netz, stÖrende Erscheinungen am Lichtbogen, Bedienungsfehler beim Einschmelzen und beim Schmelzvorgang können sich nachteilig auf den Leistungsfaktor auswirken. Geschickte Nutzung der Charakteristik des Ofentransformators beim Einschmelzen, aber auch die Einhaltung von Mindestwerten der Ofenspannung sind fÜr den wirtschaftlichen Betrieb ausschlaggebend und werden zweckmässig durch eine Automatik sichergestellt. Daneben ist eine Lichtbogenofenregelung erforderlich, die die Aufgabe hat, die Leistungsaufnahme des Ofens durch HÖhenverstellung der Elektroden konstant zu halten. Hierbei ist der Lichtbogenscheinwiderstand, das heisst der Quotient aus Elektrodenspannung und Elektrodenstrom, die RegelgrÖsse. Diese ist von der Lichtbogenlänge abhängig. Ausgeglichen werden müssen plötzliche Verschiebungen des Ofengutes, zum Beispiel der SchrottstÜkke, welche die Lichtbogenlänge sprunghaft beeinflussen, aber auch andere ofengrössen, wie Temperatur, Schlakkenzusammensetzung usw., die auf die Lichtbogenlänge von Einfluss sein können. Die Regelung muss beispielsweise eine rasche Aufwärtsbewegung der Elektrode in kürzester Zeit ermöglichen, falls ein Kurzschluss zwischen Ofengut und Elektrode auftritt. Wenn andererseits durch plötzliches Zusammenfallen des Schmelzgutes oder durch plötzliches Wegbrennen kleinerer SchrottstÜcke die Charge sich verändert, muss die Elektrode dieser Bewegung folgen. Die Lichtbogenofenregelung sollte also eine hohe Elektrodenbeschleunigung ermöglichen. Damit können der Ofenbetrieb, insbesondere die Leistungsaufnahme, verstetigt, die Einschmelzzeiten verkürzt und störende RÜckwirkungen auf das speisende Netz verringert werden.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Schmelzen im Lichtbogenofen

Das Lichtbogenschmelzen erfolgt bei der Stahlerzeugung Überwiegend in Drehstromöfen unter Verwendung von drei Elektroden. Daneben werden aber auch Gleichstrom-LichtbogenÖfen mit einer als Kathode geschalteten Elektrode betrieben (z.B. Vakuumlichtbogenschmelzen).

Aufgrund der erreichbaren Temperaturen können LichtbogenÖfen mit grossem Fassungsvermögen (z.B. bis zu 200 t Stahl) gebaut werden. Da der Lichtbogenofen das Frischen, Feinen, Legieren, Desoxidieren und Entgasen des Stahls unter günstigsten Voraussetzungen gestattet, ist die Qualität des erschmolzenen Stahls hervorragend.

Als Ausgangsrohstoff kann Schrott bzw. Schrott und Eisenschwamm

eingesetzt werden. Durch das Einbringen von Metallen, wie Nickel, Chrom, Vanadium lassen sich spezielle Stahllegierungen jeder gewünschten Zusammensetzung herstellen.

In Lichtbogen-ReduktionsÖfen werden Metalloxyde mittels Koks zu Metallen oder Metallkarbiden reduziert. Die Elektroden stehen im Schmelzgut (MÖller). Die Erwärmung wird, neben einem kleinen Anteil direkter Widerstandserwärmung (Wärmeleitung) durch zahlreiche im MÖller brennende LichtbÖgen (Strahlung) bewirkt. Neben Ferrolegierungen, Karbiden und Korund können auch Phosphor und Phosphorverbindungen hergestellt werden.

Der Reduktions-Lichtbogenofen kommt auch zum Einsatz, um vorreduziertes Eisenerz (Eisenschwamm) ohne den sonst Üblichen Hochofenprozess in einer Schmelzreduktionsstufe in flüssiges Metall zu verwandeln. Das Einschmelzen und Nachreduzieren kann heute in einem Gleichstrom-Lichtbogenofen erfolgen.

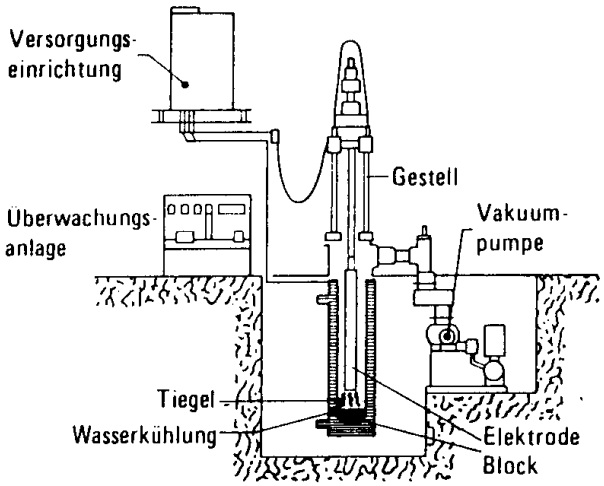
Das Elektroschlackeumschmelzen nutzt ähnlich wie ReduktionsÖfen eine kombinierte Lichtbogen-Widerstandserwärmung. Es wird angewendet, um Arbeitsstähle, vergütbare Baustähle, korrosionsbeständige Stähle und Superlegierungen bestimmter Struktur, homogen und ohne Innenfehler bei sehr guten Reinheitsgraden herzustellen.

Im Gegensatz zu den konventionellen Lichtbogenschmelzverfahren fliesst hier ein Strom von einer umzuschmelzenden Stahlelektrode (selbstverzehrende Elektrode) durch die elektrisch leitende Schlacke zum Boden einer wassergekühlten Kokille. Das verflüssigte Metall wird durch die BerÜhrung mit der erhitzten Schlacke gereinigt.

Ein weiteres Verfahren der Lichtbogenerwärmung ist das Vakuumlichtbogenumschmelzen. Das Umschmelzen kann mit Fest- (nicht verzehrende Elektroden aus Wolfram oder Graphit) oder Abschmelzelektroden erfolgen. Grosstechnisch wird Überwiegend das Verfahren mit Abschmelzelektrode eingesetzt.

Die aus dem zu reinigenden und zu entgasenden Metall bestehende Elektrode schmilzt ab, sobald der Lichtbogen gezündet ist. Das abgeschmolzene Metall sammelt sich am Boden einer wassergekühlten Kupferkokille. Der zwischen Elektrode und Badspiegel brennende Lichtbogen liefert die fÜr den Umschmelzprozess benötigte Energie. In dem Masse, wie die Elektrode abschmilzt, steigt der Badspiegel in der Kokille (Figur 3).

Das Vakuumlichtbogenumschmelzverfahren wird hauptsächlich angewandt, um BlÖcke aus hochwertigen Stählen, Superlegierungen und reaktiven Metallen (z.B. Titan und Zirkonium) zu erzeugen. Die nach diesem Verfahren hergestellten Werkstoffe besitzen aufgrund der guten Entgasung und geringen Verunreinigung sehr gute Eigenschaften in Bezug auf Schmiedbarkeit und Beständigkeit gegen Ermüdung, Zug- und Schlagbeanspruchung.



Figur 3: Prinzip eines Vakuumlichtbogenofens mit Abschmelzelektroden zur Reinigung von StahlblÖcken

Abschmelzelektroden können auch verwendet werden, um Metallpulver zu erzeugen. Das abgeschmolzene Material tropft auf einen wassergekühlten Drehtisch und wird aufgrund der angreifenden Fliehkräfte nach aussen gegen die Kammerwandung geschleudert und pulverisiert.

Lichtbogenschweissen

Die Lichtbogenerwärmung wird auch zum Schweissen, thermischen Trennen und Spritzen von Metallen eingesetzt. Beim Schweissen unterscheidet man dabei im wesentlichen:

Lichtbogenschweissen mit Schmelzelektroden

Diese Schweissart ist die zur Zeit am meisten verbreitete. Der Lichtbogen brennt zwischen den zu schweissenden WerkstÜcken und der aus Metall bestehenden Schweisselektrode. Durch die Lichtbogenwärme schmilzt die Elektrode ab und verbindet sich mit dem Material des zu verschweissenden Gutes.

Lichtbogenschweissen in inerter Atmosphäre

Beim Schweissen von Aluminium und seinen Legierungen, von Magnesium, Kupfer und von legierten Stählen ist es notwendig, das geschmolzene Metall beim Uebergang aus der Elektrode in das Schmelzbad vor dem Einfluss der Atmosphäre zu schützen. So wird Oxydation oder der Verlust von Kohlenstoff bzw. Legierungsbestandteilen vermieden. Als Schutzgase kommen Argon, Wasserstoff, Kohlendioxid und andere in Frage.

Unterpulverschweissen

Dieses Verfahren wird mit blanken Elektroden und grossen Stromstärken unter einer geschmolzenen Schlakkeschicht durchgeführt. Das Pulver dient als Fluss- und Desoxydationsmittel. Die Schlacke lässt sich nach dem Schweissen leicht abschlagen. Die mechanischen Eigenschaften der Schweissnaht genügen höchsten AnsprÜchen.

4. VERFAHRENSSPEZIFISCHE DATEN

Der Energieverbrauch für das Schmelzen von Schrott liegt bei 350 bis 500 kWh/t.

5. VERSCHIEDENES

Von LichtbogenÖfen verursachtes “Flickern” im speisenden Netz

Da ein Lichtbogenofen unsymmetrisch schwankende Wirk- und Blindströme verursacht und deshalb - in Abhängigkeit von der Kurzschlussleistung am NetzverknÜpfungspunkt - neben den Spannungsschwankungen auch das Netz störende Oberwellen erzeugt, sind fÜr die EVU Methoden zur Dämpfung dieser NetzrÜckwirkungen von besonderem Interesse.

Die eigentlichen Flicker- und Flimmererscheinungen treten besonders störend während des Einschmelzvorgangs in Erscheinung (also in der Zeit, während der unter den Elektroden noch kein Schmelzbad entstanden ist). Die starken Stromänderungen werden durch kurzzeitige satte KurzschlÜsse hervorgerufen, die eine Frequenz von etwa 0,5 bis 1 Hz aufweisen und denen noch raschere Aenderungen geringerer Amplituden mit meist 3 bis 10 Hz Überlagert sind. Diese NetzrÜckwirkungen verursachen die als “Lichtflimmern” bekannten Effekte in Glühlampen und Fernsehempfängern.

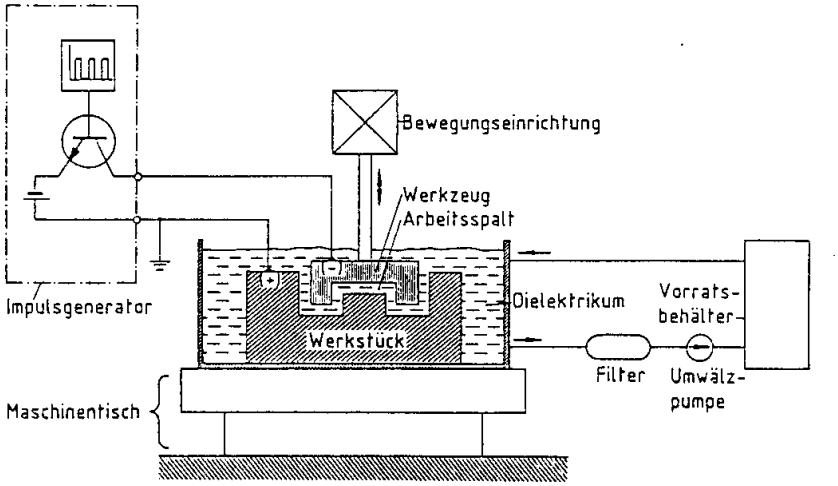
Die verschiedenen Massnahmen zur Flickermessung dienen neben der Projektierung vor allem auch dazu, die Wirkungen zu planender oder bereits ausgeführter Kompensationsanlagen zu Überprüfen.

Der Bau wirksamer Kompensationsanlagen ist sehr anspruchsvoll und kann etwa dadurch erfolgen, dass eine Verminderung der Blindleistungsschwankungen durch Kompensation bewerkstelligt wird. Dazu wird entweder die Ofenblindleistung durch thyristorgeschaltete Kondensatoren oder durch thyristorgesteuerte Drosselspulen mit parallelgeschalteten Kondensatoren reduziert. Von allem in Anlagen mit mehreren LichtbogenÖfen sind rechtzeitig erfolgte Untersuchungen des Flickers wichtig. Neuere modellversuche und verfeinerte Berechnungsmethoden erlauben heute, die von LichtbogenÖfen verursachten Flickererscheinungen mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen und so die erforderlichen Kompensationsmassnahmen zu treffen.

FUNKENEROSION

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Die Funkenerosion ist ein abtragendes Fertigungsverfahren. Der Materialabtrag wird durch die Energie aufeinanderfolgender, nichtstationärer Entladungen (Funken) zwischen einer Werkzeugelektrode (normalerweise kathodisch geschaltet) und einem elektrisch leitenden WerkstÜck bewirkt. Die Elektroden sind durch einen Erodierspalt, in dem sich ein dielektrisches Arbeitsmittel befindet, voneinander getrennt.



Figur 1: Prinzip der funkenerosiven Metallbearbeitung

Wird an die Elektroden Spannung gelegt, so entsteht ein elektrisches Feld. Wird mit zunehmender Spannung die Durchschlagsfestigkeit des Dielektrikums Überschritten, so kommt es zu einem elektrischen Spaltdurchbruch. Der Entladungskanal weitet sich aus, und eine Örtlich starke Erwärmung des Werkstoffs tritt ein. An den Fusspunkten des Funkenkanals entstehen Temperaturen von mehr als 104 °K. Dadurch schmilzt beziehungsweise verdampft das abzutragende Material. Die gebildete Gasblase implodiert, sobald die Stromzufuhr unterbrochen wird. Das abgelöste Elektrodenmaterial wird in den Erodierspalt geschleudert und durch die dielektrische FlÜssigkeit weggespült.

Funkenerosionsanlagen bestehen im wesentlichen aus der Werkzeugmaschine einschliesslich Automatisierungseinrichtung, dem Impulsgenerator und einer Dielektrikumversorgung. Durch die Mikroelektronik lässt sich die Funkenerosion weitgehend automatisieren. Als Maschinen- beziehungsweise Prozesssteuerungen kommen meist freiprogrammierbare Systeme zum Einsatz.

Die zur Erzeugung der Durchschläge benötigten Funkengeneratoren (Impulsgeneratoren) bestehen aus einem Kondensator, der Über einen Widerstand von einer Gleichspannungsquelle aufgeladen wird.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Durch SpÜlen mit einem dielektrischen Arbeitsmittel wird das durch die Funkenerosion abgetragene Material aus dem Funkenspalt entfernt. Die dadurch bedingte ständige Verunreinigung mit Abtragpartikeln macht eine Filtration unumgänglich. Ausserdem muss das sich erwärmende SpÜlmittel auf normale Arbeitstemperaturen gekühlt werden.

Die funkenerosive Bearbeitung kann mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden. Charakteristische Eigenschaften dieses Verfahrens sind die erreichbaren extrem hohen Stromdichten und die sehr hohen Temperaturen im Bereich des Funkenkanals bis etwa 10’000 K.

Die wesentlichen Vorteile dieser Bearbeitungsmethode liegen in der grossen Bearbeitungsgeschwindigkeit, der beliebigen Formgebung, der Verarbeitung aller Metalle und Legierungen, einer sehr guten Oberflächenqualität und hoher Formtreue und Wiederholgenauigkeit.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Funkenerosionsmaschinen findet man heute in den unterschiedlichsten metallverarbeitenden Betrieben. Es werden Senk-, Planetär-, Entgrat- und Drahterodieranlagen eingesetzt, wobei die Entwicklung immer mehr in Richtung Automatisierung und Flexibilität des Einsatzes geht.

Das Verfahrensprinzip des funkenerosiven Senkens besteht darin, ein Werkzeug mit konstanter vorgegebener Senkgeschwindigkeit auf das als Anode gepolte WerkstÜck zuzubewegen. Die Elektrodenform wird berührungslos in das WerkstÜck eingesenkt.

Beim Planetärerodieren, das eine Weiterentwicklung des Senkerodierens darstellt, führt das Werkzeug beziehungsweise das aufgespannte WerkstÜck eine räumliche Bewegung aus. In Verbindung mit selbständig wechselnden Elektroden (Werkzeugwechsler) lassen sich auch komplizierte WerkstÜckformen mit vertretbarem zeitlichem Aufwand herstellen.

Durch den Einsatz von Werkzeugwechselsystemen ist es möglich, die Elektrodenherstellung kostengünstig zu gestalten. Komplizierte Elektrodenformen lassen sich durch mehrere Einzelelektroden zusammensetzen. Als Elektrodenwerkstoff kommen Überwiegend Graphit und Elektrolytkupfer zum Einsatz.

Das Funkenerosive Drahtschneiden weist gegenüber dem Senken deutliche Verfahrensunterschiede auf. Ein umlaufender Draht aus hochfestem Material (Messing, Kupfer, Molybdän oder beschichtete Stoffe) dient als Elektrode. Die automatisierten Anlagen zeichnen sich durch h he Positioniergenauigkeit und Schnittleistungen von bis zu 10 mm?,/,min aus.

Im Gegensatz zu Senkanlagen, die als Dielektrikum Überwiegend Kohlenwasserstoffe (Petroleum, Kerosin usw.) verwenden, spülen die Schneidanlagen grundsätzlich mit (deionisiertem) Wasser; hierdurch werden günstigere Erodierspaltbreiten erzielt. Mit 0,03 mm dickem Molybdändraht lassen sich Mindestradien von 0,02 mm bei gleichzeitig ausgezeichneter oberflächenqualität garantieren.

