

Energie- und Ressourceneffizienz

in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik

AWT / VDMA - Seminar

13. - 14. Juni 2012

IWT-Bremen



AWT-VDMA Seminar „Energie- und Ressourceneffizienz“

Die effiziente Nutzung von Energie und Rohstoffen gewinnt in den allen Produktionsprozessen zunehmend an Bedeutung. Steigende Energiepreise und Umweltaforderungen sowie der zunehmende Kostendruck durch die Globalisierung zwingen auch klein- und mittelständische Unternehmen, sich mit dem Thema Energie- und Ressourceneffizienz verstärkt auseinanderzusetzen. Potentielle Effizienzsteigerungen in Prozessen und Anlagen gründen nach dem Stand der Technik auf innovativen Prozessen und Produkten und wesentlich aus der Optimierung ganzer Prozess- und Fertigungsketten, der effizienten Verknüpfung von Verfahrens- und Prozessschritten sowie einer ganzheitlichen Optimierung bereits etablierter Produktionsabläufe.

Um den Austausch von Know-how und Erfahrungen im Bereich energie- und ressourceneffizienter Fertigungs- und Prozessketten in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik voranzutreiben werden im Seminar u.a. folgenden Bereiche vorgestellt:

- Anlagen der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik
- Vernetzung von Stoff- und Energieflüssen
- Bilanzierung von Stoff- und Energieströmen
- Möglichkeiten der Stoff- und Energieeinsparung
- Analyse und Optimierung der Prozessführung
- Optimierung von Steuer- und Regelkreisen
- Bewertung von Maßnahmen bezgl. Einspar- und Verwertungspotential
- Strategien und Prozessführung für Kühl- und Heiz- / Erwärmprozesse von Bauteilen in Thermoprozessen.

Das Seminar richtet sich an Ingenieure und Techniker sowie Praktiker aus den Bereichen Entwicklung und Konstruktion und insbesondere die Betreiber von Thermoprozessanlagen in der Härtereitechnik und der Wärmebehandlung. Die Vortragenden sind Anwender und Entwickler/Anlagenbauer aus der Wärmebehandlung, der Werkstoff- und Thermoprozesstechnik.

Organisation:

Prof. Dr.-Ing. habil. Udo Fritsching, IWT-Bremen / AWT

Dr.-Ing. Franz Beneke, FOGI / VDMA, Frankfurt

Mi. 13. Juni 2012

13:00 Uhr Seminarbeginn

Seminar-Einführung „Energie- und Ressourceneffizienz“

Prof. Dr.-Ing. habil. U. Fritsching, IWT-Bremen

Ressourcen- und Energieeffizienz in der industriellen Produktion

Dr.-Ing. O. Irretier, IBW, Kleve

Energie- und Stoffflussmodellierung in Industriebetrieben (Methodik und Anwendung)

Dr. S. Gößling-Reisemann, Fg Technikgestaltung und Technologieentwicklung, Univ. Bremen

Energiemanagementsysteme und Energieeffizienz

M. Höing, W. Rittershausen, FRAKO - Anlagenbau, Teningen

14:20 - 14:40 Uhr Kaffeepause

Prozess und Anlagentechnik

Effizienzsteigerung durch Verbindung von Anlagentechnik und Prozessführung

Dipl.-Ing. M. Rink / Dipl.-Ing. D. Joritz, Ipsen International, Kleve

Energetische Optimierung von thermochemischen Vakuumprozessen und Anlagen

Dr.-Ing. K. Löser, ALD Vacuum Technologies, Hanau

Energieeffizienz in der induktiven Wärmebehandlung

Dr.-Ing. J. Stiele, EFD-Induction, Freiburg

A. Ulferts, Dipl.-Ing. F. Andrä, HWG-Inductoheat, Reichenbach

Effiziente Brennertechnik in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik

Dr.-Ing. J.G. Wüning / Dipl.-Ing. U. Bonnet, WS, Renningen

Energieeffizienz von kontinuierlichen Wärmebehandlungsanlagen – Aktueller Stand und Zukunftspotentiale

Dr.-Ing. H. Altena, Aichelin, Mödling

17:15 Uhr Endes des ersten Tages

19:00 Uhr Abendveranstaltung „Haus am Walde“

Do. 14. Juni 2012

8:45 Uhr Beginn des zweiten Tages

Regelungstechnik

Sensorik und Regelung in der Wärmebehandlung

Dr.-Ing. H. Klümper-Westkamp, IWT-Bremen

Wärmen und Kühlen

Energieeffizienz und Abschreckprozesse

Prof. Dr.-Ing. habil. F. Hoffmann, IWT-Bremen

Ressourceneinsparpotentiale und Prozessoptimierung für Thermoprozessanlagen

K.M. Winter, Process-Electronic, Heiningen

Effiziente Kühlwasserversorgung in der Wärmebehandlung

W. Exner, gwk-Vertriebs-Gesellschaft Wärme Kältetechnik, Kierspe

10:25 - 10:45 Uhr Kaffeepause

Hilfsmittel und Energie

Öle und Abschreckmedien

Th. Beitz, Petrofer Chemie H.R. Fischer, Hildesheim

Energieeffiziente Leichtbauchargiergestelle für die Wärmebehandlung

M. Barthelmie, GTD Graphit Technologie, Langgöns

Praxisbeispiele

Energiemanagementsysteme in der Wärmebehandlung

F. Elwart, Bodycote Wärmebehandlung, Hürth

Praxisnahe Empfehlungen zur Energieeffizienzsteigerung an Thermoprozessanlagen

Dipl.-Ing. P. Haase, IVA-Industrieöfen, Dortmund

Regelungen, Vorschriften und Gesetze

Stand und Entwicklungen der nationalen und europäischen Gesetzgebung

Dr.-Ing. F. Beneke, FOGI/VDMA, Frankfurt a.M.

13:00 Uhr Ende des Seminars, Gelegenheit zum Mittagessen

Energie- und Ressourceneffizienz

in der Wärmebehandlung und Thermoprosesstechnik

AWT / VDMA - Seminar

13. - 14. Juni 2012

IWT-Bremen



Energie- und Ressourceneffizienz in der Wärmebehandlung und Thermoprosesstechnik

Mi. 13. Juni 2012

13:00 Uhr	Seminarbeginn
14:20 - 14:40 Uhr	Kaffeepause
17:15 Uhr	Ende des ersten Tages
19:00 Uhr	Abendveranstaltung „Haus am Walde“

Do. 14. Juni 2012

8:45 Uhr	Beginn des zweiten Tages
10:25 - 10:45 Uhr	Kaffeepause
13:00 Uhr	Ende des Seminars, Gelegenheit zum Mittagessen
14:00 Uhr	IWT-Institutsführung / Sitzung FA16

Seminarprogramm



Die 20-20-20-Ziele

Im Dezember 2008 hat sich die Europäische Union auf ein *Richtlinien- und Zielpaket für Klimaschutz und Energie* geeinigt, welches ambitionierte Zielvorgaben bis 2020 enthält (häufig als "20-20-20-Ziele" bezeichnet).

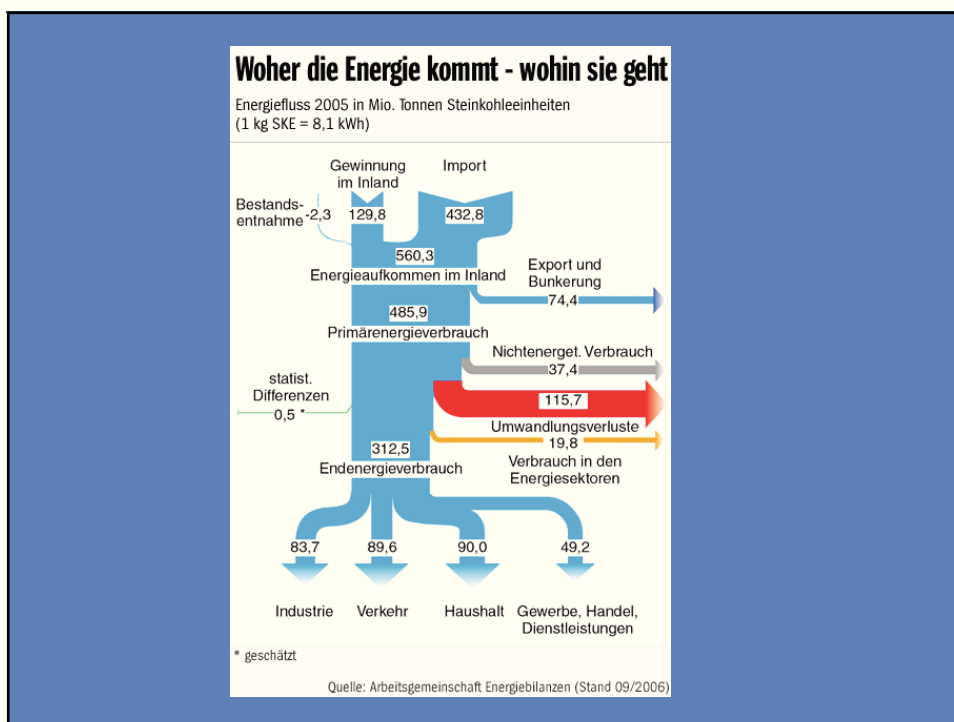
Demnach gelten bis zum Jahr 2020 die folgenden europaweiten Vorgaben:

- 20 % weniger Treibhausgasemissionen als 2005
- 20 % Anteil an erneuerbaren Energien
- 20 % mehr Energieeffizienz



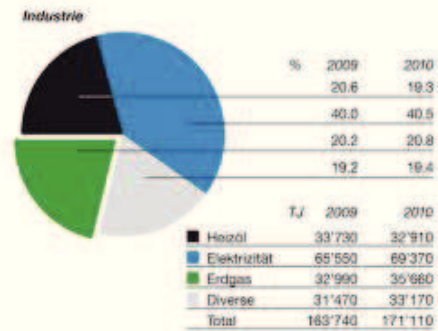
Energieeffizienz: Maß für den Energieaufwand zur Erreichung eines festgelegten Nutzens

Steigerung der Energieeffizienz durch Verbesserung des Wirkungsgrads von Endgeräten wie auch des gesamten Energieversorgungssystems



Thermoprozesstechnik =

- 40% des industriellen Energieverbrauchs
- Kosten: 30 Mrd. €
 - 10% Strom
 - 90% Gas



Schmiedetechnik Vorländer



Energie- und Ressourceneffizienz in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik:

Wie geht das?

Quantifizierung des status quo: Stoff- und Energieströme, Energieflussmodellierung

Prozessintensivierung:

- Prozess- und Anlagentechnik
- Mess- und Regelungstechnik
- Erwärm- und Kühlprozesse
- Sekundärprozesse: Hilfsmittel und Energieversorgung
- Energiemanagementsysteme

Wohin geht der Weg: Regelungen, Vorschriften?

Mi. 13. Juni 2012**13:00 Uhr Seminarbeginn**

Seminar-Einführung „Energie- und Ressourceneffizienz“
Prof. Dr.-Ing. habil. U. Fritsching, IWT-Bremen

Ressourcen- und Energieeffizienz in der industriellen Produktion
Dr.-Ing. O. Irretier, IBW, Kleve

Energie- und Stoffflussmodellierung in Industriebetrieben (Methodik und Anwendung)
Dr. S. Gößling-Reisemann, Fg Technikgestaltung und Technologieentwicklung, Univ. Bremen

Energiemanagementsysteme und Energieeffizienz
M. Höing, W. Rittershausen, FRAKO - Anlagenbau, Teningen

14:20 - 14:40 Uhr Kaffeepause**Prozess und Anlagentechnik**

Effizienzsteigerung durch Verbindung von Anlagentechnik und Prozessführung
Dipl.-Ing. M. Rink / Dipl.-Ing. D. Joritz, Ipsen International, Kleve

Energetische Optimierung von thermochemischen Vakuumprozessen und Anlagen
Dr.-Ing. K. Löser, ALD Vacuum Technologies, Hanau

Energieeffizienz in der induktiven Wärmebehandlung
Dr.-Ing. J. Stiele, EFD-Induction, Freiburg
A. Ulferts, Dipl.-Ing. F. Andrá, HWG-Inductoheat, Reichenbach

Effiziente Brennertechnik in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik
Dr.-Ing. J.G. Wünnig / Dipl.-Ing. U. Bonnet, WS, Renningen

Energieeffizienz von kontinuierlichen Wärmebehandlungsanlagen – Aktueller Stand und Zukunftspotentiale
Dr.-Ing. H. Altena, Aichelin, Mödling

17:15 Uhr Ende des ersten Tages**19:00 Uhr Abendveranstaltung „Haus am Walde“****Do. 14. Juni 2012****8:45 Uhr Beginn des zweiten Tages****Regelungstechnik**

Sensorik und Regelung in der Wärmebehandlung
Dr.-Ing. H. Klümper-Westkamp, IWT-Bremen

Wärmen und Kühlen

Energieeffizienz und Abschreckprozesse
Prof. Dr.-Ing. habil. F. Hoffmann, IWT-Bremen

Ressourceneinsparpotentiale und Prozessoptimierung für Thermoprozessanlagen
K.M. Winter, Process-Electronic, Heiningen

Effiziente Kühlwasserversorgung in der Wärmebehandlung
W. Exner, gwK-Vertriebs-Gesellschaft Wärme Kältetechnik, Kierspe

10:25 - 10:45 Uhr Kaffeepause**Hilfsmittel und Energie**

Öle und Abschreckmedien
Th. Beitz, Petrofer Chemie H.R. Fischer, Hildesheim

Energieeffiziente Leichtbauchargiergestelle für die Wärmebehandlung
M. Barthelmie, GTD Graphit Technologie, Langgöns

Praxisbeispiele

Energiemanagementsysteme in der Wärmebehandlung
F. Elwart, Bodycote Wärmebehandlung, Hürth

Praxisnahe Empfehlungen zur Energieeffizienzsteigerung an Thermoprozessanlagen
Dipl.-Ing. P. Haase, IVA-Industrieöfen, Dortmund

Regelungen, Vorschriften und Gesetze

Stand und Entwicklungen der nationalen und europäischen Gesetzgebung
Dr.-Ing. F. Beneke, FOGI/VDMA, Frankfurt a.M.