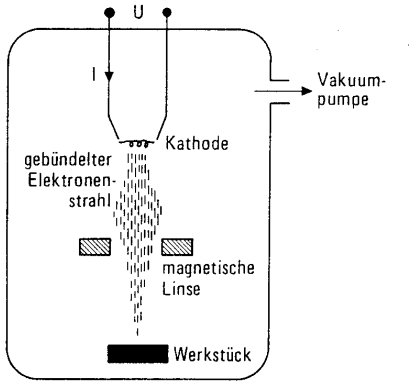
ELEKTRONENSTRAHL

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

In einer sogenannten Elektronenkanone werden aus einer elektrisch beheizten Kathode aus Wolfram oder Tantal bei Temperaturen bis zu 2900K Elektronen ins Vakuum emittiert. Diese werden magnetisch gebündelt und in einem zusätzlich angelegten elektrischen Feld zur Anode beschleunigt. Diese ist entweder das Werkstück selbst, oder sie lässt die schnellen Elektronen durch ein Loch auf das WerkstÜck ausserhalb der eigentlichen Elektronenkanone auftreffen.

Meistens wird der Elektronenstrahl zur Erzielung grosser Oberflächenleistungsdichten gebündelt. Je nach Fokussierung lassen sich Oberflächenleistungsdichten von 102 bis 109 W/CM2 auf kleinen Oberflächen erreichen.

Im allgemeinen findet die Erwärmung mit Elektronenstrahlen im Vakuum statt, um maximal von der kinetischen Energie der Elektronen zu profitieren. Der wesentlichste Teil der Anlage ist die Elektronenkanone, die in den meisten Fällen aus einem direkt beheizten Wolfram- oder Tantaldraht besteht, der bei Temperaturen von maximal 2900 °K Elektronen emittiert. Die Erzeugung des Elektronenstrahls erfolgt durch Absaugen und Beschleunigen der mit geringer Energie emittierten Elektronen mit Hilfe eines elektrostatischen Feldes zwischen Draht (Kathode) und



WerkstÜck (Anode). (Figur 1).

Figur 1: Prinzip der Elektronenstrahlerwärmung

Die Anode kann aber auch ein Bestandteil der Elektronenstrahlkanone sein und ist dann hohl, um die beschleunigten Elektronen passieren zu lassen. Die felderzeugende Spannung hat eine Stärke von 50 bis 3000 kV und wird entweder durch eine Potentialdifferenz zwischen Kathode und Anode (elektrostatischer Beschleuniger)

oder durch Mikrowellen (linearer Beschleuniger) erzeugt. Nach der Beschleunigung wird der Elektronenstrahl durch eine elektromagnetische Linse gebündelt.

Die Energie des Elektronenstrahls kann entweder am Auftreffpunkt in Wärme umgewandelt werden (thermischer Effekt), oder durch Wischen eine radiochemische Reaktion auslösen, die das Produkt verändern kann.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Die Eindringtiefe ist proportional zur Energie des Elektronenstrahls bzw. zur angelegten Spannung und indirekt proportional zur Dichte des zu behandelnden Produktes. Sie ist klein (einige mm) falls die Elektronen elektrostatisch beschleunigt werden, gross im Falle eines linearen Beschleunigers.

Die Leistungsdichte eines Elektronenstrahls ist sehr gross (bis 30 kW/cm2) und gut regelbar. Ausserdem ist die Fokalisierung des Elektronenstrahls sehr genau. Der Fokuspunkt hat einen Durchmesser von 10 bis 30 #m.

Temperaturen von Zimmertemperatur bis ca. 3000 °C sind leicht erreichbar und eine effiziente Nutzung der Energie ist gewährleistet. Ausserdem fallen keine Abgase an.

Mit dieser Technik ist eine Herstellung neuer Materialien (Legierungen) möglich.

Elektronenschmelzanlagen können Anschlussleistungen bis zu 2 MW erreichen und es lassen sich BlÖcke mit einem Gewicht bis zu 100 t herstellen. Bedingt durch das beim Schmelzen vorhandene Vakuum, und dadurch dass der Elektronenstrahl keine Fremdmaterialien einbringt, sind die erzeugten Werkstoffe hochrein.

Schweissanlagen werden mit Spannungen bis zu 175 kV betrieben. Es gibt Atmosphären-, Halbvakuum- und Vollvakuumschweissanlagen. Durch diese Bezeichnungen sind schon die Zusatzanlagen angesprochen. Der Leistungsbereich reicht von 30 kW bis 500 kW. Das Schweissen von Materialien unterschiedlicher Dicke und Werkstücken unterschiedlichen Materials ist möglich.

Elektronenstrahl-Schmelzen und -Schweissen ist als Ersatz von Lasertechnologie einsetzbar.

Anschlussleistungen von 30 kW bis 60 kW werden fÜr das oberflächenhärten von Stählen, Gusseisen und Aluminiumlegierungen gebraucht. Dieselben Anschlussleistungen gelten auch fÜr das Härten von Lacken und das Vernetzen von organischen Polymeren.

Die Abmessungen der Elektronenstrahlkanone hängen von der Beschleunigungsspannung bzw. der Energie des Elektronenstrahls ab. In der Industrie sind Kanonen mit einem Gewicht von einigen zehn bis einigen hundert Kilogramm im Einsatz.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Die Elektronenstrahlerwärmung wurde zunächst vorwiegend zum Schmelzen und Schweissen von Metallen und deren Legierungen entwickelt. In der Zwischenzeit sind aber eine Reihe weiterer innovativer Anwendungen hinzugekommen, wie z.B. das Beschichten, Härten, Bohren, Trennen usw.

Das Elektronenschmelzverfahren hat sich besonders fÜr hochschmelzende Metalle und deren Legierungen durchgesetzt. Durch das Elektronenschmelzverfahren erzeugte Werkstoffe sind hochrein. Der Reinigungseffekt ist hauptsächlich auf das beim Schmelzen vorhandene Vakuum zurÜckzufÜhren und auf die Tatsache, dass durch den Elektronenstrahl keine Fremdmaterialien eingebracht werden.

Beim Schweissen werden Anlagen mit Spannungen bis zu 175 kV betrieben. Je nach gewünschtem Reinheitsgrad der Schweissnaht gibt es Atmosphären-, Halbvakuum- und Hochvakuum-Schweissmaschinen.

Ein weiteres Einsatzgebiet der Elektronenstrahltechnik ist das metallbedampfen unterschiedlicher Substrate, z.B. fÜr Beschichtungsaufgaben in der Optik, der Elektronik und anderen Industriezweigen. Ein hierzu verwandtes Gebiet ist das Ionenplatieren als Kombination von Aufdampfen und Kathodenstrahlzerstäubung.

Auch bei nichtthermischen Verfahren gewinnt der Elektronenstrahleinsatz an Bedeutung. Hier wird die zugeführte Strahlungsenergie zur Polymerisierung von makromolekularen Materialien (Farben, Lacke und Beschichtungen) eingesetzt. Z.B. können auf diese Weise Textilien so veredelt werden, dass sie flammhemmend sind.

Im medizinischen Bereich wird die Elektronenstrahltechnik zur Sterilisation von Verbrauchsmaterial gebraucht und im Nahrungsmittelsektor fÜr die Ionisation (Entbakterisierung) von landwirtschaftlichen Produkten eingesetzt.

WIDERSTANDSERWÄRMUNG

Da diese Technologie weitgehend von Induktions-, Infrarot- und Mikrowellen-Technologie ersetzt wird und sie auch sonst allgemein gut bekannt ist, wird hier auf eine ausführlichere Beschreibung verzichtet. Es soll nur eine kurze Zusammenfassung gegeben werden.

Es gibt direkte und indirekte Widerstandserwärmung.

In der indirekten Widerstandserwärmung wird elektrische Energie in einem Widerstandselement in Wärme umgewandelt und dann durch Konvektion, Wärmeleitung und/oder Strahlung auf das WerkstÜckÜ bertragen. Diese Gruppe enthält eine grosse Vielfalt an Oefen, Tauchsiedern und anderen Heizgeräten, von Wassererhitzern bis zu Metallschme1zÖfen.

In vielen Anwendungen wird mehr als 90 % der gebrauchten Energie im Produkt als Wärme erscheinen. Vorteile sind die MÖglichkeit einer präzisen Temperaturkontrolle und das Vermeiden von Abwärme ausserhalb des Heizzyklusses.

Bei der direkten Widerstandserwärmung wird der erwärmende Strom direkt durch das zu erwärmende Produkt geleitet. Dies ist selbstverständlich nur mit Substanzen möglich, die elektrisch leitend sind, oder in diesen Zustand gebracht werden können. Praktisch alle gelieferte Energie wird in Wärme umgewandelt. So kann bei guter thermischer Isolation eine gute Energieeffizienz erreicht werden.

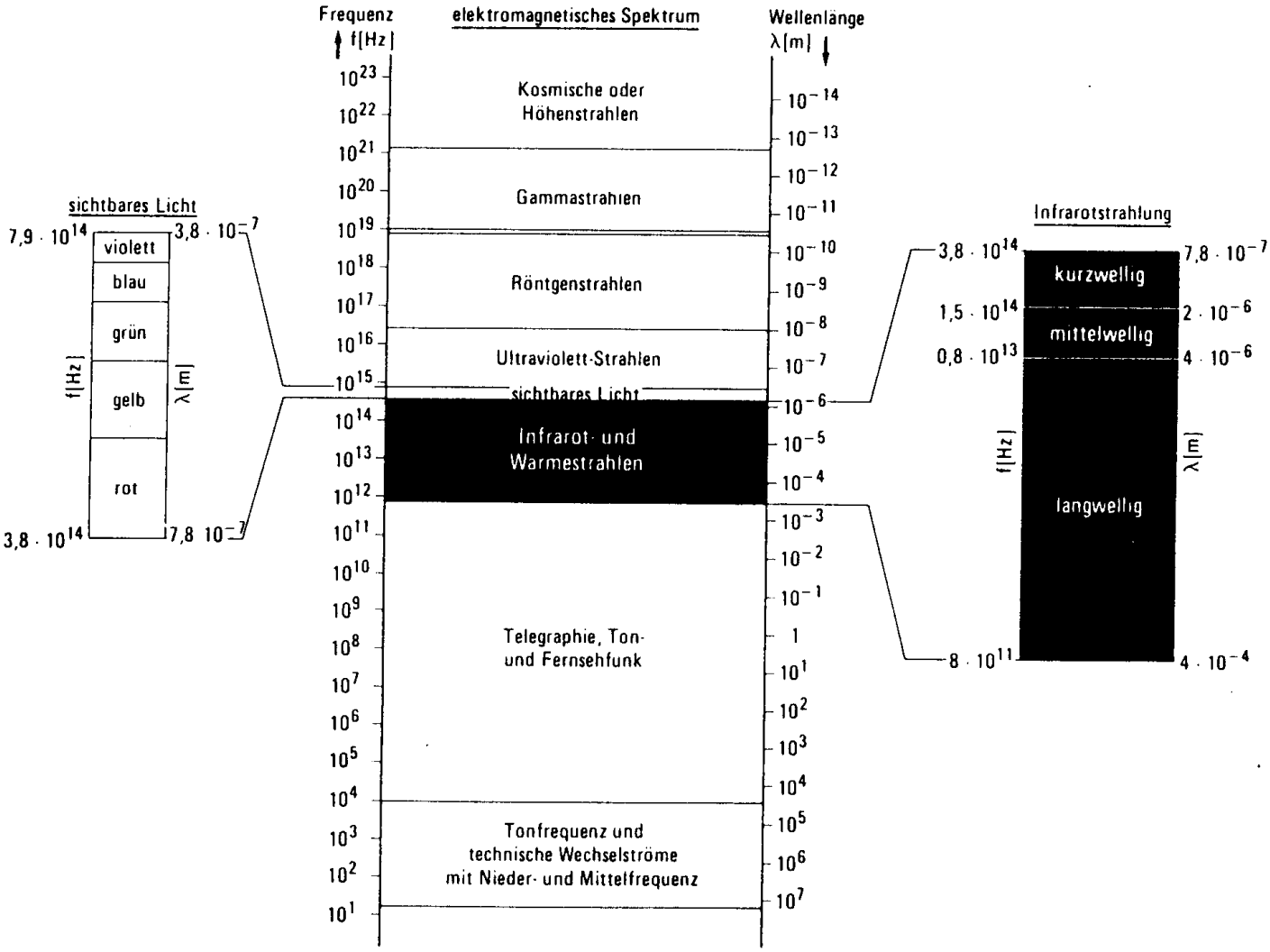
Direkte Widerstandserwärmung wird angewendet um Metallbarren vor dem Schmieden zu erhitzen. Andere Beispiele sind Elektrodenboiler und elektrisches Glasschmelzen. LichtbogenÖfen, wie sie zum Schmelzen von Metall gebraucht werden (NetzrÜckwirkungen, Kompensatoren) können eine Mischung sein von direkter und indirekter Widerstandserwärmung - indirekt durch die intensive Wärmeabstrahlung des Lichtbogens und direkt in den Oefen wo der Lichtbogen zwischen Elektroden und Metallcharge entsteht.

STRAHLUNGSERWÄRMUNG

INFRAROT

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Die Infraroterwärmung ist eine indirekte Erwärmungsmethode. Die Wärme wird durch elektromagnetische Strahlung Übertragen. Figur 1 zeigt die Aufteilung (Spektrum) der elektromagnetischen Wellen.

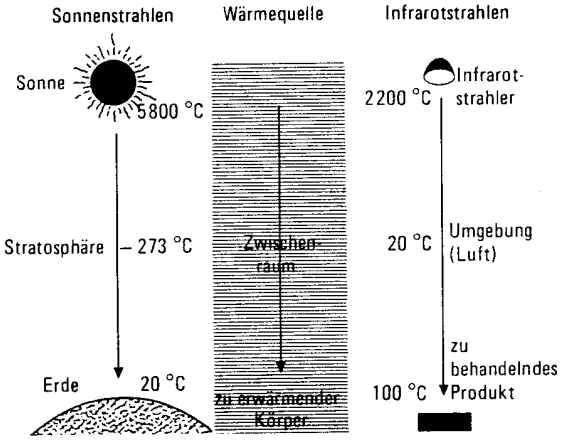


Figur 1: Frequenzen- und Wellenlängenbereiche elektromagnetischer Schwingungen

Die Strahlungsenergie wird produziert, indem ein elektrischer Strom durch ein Widerstandselement fliesst. Strahlungswärme kann wie Lichtstrahlen fokussiert und reflektiert werden. Wie Figur 2 zeigt, herrscht also eine Uebereinstimmung zwischen Infraroterwärmung und Sonnenerwärmung.

Produkte, die einer von einem Heizelement oder Strahler ausgehenden Strahlung ausgesetzt sind, absorbieren einen mehr oder weniger grossen Teil derselben. Dieser Anteil entspricht der Energie, die im KÖrper in Wärme umgewandelt wird.

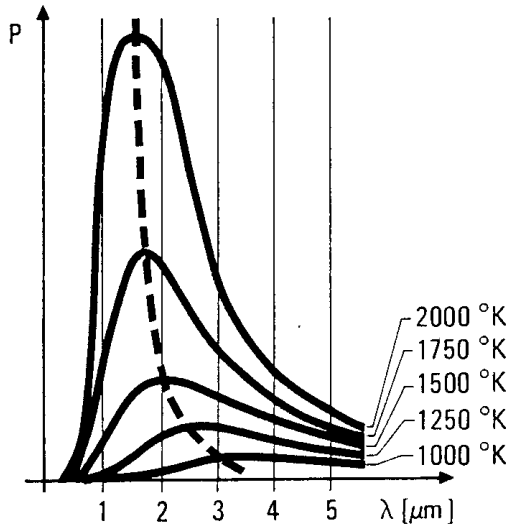
Die Infrarotstrahlung sendet also photothermische Energie aus.



Figur 2: Uebereinstimmung von Infraroterwärmung und Sonnenerwärmung

Intensität und Wellenlänge der Abstrahlung hängen von der Temperatur des Heizelementes ab (Figur 3). Man unterscheidet die Strahler nach ihrer Wellenlänge:

Kurzwellige Strahler	0,4 - 2)im
Mittelwellige Strahler :	2 - 3,8 #m
Langwellige Strahler	3,8)im - 0,4 mm



Figur 3: Abhängigkeit der Strahlungsleistung von Wellenlänge und Temperatur

Technisch nutzbar ist nur ein kleiner Teil der Infrarotstrahlung, deren Wellenlänge zwischen 0,8 Mm und etwa 10 #m liegt. mit grösser werdender Wellenlänge wird die Übertragbare Energiemenge geringer. Kurzwellige Strahler, die oberhalb einer Temperatur von 2000 OC arbeiten, setzen den grössten Teil der elektrischen Energie in IR-Strahlung um. Langwellige Strahler, die mit Temperaturen unterhalb von 800 °C arbeiten, setzen etwa die Hälfte der elektrischen Energie in IR-Strahlung um, die andere Hälfte in Konvektionswärme.

Die verschiedenen Infrarotstrahler haben ihre besonderen physikalischen Eigenschaften und ihr spezielles technisches Einsatzgebiet. Die Wahl eines Strahlers hängt von verschiedenen Faktoren ab, unter anderem von:

- Wellenlänge, abhängig von der Absorptionscharakteristik des zu erwärmenden Produktes
- Strahlungsintensität und Aufenthaltszeit des Produktes im Strahlungsfeld
- Verhältnis von Konvektions- zu Strahlungswärme
- Installationsart
- Erwärmungsmuster und Ansprechzeit

Durch die schnelle indirekte WärmeÜbertragung bei der Infrarotstrahlung werden Trocknungsprozesse mit hohen Leistungsdichten ermöglicht. Mit der hervorragenden Regelbarkeit der eingesetzten Strahler ergibt sich daraus eine energiesparende und intelligente Erwärmungsmethode.

Die Haupteinsatzgebiete der verschiedenen Strahlergruppen werden in Punkt 3) beschrieben.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Wichtig fÜr die Auswahl des am besten geeigneten Infrarotstrahlers, d.h. der optimalen Wellenlänge, ist die Kenntnis des Absorptionsverhaltens des zu erwärmenden Gutes. Die meisten Produkte haben Absorptionsmaxima zwischen 2,8 und 3,6 #m.

Die besten Resultate werden erzielt, wenn die Emissionskurve des Strahlers etwas unterhalb der Absorptionskurve des zu erwärmenden Stoffes liegt, damit auch eine gewisse Eindringtiefe der Strahlung erreicht wird. Dies ist um so eher der Fall, je kürzer die Wellenlänge ist.

Die Eindringtiefe kurzwelliger Infrarotstrahler liegt bei Metallen in der Grössenordnung von einem #m. Daraus kann man schliessen, dass sich die Infrarotstrahlung besonders zur Erwärmung von dünnen Schichten oder Oberflächen eignet. Da jedoch mit dieser Erwärmungsart grosse Leistungsdichten bis zu einigen hundert kw/m erzielt werden können, ist auch eine schnelle Erwärmung von Körpern grösserer Dicke möglich.

Kurzwellige Infrarotstrahler

Kurzwellige Infrarotstrahler fÜr den industriellen Einsatz werden im allgemeinen als Quarzrohrstrahler, zum Teil mit HalogenfÜllung, gebaut. Die Oberflächentemperatur der Heizleiter - es werden Wolframdrähte benutzt - kenn bis 3000 °K betragen. Flächenleistungen von 120 - 150 kW/m2 sind möglich, bei intensiver KÜhlung des Reflektors und der Anschlussenden kann die Flächenleistung noch etwa um den Faktor 4 gesteigert werden.

Mittelwellige Infrarotstrahler

Aehnlich wie die kurzwelligen, sind mittelwellige Infrarotstrahler aufgebaut. Auch hier befindet sich das eigentliche Strahlerelement in einem Quarzglasrohr, weil Quarz fÜr Infrarotstrahlung bis zu Wellenlängen von ca. 4)im durchlässig ist.

Die Oberflächentemperatur der Heizwendel lieg n zwischen 800 °C und 1100 °C. Flächenleistungen bis zu 60 kW/m2 sind ohne Schwierigkeiten erreichbar. Bei entsprechenden Einbbaubedingungen lassen sich auch höhere Leistungen realisieren. Die durchschnittliche Lebensdauer solcher Strahler kann 30’000 h bis 50’000 h betragen.

Neben den Quarzrohrstrahlern können im mittelwelligen Bereich noch bestimmte Metallrohrstrahler eingesetzt werden. Hier ist der Infrarotsender das HÜllrohr und nicht mehr die im Quarzglas sich befindende Wendel.

Langwellige Infrarotstrahler

Langwellige Infrarotstrahler haben ihre maximale Emission bei Wellenlängen von grösser als 4 #m. Hier handelt es sich Überwiegend um Keramik- und Metallrohrstrahler mit relativ grossen Oberflächen und Oberflächentemperaturen zwischen 200 °C und 800 °C. Bei ihnen ist die AussenhÜlle die Strahlungsquelle.

Aufgrund ihres relativ geringen EmissionsvermÖgens von nur etwa 50 bis 60 % werden Metallrohretrahler dort eingesetzt, wo Leistungsdichten von etwa 15 kW/m’ ausreichen.

GrÖssere Bedeutung haben die keramischen Infrarotstrahler. Das EmissionsvermÖgen solcher Strahler ist mit Über 90 % ausserordentlich hoch. Leistungsdichten bis zu 60 kW/m2 sind erreichbar.

Eigenschaften und Vorteile der Infrarottechnoloqie

Hohe Trocknungsgeschwindigkeiten und exakt regelbare Leistung erlauben eine schnelle Vernetzung von Kunststoffen. Elektrische Infrarotstrahler sind emissionsfrei, sie brauchen weder Abgaskamine noch Brennstoffzuleitungen und lassen sich unter BerÜcksichtigung bestimmter Voraussetzungen auch in explosionsgefährdeten Räumen einsetzen. Sie zeichnen sich dank günstiger Ofenbauformen

durch einen geringen Platzbedarf aus und sind deshalb gut auch in bestehende Prozessketten einzugliedern.

Fokalisierung und Lokalisierung der Infrarotstrahlen ist möglich. Die maximal erreichbare Temperatur auf dem zu erwärmenden Gut liegt bei 250 °C - 300 °C, kann aber in Spezialfällen auch höher sein.

Die verschiedenen Infrarotstrahler können an Niederspannung betrieben werden. Sie funktionieren im Vakuum und einer gasförmigen Atmosphäre. Der BelÜftung und dem Abtransport von Feuchtigkeit und Dampf muss besondere Aufmerksamkeit gewährt werden.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Ausser bei besonders stark reflektierenden Gütern (z.B. blankes Aluminium) kann man die Infrarottechnik nahezu überall einsetzen.

Das Trocknen von Beschichtungen vielfältiger Art auf den unterschiedlichsten Trägermaterialien zählt zu den Hauptanwendungsgebieten der Infrarottechnik. LÖsungsmittel, von normalem Wasser bis zu explosiven Stoffen, können mit IR-Anlagen ausgetrieben werden. Lacktrocknungsanlagen fÜr fast alle Oberflächenveredelungen und verfahrenstechnische Beschichtungen sind vielfach im Einsatz.

Das Aufsintern von Kunststoffpulver nach einem elektrostatischen Auftrag ist eine hochwertige Oberflächenveredelung, die einen dauerhaften Korrosionsschutz bietet. Viele Serienartikel des täglichen Lebens und des industriellen Bedarfes werden auf diese Weise beschichtet. Die IR-Technik bietet auch hier optimale Erwärmungsanlagen.

In der Metallerwärmung werden mittel- und kurzwellige Strahlen zur Erwärmung vor Verformungsprozessen, Gefügeveränderungen, Oberflächenveredelungen usw. eingesetzt.

In der Kunststoffindustrie reicht die Anwendung von der Trocknung bzw. Vortrocknung von Klebstoffen auf Folien Über den Einsatz in Schrumpffolie - Verpackungsmaschinen, Oberflächenveredelung von Kunststoffteilen bis zur Erwärmung thermoplastischer Stoffe zur nachfolgenden Verformung.

In der Textilindustrie findet man Infrarotanlagen als Vortrockner zur ErhÖhung der Durchsatzkapazität konventioneller Trockner. Sie können nachträglich zur Leistungssteigerung installiert werden.

Die TextilausrÜstung verwendet IR-Trockner beim Imprägnieren, Färben und ähnlichen Verfahren mit anschliessender Trocknung. Synthetische Fasern werden in vielen Fällen mit Infrarottechnik nachbehandelt.

Auch das Gelieren von PVC-Pasten auf textilem Träger ist heute fester Bestandteil vieler Produktionsverfahren zur Herstellung von Kunstleder, wasserdichten Textilbahnen (LKW-Planen), rückwärtiger Teppichbeschichtung oder textilen Transportbändern mit dauerhafter und rutschfester Beschichtung.

Farben und Lacke werden stets in dünnen Schichten aufgetragen. Die Strahlung, die vom Lack nicht absorbiert oder reflektiert wird, durchdringt die Lackschicht und erwärmt die Oberfläche des Trägers, was eine günstige Verfestigung der Lacke von innen heraus bewirkt. Im Vergleich zur konventionellen Trocknung sind Verkürzungen der Trocknungsdauer zwischen 50 % und 95 % erreichbar.

Insbesondere in der Fahrzeugreparaturlackierung kann bei Teillackierungen auf die herkömmliche Umlufttrokkenkabine verzichtet werden. Alle anderen Teile des Fahrzeuges werden nicht erwärmt. Es werden Trocknungszeiten von nur 4 bis 12 Minuten erreicht. Besondere Bedeutung wird die Infrarottrocknung bei umweltfreundlichen, lösungsmittelarmen Lacken erhalten.

Die Infrarottechnik wird oft in der Papierindustrie zur Vortrocknung der Papiermasse verwendet.

Mit zunehmender Leistung von Druckmaschinen kommt neuerdings der infraroten Druckfarbentrocknung eine zentrale Bedeutung zu. Besondere verfahrenstechnische Vorteile sind ebenfalls erreichbar.

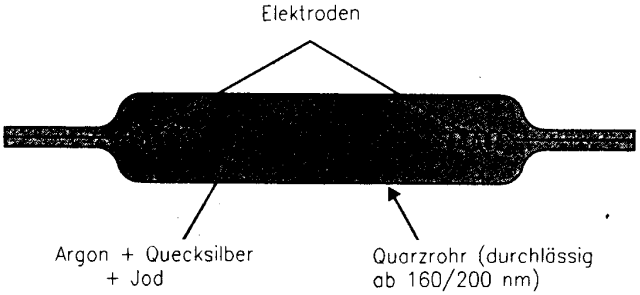
Ein weiteres Anwendungsgebiet der Infrarottechnik ist die Nahrungsmittelindustrie, wo sie zum Kochen, Backen, Bräunen und Stabilisieren von Nahrungsmitteln eingesetzt wird.

Auch fÜr die Beheizung von Industrieräumen werden Infrarotstrahler eingesetzt.

ULTRAVIOLETT

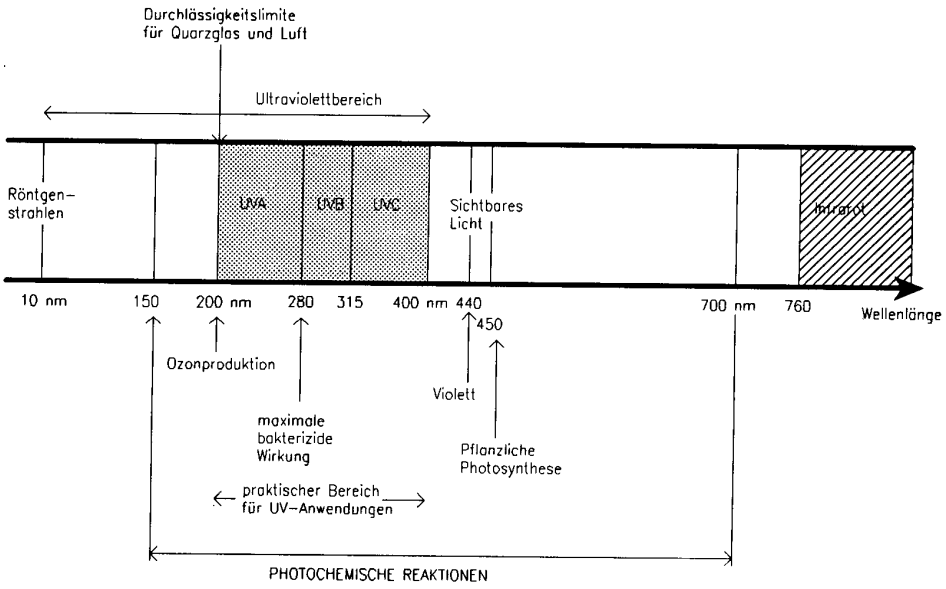
1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Die Ultraviolettstrahlung gehört wie die Infrarotstrahlung oder die Mikrowelle zu den elektromagnetischen Wellen. Ein Lichtbogen, der zwischen zwei Elektroden durch eine sinusförmige Hochspannung aufrechterhalten wird und sich in einer inerten Gasatmosphäre mit Quecksilber und metallischem Halogen befindet, sendet elektromagnetische Strahlung aus mit Wellenlängen zwischen 10 und 400 nm. Figur 1 zeigt das Prinzip eines UV-Strahlers.



Figur 1: Prinzip eines UV-Strahlers

Das Spektrum des UV-Lichtes liegt zwischen demjenigen der RÖntgenstrahlen und dem des sichtbaren Lichts. In der Praxis wird jedoch fÜr industrielle Anwendungen ein Bereich der Wellenlängen von 150 bis 700 nm benützt, der in den Bereich des sichtbaren Lichts Übergreift. Figur 2 zeigt das Spektrum der UV-Strahlung.



Figur 2: Spektrum der UV-Strahlung

Die Frequenzen der UV-Strahlung sind so, dass ihre Energie in der Grössenordnung der MolekÜlbindungsenergie liegt. Deshalb können sie auch chemische Reaktionen auslösen. Es handelt sich also bei der UV-Strahlung um eine photochemisch wirkende Energie.

Trotzdem bleibt die Eindringtiefe der UV-Strahlung gering. Deshalb kann diese Art der Behandlung nur im Bereich von dünnen Beschichtungen wirkungsvoll sein.

Die Ultraviolettstrahlung besitzt einige bemerkenswerte Eigenschaften, die im folgenden erläutert werden:

UV-Strahlung mit Wellenlängen um 185 nm verwandelt den Sauerstoff der Luft (02) durch photochemische Reaktion in Ozon (03). Ozon wird vor allem zur Sterilisierung und Verbesserung der Luft, zur Behandlung von Abwässern und in der Chemie gebraucht.

UV-Strahlung mit Wellenlängen um 254 nm hat eine entkeimende Wirkung auf Mikroorganismen. Deshalb werden solche UV-Lampen vor allem in der Landwirtschaft, der Aufzucht, der Hygiene und der Konservierung von Lebensmitteln eingesetzt.

Eine andere Anwendungskategorie ist die Polymerisation. Alle mit UV-Strahlung vernetzbaren Formulierungen bestehen aus 3 Hauptbestandteilen:

* Monomeren (flüssiger Zustand)
* Präpolymeren und
* Photoinitiatoren

Wenn sie der UV-Strahlung ausgesetzt werden, lösen die Photoinitiatoren eine Reaktion aus, welche schnell auf die anderen Bestandteile Übergreift und Kreuzverbindungen (Polymerisation) entstehen lässt (Uebergang zum festen Zustand). Dies kann in einem Bruchteil einer Sekunde geschehen. Nachher ist das Material absolut trocken und abnützungsresistent. Die meisten Formulierungen enthalten keine LÖsungsmittel und deshalb verursacht das UVTrocknen praktisch keine Umweltverschmutzung.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Die Wellenlängen des UV-Lichtes liegen zwischen 10 und 400 nm.
Praktisch wird jedoch der Bereich zwischen 150 und 700 nm fÜr UV-Applikationen in der Industrie verwendet.

Eine Abschirmung ist unbedingt erforderlich. Die UV-Strahlung ist fÜr die Oberflächenbearbeitung und die Behandlung von dünnen Produkten geeignet und braucht nur geringe Leistungsdichten (einige kW/m2). Das Verfahren ist sehr schnell und kann deshalb zu grossen Einsparungen verhelfen und die Produktivität steigern. LÖsungsmittel werden nicht mehr gebraucht, was viel zur Arbeitshygiene und zur Verringerung der Umweltverschmutzung beiträgt.

Reaktionen können sehr selektiv ausgeführt werden. Die UV-Strahlung ist eine sogenannte kalte Energie. Sie eignet sich gut fÜr hitzeempfindliche Produkte. Die UV-Strahler können an Niederspannung angeschlossen werden. Die installierten Leistungen variieren zwischen einigen kW und 100 kW.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Die Hauptanwendungsgebiete der UV-Strahlung sind sehr breit gestreut.

Die Polymerisierung (Vernetzung) von Tinten und Lacken auf Papier, Karton, Metall, Glas und Holz ist ein grosses Anwendungsgebiet.

Die UV-Strahlung wird auch zur Sterilisierung von Wasser, Instrumenten und Materialien fÜr die Medizin eingesetzt. Im Nahrungsmittelbereich und in der Landwirtschaft wird vor allem die Entkeimung mit UV-Strahlen erreicht.

Kunststoffoberflächen werden vor der Bemalung mit UV-Strahlung behandelt.

FÜr die Druckindustrie werden polymerisierbare Druckfarben hergestellt.

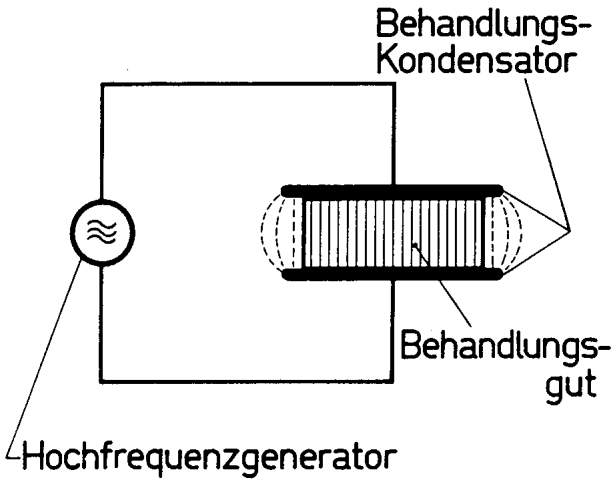
UV-Strahlung wird ausserdem in der Holzindustrie, der chemischen Industrie, der Abwasserbehandlung und der pharmazeutischen Industrie verwendet.