13:00 Uhr Ende des Seminars, Gelegenheit zum Mittagessen**14:00 Uhr IWT-Institutsführung**

Ressourcen- und Energieeffizienz in der industriellen Produktion (in Härtereibetrieben)

AWT-VDMA-Seminar am 13. und 14.06.2012 in Bremen
Energie- und Ressourceneffizienz
in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik

IBW Dr. Irretier
Mühsol 44
D-47533 Kleve

Tel. 02821-7153948
Fax. 02821-7151866
Mobil: 0162-5297997
olaf.irretier@t-online.de

www.ibw-irretier.de



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



IBW Dr. Irretier

Beratung in Wärmebehandlung und Werkstofftechnik:

- ⇒ Verfahrens- und Anwendungstechnik
- ⇒ Prozessoptimierung, Energieeffizienz
- ⇒ Innovationsmanagement und Patentwesen
- ⇒ Inhouse - Schulungen

**Kompetenz in Beratung
und Produkt !**



Partner und Vertretung:

- ⇒ für eine Reihe der leistungsstärksten Unternehmen
in **Ofenbau, Härtetechnik** und **Kühlwassersysteme**



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier





Umluft-, Schachtöfen, kontinuierliche Ofenanlagen

Umluft-, Vakuum-, Vakuum- und Vakuumanlassöfen, Mehrkammeranlagen

Plasmanitrieröfen, PACVD-Hartstoffbeschichtung

Umluft-, Kammer-, Herdwagen-, Hauben- und Schachtöfen bis 1800° C

Glüh-, Schmiede- und Vorwärmöfen, Aluminiumwärmebehandlung

Drahtgewebe, Körbe und Schweißgestelle

Edelstahlformguss (Strahlrohre, Gestelle, Roste, Körbe, Bänder)

Kühlwassersysteme (Kühltürme, Kältemaschinen, Wassertechnik)



„Energieeffizienz“ in der Härterei

1. Bestandsaufnahme Härterei - Anlagen- und Verfahrenstechnik
2. Erfassung und Bilanzierung der energetischen Betriebsdaten und -verbräuche in der Härterei
3. Ermittlung von Schwachpunkten und Potentialen
4. Analyse Energieeinsparmaßnahmen - und Konzepte

Vortragsinhalt



„Triebkraft Energieeffizienz“

- Kosten- und Qualitätsoptimierung
- Umweltrelevanz
- Kapazitäts- und Prozeßoptimierung



„Energieeffizienz“ in der Härterei

- 1. Bestandsaufnahme Härterei - Anlagen- und Verfahrenstechnik**
- 2. Erfassung und Bilanzierung der energetischen Betriebsdaten und -verbräuche in der Härterei**
- 3. Ermittlung von Schwachpunkten und Potentialen**
- 4. Energieeinsparmaßnahmen - und Konzepte**



Leistungs-ID	Typ	Verdichte	Leistung	Strom (A)	Verbrauch (kg)	Luftverbrauch	Temperatur-Position (in °C)
0900	Aufschaltung	VA	3000		164	100%	0
0901	Aufschaltung	0000			164	100%	0
0902	Aufschaltung	0000			164	100%	0
0903	Aufschaltung				164	100%	0
0904	Aufschaltung						
0905	Aufschaltung						
0906	Aufschaltung						
0907	Aufschaltung						
0908	Aufschaltung						
0909	Aufschaltung						
0910	Aufschaltung						
0911	Aufschaltung						
0912	Aufschaltung						
0913	Aufschaltung						
0914	Aufschaltung						
0915	Aufschaltung						
0916	Aufschaltung						
0917	Aufschaltung						
0918	Aufschaltung						
0919	Aufschaltung						
0920	Aufschaltung						
0921	Aufschaltung						
0922	Aufschaltung						
0923	Aufschaltung						
0924	Aufschaltung						
0925	Aufschaltung						
0926	Aufschaltung						
0927	Aufschaltung						
0928	Aufschaltung						
0929	Aufschaltung						
0930	Aufschaltung						
0931	Aufschaltung						
0932	Aufschaltung						
0933	Aufschaltung						
0934	Aufschaltung						
0935	Aufschaltung						
0936	Aufschaltung						
0937	Aufschaltung						
0938	Aufschaltung						
0939	Aufschaltung						
0940	Aufschaltung						
0941	Aufschaltung						
0942	Aufschaltung						
0943	Aufschaltung						
0944	Aufschaltung						
0945	Aufschaltung						
0946	Aufschaltung						
0947	Aufschaltung						
0948	Aufschaltung						
0949	Aufschaltung						
0950	Aufschaltung						
0951	Aufschaltung						
0952	Aufschaltung						
0953	Aufschaltung						
0954	Aufschaltung						
0955	Aufschaltung						
0956	Aufschaltung						
0957	Aufschaltung						
0958	Aufschaltung						
0959	Aufschaltung						
0960	Aufschaltung						
0961	Aufschaltung						
0962	Aufschaltung						
0963	Aufschaltung						
0964	Aufschaltung						
0965	Aufschaltung						
0966	Aufschaltung						
0967	Aufschaltung						
0968	Aufschaltung						
0969	Aufschaltung						
0970	Aufschaltung						
0971	Aufschaltung						
0972	Aufschaltung						
0973	Aufschaltung						
0974	Aufschaltung						
0975	Aufschaltung						
0976	Aufschaltung						
0977	Aufschaltung						
0978	Aufschaltung						
0979	Aufschaltung						
0980	Aufschaltung						
0981	Aufschaltung						
0982	Aufschaltung						
0983	Aufschaltung						
0984	Aufschaltung						
0985	Aufschaltung						
0986	Aufschaltung						
0987	Aufschaltung						
0988	Aufschaltung						
0989	Aufschaltung						
0990	Aufschaltung						
0991	Aufschaltung						
0992	Aufschaltung						
0993	Aufschaltung						
0994	Aufschaltung						
0995	Aufschaltung						
0996	Aufschaltung						
0997	Aufschaltung						
0998	Aufschaltung						
0999	Aufschaltung						

**Welche Ofenanlagen sind im Einsatz ?
Welche Prozesse liegen vor ?
d.h. Erfassung der Ofenanlagen,
Kapazitäts- und Leistungsdaten
Energiemanagement**

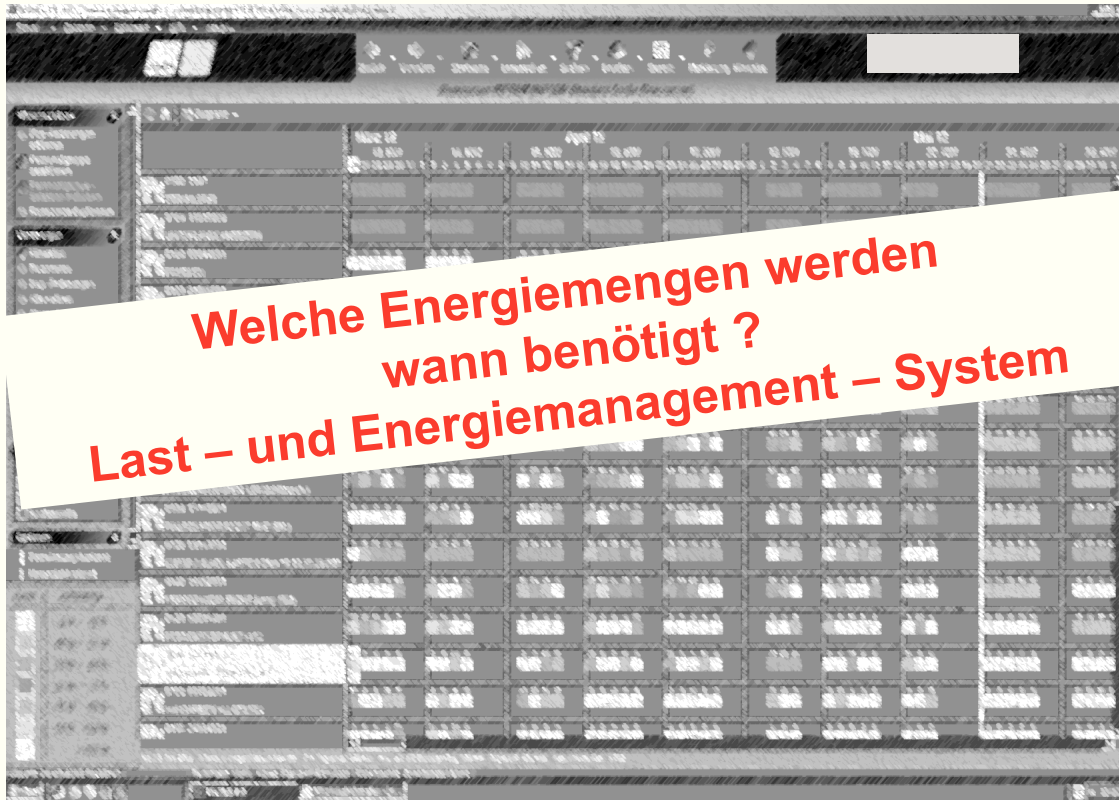


Leistungs-ID	Typ	Verdichte	Leistung	Strom (A)	Verbrauch (kg)	Luftverbrauch	Temperatur-Position (in °C)
0900	Aufschaltung	VA	3000		164	100%	0
0901	Aufschaltung	0000			164	100%	0
0902	Aufschaltung	0000			164	100%	0
0903	Aufschaltung				164	100%	0
0904	Aufschaltung						
0905	Aufschaltung						
0906	Aufschaltung						
0907	Aufschaltung						
0908	Aufschaltung						
0909	Aufschaltung						
0910	Aufschaltung						
0911	Aufschaltung						
0912	Aufschaltung						
0913	Aufschaltung						
0914	Aufschaltung						
0915	Aufschaltung						
0916	Aufschaltung						
0917	Aufschaltung						
0918	Aufschaltung						
0919	Aufschaltung						
0920	Aufschaltung						
0921	Aufschaltung						
0922	Aufschaltung						
0923	Aufschaltung						
0924	Aufschaltung						
0925	Aufschaltung						
0926	Aufschaltung						
0927	Aufschaltung						
0928	Aufschaltung						
0929	Aufschaltung						
0930	Aufschaltung						
0931	Aufschaltung						
0932	Aufschaltung						
0933	Aufschaltung						
0934	Aufschaltung						
0935	Aufschaltung						
0936	Aufschaltung						
0937	Aufschaltung						
0938	Aufschaltung						
0939	Aufschaltung						
0940	Aufschaltung						
0941	Aufschaltung						
0942	Aufschaltung						
0943	Aufschaltung						
0944	Aufschaltung						
0945	Aufschaltung						
0946	Aufschaltung						
0947	Aufschaltung						
0948	Aufschaltung						
0949	Aufschaltung						
0950	Aufschaltung						
0951	Aufschaltung						
0952	Aufschaltung						
0953	Aufschaltung						
0954	Aufschaltung						
0955	Aufschaltung						
0956	Aufschaltung						
0957	Aufschaltung						
0958	Aufschaltung						
0959	Aufschaltung						
0960	Aufschaltung						
0961	Aufschaltung						
0962	Aufschaltung						
0963	Aufschaltung						
0964	Aufschaltung						
0965	Aufschaltung						
0966	Aufschaltung						
0967	Aufschaltung						
0968	Aufschaltung						
0969	Aufschaltung						
0970	Aufschaltung						
0971	Aufschaltung						
0972	Aufschaltung						
0973	Aufschaltung						
0974	Aufschaltung						
0975	Aufschaltung						
0976	Aufschaltung						
0977	Aufschaltung						
0978	Aufschaltung						
0979	Aufschaltung						
0980	Aufschaltung						
0981	Aufschaltung						
0982	Aufschaltung						
0983	Aufschaltung						
0984	Aufschaltung						
0985	Aufschaltung						
0986	Aufschaltung						
0987	Aufschaltung						
0988	Aufschaltung						
0989	Aufschaltung						
0990	Aufschaltung						
0991	Aufschaltung						
0992	Aufschaltung						
0993	Aufschaltung						
0994	Aufschaltung						
0995	Aufschaltung						
0996	Aufschaltung						
0997	Aufschaltung						
0998	Aufschaltung						
0999	Aufschaltung						

**Kapazitätsauslastung liefert theoretische Energiemenge
Welche Energiemengen werden p.a. benötigt ?**

Annahme (5 Tage/Woche, 3 Schichten):
Ofenanlage 1: 95 % (d.h. 3000 kg/d)
Ofenanlage 2: 90 % (d.h. 9500 kg/d)
Ofenanlage 3: 60 % (d.h. 2000 kg/d)
Ofenanlage 4: 70 % (d.h. 2500 kg/d)
Ofenanlage 5: 80 % (d.h. 1500 kg/d)





Welche Energiemengen werden wann benötigt ?
Last – und Energiemanagement – System



Foto: Aichelin

Interessant mit wichtigen Hinweisen zum Anlagen- und Wartungszustand von Ofenanlagen !!