DIELEKTRISCHE ERWÄRMUNG

HOCHFREQUENZ

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Wird ein KÖrper aus nicht oder schlecht elektrisch leitendem Material der Wirkung eines elektrischen Wechselfeldes ausgesetzt, so erwärmt sich dieser Körper. Der Stoff, der sich im Raum zwischen den Platten eines Kondensators befindet, wird Dielektrikum genannt. Die aufgenommene Leistung, die sogenannte Verlustleistung, verursacht die Erwärmung. Das Prinzip der dielektrischen Erwärmung zeigt Figur 1.



Figur 1: Prinzip der dielektrischen Erwärmung

Bei den in der Elektrotechnik allgemein verwendeten Kondensatoren werden Dielektrika (Kunststoffe, Papier, Oele, Keramik) eingesetzt, die aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften nur geringe Verlustleistung (Erwärmung) aufweisen. So wird der Leistungsfaktor von Geräten und Anlagen verbessert. Im Gegensatz dazu setzt man bei der dielektrischen Erwärmung Dielektrika ein mit möglichst grosser Verlustleistung um den Wirkungsgrad der Erwärmung zu erhöhen.

Durch Einbringen von Stoffen mit grossen Verlustwerten (Dielektrizitätszahl E) in ein elektrisches Wechselfeld hoher Frequenz und grosser Feldstärke wird dieser schnell erwärmt. Die erforderlichen hohen Feldstärken bedingen den Einsatz hoher Spannungen an den Kondensatorplatten.

Die Wärmeerzeugung erfolgt im Stoff des zu erwärmenden Körpers selbst. Ist der Stoff homogen, findet eine gleichmässige Wärmeerzeugung statt, so dass die Temperatur im Stoff Überall gleich hoch ist. Da ein direkter Kontakt mit den Kondensatorplatten

nicht notwendig ist, besteht die MÖglichkeit der Erwärmung in besonderen Gasatmosphären. Die erforderlichen Frequenzen bedingen den Einsatz von elektronischen HF-Generatoren.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

In einer Hochfrequenzanlage unterscheidet man 3 funktionelle Einheiten:

- Der Generator: Autooszillator oder Verstärker
- Der Applikator: elektrisch abgeschlossener Raum, in dem die elektromagnetische Energie Über Kondensatorelektroden auf das zu behandelnde WerkstÜck Übertragen wird.
- Der Adapter: Impedanztransformator zwischen Generator und Applikator.

Die 3 Einheiten sind durch Koaxialkabel oder Wellenleiter verbunden.

Der Frequenzbereich liegt zwischen 3 MHz und 50 MHz. Da dielektrische Erwärmungsanlagen keine StÖrstrahlen aussenden dürfen, sind entsprechende Abschirmmassnahmen zu treffen.

Um die Richtfunksysteme nicht zu stören, sind fÜr industrielle Hochfrequenzanwendungen wenige schmale Frequenzbänder definiert worden. Dies sind:

13,560 MHz ± 0,06 %
27,120 MHz ± 0,6 %
40,680 MHz ± 0,05 %

Die gebräuchlichste Frequenz ist 27,120 MHz, auch wegen der grösseren Toleranz.

Eine Erwärmung mit Hochfrequenz ist sehr direkt. Die Wärmeerzeugung beginnt, wenn das hochfrequente Feld angelegt wird und endet, wenn es wieder ausgeschaltet wird. Die Umgebung (metallischer Behälter und gasförmige Atmosphäre) wird kaum erwärmt. Eine homogene Erwärmung des Produktes ist möglich. Die Bearbeit u ngsGeschwindigkeit kann durch hohe Leistungsdichten (100 W/cm) erhöht werden, ohne dass die Gefahr einer Ueberhitzung der Oberfläche besteht.

Hochfrequenzanlagen werden normalerweise dreiphasig mit 380 V gespiesen.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Die dielektrische Erwärmung findet in der kunststoffverarbeitenden Industrie vielfältig Anwendung, so zum Beispiel beim Schweissen von thermoplastischen Kunststoffen und beim Vorwärmen von warmhärtenden Kunstharzen.

Auch in anderen Industriezweigen gibt es eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten der dielektrischen Erwärmung. Beispiele sind:

- Trocknen und Verleimen von Holz
- Trocknen von Materialien auf Zellulosebasis - wie Zellwolle, Holz und Papier
- Trocknen von Textilien und Giessereiformen
- Trocknen von landwirtschaftlichen Produkten und Nahrungsmitteln
- Trocknenvon pharmazeutischen Produkten
- Trocknenund Verleimen von Kunststoffen

- Vorwärmen von Gummi zum Vulkanisieren
- Vorwärmen von Wollballen
- Vorwärmen von Glas zum Schneiden und Formen
- Schweissen und Warmformen von Kunststoffen
- Druck und Markierung von Textilien
- Auftauen tiefgefrorener Produkte
- Schmelzen von Kernen in der Giesserei

MIKROWELLEN

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

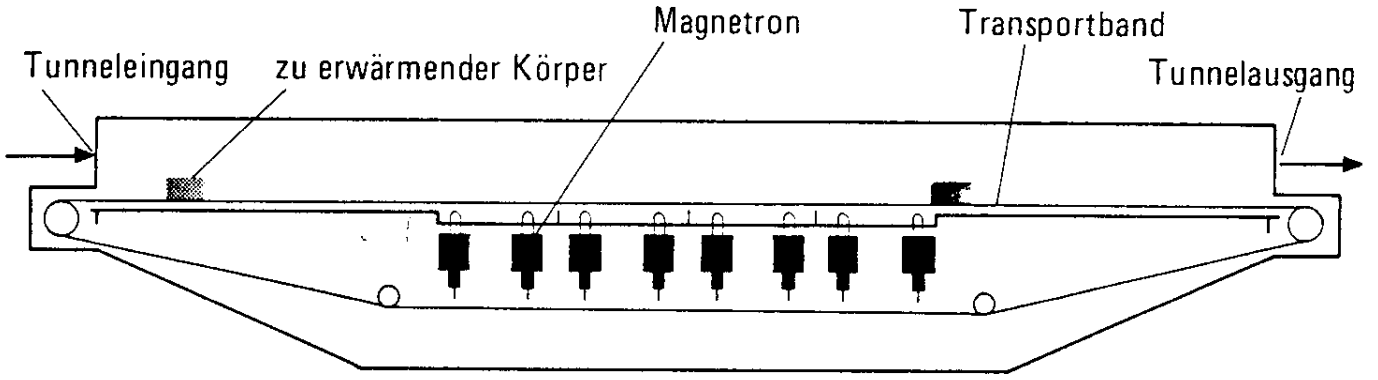
Der thermische Effekt auf Stoffe, die der Wirkung von Mikrowellen ausgesetzt werden, ist vergleichbar mit dem bei der dielektrischen Erwärmung, bei der die Wirkleistung proportional mit der Betriebsfrequenz und dem Quadrat der elektrischen Feldstärke zunimmt.

Um die Erwärmungsleistung pro Volumen zu erhöhen, kann jedoch die Feldstärke nicht beliebig gesteigert werden, weil von einem spezifischen Wert an, der Durchschlagsfeldstärke, elektrische Durchschläge auftreten, die das Produkt qualitativ beeinträchtigen. Deshalb kommt zur weiteren Steigerung der spezifischen Erwärmungsleistung nur eine ErhÖhung der Betriebsfrequenz in Betracht. FÜr die Mikrowellenerwärmung sind Betriebsfrequenzen von 0,3 bis 300 GHz gebräuchlich (Frequenzband der FernsehÜbertragung und der mobilen KommunikationsÜbertragung). Die fÜr industrielle Anwendungen aufgrund des hohen Wirkungsgrades bevorzugten Frequenzen von 0,915 GHz und 2,45 GHz werden vorwiegend in Magnetrons erzeugt und mit Hohlleitern in ein Gehäuse (Ofen) übertragen, in dem sich die zu erwärmenden Produkte befinden.

Durch die Verwendung höherer Frequenzen als bei der dielektrischen Erwärmung kann eine wesentlich schnellere Erwärmung des zu behandelnden Produkts erfolgen.

Das Gehäuse einer Mikrowellenerwärmungsanlage ist meistens nach allen Seiten geschlossen, so dass durch Reflexion an den Wänden eine gleichmässige Strahlungsdichteverteilung innerhalb des Gehäuses erreicht wird, die ihrerseits eine gleichmässige Erwärmung der eingesetzten Produkte bewirkt. Gleichzeitig ist das Gehäuse ein Schutz gegen unerwünschte Mikrowellenstrahlung.

man ist trotzdem bei der Gehäusekonstruktion nicht an eine geschlossene Bauweise gebunden. TÜren oder Oeffnungen in den Wänden ermöglichen zum Beispiel eine kontinuierliche Betriebsweise der Erwärmungsanlage in sogenannten Durchlauf- oder TunnelÖfen.



Figur 1: Tunnelofen zur Mikrowellenerwärmung

2. TECHNISCHE ECKDATEN

In einer Mikrowellenanlage unterscheidet man 3 funktionelle Einheiten:

- Der Generator: Magnetron
- Der Applikator: strahlungsdichter Raum, in dem die elektromagnetische Energie durch Antennen auf das zu behandelnde Werkstück Übertragen wird.
- Der Adapter: Impedanztransformator zwischen Generator und Applikator.

Die 3 Einheiten sind durch Wellenleiter verbunden.

Der Frequenzbereich liegt zwischen 0,3 und 300 GHz. Um keine StÖrstrahlung zu verbreiten, die auch schädliche Auswirkungen auf das Bedienpersonal der Anlage haben kann, sind Abschirmmassnahmen erforderlich.

Die fÜr die industriellen Anwendungen aufgrund des hohen Wirkungsgrades bevorzugten Frequenzen sind:

915 MHZ ± 13 MHZ
2450 MHZ ± 50 MHZ

Eine Erwärmung mit Mikrowellen ist aus denselben GrÜnden wie bei der Erwärmung mit Hochfrequenz sehr direkt.

Mikrowellenanlagen sind normalerweise dreiphasig mit 380 V gespiesen.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Die mikrowellenerwärmung findet aufgrund ihrer guten Qualitätssteuerung, kurzen Erwärmungszeiten und des geringen Platzbedarfes der Anlage zunehmend Verwendung in der Lebensmittel-, Gummi-, Textil-, Kunststoff- und chemischen Industrie, zum Beispiel zum

- Kochen, An- und Auftauen, Sterilisieren, Pasteurisieren, Rösten, Braten, Backen und Trocknen von Nahrungsmitteln.
- Vulkanisieren von Gummi
- Polymerisieren von Kunstharzen
- Trocknen von Leim auf Papier, von photographischen Filmen und pharmazeutischen Produkten
- Fabrikation von Augenkontaktlinsen

VERGLEICH ZWISCHEN HOCHFREQUENZ- UND MIKROWELLEN-ERWÄRMUNGSCHARAKTERISTIKEN

Die nachfolgende Tabelle vergleicht einige charakteristische Eigenschaften von Hochfrequenz- und Mikrowellenerwärmung.

	Hochfrequenz	Mikrowellen
Frequenz [MHz]	13.56 27.12 40.68	2450 915
Hauptsächlicher Ursprung der Erwärmung	Ionenkonduktion	Dipolvibration unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes
Eindringtiefe	gross	klein bis mittelgross
Dimensionen des Produktes	können gross und variabel sein	klein bis mittelgross
geometrische Formen des Produktes	ziemlich regelmässig	beliebig
Investitionskosten	Generator 60% Applikator 40%	1.5 bis 2 mal höher als HF Generator 60% Applikator 40%
Lebensdauer der Röhren [h]	5000 bis 10000 (Triode oder Tetrode)	2000 bis 5000 (Magnetron)
Maximale Leistung eines Generators [kW]	700	5 bis 15

PLASMA

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Werden elektrisch neutrale Gase hohen Temperaturen und starken elektrischen Feldern ausgesetzt, treten Elektronen aus der HÜlle einiger Atome heraus. Aus den neutralen Atomen werden elektrisch geladene Ionen. Man spricht dann von einem ionisierten Gas. Gase im Uebergangszustand zwischen dem neutralen und dem gänzlich ionisierten Zustand werden Plasma genannt.

Das Plasma besteht aus einer Mischung von nunmehr freien Elektronen mit negativer Ladung, Ionen mit positiver Ladung und neutralen Atomen bzw. MolekÜlen, deren Struktur unverändert geblieben ist. Es verhält sich wie ein elektrisch leitender Stoff. Ein Gas ist bei Üblichen Umgebungsbedingungen normalerweise nicht elektrisch leitend. Deshalb muss es z.B. in einem Lichtbogen zu einem Plasma ionisiert werden. Der Lichtbogen wird zwischen zwei Elektroden (Kathode und Anode) erzeugt und vom Gas als Plasmaflamme ausgeblasen. Dies entspricht dem Prinzip des geblasenen Plasmastrahls. Wenn sich der Lichtbogen zwischen einer Elektrode und einer zu erwärmenden oder zu schmelzenden leitenden Charge bildet, spricht man von einem transferierten Plasmastrahl.

Ein Plasmastrahl, der von einem elektrischen Strom durchflossen wird (Gasentladung), kann mit einem elektromagnetischen Feld eingeschnürt werden. Die EinschnÜrung des Entladungskanals bewirkt eine starke TemperaturerhÖhung des Plasmas, besonders im Kern. In Abhängigkeit des verwendeten Gases liegen die Temperaturen des Plasmastrahls bei der industriellen Anwendung in der Regel zwischen 3000 °K und 20000 °K. Es gibt auch kalte Plasmen.

Vom thermischen Standpunkt aus können deshalb Plasmen in zwei Kategorien eingeteilt werden.

- thermische Plasmen von ein paar Tausend bis 20000 °K, in welchen die Temperaturen der Elektronen und der schweren Teilchen (Ionen, erregte Atome) mehr oder weniger gleich sind. Der vorwiegende Grund zur BenÜtzung dieser Plasmen ist die Gas-Enthalpie.

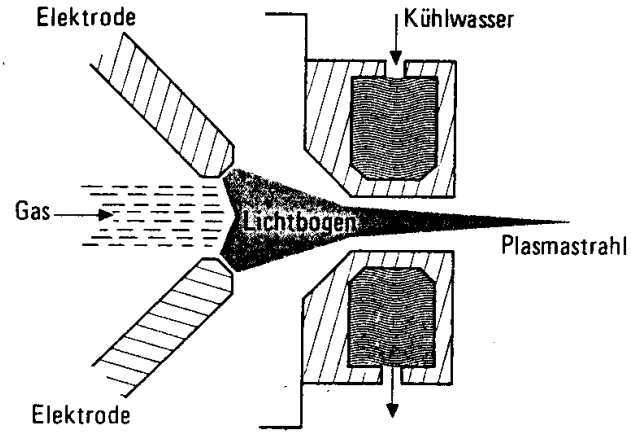
- kalte Plasmen (oder GlÜhentladungen) in welchen die Temperatur der schweren Teilchen des Gases viel geringer ist als diejenige der Elektronen; das Temperaturverhältnis liegt normalerweise zwischen 0,01 und 0,1 bei Elektronentemperaturen um 10000 °K. Diese Plasmen arbeiten bei geringem Druck (ungefähr 10-4 bis 0, 15 bar). Obwohl der thermische Aspekt immer noch signifikant ist, ist er in dieser Plasmaart sekundär. Hier ist es die Erregung der Partikel, die die chemische Reaktionen auslöst und beschleunigt. Kalte Plasmas sind den chemischen Reaktionen mit thermosensitiven Materialien in organischen Verbindungen angepasst. Anwendungen bahnen sich auch bei der Oberflächenbehandlung von Metallen an.

Obwohl es verschiedene MÖglichkeiten gibt, ein Gas mehr oder weniger stark zu ionisieren, z.B, durch Einwirkung elektromagnetischer Strahlung (RÖntgenstrahlung, ultraviolettes Licht und anderes), Verringerung des Druckes, Einspritzen von leicht ionisierbaren Elementen (Cäsium), werden in der Industrie hauptsächlich zwei Verfahren angewendet:

- der (Licht-) Bogenplasmabrenner und
- der Hochfrequenzplasmabrenner (induktiver Plasmabrenner)

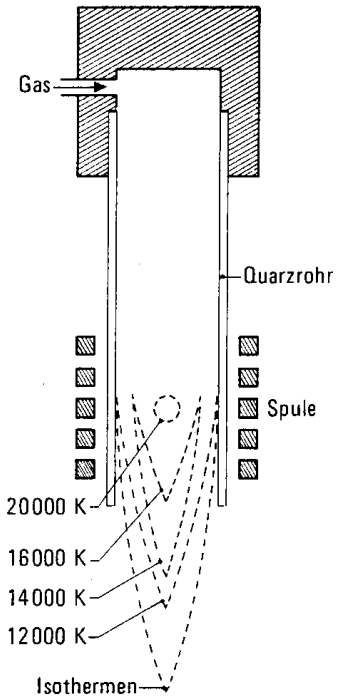
Die Erzeugung des Plasmas im Bogenplasmabrenner erfolgt, vereinfacht dargestellt, dadurch, dass ein Gas, zum Beispiel Argon, Stickstoff oder Helium durch einen Lichtbogen geblasen wird, der zwischen zwei Elektroden gezündet und aufrechterhalten wird. (Figur 1)

Sehr hohe Leistungsdichten sind möglich und dadurch auch sehr effizientes Erhitzen.



Figur 1: Prinzip des Lichtbogenplasmabrenners

Beim induktiven Hochfrequenzplasmabrenner (Figur 2) erfolgt die Ionisation des Gases in einem Quarzrohr, um das eine von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossene Spule gelegt ist. Im allgemeinen werden Frequenzen zwischen 5 und 60 MHz verwendet.



Figur 2: Prinzip des Hochfrequenzplasmagenerators

Plasmaerwärmung kann die bestehenden thermischen Produktionsprozesse verbessern, neue erschliessen und Anwendungen ermöglichen, die mit anderen Prozessen schwierig bis unmöglich sind. Plasmaerwärmung wird speziell angepasst sein fÜr

- Anwendungen, die eine sehr hohe Temperatur erfordern
- Hochendotherme Reaktionen
- Reaktionen, deren Kinetik bei den Üblichen Temperaturen zu langsam ist
- Reaktionen, die durch die Anregung der MolekÜle und Atome zustande kommen, was zu neuen Produkten führen kann
- Reaktionen, die eine hohe spezifische Energie in einem eingegrenzten Volumen benötigen (Pyrolyse, Verdampfung)
- Phasenveränderungen, die die physikalischen Eigenschaften eines Materials verändern (Atomisierung von metallen und hochspezifische Oberflächenfeuerfestigkeit von Pulver)
- Reduktion von Transformierungsprozessen, die mit konventionellen Prozessen in mehreren Schritten aus dem Grundstoff entstehen, auf einphasige Prozesse

Zudem kann der Platzbedarf von PlasmaÖfen kleiner sein als fÜr die AusrÜstung konventioneller Prozesstechniken.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Sehr hohe Leistungsdichten sind möglich. Plasmas können gebraucht werden, um spezifische Leistungen bis zu 105 W/cm2 auf der Auftreffläche des WerkstÜckes oder bis zu 105 kW/m3 in einem Ofen oder Reaktor zu erzeugen. Die Enthalpie des Gases, das eine Plasmagaslampe verlässt, liegt bei 4-5 kWh/Nm . Diese hohen spezifischen Energien ermöglichen eine Reduktion der Generatordimensionen und erleichtern damit eine Integration der Plasmatechnik in bestehende Prozessketten.

Die hohen erreichbaren Leistungen können auf sehr kleine Flächen oder Volumen konzentriert werden; dip minimale Auftreffläche eines Plasmastrahls ist ungefähr 10#-3 cm'.

Temperaturen von 3000 - 10000 °K können selbst in industriellen Prozessen erreicht werden.

Der thermische Austausch wird beschleunigt und die Reaktionsgeschwindigkeit wird stark erhöht wegen des hohen Temperaturniveaus, aber auch weil chemische Spezies aktiviert werden. Dies verbessert die chemische Kinetik und die hohen Erwärmungsgeschwindigkeiten (106 bis 109 °C/sec) ermöglichen neue chemische

Reaktionen.

Die thermische Trägheit ist sehr klein. Dies ermöglicht eine grosse Flexibilität und vereinfacht Verarbeitung und Kontrolle.

Die Plasmabrenner sind mit praktisch jedem Gas kompatibel; dies ermöglicht eine Wahl der Ofenatmosphäre, die auf den Prozess zugeschnitten ist.

Der Ausstoss von Prozessabgasen ist beim Einsatz von Plasma viel kleiner als bei normalen Brennern.

Die elektrische Versorgung der Anlage erfolgt Über das Mitteloder Hochspannungsnetz der Elektrizitätsversorgung. Es werden Spannungen von einigen hundert Volt bis 3000 Volt gebraucht. Normalerweise erfolgt die Speisung Über einen Transformator und einen Thyristorgleichrichter.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Mit den hohen Temperaturen, die im Plasmastrahl erreicht werden, lassen sie die verschiedensten Stoffe schmelzen und verdampfen. Plasmabrenner können fÜr zahlreiche Anwendungen eingesetzt werden; als wichtigste seien erwähnt:

- Schmelzen von Metallen und hochschmelzenden Werkstoffen
- Schweissen und Schneiden von Metallen (hochlegierte Stähle, Leichtmetall-Legierungen).

Aufdampfen und Aufspritzen von Stoffen wie: Metalle (z.B. Molybdän, Titan, Silber, Kupfer, Wolfram); Oxide (z.B. Aluminium-, Magnesium-, Zirconoxid); chemische Verbindungen (Karbide, Nitride, Boride).
AusfÜhrung chemischer Reaktionen bei hohen Temperaturen (Erzeugung von Acetylen, Cyanwasserstoff, Cyan usw.).
Ziehen von Einkristallen (Metalle, keramische Oxide usw.)

In der Industrie wird die Plasmaerwärmung am häufigsten zum Schweissen und Schneiden sowie zum Aufspritzen von Metallen (Metallisieren) verwendet. Auch beim Schmelzen von Metallen in Oefen mit relativ kleiner Kapazität lassen sich sehr gute Resultate erzielen.

Die Lichtbogenplasmabrenner werden in industriellen Prozessen viel Öfter angewendet als die Hochfrequenzplasmabrenner. Ihre Technologie wird heute gut beherrscht und eine grosse Anzahl von Generatoren, von ein paar Watt bis zu 10 MW Leistung sind fÜr Anwendungen wie Eisen- und Stahlherstellung, Metallurgie von Eisen- und anderen metallischen Legierungen, Abfallbeseitigung, Behandlung von feuerfesten Materialien, chemische Reaktionen etc. erhältlich.

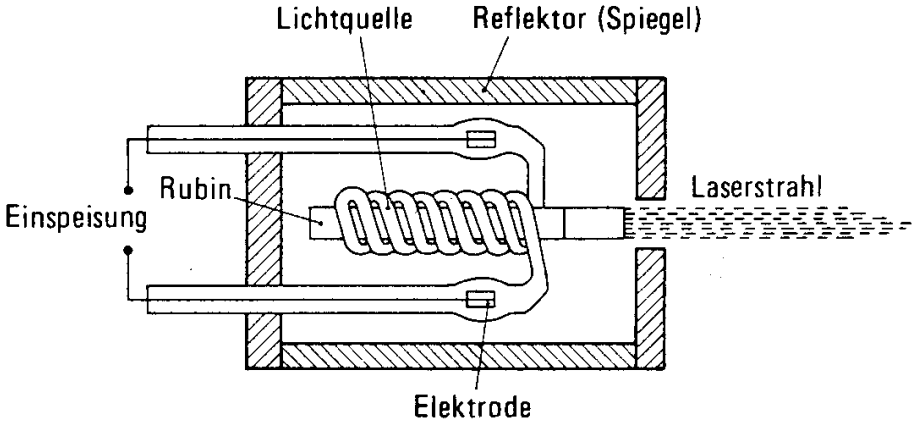
Plasmastrahlbrenner mit kleiner Leistung (10 bis 300 kW) werden vor allem zum Schneiden, Schweissen und fÜr die Oberflächenbehandlung verwendet.

Plasmastrahlbrenner mit grösserer Leistung (mehr als 100 kW) werden neben der AusfÜhrung chemischer Reaktionen und dem Schmelzen von Metallen auch zum Erschmelzen von Feinkohle, zur Behandlung von Staub und zur Vernichtung von Abfall eingesetzt.

LASER

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Laser ist die englische AbkÜrzung fÜr die physikalische Beschreibung des Effektes der Lichtverstärkung durch angeregte Aussendung von Strahlung. Der Laser ist im Prinzip ein Verstärker fÜr elektro-magnetische Wellen. Alle Laser bestehen im wesentlichen aus einem laseraktiven Medium mit Resonator, in welchem Laserlicht entsteht und deshalb die Eigenschaften desselben bestimmt und der sogenannten Laserpumpe, wo in einem anderen Medium durch elektrische Anregung Licht erzeugt wird, dessen Energie optisch auf das eigentliche Lasermedium Übertragen (gepumpt) und verstärkt d.h. zeitlich konzentriert wird (grosse Leistung). FÜr die industrielle Werkstoffverarbeitung haben sich hauptsächlich zwei Lasermedien bewährt, zum einen das gasförmige CO#2, und zum anderen das Nd-YAg-Kristall. In anderen Anwendungsbereichen sind weitere Lasermedien, wie z.B. der Rubinlaser zu finden



(Figur 1).

Figur 1: Prinzip des Rubin-Lasers

Um das Lasermedium zur Aussendung von Lichtenergie in Strahlform zu befähigen, muss Energie in anderer Form zugeführt werden. Im Falle des CO#2-Lasers geschieht dies durch Ionisation des CO#2-HeN2-Gasgemisches mittels Hochspannung. Die EnergiezufÜhrung beim Nd-YAg-Laser erfolgt durch Lichteinstrahlung. Hier ist die Lampe (Laserpumpe) zusammen mit dem Laserstab in axialer Richtung in den Brennpunkt eines elliptischen Rohres untergebracht. In den meisten Fällen ist zur Erreichung eines optimalen Betriebspunktes eine KÜhlung erforderlich.

Das Laserlicht ist parallel, kohärent, ev. polarisiert und stark monochromatisch, d.h. es wird jeweils in einem sehr schmalen Wellenlängenbereich ausgesendet. Deshalb lässt es sich mit einfachen optischen Mitteln auf einen äusserst kleinen Brennpunkt (Fokus) konzentrieren. Die Energieübertragung geschieht berührungsfrei und ist abhängig vom Lasersystem, der Bearbeitungsoptik und dem zu bearbeitenden Material. Bei den mit Laser zu bearbeitenden Materialien sind die Lichtabsorption, die Wärmeleitung und die für den Bearbeitungsvorgang charakteristischen Umwandlungstemperaturen und -energien von Bedeutung.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

FÜr die verschiedenen Anwendungen der Lasertechnologie werden Laser mit unterschiedlichen Leistungsbereichen gebraucht.

Der Leistungsbereich beim Schweissen reicht von 50 W bis 5000 W. Die Lasertechnologie hat in diesem Bereich neue Möglichkeiten eröffnet, die das Verbinden sehr kleiner Teile verschiedenster Materialien und Legierungen ermöglicht.

Das Schneiden sehr dünner Materialien ist ein weiteres neues Anwendungsgebiet. Laserstrahlen können das autogene Schneiden und das Plasmaschneiden bei Dicken von 3 mm Übernehmen. Der Leistungsbereich fÜr diese Anwendung reicht von 250 W bis 20 kW. Meist genügen jedoch die Leistungen 250 W bis 500 W.

Das partielle Härten mit exakt begrenzter Tiefe verlangt 500 W bis 1400 W Leistung.

mit der Lasertechnologie wurde das Bohren sehr harter Materialien wie Molybdän, Wolfram, Keramik und Diamant möglich. Leistungen von 10 W aufwärts sind dazu erforderlich.

Temperaturen von mehr als 20’000 °C sind erreichbar.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Die Lasertechnik wird in allen Bereichen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik und Elektronik dort angewandt, wo Verschleissfreiheit, berührungslose EnergieÜbertragung, präzise Verarbeitung auch bei kleineren Abmessungen, hohe Leistungsdichte beim Schmelzen und Verdampfen, veränderliche Eindringtiefe und geringe thermische Belastung des Werkstoffes selbst bei andererseits hoher thermischer Erfordernis an der Bearbeitungsstelle erwünscht sind.

Eine weit verbreitete Anwendung ist das Laserstrahlschneiden. Hier ist zu unterscheiden zwischen Lasersublimierschneiden und dem Laserbrennschneiden. Beim Schneiden von Blechen mit einer Dicke kleiner als 5 mm gibt es ausser der Lasertechnik kein anderes ernsthaft konkurrierendes Verfahren. Zum Bohren sind Laser mit Leistungsdichten von 106 bis 108 W/cm’ und Interaktionszeiten von einigen hundert Mikrosekunden bis einigen Millisekunden geeignet. Das Metall wird dabei sublimiert.

Mit einer Leistungsdichte des Lasers von 103 bis 104 W/cm2 und Interaktionszeiten von 100 ms bis einigen Sekunden können Oberflächen behandelt und geschmolzen werden.

In der Elektroindustrie allgemein und in der Mikroelektronik insbesondere werden Laser zum Löten eingesetzt. Leistungsdichten von 10 bis 107 W/cm2 und Interaktionszeiten von 1 bis 100 ms erlauben das Schweissen und LÖten. Zur Kennzeichnung von Wafers, Metall- und Keramikteilen dient das Beschriften durch Laserstrahlung. Laser werden auch zum Ausheilen von Gitterfehlern benutzt.

4. VERFAHRENSSPEZIFISCHE DATEN

Ein Laser mit 2 kW Ausgangsleistung kann in rostfreiem Stahl bis zu 20 mm tief bohren.

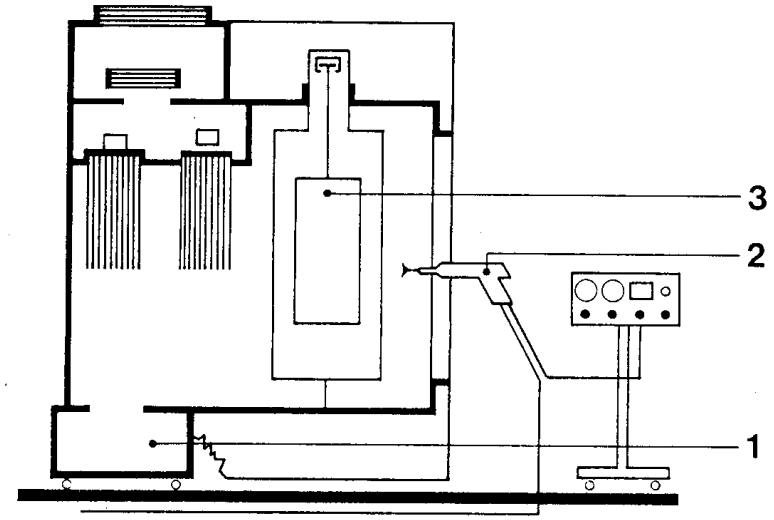
mit einem CO#2-Laser von 15 mm Durchmesser und 200 W Leistung kann im Brennpunkt oder Fokus eine Energiedichte von 125 kW/mm2 erreicht werden.

PULVERBESCHICHTUNG

1. KURZBESCHREIBUNG DES VERFAHRENS

Die elementare Idee hinter der elektrostatischen Pulverbeschichtung beruht auf der Tatsache, dass sich Teile mit entgegengesetzter elektrischer Ladung anziehen. Daher eignen sich auch die meisten leitenden oder thermisch stabilen FestkÖrper fÜr die Pulverbeschichtung.

Figur 1 zeigt ein Prinzipschema eines Pulverbeschichters.



Figur 1: Prinzip eines Pulverbeschichters

Das trockene Beschichtungspulver wird in den Vorratsbehälter (1) gefüllt, fluidisiert oder umgerührt und mittels Druckluft zur SprÜhpistole (2) gefördert. In der Pistole entsteht aus einer Niederspannung von 10 V nach dem Kaskadenprinzip Hochspannung,
und eine oder mehrere Elektroden laden hier das Pulver beim SprÜhen mit 60 - 100 kV auf.

Ein Beschichtungspulver besteht, je nach Anwendung, aus

- Epoxidharz
- Epoxidharz/Polyesterharz (Hybridsystem)
- Polyesterharz/Triglycidylisocyanurat (TGIC)
- Polyurethan
- Email

Zwischen der Pistole und dem geerdeten WerkstÜck bildet sich ein elektrisches Feld. Die Pulverpartikel folgen dessen Feldlinien und bleiben aufgrund der Restladung auf dem Objekt (3) haften. So veredelte WerkstÜcke können dann manuell oder automatisch zu einem Trockner gefördert werden, wo Kunststoffpulver bei 160 - 200 °C zu einem glatten Film schmilzt und aushärtet. Emailpulver benötigt, seiner chemischen Beschaffenheit wegen, viel höhere Temperaturen, nämlich zwischen 780 und 830 °C.

Die Schichtdicken dieser Veredelung liegen mit Kunststoffpulver bei 30 - 80 #m fÜr dekorative und bei 200 - 500 #m fÜr funktionelle Zwecke. Emailpulver kann im Schichtdickenbereich zwischen 80 und 200 #m eingesetzt werden.

Die wesentlichsten Vorteile der Pulverbeschichtung sind: Lösemittelfreiheit und PulverrÜckgewinnung.

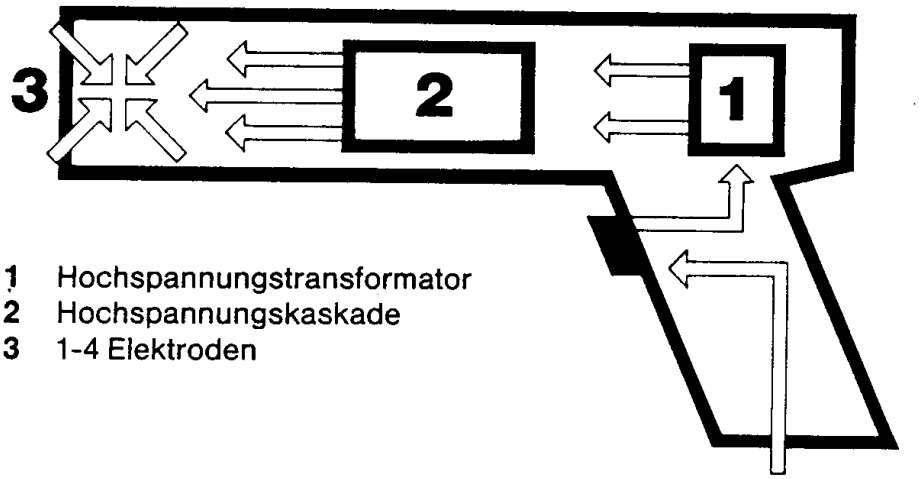
Elektrostatikgeräte

Bei der elektrostatischen Pulverbeschichtung werden vorwiegend Systeme mit Ionisationsaufladung und solche mit elektrokinetischer Aufladung verwendet. FÜr die flexible Anlagengestaltung von erstrangiger Bedeutung ist die Kompatibilität der beiden Aufladungsarten, damit fÜr beide dieselben Steuerungen verwendet werden können.

a) Ionisationsaufladung

Im Vorratsbehälter fluidisiertes oder umgerührtes Pulver wird durch die FÖrderluft angesaugt und als Pulver-Luft-Gemisch durch den Schlauch und die Pistole transportiert. Dort sorgen durch Stossionisation von der SprÜhelektrode erzeugte Ladungsträger für die elektrostatische Ladung des Pulvers, indem sie sich an dessen Oberfläche heften. Freie Ionen, die dabei entstehen, strömen zur geerdeten Gegenelektrode. Das aufgeladene Pulver wird versprüht und bleibt auf dem WerkstÜck haften. Beachtenswert ist in diesem Zusammenhang, dass bei negativer Polarität die Stärke des Sprühstromes fast doppelt so gross ist wie bei positiver Polarität.