Ein Blick in die Wartungsprotokolle !



Kapazitäts-, Qualitäts- und (vor allem) Kostenerfassung

Verfahren				
	Einsatzhärten/Vergüten	Nitrieren/Nitrocarburieren	Vakuum	Induktionshärten
Kapazität [to p.a.]				
Kapazitätsauslastung [% p.a.]				
Umsatz [€ p.a.]				
Potentiale/Strategie				
Produktqualität P				
Kosteneffizienz K				
Energieeffizienz E				
Umsatzentwicklung [+ % p.a.]				



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



„Energieeffizienz“ in der Härterei

1. Bestandsaufnahme Härterei - Anlagen- und Verfahrenstechnik
2. Erfassung und Bilanzierung der energetischen Betriebsdaten und -verbräuche in der Härterei
3. Ermittlung von Schwachpunkten und Potentialen
4. Energieeinsparmaßnahmen - und Konzepte



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Anlagenenergiemanagement

Ermittlung Medienverbräuche:

- Summenzähler für Strom und Gas
- Einschalthäufigkeit Heizung und Medienverbräuche
- Mittelwert der Zeitintervall



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



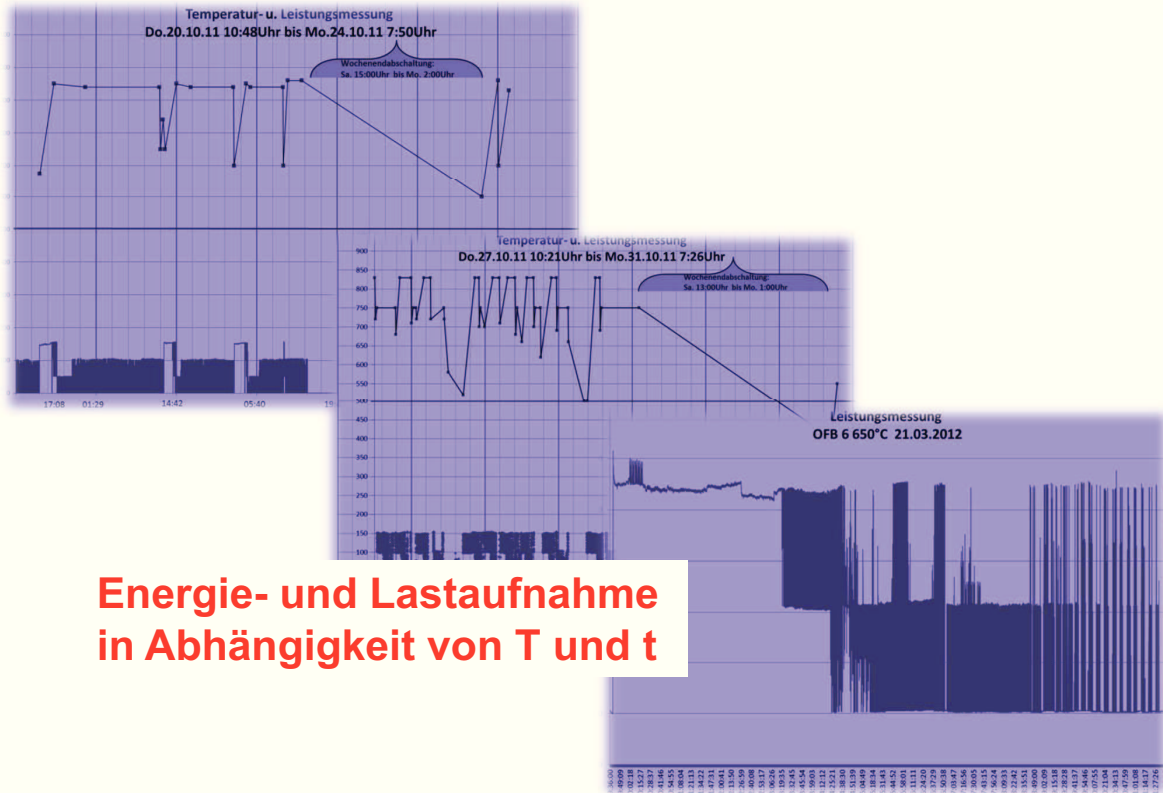
Medienverbräuche

Medium	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Erdgas in m3	238774	216588	260452	239943	233686	233508
Stickstoff in m3	5085	4018	6948	5819	7830	6673
Stadtwasser in m3	368	276	387	352	309	306
Strom in kWh	23630	11810	Zähler defekt	393730	408630	413080
Druckluft in m3	6112	7707	9043	9725	8228	7724
Co2 in m3	10	8,56	4,4	5,2	6,2	2,4
NH3 in m3	3825	6177	3546	3467	3089	2822
Proban in m3	43	102	88	87	84	29
Erdgas Wama in m3					1121	868



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier

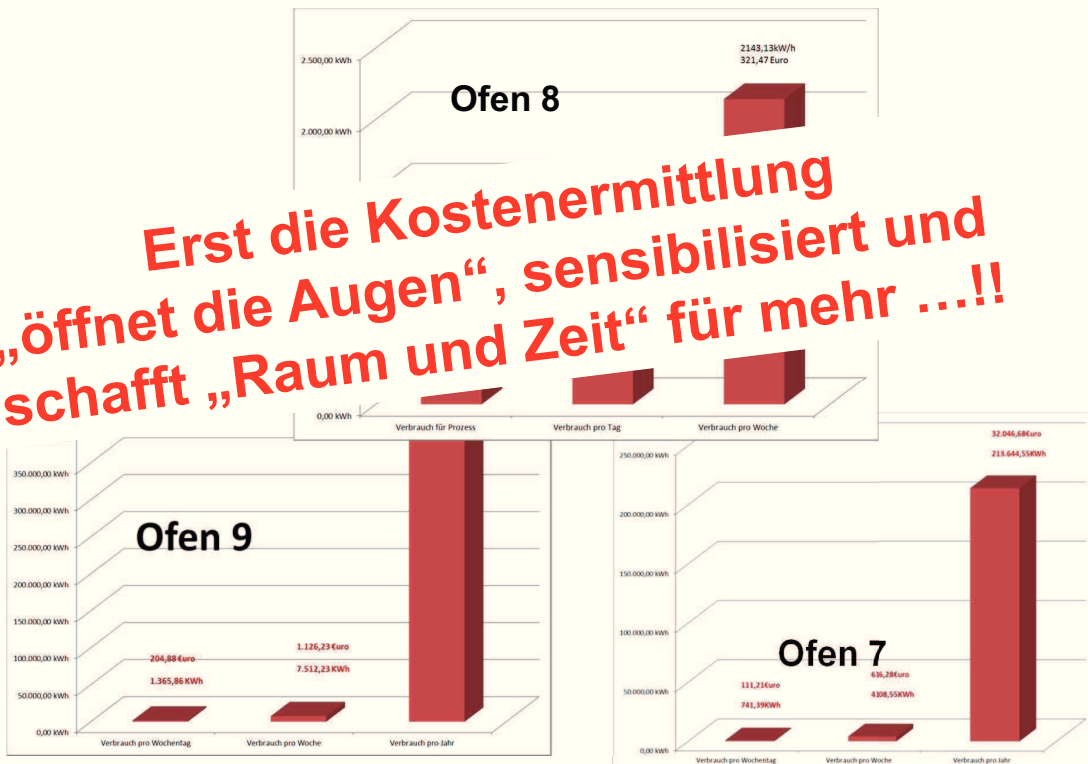




**Energie- und Lastaufnahme
in Abhängigkeit von T und t**

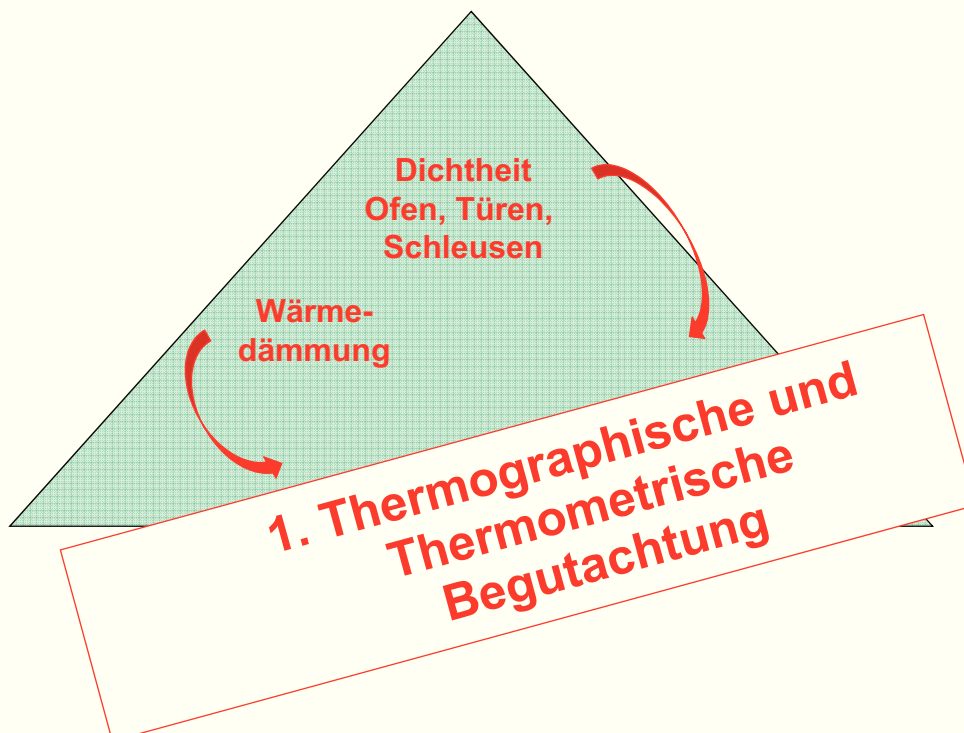


**Erst die Kostenermittlung
„öffnet die Augen“, sensibilisiert und
schafft „Raum und Zeit“ für mehr ...!!**

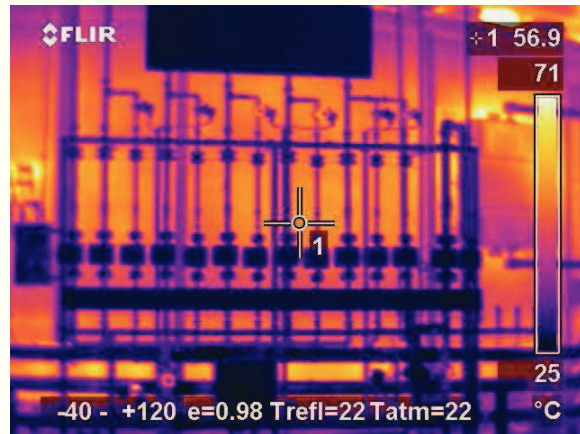


„Energieeffizienz“ in der Härterei

1. Bestandsaufnahme Härterei - Anlagen- und Verfahrenstechnik
2. Erfassung und Bilanzierung der energetischen Betriebsdaten und -verbräuche in der Härterei
3. **Ermittlung von Schwachpunkten und Potentialen**
4. Energieeinsparmaßnahmen - und Konzepte



Thermographische Begutachtung



Bestimmung der Wärmedämmwirkung
Ermittlung Isolationsschäden
Lokalisieren von Hot Spots