Im Steuergerät entsteht aus der Netzspannung eine hochfrequente Niederspannung. In der Pistole verwandeln ein Hochspannungstransformer (1) und eine Hochspannungskaskade (2) diese in eine Hochspannung von, je nach Länge, bis zu 70 oder sogar bis zu über 100 kV, welche an den Elektroden (3) angelegt wird. In der Zuleitung vom



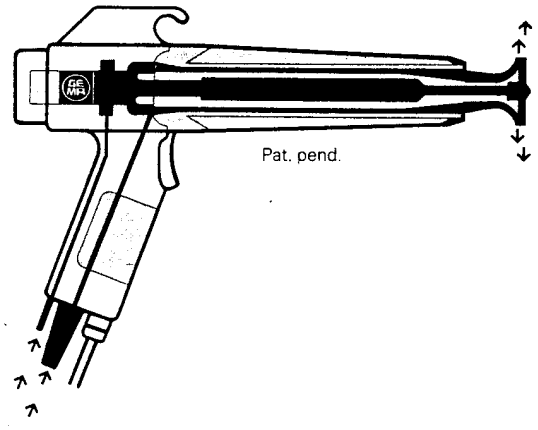
Steuergerät zur Pistole herrscht demnach eine völlig harmlose Niederspannung.

Figur 2: Prinzip der Ionisationspistole

b) Reibungsaufladung

Die Triboladungs-, also Reibungsaufladungspistole, bedient sich, wie der Name sagt, statt der SprÜhelektroden und Kaskaden einer anderen, weit verbreiteten Technik. Immer mehr Pulversorten lassen sich damit verarbeiten. Signifikant ist die Tatsache, dass bei diesem Verfahren kein elektrisches Feld zwischen der Pistole und dem WerkstÜck entsteht. Dadurch dringt das Pulver wirkungsvoll in Hohlräume und Vertiefungen der WerkstÜcke ein und gewährleistet eine optimale Beschichtung. Aus diesem Grund wird die Tribotechnik vor allem dort eingesetzt, wo Objekte mit komplexer Oberflächengeometrie durch tribotaugliches Pulver beschichtet werden. Solche Pulver stellt heute jeder namhafte Pulverfabrikant her.

Nur modernste Geräte, die nach diesem Prinzip funktionieren, stellen sicher, dass weder an den Pistolenwandungen noch an den MundstÜcken (Prallplatten oder FlachstrahldÜsen) Ansinterungen entstehen können. Zur industriellen Einsetzbarkeit gehört auch eine dauernde Aufladungskontrolle, die erst einen reproduzierbaren Einsatz dieser noch jungen Technologie zulässt. Eine weitere wichtige Forderung an die Gerätehersteller muss die Kompatibilität, die Austauschbarkeit mit der Kaskadenaufladung sein.



Figur 3: Triboladungspistole

Elektrostatisches Pulverbeschichten gewinnt stetig an Bedeutung. Die Zuwachsraten dieser umweltfreundlichen Technologie sind weit Über dem Durchschnitt.

Durch kompakten Anlagenbau und die MÖglichkeit zu weitestgehender Automatisierung können Platz- und Personalaufwand gering gehalten werden.

Da die Beschichtung in einem geschlossenen System und ohne LÖsungsmittel stattfindet, treten auch keine schädlichen Nebenerscheinungen auf.

Der Wirkungsgrad des Beschichtungsmaterials beträgt je nach RÜckgewinnungssystem bis zu Über 99 %.

Damit ist diese Technologie eine der wirtschaftlichsten der gesamten Oberflächentechnik.

2. TECHNISCHE ECKDATEN

Eine Anlage zur automatischen elektrostatischen Pulverbeschichtung besteht normalerweise aus mehrstufiger Vorbehandlung, Wassertrockner, Beschichtungszone, Pulverlacktrockner und FÖrdersystem. Solche kompletten Industrieanlagen werden von einer zentralen Stelle aus Überwacht.

FÜr kleine Produktionsmengen oder bei Sonderfarben genügt auch oftmals eine kleine Kabine zur Handbeschichtung, die vom Preis und vom Platzbedarf her in jeder Produktionsstätte untergebracht werden kann.

a) FÖrdereinrichtung

FÖrdereinrichtungen zum WerkstÜcktransport dienen der Automatisierung des Beschichtungsablaufes, wobei primär zwischen Overhead- und BandfÖrderung unterschieden wird. Viele Transportprobleme, insbesondere bei nicht allzu grossen oder sehr schweren WerkstÜcken, lassen sich mit einem Einfachstrang- oder KreisfÖrderer lösen. Wenn lange, grosse oder sperrige WerkstÜcke zu beschichten sind oder enge Raumverhältnisse vorherrschen, ist der “Power & Free”-FÖrderer ideal, da er alternativ Längs- und Querfahrten erlaubt. Zwar ist er durch die aufwendigere Bauart teurer, ermöglicht aber flexiblere Anpassung an kontinuierliche und automatische Beschichtungen, während bei Aufgabe, Abnahme und anderen Teilprozessen im Takt gearbeitet werden kann. Ein weiterer Vorteil des P + F-FÖrderers besteht in den günstigen Verkettungsmöglichkeiten fÜr den optimalen Materialfluss. Sogar Hubund Senkstationen lassen sich damit mühelos kombinieren.

Als besonders beachtenswert in diesem Zusammenhang muss die Schmierung des FÖrdersystems bezeichnet werden. Die Temperaturen im Trockner können bis zu 250 °C betragen, weshalb temperaturbeständige Schmiermittel oder alternativ fremdbelüftete Kettenschutzkanäle eingesetzt werden müssen.

b) Gehängegestaltung

Zu einer reibungslosen, produktionsgerechten FÖrdertechnik gehört auch die passende Gehängegestaltung. Wie die Warengehänge aussehen sollten, richtet sich nach der fÜr die Applikation günstigsten Anordnung. Die ausreichende Stabilität garantiert problemlose Beschichtung und sichert den Produktionsablauf ohne bemerkenswerte StÖrung. Meistens werden die Gehänge aus elektrostatischen GrÜnden teilweise mitbeschichtet, weshalb Rundmaterialien zu bevorzugen sind. Um rationell zu fertigen, sind demnach zwei komplette Gehängesätze erforderlich: Wird die Beschichtung einer Gehängeserie zu dick, wird die zweite eingesetzt, während die verschmutzte entlackt wird.

c) Vorbehandlung

Vor der Beschichtung mit Kunststoffpulver

Bevor die WerkstÜcke beschichtet werden können, müssen sie von allen Verunreinigungen wie Fetten, Oelen usw. befreit werden. Dies geschieht in der Mehrzonen-Vorbehandlungsanlage. Nach der Reinigung folgt meist, je nach Material, das Anbeizen, Phosphatieren oder Chromatieren. Man unterscheidet im Allgemeinen zwischen Stahlblechen, die als Korrosionsschutz phosphatiert, verzinkten Stahlblechen, die ergänzend zur Haftverbesserung angebeizt und Alluminiumblechen, die chromatisiert werden.

Die WerkstÜcke, z.B. Stahlbehälter, Drahtwaren, Dreh-, Stanzoder Pressteile, Fahrradteile und Zubehör durchlaufen am Kettenförderer die verschiedenen Behandlungszonen. Als Chemikalien finden leicht saure Alkaliphosphate, alkalische Säuren oder Basen Verwendung. Im Spritztunnel sind DÜsenregister angeordnet, die die WerkstÜcke von allen Seiten und gleichmässig besprühen. DÜsenanzahl, Spritzwinkel und Pumpenleistung müssen den jeweiligen WerkstÜcken angepasst sein, denn von der guten Reinigung und der genau abgestimmten Vorbehandlung hängt das spätere Beschichtungsergebnis wesentlich ab.

Haftwassertrockner

Wenn die WerkstÜcke alle Vorbehandlungsstationen am Kettenförderer durchlaufen haben, müssen noch vorhandene Feuchtigkeits-RÜckstände beseitigt werden. Dies geschieht im Haftwassertrockner. Diese ähneln dem Pulvertrockner, werden jedoch einfacher und fÜr Temperaturen bis 150 °C ausgeführt. Je nach WerkstÜckart kann ein Abblasen mit normaler Raumluft durch DÜsen völlig ausreichend sein; aber es kommt immer auf den Einsatzfall an, welcher Aufwand auch bei der Haftwassertrocknung erforderlich ist.

Vor der Beschichtung mit Emailpulver

Voraussetzung fÜr den erfolgreichen Einsatz der Pulveremaillierung sind absolut einwandfrei vorbehandelte Stähle. Um auf den hier notwendigen Qualitätsstand zu gelangen, sind Vorbehandlungslinien mit bis zu 20 Stufen möglich. Dieses Maximum ist aber nur nötig, wenn der Stahl stark verunreinigt oder verrostet ist. In der Regel wird darauf geachtet, dass nur gut emaillierfähiger, rostfreier Stahl verarbeitet wird. Damit kann die Vorbehandlungszone bis auf 6 Stufen reduziert werden.

Bad 1	entfetten	Bad 1	entfetten
Bad 2	entfetten	Bad 2	entfetten
Bad 3	entfetten	Bad 3	entfetten
Bad 4	spülen	Bad 4	spülen
Bad 5	spülen	Bad 5	spülen
Bad 6	Standspülung	Bad 6	Entrostungsbeize
		Bad 7	spülen
		Bad 8	spülen
		Bad 9	entfetten
		Bad 10	spülen
		Bad 11	spülen
		Bad 12	Abtragsbeize
		Bad 13	spülen
		Bad 14	Austauschvernickelung
		Bad 15	spülen
		Bad 16	komplexieren
		Bad 17	spülen
		Bad 18	standspülen oder passivieren

Tabelle 1: zwei Beispiele von Vorbehandlungsstufen

Die hier gezeigten Tabellen machen deutlich, dass Einsparungen bei der Vorbehandlung nur durch eine geeignete Wahl des Beschichtungsgutes möglich sind, denn nur qualitativ hochstehender, absolut rostfreier Stahl kommt mit nur 6 Stufen in der Vorbehandlung aus.

d) Gerätearten

Elektrostatikgeräte umfassen in den standardisierten AusfÜhrungen immer Steuergehäuse, Pulverbehälter und Pistolen. Man unterscheidet zwischen Steuerungen fÜr eine, zwei oder mehrere Pistolen. Ihre Arten lassen sich in Kaskaden- oder Hochspannungspistolen und Tribo- oder Reibungsaufladungspistolen unterteilen. Alle kÖnnen je nach Applikation mit einer Vielzahl von verschiedenen MundstÜcken ausgerüstet werden. Bei den Pulverbehältern besteht grundsätzlich die Wahl zwischen fluidisierten oder solchen mit RÜhrwerk. RÜhrwerkbehälter eignen sich vor allem fÜr den häufigen, schnellen Farbwechsel.

- Geräte zur manuellen Beschichtung

Leistungsstarke Geräte zur Handbeschichtung eignen sich hervorragend fÜr kleine bis mittlere Serienproduktionen. Sie sollten immer auch leicht zu reinigen sein, weil dabei häufig Farbwechsel vorkommen.

- Geräte zur Automatikbeschichtung

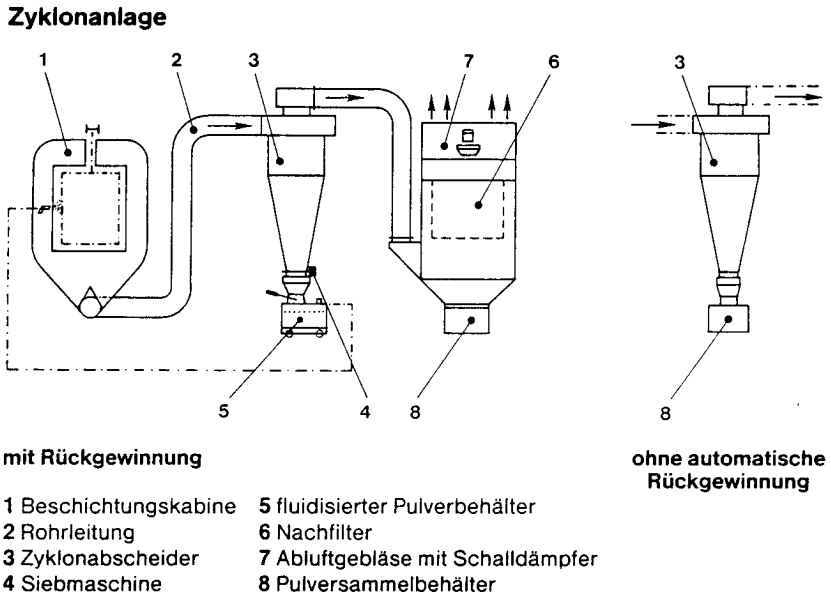
Hochleistungsgeräte zur Automatikbeschichtung müssen die Anforderungen an die Produktion von Grosserien erfüllen können. Individuelle Baukastensysteme, die fÜr jeden Betrieb eine massgeschneiderte LÖsung mit Standardelementen zulassen, sind fÜr solche Aufgaben prädestiniert.

e) Pulverkreislauf

Auch wenn die Pulverpartikel noch so anwendungsgerecht aufgeladen worden sind, fliegen doch viele davon am Ziel, also am WerkstÜck, vorbei. Die elektrostatische Pulverbeschichtung ist deshalb so wirtschaftlich, weil dieser Overspray zurückgewonnen und wiederverwendet werden kann. Die bewährtesten drei Grundprinzipien werden im Folgenden kurz vorgestellt. Ihre Gemeinsamkeit: Bei allen wird das WerkstÜck in einer Kabine beschichtet, in der durch Absaugung ein permanenter, leichter Unterdruck erzeugt wird. Durch die entstehende Lufteintritts-StrÖmung wird ein Austreten des Oversprays aus der Kabine verhindert.

- Zyklonkabinen

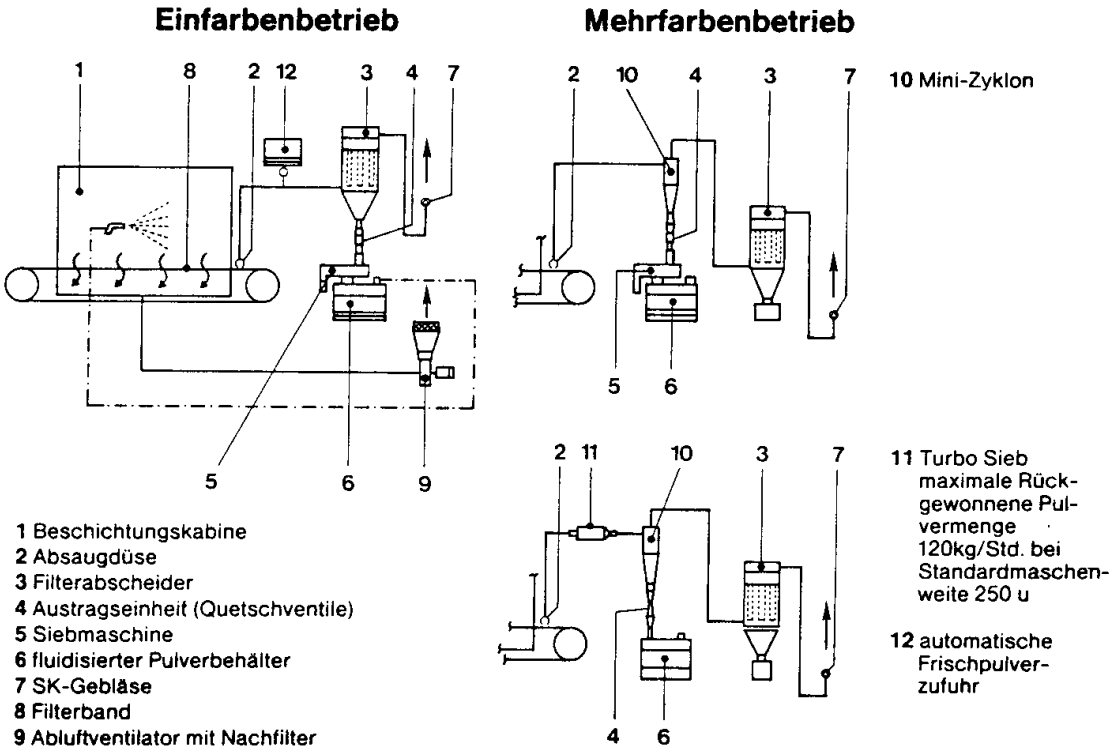
Das nicht am WerkstÜck haftende Pulver gelangt Über eine Absaugvorrichtung, die meist im unteren Kabinenbereich angeordnet ist, durch eine Rohrleitung (2) in den Zyklon (3) der es von der Luft trennt. Um eine einwandfreie Funktion des Zyklons zu gewährleisten, muss die StrÖmungsgeschwindigkeit am Eintrittsstutzen ca. 20 mls betragen. ZurÜckgewonnenes Pulver wird in der Siebmaschine (4) gereinigt und nachfolgend im Pulverbehälter (5) zur Wiederverwertung gesammelt. Nicht abgeschiedenes Pulver aus dem Zyklon wird in den Nachfilter (6) gesaugt, wo es sich durch Abreinigen im Pulversammelbehälter (8) sammelt. Die gereinigte Kabinenluft wird danach Über das Gebläse (7) und evtl. Über Schalldämpfer und Absolutfilter in den Arbeitsraum zurÜckgefÜhrt. Bei Betrieb der Anlage ohne automatische RÜckgewinnung ersetzt ein einfacher Auffangbehälter (8) unter dem Zyklon die Siebmaschine und den Fluidoder RÜhrwerkbehälter.



Figur 4: Zyklonanlage

- Filterbandanlagen

Filterbandanlagen beinhalten zwei völlig getrennte Luftkreise. Der grosse Luftkreis ist fÜr die Kabinenluft bestimmt, welche durch den Mitteldruckventilator (9) erzeugt wird; durch das Seitenkanalgebläse entsteht der kleine Luftkreis zur PulverrÜckgewinnung. Nicht am WerkstÜck haftendes Pulver folgt der LuftstrÖmung auf den Kabinenboden, ein kontinuierlich umlaufendes Filterband, das das Pulver von der Luft abscheidet und zur ausserhalb des Ansaugbereiches plazierten Absaugdüse (2) transportiert. Diese bewirkt auf der ganzen Breite des Bandes eine ununterbrochene Abreinigung.



Figur 5: Filterbandanlage

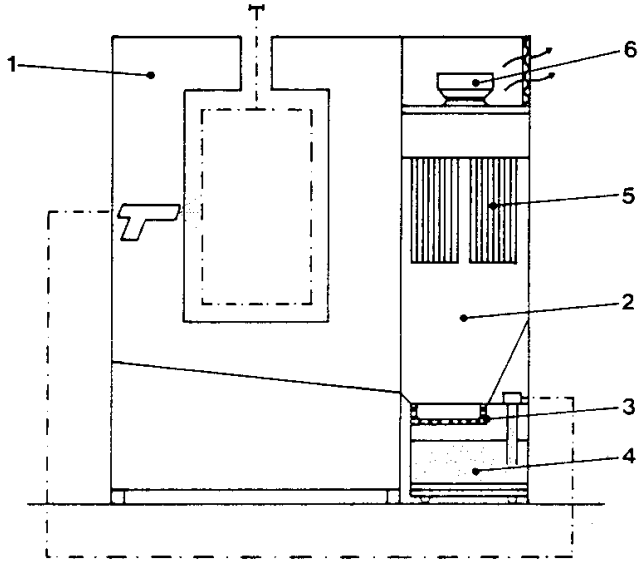
Beim Einfarbenbetrieb Über Filterabscheider (3) oder beim Mehrfarbenbetrieb Über den Minizyklon (10) gelangt das Pulver Über die Austragseinheit (4) zur Siebmaschine (5), wo es ständig in den Pulverbehälter gesiebt wird. Dort steht es zur Wiederverwertung bereit. Falls im Mehrfarbenbetrieb nicht mehr als 120 kg/h zurückgewonnen werden müssen, entfällt die Anordnung der Siebmaschine. Statt dessen schaltet man das Turbosieb (11) in den Pulverstrom vor dem Minizyklon.

Die Über den Filterabscheider gereinigte FÖrderluft gelangt Über das Seitenkanalgebläse und den Schalldämpfer in den Arbeitsraum zurück. Dasselbe gilt fÜr den Kabinenluftstrom, der durch das Filterband Über das Abluftgebläse und den Nachfilter ebenfalls in den Arbeitsbereich zurÜckgefÜhrt wird.

- Kompaktkabinen

Unter Kompaktkabinen versteht man jene Anlagen, denen eine integrierte RÜckgewinnung zugrunde liegt. Hier saugen Filterelemente (5) den grössten Teil des Oversprays an und scheiden ihn durch intervallmässiges Reinigen ab. Sie sind meist in einem Filterkasten (2) an der Kabinenwand untergebracht. Nach der Abreinigung fällt das Pulver auf den Boden oder die Siebmaschine (3). Der Kabinenboden muss dann manuell oder automatisch gereinigt und das Pulver Über die Siebmaschine zum Pulverbehälter (4) und zur Wiederverwendung gefördert werden. Die benötigte Kabinenabluft wird filtriert und durch den Abluftventilator (6) in den Arbeitsraum zurÜckgefÜhrt.

1 Beschichtungskabine
2 Filterkasten
3 Siebmaschine
4 fluidisierter Pulverbehälter
5 Filterelemente
6 Abluftventilator



Figur 6: Kompaktkabinen

Da bei Kompaktanlagen hohe Luftkonzentrationen im Filterbereich entstehen, treten manchmal Probleme bei der Plazierung der Beschichtungsöffnungen auf, vor allem, wenn bei langen Kabinen aus finanziellen GrÜnden auf einen zweiten Filterkasten verzichtet wird.

Kompaktanlagen sind vorwiegend mit Patronen- und Plattenfiltern verschiedener Bauarten bestückt. An die Filterelemente werden hohe Anforderungen bezüglich Reststaubgehalt gestellt, da die Kabinenabluft meist in den Arbeitsraum zurÜckgefÜhrt wird. Massgebend fÜr den Reststaubgehalt, die Betriebssicherheit, den Energiebedarf und die mögliche Filterflächenbelastung eines Systems sind der Materialaufbau, die Form und die geometrischen Verhältnisse des Filterelementes und die dazugehörige optimale Abreinigung.

- Kriterien fÜr die Wahl der Beschichtungsanlage

Wichtige Kriterien fÜr die optimale Auswahl des geeigneten Systems sind:

Anzahl zu verarbeitende Farben
Farbwechselintervall
Farbpalette (Farbverwandtschaft)
Auslastung der Anlage
Qualitätsanforderungen
Platz- und Finanzverhältnisse

Es ist naheliegend, dass nicht jedes Konzept fÜr die oben erwähnten Kriterien in allen Punkten die beste LÖsung bietet. Die folgende Zusammenstellung soll aufzeigen, wo welches Anlagensystem sein Einsatzgebiet hat.

ZYKLONANLAGEN sind einfach zu betreiben, stellen kleine Anforderungen an das Bedienungspersonal und sind verhältnissmässig gÜnstig in den Anschaffungskosten. Grenzen gesetzt werden durch die zu verarbeitende Pulvermenge, bzw. durch die Menge, die zurückgewonnen werden muss, da der durch den Abscheider verursachte Verlust höher ist als bei anderen Anlagen. Zyklone eignen sich hauptsächlich fÜr Lohnbeschichter mit sehr grosser Farbpalette und sehr kurzen Farbwechselintervallen. Je nach Qualitätanspruch lässt sich der Farbwechsel relativ schnell durchfuhren.

FILTERBANDANLAGEN werden hauptsächlich fÜr mittlere bis grosse Produktionsserien eingesetzt und eignen sich vor allem fÜr den anspruchsvollen Hand- oder Automatikbetrieb in Industrie und Lohnbeschichtung. Die sehr hohe Flexibilität erlaubt mehrere RÜckgewinnungselemente und damit schnelle Farbwechsel. Der Platzbedarf ist recht gering. Im Gegensatz zu Zyklonanlagen lohnen sich dank des hohen Abscheide-Wirkungsgrades auch längere Farbwechselintervalle. Dasselbe gilt im Vielfarbenbetrieb mit RÜckgewinnung im Vergleich zu Kompaktanlagen. HÖchste Anforderungen an die Qualität der Beschichtung können nur mit sehr guten Siebmaschinen in der RÜckgewinnung erfüllt werden. Dies bedingt Siebe mit automatischem Schmutzaustrag und feinen Einsätzen. Gerade hier ist eine kontinuierliche Pulverbeschickung der Siebmaschine enorm wichtig, da bei diskontinuierlicher Beschikkung die Siebleistung stark reduziert würde. Nur bei Filterbandanlagen lassen sich solche platzintensiven Siebe einfach integrieren, da die RÜckgewinnung flexibel zur Kabine hin angeordnet werden kann.

KOMPAKTANLAGEN sind ebenfalls fÜr anspruchvolle Hand- und Automatikbeschichtung vorgesehen. Das äussere Erscheinungsbild wirkt durch die kompakte Bauart sehr ansprechend. Im Vergleich zu Zyklon- und Filterbandanlagen sind alle Kabinen- und RÜckgewinnungskomponenten in der Anlage integriert. Kurze Farbwechselintervalle und schnelle Farbwechsel lassen sich durchfuhren, falls pro Farbton eine Wechselfiltereinheit mit dazugehörigen Pulverbehältern vorhanden ist. Bei der Verarbeitung von mehreren Farben führt dies aber schnell zu Platz-, Handlings- und Preisproblemen. Zudem reduzieren die seitlich an der Kabine angeordneten Filtereinheiten die Kabinenarbeitsfläche, wodurch bei einer grossen Anzahl Pistolen oder mehrdimensionalen Hubstationen leicht Raumprobleme entstehen. Am wirtschaftlichsten sind Kompaktanlagen bei bis zu drei zu verarbeitenden FarbtÖnen; bei einem Ausbau der Farbpalette ist die Wirtschaftlickeit in Frage gestellt.

f) Hubgeräte

Bei der Beschichtung von mittleren und grossen Serien ist die Anschaffung von Hubgeräten unumgänglich, um eine angemessene Rationalisierung des Produktionsprozesses zu erreichen. Durch die kundenspezifische Auslegung der Hubstationen wird erst eine exakt reproduzierbare Beschichtungsleistung von einheitlicher Gleichmässigkeit und Schichtstärke möglich. Diese Automaten können 3e nach Aufwand in bis zu drei Dimensionen arbeiten, wodurch oft, neben den schon genannten Vorteilen, eine manuelle Nachbeschichtung ÜberflÜssig wird. Bei der mehrdimensionalen Automatisierung müssen allerdings grosse Serien hergestellt werden, da sonst der beachtliche Programmieraufwand die Beschichtungsvorteile wieder zunichte macht. Im Grossbetrieb bedeuten aber heute mehrere zweidimensionale Hubgeräte mit je etwa 4 Pistolen nichts Aussergewöhnliches mehr, zumal diese von einer einzigen kompakten Steuerung aus beherrschbar sind und eine einheitliche Qualitätsbeschichtung garantieren.

g) Pulvertrockner

Nach der Applikation des Pulvers können die WerkstÜcke ohne Verzug direkt in den Pulvertrockner eingefahren werden. Von dessen Temperaturgenauigkeit und weiteren im Folgenden beschriebenen Faktoren hängt letztlich der Finish ab.

- Umluftmengen sind abhängig von der geforderten Temperatur, vom Wärmeverbrauch und von der Temperaturdifferenz zwischen vor und RÜcklauf der Umluft. Die Temperaturtoleranz beträgt etwa +/- 5 C.

- Aufheiz- und Haltezeiten werden beeinflusst von der Masse der Trocknerinnenteile wie Zwischenwände, Verstärkungen oder Wärmedämmungen. Aber auch die WerkstÜckart, deren Gehängedichteund Materialdicken sind wesentliche Kriterien fÜr die Auslegung des Trockners. Es bedarf grosser Erfahrung und Sorgfalt bei dessen Auslegung in allen Detailkomponenten.

- Generell sind verschiedene Bauformen von Trocknern konstruktiv ausgereift. Ob ein Durchlauf-, ein Umkehrtrockner oder eine der vielfältigen weiteren Bauformen zu empfehlen ist, ergibt sich aus dem Gesamtanlagenkonzept und den Raumverhältnissen.

- Ein weiterer Faktor, der die Oberflächenqualität mitbestimmt, ist die Verweildauer im Trockner. Bei einem Durchlauftrockner versteht man darunter, dass fÜr einen geplanten WerkstÜckdurchsatz die vorgeschriebene Temperatur mit akzeptabler Tole- ranz garantiert ist. Je nach Pulverart wird mit bis zu 250 °C ausgehärtet.

3. HAUPTANWENDUNGSGEBIETE

Es eignen sich die meisten leitenden oder thermisch stabilen Festkörper fÜr die Pulverbeschichtung. Vor allem metallische Ob-
jekte wie

- Haushaltmaschinen
- Büromöbel
- GartenmÖbel
- AutozubehÖr
- Armaturen
- Drahtwaren
- Profile
- Fassadenelemente

sind heute in immer weiter zunehmendem Masse elektrostatisch pulverbeschichtet.

Epoxidharzpulver eignen sich wegen ihrer sehr guten chemischen Beständigkeit und der ausgezeichneten mechanischen Werte wie hohe Elastizität, Schlagfestigkeit, Verformbarkeit, LÖsemittel-, Säure- und Alkalibeständigkeit vor allem fÜr dekorative Anwendungen. Sie sind physiologisch unbedenklich und werden sogar, bei geeigneter Harz- und Härterauswahl, im Lebensmittelbereich angewendet. Ihre Neigung zum Kreiden und Vergilben bei Aussenbeanspruchung macht sie, nicht wegen einer Einbusse an Korrosionsschutz, sondern nur wegen der optisch-ästhetischen Veränderung, fÜr Aussenanwendungen eher ungeeignet.

Epoxidharz-/Polyesterharzpulver verfügen Über eine bessere Vergilbungsstabilität und werden vorzugsweise fÜr Radiatoren, Dekkenelemente, Leuchten etc. eingesetzt. Nachteilig gegenüber reinen Epoxidharzen wirken sich schlechtere LÖsungsmittelbeständigkeit, geringe Oberflächenhärte und keine Wetterbeständigkeit aus.

Polyesterharz-TGIC-Pulver (Triglycidylisocyanurat) wird eingesetzt, wenn Wetter- und Kreidungsstabilität gefordert sind. Es lässt sich nachträglich mechanisch bearbeiten (Sägen, Bohren, Fräsen etc.) und wird deshalb vorwiegend beim Beschichten von Aluminium oder Stahl fÜr den Ausseneinsatz eingesetzt (Fassadenelemente, Fensterprofile, Fahrzeugsektor, hochwertige Gartenoder CampingmÖbel).

Polyurethanpulver sind auch sehr witterungsstabil und werden deshalb vor allem im Aussenbereich eingesetzt, wobei das grösste Anwendungsgebiet im Fahrzeugsektor liegt.

Die Farbpalette ist heute bei Email noch beschränkt, doch zeigen die pulveremaillierten Oberflächen hervorragende mechanische und chemische Eigenschaften. Ueberall dort, wo besonders hohe Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit einer Oberfläche gestellt werden (Herdbleche, KÜcheneinrichtungen, Badewannen, Duschtassen etc.) liegen die bevorzugten Anwendungen von Pulveremail.

4. HERSTELLUNG VON BESCHICHTUNGSPULVER

Ein typisches Beschichtungspulver enthält:

- 50 - 60 % Bindemittel, Harz und Härter
- 40 - 50 % Pigment und FÜllstoffe
- 1 - 2 % Additive

Bei Bindemittel und Härter handelt es sich um Festharze, auch die Additive sind FestkÖrper.

Alle Bestandteile der Formulierung werden eingewogen und in einer speziellen Maschine vorgemischt. Danach wird das Gemisch extrudiert, wobei das Material bei ca. 100 - 120 °C aufgeschmolzen und dispergiert wird und den Extruder als homogene Schmelze verlässt. Ueber KÜhlrollen und ein KÜhlband geführt, erkaltet das Material, wird in kleine Chips gebrochen und dann, fein gemahlen, als Beschichtungspulver abgepackt. Das Pulver ist nun zur Verarbeitung bereit und wird in trockener Form beim Kunden, dem Pulververarbeiter, eingesetzt.

Es gibt verschiedene Arten von Pulvern, die je nach Verwendungszweck eingesetzt werden.

a) Epoxidharzpulver

Epoxidharzpulver besitzen sehr gute chemische Beständigkeit und ausgezeichnete mechanische Werte wie hohe Elastizität, Schlagfestigkeit, Verformbarkeit, LÖsemittel-, Säure- und Alkalibeständigkeit. Epoxidharzpulver werden bei korrosionsbeständigen Anwendungen eingesetzt, sie sind physiologisch unbedenklich und werden bei geeigneter Harz- und Härterauswahl sogar im Lebensmittelbereich verwendet. Ein Nachteil ist ihre Neigung zum Kreiden und Vergilben bei Aussenbeanspruchung. Die Kreidung bedeutet zwar eine optisch-ästhetische Einbusse (Veränderung), nicht aber eine Einbusse des Korrosionsschutzes.

Hohe chemische Reaktivität und die Verwendung verschiedener Härterklassen eröffnen eine grosse Vielfalt von Anwendungen.

b) Epoxidharz-/Polyesterharzpulver (Hybridsysteme)

Ihrem Namen gemäss bestehen diese Pulver aus Epoxid- und Polyesterharzen.