Fotos: Aichelin



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



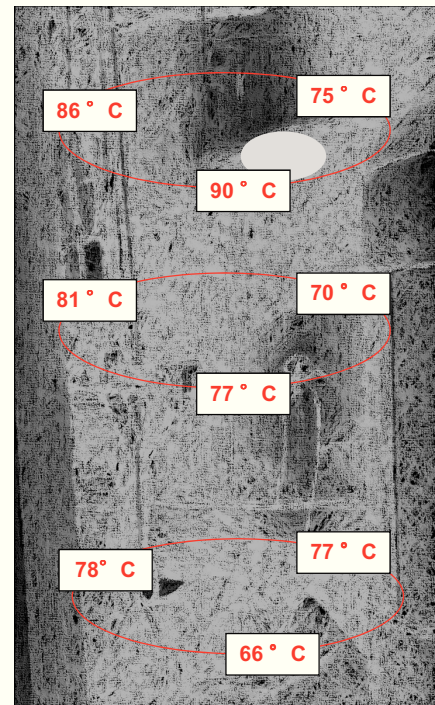
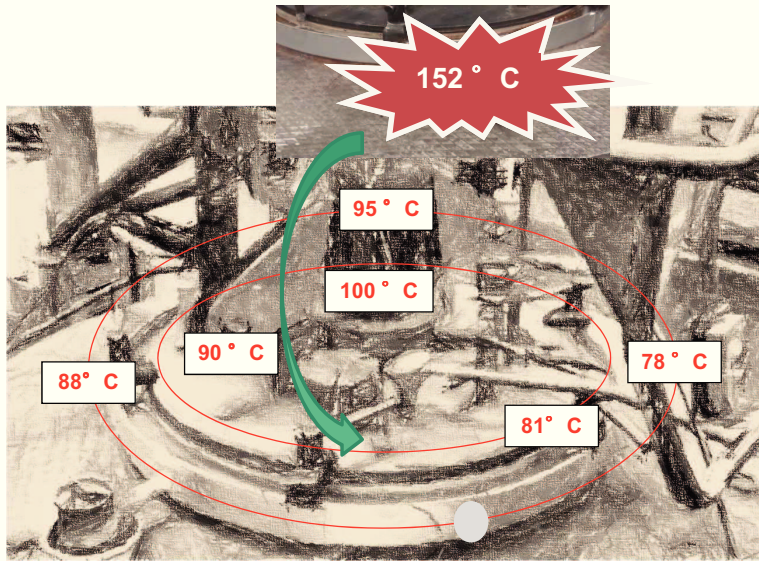
Thermographische und Thermometrische Begutachtung in der Härterei



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



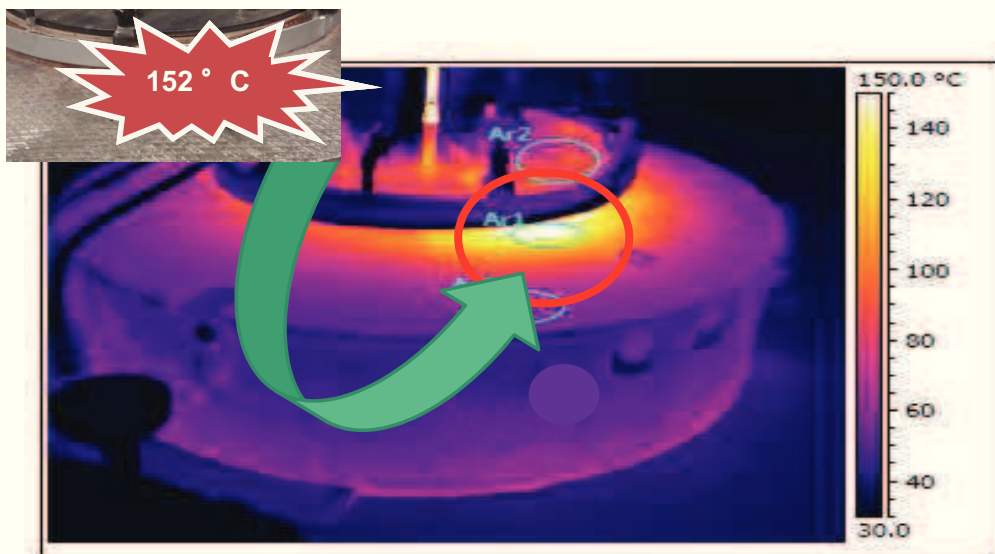
Thermometrische Untersuchungen Schachtofen



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irrer



Thermografische Untersuchungen Schachtofen



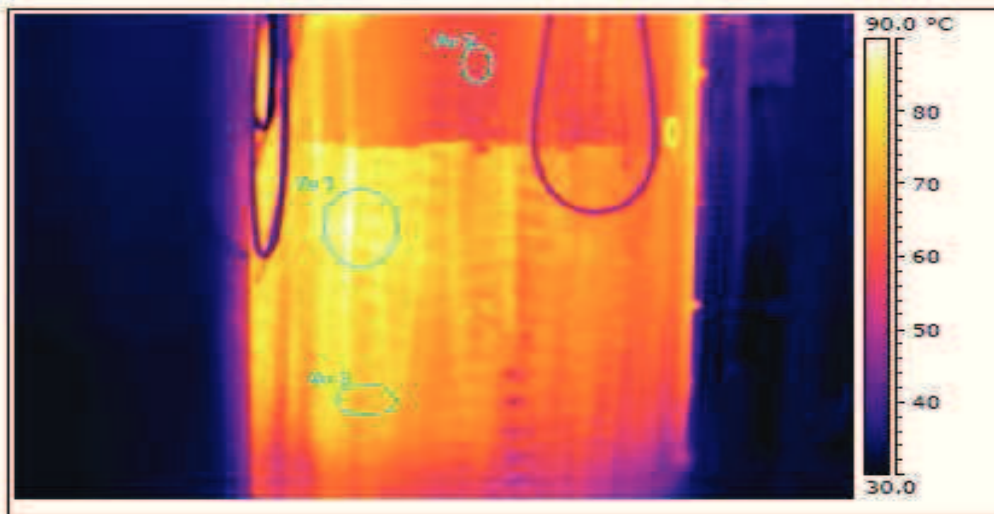
Ar1 Max. Temperatur	150.2 °C
Ar2 Max. Temperatur	96.5 °C
Ar3 Max. Temperatur	68.2 °C



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irrer



Thermografische Untersuchungen Schachtofen



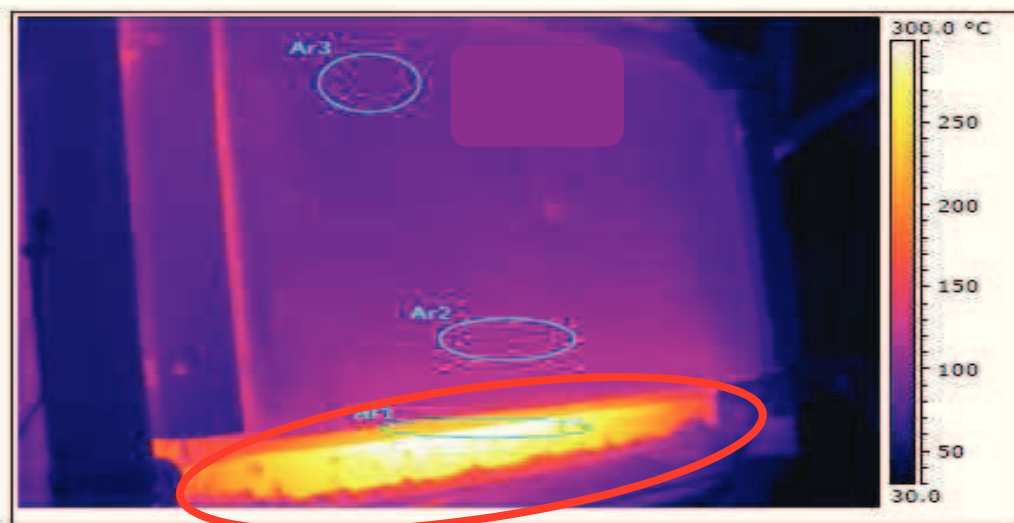
Ar1 Max. Temperatur	94.9 °C
Ar2 Max. Temperatur	61.4 °C
Ar3 Max. Temperatur	78.0 °C



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Thermografische Untersuchungen – Kammerofen



Ar1 Max. Temperatur	316.8 °C
Ar2 Max. Temperatur	119.6 °C
Ar3 Max. Temperatur	108.0 °C



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



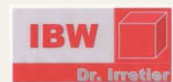
Thermografische Untersuchungen Kammerofen



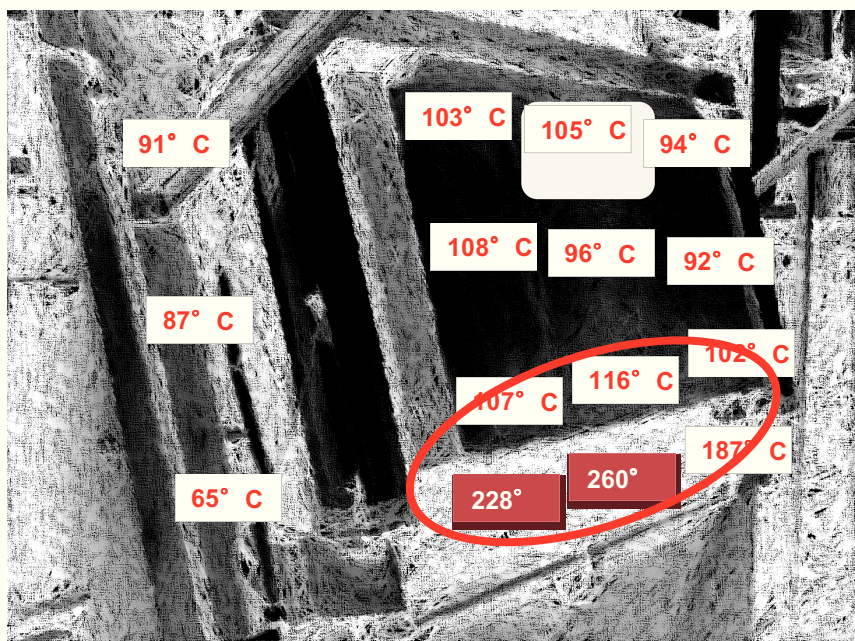
Ar1 Max. Temperatur	250.6 °C
Ar2 Max. Temperatur	262.5 °C
Ar3 Max. Temperatur	111.3 °C



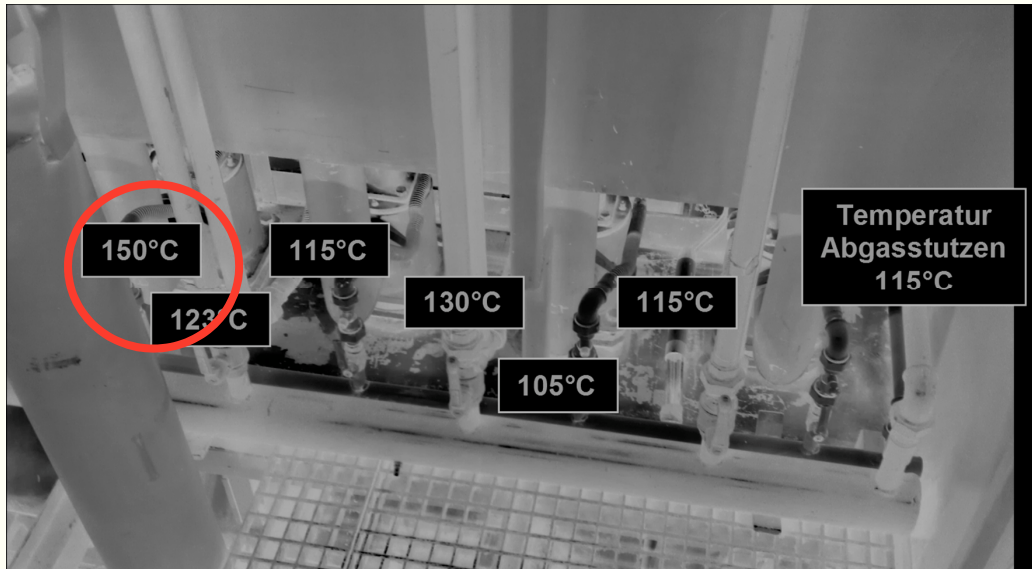
Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Thermometrische Untersuchungen – MZK



Thermometrische Untersuchungen Kammerofen



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



„Energieeffizienz“ in der Härterei

1. Bestandsaufnahme Härterei - Anlagen- und Verfahrenstechnik
2. Erfassung und Bilanzierung der energetischen Betriebsdaten und -verbräuche in der Härterei
3. Ermittlung von Schwachpunkten und Potentialen
4. **Energieeinsparmaßnahmen - und Konzepte**



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Maßnahmen zur Energieeffizienz