MarktÜblich sind Pulver mit dem Verhältnis 50:50 oder 40:60. Die Anwendungen der Epoxid/Polyesterpulver liegen vornehmlich im dekorativen Bereich, ähnlich den Epoxidharzpulvern; sie verfügen jedoch Über eine bessere Vergilbungsstabilität und werden dadurch vorzugsweise fÜr Radiatoren, Deckenelemente, Leuchten usw. eingesetzt. Die Nachteile im Vergleich zu reinen Epoxidharzpulvern sind schlechte LÖsungsmittelbeständigkeit, geringe Oberflächenhärte und keine Wetterbeständigkeit.

c) Polyesterharz-/TGIC-Pulver

Die Bindemittelbasis bei diesem Pulver bildet ein carboxylgruppenhaltiger Polyester vernetzt mit Triglycidylisocyanurat (TGIC)

TGIC-Pulver wird dann eingesetzt, wenn Wetter- und Kreidungsstabilität gefordert sind. Seine sehr guten mechanischen Eigenschaften wie Stoss-, Schlag und Haftfestigkeit ermöglichen eine nachträgliche mechanische Bearbeitung wie etwa durch Sägen, Bohren oder Fräsen. Typische Anwendungen liegen beim Beschichten vom Aluminium oder Stahl fÜr den Ausseneinsatz, speziell fÜr Fassadenelemente und Fensterprofile, im Fahrzeugsektor oder bei hochwertigen Garten- oder Campingmöbeln.

d) Polyurethanpulver

Polyurethanpulver zeichnen sich durch einen hervorragenden Verlauf aus und sind wie die TGIC-Polyestersysteme witterungsstabil. Der Einsatz ist demzufolge ähnlich, nämlich im Aussenbereich, wobei das grösste Anwendungsgebiet im Fahrzeugbereich liegt.

e) Emailpulver

Unter Email versteht man durch Schmelzen oxidischer Komponenten entstandene glasartige Substanzen, die geeignet sind, mit metallischen Grundwerkstoffen - hauptsächlich Stahl, Gusseisen oder Aluminium - Verbundwerkstoffe zu bilden. Die Oxide, wie etwa Si02, A1203, B20#3, Alkali- und Erdalkalioxide, Ti02 oder Zr02, werden den Schme1zÖfen in Form genau spezifizierter Rohstoffe wie Quarz, Feldspat, Borax, Flussspat usw. zugeführt. Die nach dem Schmelzen bei ca. 1300 °C und anschliessendem Abkühlen entstandenen Emailfritten können zu nass verspritzbaren Suspensionen oder zu trockenen Emailpulvern verarbeitet werden.

Sind die Emailpulver zum elektrostatischen Auftrag vorgesehen, müssen ihre physikalischen Eigenschaften - besonders der elektrische Oberflächenwiderstand - ein einem besonders gesteuerten Mahlprozess unter Zugabe minimaler Mengen Silikon verändert werden. So entstehen fluide Pulver, die nach dem elektrostatischen Auftrag auf den vorbehandelten Stahlteilen haften. Nach dem Einbrennen bei 780 - 830 °C liegt dann eine emaillierte Oberfläche vor, die bis über 450 °C temperaturbelastbar, farbstabil und kratztest ist.

Die Farbpalette ist heute bei Email noch beschränkt, doch zeigen die so veredelten Oberflächen hervorragende mechanische und chemische Eigenschaften. Deshalb erfreut sich die Pulveremaillierung zunehmend grösserer Beliebtheit. Ueberall dort, wo besonders hohe Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit einer Oberfläche gestellt werden, also etwa bei Herdblechen, KÜcheinrichtungen, bei Badewannen oder Duschtassen liegen die bevorzugten Anwendungen von Pulveremail.

Massnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs

Wärmeenergie ist kostspielig, darum bleiben Sparmassnahmen in diesem Bereich ein immer aktuelles Thema. Der verantwortungsbewusste Konstrukteur wird diese Problematik in sein Konzept integrieren und wissen, mit welchen Massnahmen der Energieverbrauch beim Einbrennen der Lacke so gering wie möglich gehalten wird. Einige nachfolgend aufgeführten Kriterien geben Entscheidungshilfen:

- Direkte oder indirekte Beheizung?

Bei direkter Beheizung lassen sich etwa 10 % Energie sparen, doch kann als Heizmedium nur Gas verwendet werden.

- Mit der A-Zonen-Bauform werden Oeffnungsverluste vermieden.
- Die wärmedämmung muss richtig ausgelegt sein, Abstrahlverluste müssen vermieden werden.
- WärmerÜckgewinnungsanlagen senken den Energiebedarf und gehören zum modernsten Stand der Technik.

Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:

Name, Vorname: .....

Firma: .....

Strasse: .....

PLZ, Ort: .....

Datum, Unterschrift: .....

Bundesamt für Konjunkturfragen
Impulsprogramm RAVEL
Belpstrasse 53
3003 Bern

FAX: 031/46 41 02

Titel	Autor	Bestellnummer	Preis	Bestellung
Allgemeine Dokumentationen zu RAVEL				
Broschüre "Neue Handlungsspielräume mit weniger Strom"		724.301 d	gratis	
Broschüre "L'économie d'électricité crée de nouveaux champs d'action"		724.301 f	gratis	
Broschüre "Nuove libertà d'azione con meno energia elettrica"		724.301 i	gratis	
Untersuchungsergebnisse: "47 heisse Spuren zu lohnenden Stromsparpotentialen"		724.301.3 d	gratis	
Untersuchungsprojekte		724.301.1 d	gratis	
Weiterbildung		724.301.2 d	gratis	
IMPULS - Zeitschrift für IP Bau, RAVEL und PACER			gratis	
Construction et Energie - Bulletin des 3 programmes d'impulsions			gratis	
IMPULSO - Bollettino per PI Edil, RAVEL e PACER			gratis	
RAVEL-Lehrmittel				
Strom rationell nutzen - RAVEL Handbuch		ISBN 3 7218 1830 3	76.-	Buchhandel
RAVEL-Tagung 1991: Start zu einer neuen fachlichen Kompetenz		724.300.1 d/f	25.-	
RAVEL-Tagung 1992: Mehr Büro mit weniger Strom		724.300.2 d/f	30.-	
RAVEL-Tagung 1993: Energie-Fitness in der Industrie		724.300.3 d/f	25.-	
RAVEL-Tagung 91-93: 3er Set		724.300.0 d/f	50.-	
RAVEL-Industrie-Handbuch	A. Huser	724.370 d	35.-	ab August
Erfassung des Energieverbrauchs (2 Bücher und Bon für Diskette)	A. Huser	724.371.0 d	27.-	
Erfassung des Energieverbrauchs (Diskette und Band 1: Leitfaden für Ind. + DL)	A. Huser	724.371.1 d	12.-	
Erfassung des Energieverbrauchs (Band 2: Anleitung für den Beauftragten)	A. Huser	724.371.2 d	15.-	
Energie - ihre Bedeutung für die Wirtschaft	D. Spreng	724.316 d	13.-	ab Oktober
Analyse des Energieverbrauchs	F. Wolfart	724.318 d	31.-	
Messen von Leistungen und Energien	Jaun	724.377 d	13.-	ab Oktober
Organisation und Energiemanagement	R. Hasenböhler	724.374 d	13.-	ab Oktober
Elektrische Antriebe: Auslegung und Betriebsoptimierung	K. Reichert	724.331 d	33.-	ab August
Umwälzpumpen: Auslegung und Betriebsoptimierung	E. Füglister	724.330 d	33.-	
Energie-effiziente lüftungstechnische Anlagen in der Haustechnik	U. Steinemann	724.307 d		ab August
Elektroantriebe	A. Neyer	724.332 d	9.-	
Geräte zur Wassererwärmung	H. Hediger	724.349 d	36.-	
Elektroheizungen - Sanierung und Ersatz in Wohnbauten	H.P. Meyer	724.346 d	28.-	
Elektrizität und Wärme (Grundlagen)	H.R. Gabathuler	724.357 d		ab Juli
Wärmepumpen	Th. Baumgartner	724.356 d		
Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung	R. Brunner	724.355 d	15.-	
Elektrizität im Wärmesektor (WKK, WP, WRG)	H.R. Gabathuler	724.354 d	8.-	
Electricité et chaleur	P. Renaud	724.354 f	8.-	
Gebäudeautomation - Inbetriebsetzung und Abhahme	J. Willers	724.363 d	24.-	

Bestellung von RAVEL-Dokumentationen:

Name, Vorname: .....

Firma: .....

Strasse: .....

PLZ, Ort: .....

Datum, Unterschrift: .....

Bundesamt für Konjunkturfragen
Impulsprogramm RAVEL
Belpstrasse 53
3003 Bern

FAX: 031/46 41 02

Titel	Autor	Bestellnummer	Preis	Bestellung
RAVEL-Materialien				
Renouvellement d'air: Extraction d'air des bains, WC, cuisines	G. Spoehrle	724.397.11.51 f	12.-	
Conditionnement des locaux: études de cas	C. Brunner	724.397.11.53 d/f	12.-	
Conditionnement des locaux: humidification, déshumidification	M. Borel	724.397.11.54 f	12.-	
Pompes de circulation - Diminuer la puissance installée et l'énergie cons.	L. Keller	724.397.11.55 f	12.-	
Fallstudie Betrieb und Unterhalt einer Lüftungsanlage	R. Naef	724.397.11.56 d	12.-	
Grundbegriffe der Energiewirtschaft (Glossar)	R. Leemann	724.397.12.51.1 d	12.-	
Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiesystemen	R. Leemann	724.397.12.51.2 d	12.-	
Kennwerte betrieblicher Prozessketten	F. Wolfart	724.397.12.54 d	12.-	
Valeurs caractéristiques de processus industriels	F. Wolfart	724.397.12.54 f	12.-	
Elektrische Produktionsverfahren	Hp. Meyer	724.397.12.55 d	12.-	
Energieverbrauch in gewerblichen Küchen	J. Tercier	724.397.13 d	12.-	
Fallstudie Testküche	L. Perincioli	724.397.13.52 d	12.-	
Zuverlässigkeit und Energieverbrauch von elektronischen Geräten	A. Birolini	724.397.13.56 d	12.-	
Elektritzitätsbedarf von Textildruckmaschinen	W. Hässig	724.397.21.51 d	12.-	
Kühlmöbel im Lebensmittelhandel	U. Kaufmann	724.397.21.52 d	12.-	
Wirkungsgradoptimierung der Drucklufterzeugung und Verteilung	F. Münst	724.397.21.54 d	12.-	
Analyse du rendement énergétique de processus industr. de prod.	M. Bongard	724.397.21.55 f	12.-	
Elektrizitätsbedarf der Zementindustrie	U. Fischli	724.397.21.61 d	12.-	
Elektrizitätsbedarf von Industrielüftungen	U. Fischli	724.397.21.62 d	12.-	
Lumière, Licht: Etudes de cas, Fallstudien	R. Miloni	724.397.22.51 d/f	12.-	ab August
Stromverbrauchserhebung in Haushalten	A. Huser	724.397.23.51 d	12.-	
Wäschetrocknen im Mehrfamilienhaus	J. Nipkow	724.397.23.52 d	12.-	
Kühlschränke für Hotelzimmer und Studios	M. Beer	724.397.23.53 d	12.-	
Energieverbrauch von elektronischen Bürogeräten	A. Huser	724.397.23.54 d	12.-	
Energierelevante Aspekte von elektronischen Bürogeräten	R. Strauss	724.397.23.55 d	12.-	
Energieverluste bei Büro- und Unterhaltungselektronikgeräten	U. Graune	724.397.23.56/57 d	12.-	
Warmwasserbedarfszahlen und Verbrauchscharakteristik	M. Blatter	724.397.23.58 d	12.-	ab August
Sanierung und Ersatz von Elektroheizungen: Zusatzheizungen	Hp. Meyer	724.397.23.59 d	12.-	ab August
WRG / AWN-Checkliste	R. Brunner	724.397.31.52 d	12.-	
Abgeschlossene und laufende Projekte in den Bereichen WKK und WP	Th. Baumgartner	724.397.31.55 d	12.-	
Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung	V. Kyburz	724.397.31.56 d	12.-	
Interne Wärmelasten von Betriebseinrichtungen	B. Nussbaumer	724.397.32.51 d	12.-	
Fallstudie Tunnellüftung	H. Hatz	724.397.41 d	12.-	
Kühltemperaturen im Lebensmittelhandel	A. Kümin	724.397.41.52 d	12.-	
RAVEL zahlt sich aus - Prakt. Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechn.	A. Müller	724.397.42.01 d	12.-	
RAVEL, une économie d'argent - Guide prat. pour les calculs de rentabilité	A. Müller	724.397.42.01 f	12.-	
Energiesparstrategie für Versorgungsunternehmen	F. Spring	724.397.42.51 d	12.-	
Benutzerverhalten im Bürobereich	E. Nussbaumer	724.397.42.55 d	12.-	
Rationelle Stromnutzung - Einfl. neuer Technolog. auf künft. Weiterbildung	W. Baumgartner	724.397.46.51 d	12.-	
Rationelle Stromnutzung - Einfluss neuer Technologien: Kurzfassung	W. Baumgartner	724.397.46.52 d	12.-	

Das RAVEL-Handbuch
Strom rationell nutzen

Umfassendes Grundlagenwissen und praktischer Leitfaden
zur rationellen Verwendung von Elektrizität

Umfang 312 Seiten, zahlreiche Tabellen und grafische Darstellungen, Format 16 x 24 cm, gebunden, Fr. 76.-

ISBN 3-7281.1880.3

DasRAVEL-Handbuchistdiezurzeit aktuellste und umfassenste Zusammenfassung des verfügbaren Wissens über den intelligenten Einsatz von Strom in praktisch allen Anwendungsbereichen. Über 40 Autoren zeigen in diesem Nachschlagewerk auf, wo und wie Strom intelligent genutzt werden kann. Die Erkenntnisse, Anregungen und Empfehlungen sind übersichtlich nach den einzelnen Anwendungsbereichen geordnet. Wer Strom rationell einsetzen will, findet klare Antworten auf Fragen wie: Was ist zu berücksichtigen bei der Planung oder Nutzung eines Gebäudes, einer Maschine, einer Installation usw.? Wo liegen die Stromsparpotentiale? Welche Lösungen gibt es bereits? Das RAVEL-Handbuch enthält eine Fülle von Checklisten, mit denen neue stromsparende Lösungen einfacher und sicherer geplant oder bestehende Lösungen auf ihre Stromverbrauchs-Intelligenz beurteilt werden können. Seine Vielseitigkeit erleichtert eine vernetzte Zusammenarbeit der einzelnen Berufsdisziplinen in den Bereichen Gestaltung, Planung, Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Nutzung, Investitionsbeurteilung und Energieberatung.

Im Buchhandel erhältlich

vdf, Verlag der Fachvereine, ETH,
8092 Zürich, Fax 01 252 34 03

Die drei Impulsprogramme des

Bundesamtes für Konjunkturfragen

1990 bis 1995

Impulsprogramme sind auf 6 Jahre befristete Massnahmen zur Vermittlung von neuem Wissen in die berufliche Praxis. Ansatzpunkte sind zielgruppengerechte Information, Aus- und Weiterbildung. Die Vorbereitung und Durchführung erfolgt in enger Kooperation von Wirtschaft, Bildungsinstitutionen und Bund.

IP BAU - Erhaltung und Erneuerung

Der volkswirtschaftliche Stellenwert der baulichen Emeuerung ist bedeutend; schon heute werden mehr als 50% der jährlichen Bauinvestitionen für die Bauerneuerung inkl. Ersatzneubau aufgewendet. Nur mit vermehrter fachlicher Kompetenz und ganzheitlichem Denken kann verhindert werden, dass die Qualität unserer Bauten und Anlagen, aber auch die wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Werte unserer Quartiere, Siedlungen, Dorf- und Stadtteile verloren gehen. Das Impulsprogramm Bau erarbeitet Wissen aus den Bereichen Hochbau, Tiefbau und Umfeld - gesamtheitlich und umweltgerecht -, um die Qualität der Erneuerung und Erhaltung zu verbessern und mit guten Lösungen die bestehende Bausubstanz an die heutigen und zukünftigen Anforderungen von Funktion und Nutzung heranzuführen.

RAVEL - Rationelle Verwendung von Elektrizität

Forschungs- und Untersuchungsprojekte des Impulsprogrammes RAVEL über den Stromverbrauch in Industrie, Dienstleistung und Haushalt zeigen: Elektrische Energie wird heute oft nicht oder zu wenig intelligent genutzt. D. h. dieselbe Leistung könnte mit einem Bruchteil des bisherigen Stromverbrauches erzielt werden und das wirtschaftlich, ohne Komforteinbusse. Zudem werden mit Strom zum Teil Leistungen erzeugt, für die sich kein Bedürfnis nachweisen lässt. Wird der heute nicht intelligent genutzte Strom frei, erhält unsere Volkswirtschaft neue Spielräume. Damit diese Chance genutzt werden kann, müssen die RAVEL-Erkenntnisse in der Praxis wirksain werden. Dazu werden sie von Fachleuten in sofort anwendbares, praxisgerechtes Wissen aufgearbeitet und in Weiterbildungskursen, Informationsveranstaltungen und Publikationen an die Praxis vermittelt.

PACER - Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien können - so die Beurteilung von Experten einen nicht unwesentlichen Anteil an die Deckung des Energiebedarfs leisten. Sie zeichnen sich ausserdem durch ihre Umweltverträglichkeit aus. Trotzdem ist ihre Anwendung momentan noch gering.
Hier setzt PACER an. Das Impulsprogramm will Techniken im Bereich erneuerbarer Energien fördern, die ausgereift sind und sicli nalie aii der Grenze zur Wirtschaftlichkeit befinden: passive und aktive Sonnenenergienutzung für die Wärmeerzeugung, Energiegewinnung aus Biomasse und solare Stromproduktion. Zu diesem Zweck bereitet PACER bestehendes Wissen auf, erarbeitet und vermittelt unter anderem Planungshilfen für Architekten, Ingenieure und Installateure sowie Entscheidungsgrundlagen für Bauleute und Behörden.

RAVEL - MATERIALIEN ZU RAVEL