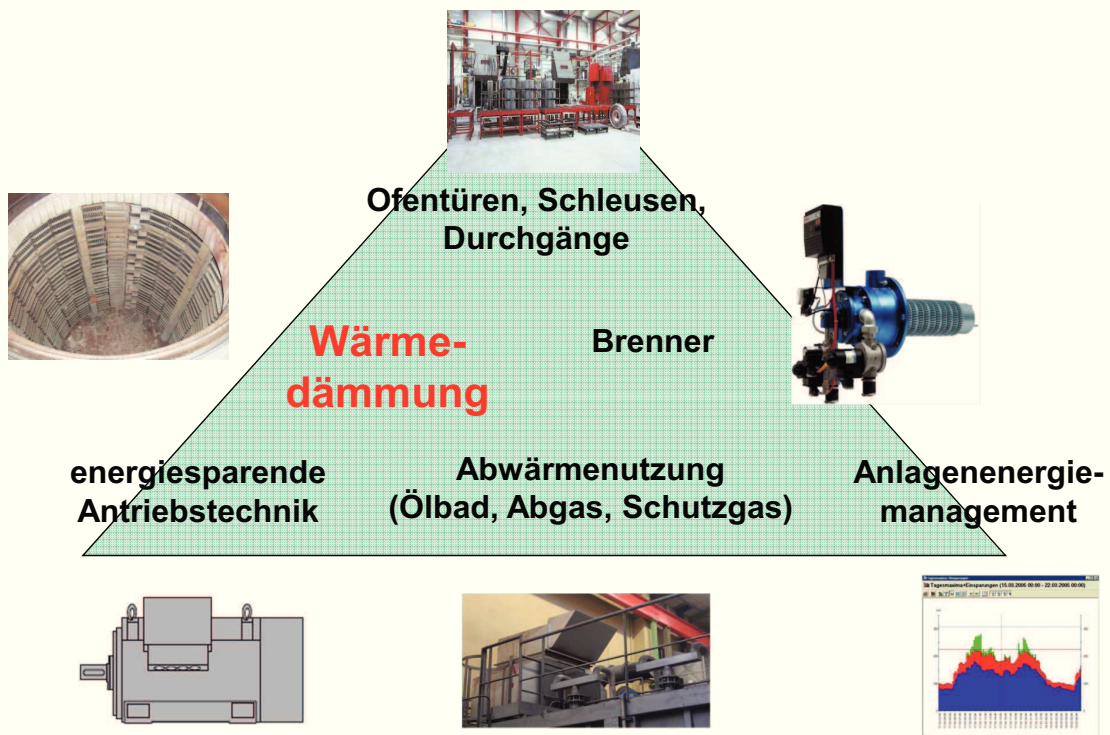
Gas	Nutzung der Brennerabgase	Bauteilvorwärmung
		Abbrennen von Verunreinigungen
		Waschmaschinenbeheizung
	Brennerluft Vorheizung - Rekuperation	Wirkungsgradverbesserung
Strom	Effektivität von Ventilatoren und Umwälzern	Wirkungsgradverbesserung
	Effektivität von Pumpen	Wirkungsgradverbesserung
	Effizienzklasse von Motoren	Wirkungsgradverbesserung
Strom oder/und Gas	Wochenendbetrieb	Minimieren Energieeinsatz
	Prozessoptimierung	Minimieren Energieeinsatz
	Nutzung der Wärme von Bädern und Brennern (Wärmetauscher)	Hallen- und Bürobeheizung, Warmwasser
	Verbesserung der Ofenisolierung	Minimieren Energieeinsatz



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



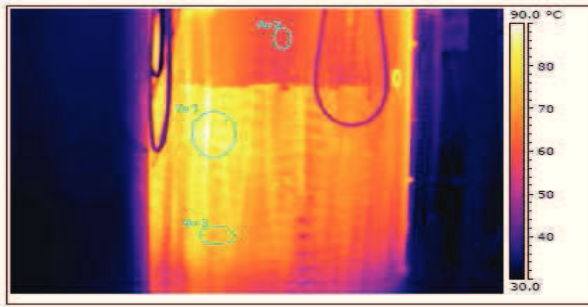
Maßnahmen



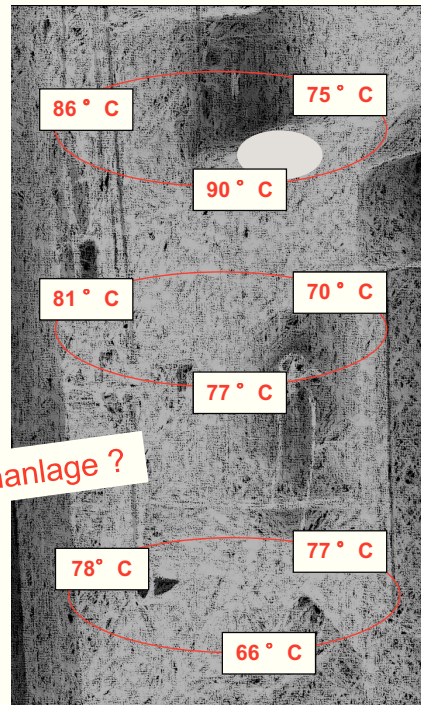
Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Bestimmung von Wärmeübergang und Isolierwirkung



Ar1 Max. Temperatur	94.9 °C
Ar2 Max. Temperatur	61.4 °C
Ar3 Max. Temperatur	78.0 °C



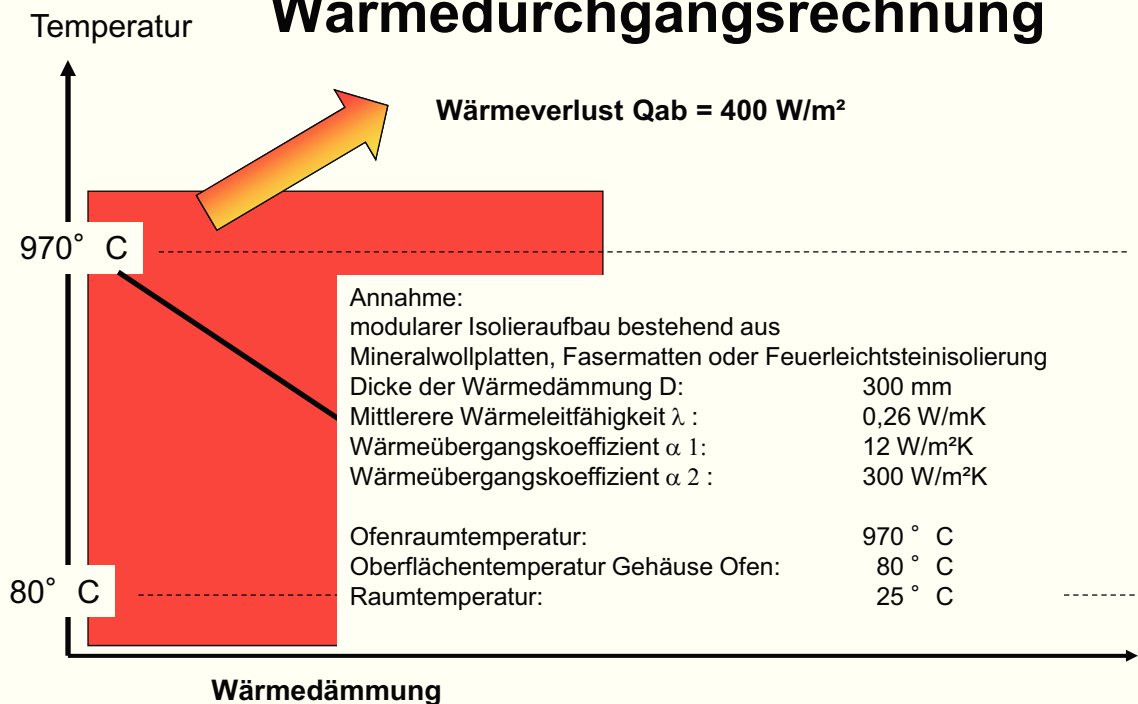
Alles i.O. mit der Wärmedämmung der Ofenanlage ?



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



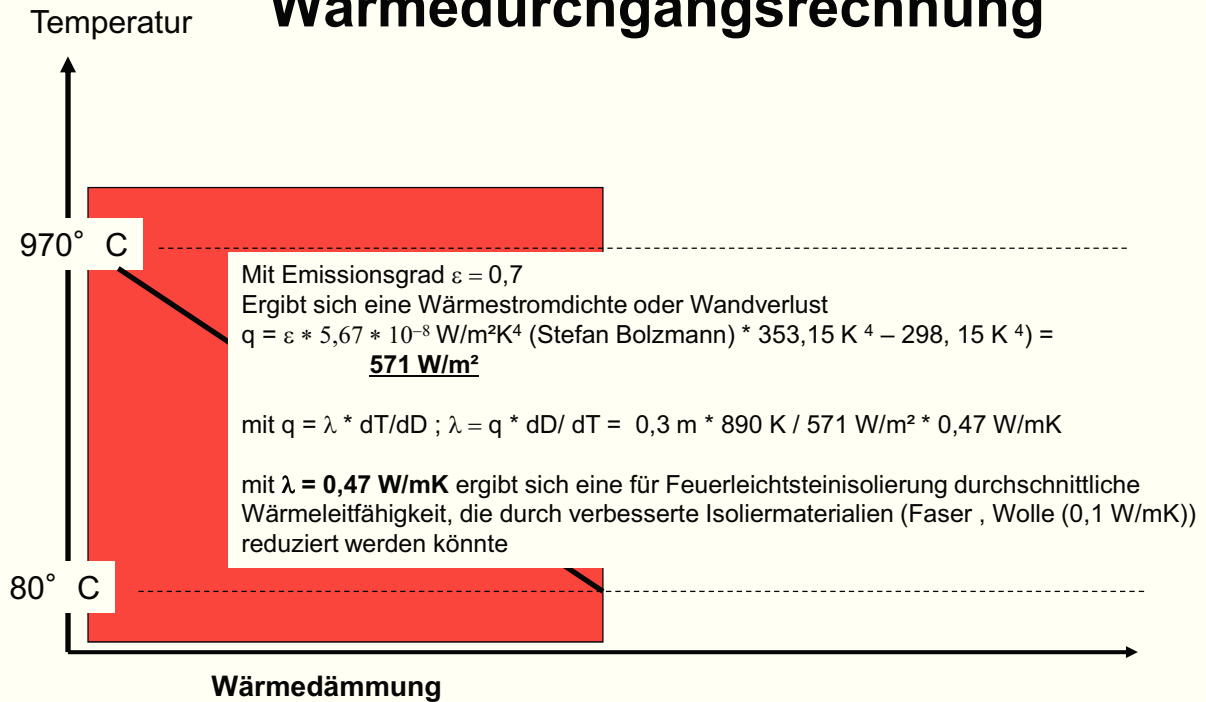
Ermittlung der Isolierwirkung - Wärmedurchgangsrechnung



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Ermittlung der Isolierwirkung - Wärmedurchgangsrechnung



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Wärmedämmung ... welche Merkmale sind besonders wichtig ?

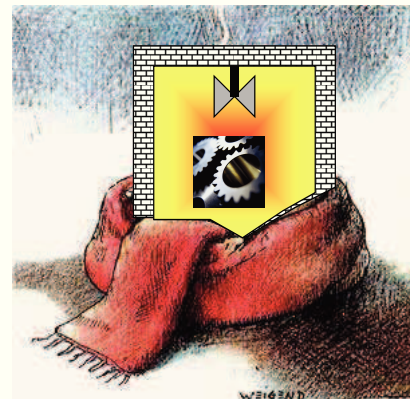
Gute Isolierwirkung/Reduzierung Wärmeverluste, aber auch

Hohe Temperaturwechselbeständigkeit

Schwindungsarmut und hohe Maßgenauigkeit

Geringe Wärmespeicherung

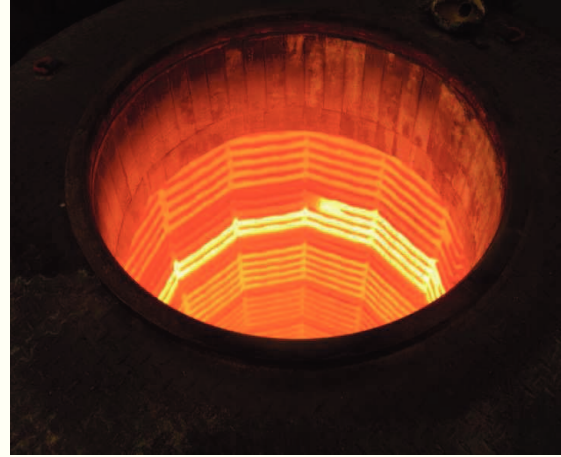
Reduzierung Reaktionen mit Ofenatmosphäre



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



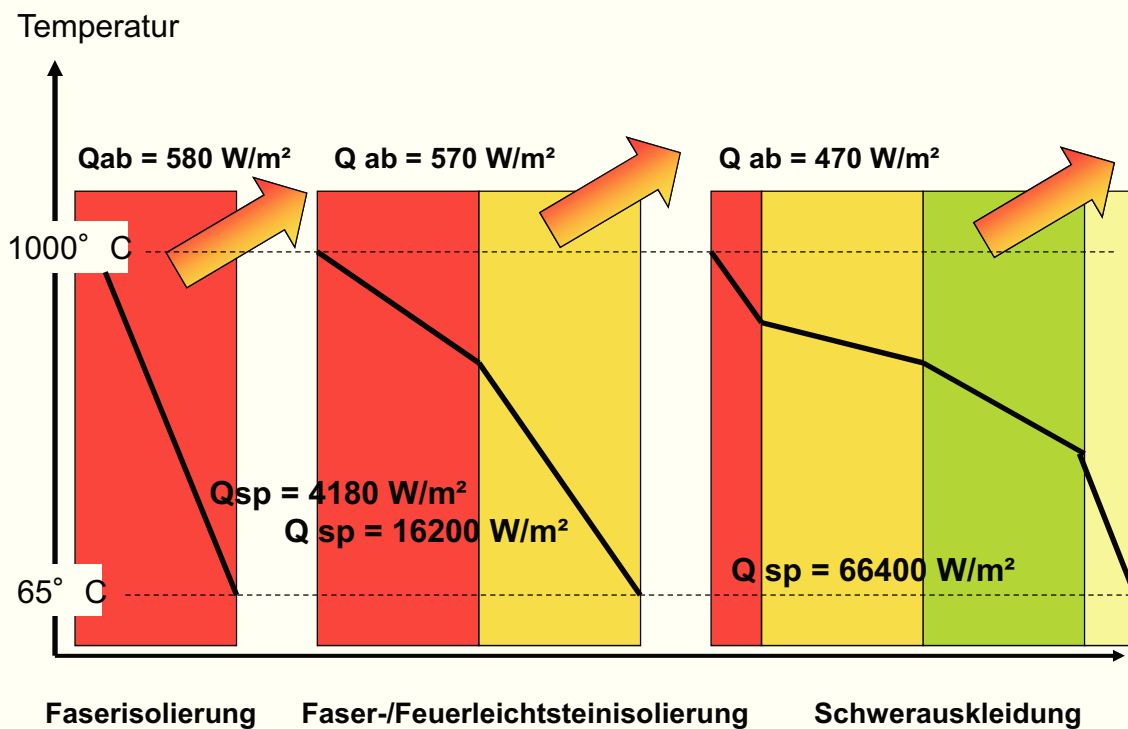
Überprüfung Isolieraufbau – Service Check - Thermische Brücken



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Optimierung Isolieraufbau



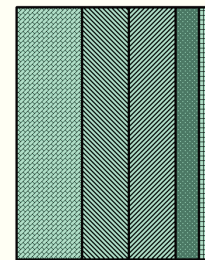
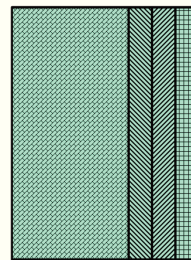
Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Maßnahmen zur Verbesserung der Isolierwirkung

z.B. Verbesserter Wandaufbau durch mikroporöse Dämmplatten (0,025 W/mK)

Aufkohlungstemperatur	930 ° C
ΔT Ofenwand	- 7 K
Energieeinsparung	20 %
Amortisationszeit	6 Jahre



Standard

mit mikroporöser Dämmplatte

Referenz: Gasaufkohlungsanlage Aichelin

Quelle: Aichelin

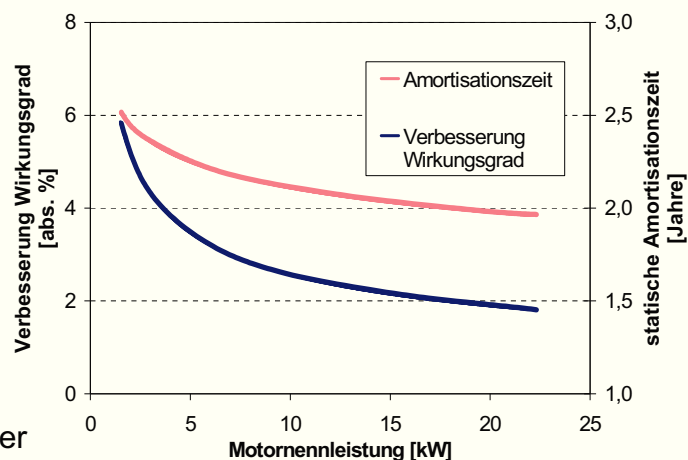
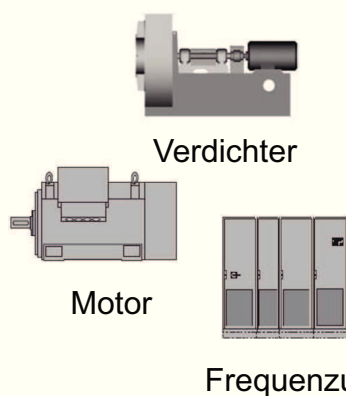


Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Maßnahme

EFF1 Effizienzverbesserung von Elektromotoren, Verdichter, Pumpen, Frequenzumrichter



Quelle: Aichelin



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Maßnahme: Effizienzsteigerung durch Wochenendabsenkung

Wochenendabsenkung (Chargen im Ofen):

Reduktion der Ofentemperatur (760° C statt 930° C)

Reduktion der Wandverluste um 26 % (begaster Ofen) bzw. 50 % (nicht begaster Ofen)

Verbleib der Chargen im Ofen erlaubt eine bessere Anlagenauslastung (kein Leerfahren erforderlich)



Maßnahme: Stickstoff-Methanol vers. Endobegasung - Schutzgaserzeuger

Energieeffizienz/Wirtschaftlichkeit - Endobegasung vers.
Stickstoff/Methanol

Verwendung **Rekuperatorbrenner**, d.h.
Verbesserung Brennerwirkungsgrad

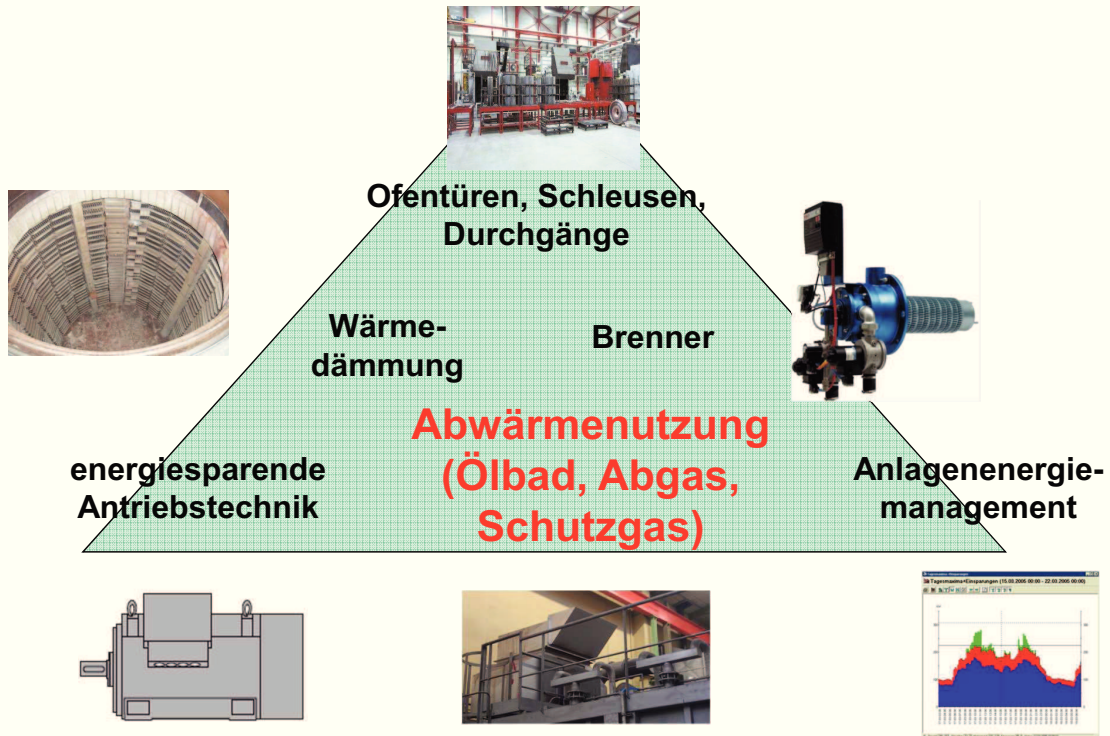
Reduktion des Erdgasverbrauchs zur Beheizung: -25 %
Amortisation Neuanlage: etwa 1-2 Jahre



Quelle: Aichelin



Maßnahmen



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Abwärmennutzung für ...

Chargenvorwärmung

Abbrennen und Trocknen von Ölrückständen auf
Chargiergestellen in einer Wärmekammer

Beheizung einer Reinigungsanlage

Bauteiltrocknung

latente Wärmespeicherung

Kraft-Wärme-Kopplung



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Abwärme im Jahr in einer „Musterhärterei“

Annahmen:

1. Schachtöfen: 2.000 to p.a. (Charge) + 3000 to p.a. (Retorte) mit $dT = 950^\circ \text{C}$
2. Kammeröfen: 1000 to p.a. mit $dT = 950^\circ \text{C}$
3. Herdwagenöfen: 200 to p.a. mit $dT = 600^\circ \text{C}$
4. Glühöfen: 1000 to p.a. mit $dT = 600^\circ \text{C}$

Abzukühlende/abzuführende Speicherwärmern im Bauteil:

$$\begin{aligned} E_{\text{ges}} &= E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = \\ &= m_{\{1-4\}} [\text{kg}] \times 0,54 \text{ kJ/kg K} \times dT_{\{1-4\}} [\text{K}] \\ &= \underline{963.000 \text{ kWh}} \end{aligned}$$



Maßnahme: Ab- und Verlustwärme beim Kühlen von Chargen (*Gebälsekühlung und „Retortenziehen“*)

Annahmen: Chargengewicht brutto:
1350 kg, 16MnCr5 mit $T = 950^\circ \text{C}$

Speicherwärme:

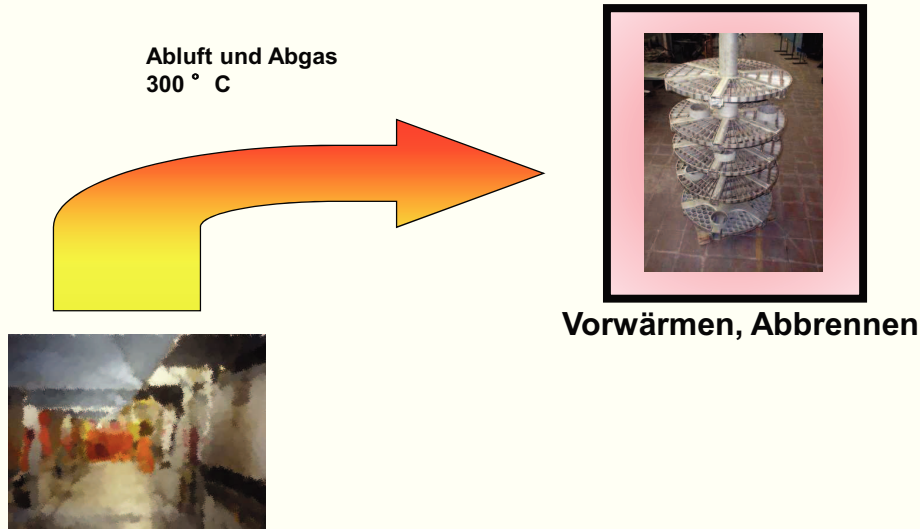
$$E_{th} = c \cdot m \cdot T$$

$$\begin{aligned} E_{\text{Charge}} &= 1350 \text{ kg} \times 0,54 \text{ kJ/kg K} \times 950 \text{ K} \\ &= 692.550 \text{ kJ} = 692.550 \text{ kWh} = 192 \text{ kWh} \\ E_{\text{Retorte}} &= 2000 \text{ kg} \times 0,54 \text{ kJ/kg K} \times 950 \text{ K} \\ &= 1.026.000 \text{ kJ} = 285 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Summe: 477 kWh



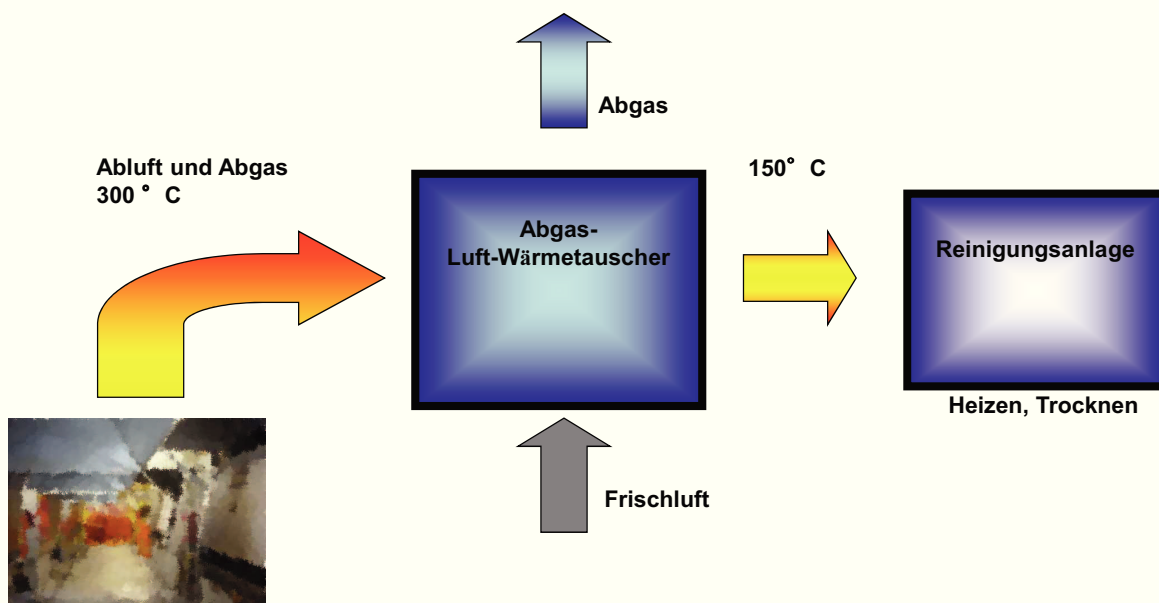
Abwärmennutzung zur Chargenvorwärmung oder zum Abbrennen von Ölrückständen auf Chargiergestellen



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Abwärmennutzung zum Beheizen einer Reinigungsanlage



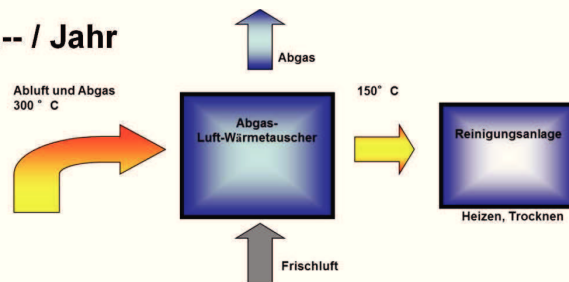
Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Maßnahme Trocknung Waschmaschine

Beispiel **Schraubenfabrik (Aichelin)** - Trocknung in der Waschmaschine

- **Nutzung Brennerabgas und Abfackelungsabwärme**
- **Gas / Luft Wärmetauscher**
- **Energieeinsparung: bis zu 50 kW**
- **Kosteneinsparung von ~ € 18.000.-- / Jahr**
- **Amortisation ca. 2 – 3 Jahre**



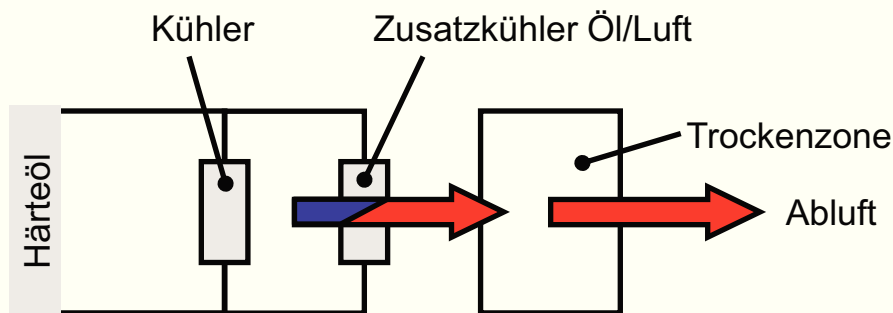
Quelle: Aichelin



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Maßnahme: Abwärmennutzung Ölbad zur Trocknung



- **Energieeinsparung 5-10 kW** und 10.000 m³/Jahr Kühlwasser
- **Statische Amortisationszeit: ca. 3-5 Jahre**

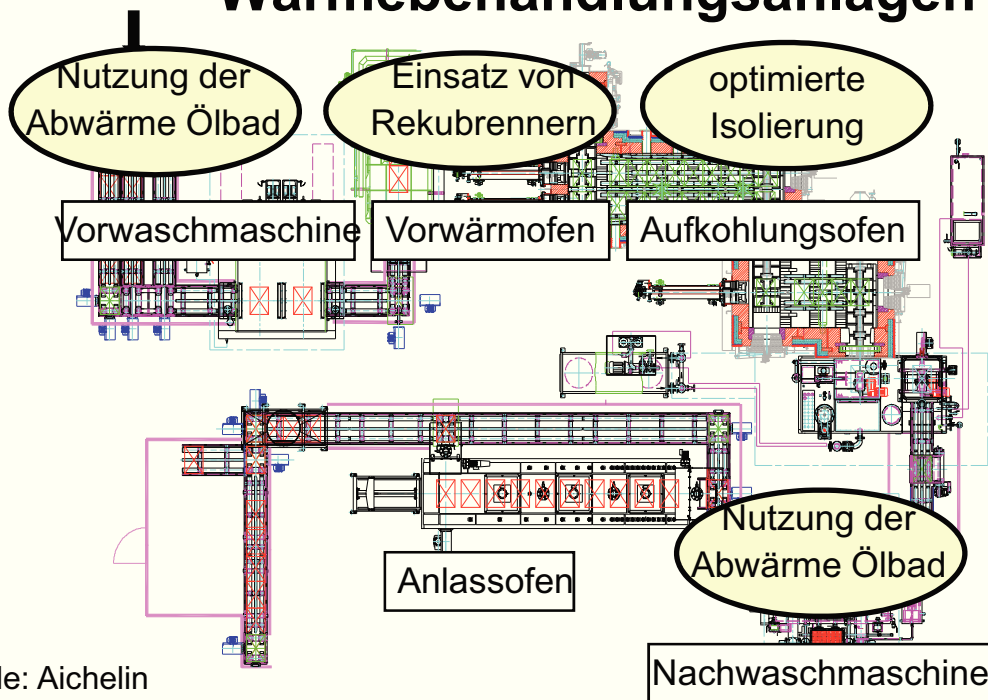
Quelle: Aichelin



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Wärmerückgewinnung bei verketteten Wärmebehandlungsanlagen



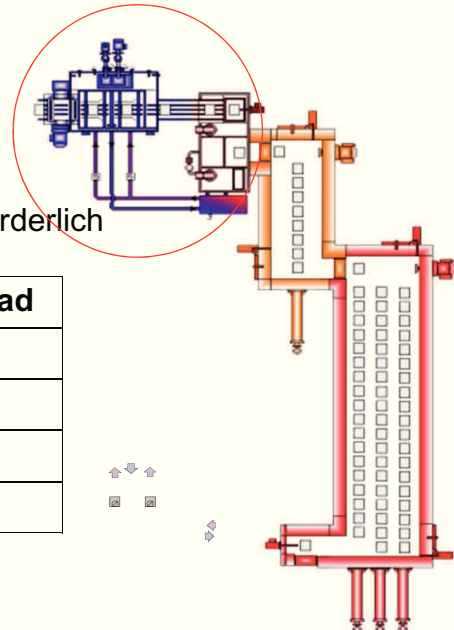
Quelle: Aichelin



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier



Maßnahme: Abwärmennutzung Ölbad zur Beheizung der Reinigungsanlage



mit $\Delta T > 20^\circ \text{C}$ zwischen Ölbad und Reiniger erforderlich

Beheizung		Ölabschreckbad
Gas	Einsparung [€/a]*)	5.100
	Amortisation	4 Jahre
elektrisch	Einsparung [€/a]*)	8.000
	Amortisation	2,5 Jahre

*) Basis: € 0,35/m³ Gas und
€ 0,07/kWh Strom

Quelle: Aichelin



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier

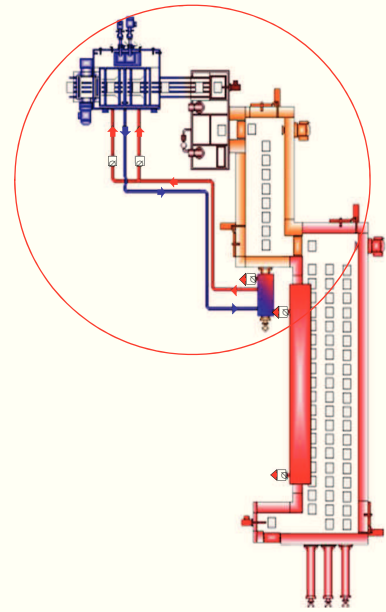


Maßnahme: Abwärmenutzung Brennergas zur Beheizung der Reinigungsanlage

Brennerabgas (T bis 450° C) mit Wärmetauscher über Abgas-Sammelkanal der HT-Zone

Beheizung		Brennerabgas
Gas	Einsparung [€/a]*)	5.100
	Amortisation	6 Jahre
elektrisch	Einsparung [€/a]*)	8.000
	Amortisation	3,5 - 4 Jahre

*) Basis: € 0,35/m³ Gas und € 0,07/kWh Strom



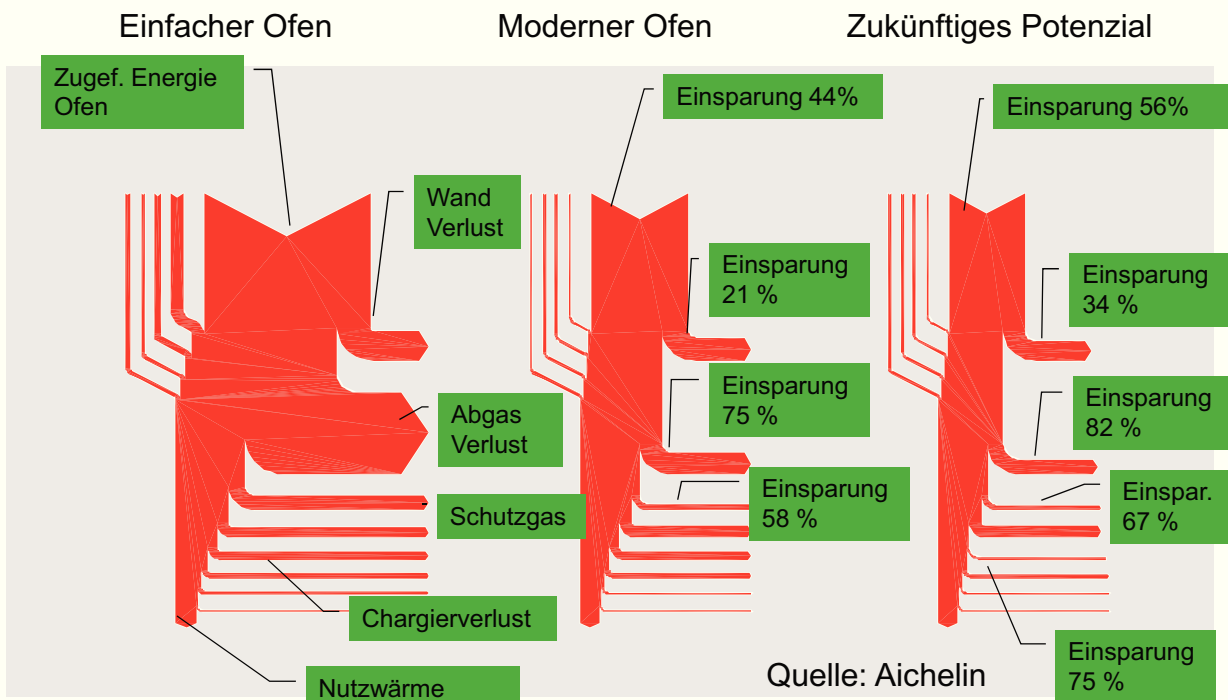
Quelle: Aichelin



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW Dr. Irretier



Chancen Energieeffizienzsteigerung in der Wärmebehandlung



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW Dr. Irretier



Zusammenfassung

- **Es gibt eine Vielzahl an Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung !!**
- **Verbesserte Wärmedämmung** mit verringerter Ofenwandtemperatur (um z.B. 10 ° C und führt zu etwa 20 % Energieeinsparung)
- **Wärmerückgewinnung** (von Ölkühler, Abwärme, Abfackelung und Abgas) ermöglichen Amortisationszeiten von 3-5 Jahre, wobei mit steigenden Energiekosten sich die Amortisationdauer weiter reduzieren
- Moderne Ofenanlagen ermöglichen **Einsparpotentiale** von 30 bis zu 50 % der Energie im Vergleich zu „alten“ Ofenanlagen
- Weitere Einsparpotentiale und energetisch „sinnvolle“ Nutzung über **Wärmepumpen**, „Tiefkühlung“ durch **Absorptionskältemaschine**, **Block-Heiz-Kraftwerke** oder **latente Wärmespeicherung**



Kontakt

Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW

Dr. Olaf Irretier
Mühsol 44,
D - 47533 Kleve

Telefon: +49 (0) 2821 - 7153948
Telefax: +49 (0) 2821 - 7151866
Mobil: +49 (0)162 – 5297997

E-Mail: olaf.irretier@t-online.de

www.ibw-irretier.de

IBW Dr. Irretier –
einer der leistungsstärksten
Unternehmensberater für
Wärmebehandlung, Ofenbau
Härtereitechnik, Energieeffizienz
und Kühlwassertechnik



Industrieberatung für Wärmebehandlungstechnik IBW
Dr. Irretier





Technik Gestaltung
Technologie Entwicklung

Energie- und Stoffflussmodellierung für Prozesse und Produkte

Methodik und Anwendung

Stefan Gößling-Reisemann

AWT-VDMA Seminar „Energie- und Ressourceneffizienz“

13+14 Juni 2012



Universität Bremen



Fachbereich 4
Produktionstechnik
Maschinenbau &
Verfahrenstechnik



artec | Forschungszentrum
Nachhaltigkeit

1

Inhalt



- Das Fachgebiet Technikgestaltung und Technologieentwicklung
- Stoff- und Energieflussmodellierung
- Stoffstromnetze
- Beispiele

2

Ein multidisziplinäres Team



Leiter:
Prof. Arnim von
Gleich

Biologie
Politikwissen-
schaften

Mitbegründer des
Instituts für
Ökologische
Wirtschafts-
forschung (IÖW)

3

Ein multidisziplinäres Team



Postdocs:

Mathematiker
Biologen
Physiker

4

Ein multidisziplinäres Team



Doktoranden:

- Biologen
Ingenieure
- Maschinenbau-
 - Chemie-
 - Umwelt-
 - Elektrotechnik-
 - Wirtschafts-

5

Forschungsprinzipien und Ansatz



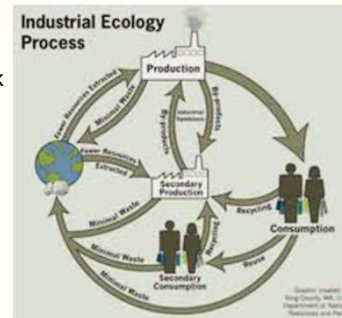
- **Hintergrund:**
 - **Technikfolgenabschätzung (TA)**
 - Folgen einer Technologie, nachdem sie entwickelt und umgesetzt wurde
 - **Nachhaltiges Design** von Technologien und Industrie
 - Vorsorgende Gestaltung zur Minimierung von Belastungen von Mensch und Umwelt
- **Ziele:**
 - **Frühe Integration** von Aspekten des Umwelt und Gesundheitsschutzes in den Innovationsprozess
 - Umsetzung des **Vorsorgeprinzips** und Berücksichtigung von Unsicherheiten

6

Beispiel Forschungsfeld: Industrial Ecology



- **Inspiziert von natürlichen Systemen:**
 - Basierend auf Kreisläufen / erneuerbaren Ressourcen, ressourceneffizient, nachhaltig, resilient
- **Unser Fokus:**
 - **Stoff- und Energieströme modellieren**
 - Ökobilanzen, CO₂-Fußabdrücke
 - Dissipation von kritischen Metallen
 - Ressourcenverbrauch und Thermodynamik
 - **Kreisläufe schließen**
 - Metall-Recycling Potenziale in Abfällen
 - Methoden und Maßnahmen
 - **Substitution von Gefahrstoffen**
 - **Leitbilder für Produktdesign**



7

Energie- und Stoffstrommodelle



- **Ebenen**
 - **Einzelprozess:** Optimierung, Simulation, Prognose
 - **Prozesskette:** übergreifende Optimierung, Synergien nutzen, Recycling/Rückgewinnung
 - **Unternehmen:** Auslegung von Versorgungs-Infrastruktur, Umweltmanagement, Umweltbilanz, Kostenreduktion
 - **Prozessnetz/Lebenszyklus** eines Produkts: Ökobilanz, CO₂-Fußabdruck, Expositionsabschätzung, Recyclingpotenziale
 - **Branchen/Sektoren:** Entwicklung der Material- und Energieeffizienz, Produktivität, spez. Verbräuche (z.B. krit. Metalle)
 - **Wirtschaftsräume/Nationen:** Umweltbuchhaltung, CO₂-Budgets, Einhaltung von Vereinbarungen und Programmen, Gesetzesplanung
 - **Welt:** Festlegung von Leitplanken, Einhaltung von Vereinbarungen, Lastenausgleich Nord-Süd, Ressourcenverfügbarkeit

8

Energie- und Stoffstrommodelle



- Ebenen
 - **Einzelprozess:** Optimierung, Simulation, Prognose
 - **Prozesskette:** übergreifende Optimierung, Synergien nutzen, Recycling/Rückgewinnung
 - **Unternehmen:** Auslegung von Versorgungs-Infrastruktur, Umweltmanagement, Umweltbilanz, Kostenreduktion
 - **Prozessnetz/Lebenszyklus eines Produkts: Ökobilanz, CO₂-Fußabdruck, Expositionsabschätzung, Recyclingpotenziale**



Fokus unseres Fachgebiets

– Branchen/Sektoren: Entwicklung der Material- und Energieeffizienz, Produkt- und Energieverbräuche (z.B. krit. Metalle)

– Wirtschaftsräume/Nationen: Umweltbuchhaltung, CO₂ Budgets, Einhaltung von vereinbarten Abkommen und Programmen

– Gesetzgebung: Entwicklung von Gesetzen und Programmen

– Welt: Festlegung von Leitplanken, Einhaltung von Vereinbarungen, Lastenausgleich Nord-Süd, Ressourcenverfügbarkeit

9

Ressourcen- und Energiebilanzen



- Innerhalb des Betriebs
 - Basis für **Kostensenkung**
 - Bedingung für zertifizierte **Umweltmanagementsysteme**
 - **Gesetzliche Vorgabe** (z.B. bei Befreiung von Netzentgelten, EEG-Umlage)
 - Grundlage zur Bewertung von möglichen **Umweltentlastung**
 - Ohne Berücksichtigung von Verlagerung von Umweltlasten

10

Ressourcen- und Energiebilanzen



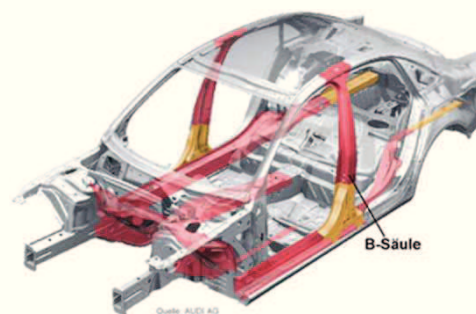
- Entlang von **Wertschöpfungsketten/Lebenszyklen**
 - Bestandteil von
 - Ökobilanzen (LCA),
 - Environmental Product Declarations (EPD)
 - CO₂-Fußabdrücken (PCF)
 - Teilweise Bedingung für Auftragsvergabe (siehe Schweden)
 - Grundlage zur Bewertung von möglichen Umweltentlastung
 - Unter Berücksichtigung von Verlagerung von Umweltlasten

11

Motivation: Lebenszyklusdenken



- Thermoprozesstechnik/Wärmebehandlung
 - Immer ein Teil eines Produktlebenswegs



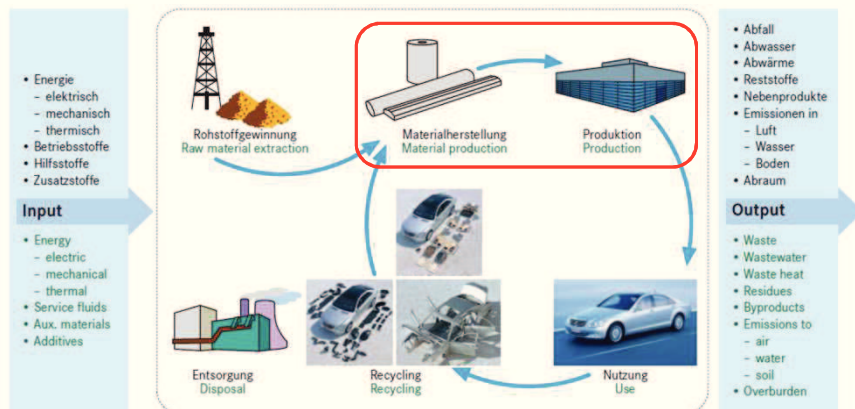
Einsatz von Bauteilen aus hochfestem Stahl im Anwendungsfall Automotive (FlexWB, Audi AG)

12

Motivation: Lebenszyklusdenken



- Thermoprozesstechnik/Wärmebehandlung
 - Immer ein Teil eines Produktlebenswegs



Daimler AG 13

Bilanz vs. Modell



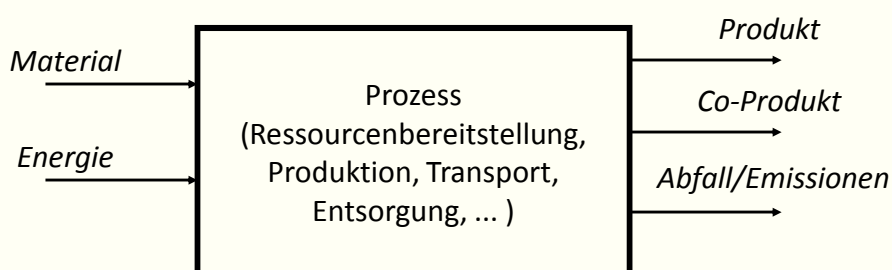
- Für eine Bestandsaufnahme ist eine einmalige **Messkampagne (Bilanz)** ausreichend
 - Für Umweltberichterstattung jährlich zu wiederholen
- Ein **Modell** ist erforderlich
 - Für systematische Optimierung
 - Für Entscheidungsanalyse
 - Zur Bestimmung von Nebeneffekten

14

Modellierung für einen Prozessschritt



- Skala eines „**Prozessschritts**“ ist abhängig von Ziel und Systemgrenze der Untersuchung
- Typisch in Ökobilanzen: Rohstoffgewinnung, Transport, Herstellung- und Verarbeitung, Nutzung, Entsorgung

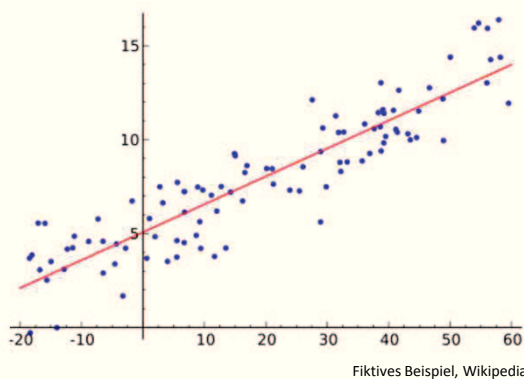


15

Modellierung für einen Prozessschritt



- Aus **Messungen** und statistischer Auswertung
 - Unter Variation von Prozessparametern
 - Hinreichend große Anzahl Messungen nötig (Statistik)

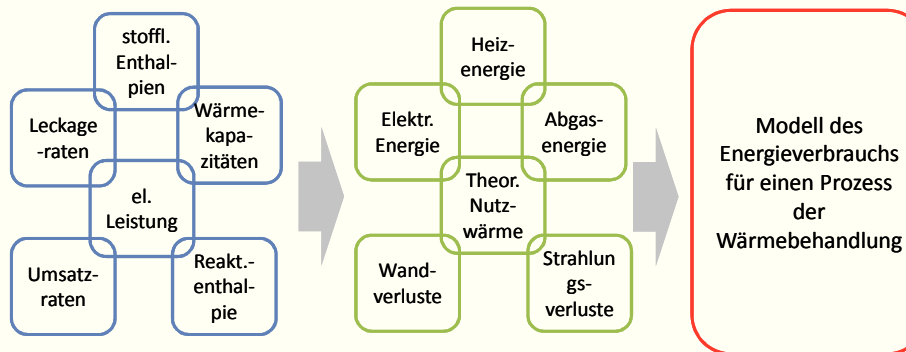


16

Modellierung für einen Prozessschritt



- Auf der Basis von **physikalischen Zusammenhängen**
 - Umfangreiches Prozesswissen notwendig
 - Auch Verlustströme müssen bekannt sein



17

Modellierung für einen Prozessschritt



- Auf der Basis von **anderen Erhebungen**
 - Branchenangaben
 - Expertenschätzungen
 - Einzelmessungen
- Für den Gebrauch in LCA, UMS, EPD, PCF etc.

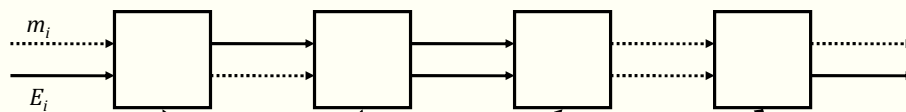
meist unvermeidbar **aber unzureichend!**

18

Modellierung für Prozesskette



- Verwendung der Einzelprozess-Modelle
- Ermittlung unbekannter Stoff- und Energieströme über Erhaltungssätze, Reaktionsgleichungen, etc.



Massenerhaltung: $\sum m_i = \sum m_o$
 Erhalt der Elemente: $N_i^k = N_o^k$
 Energieerhaltung: $E_i = E_o$
 Reaktionsgleichung, z.B.:
 $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

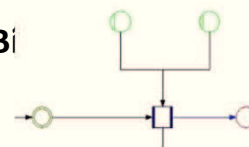
Evtl. Problem:
 zu wenig bekannte Ströme!
 → Prozess-Modellierung
 (s.o.)

19

Modellierung von Prozessnetzen



- Zahlreiche Prozess(ketten) sind bei einem Produktsystem vernetzt: **Prozessnetz**
- Analog ergibt sich ein **Stoffstromnetz**
- Ansatz aus der Stoffstrommodellierung: **Petri-Netze**
- Modellierung über **Stellen** (Lager) und **Transitionen** (Prozesse)
- Modellierungssoftware **Umberto**
- Für Energie/Ökobilanzen ebenfalls: **GaBi**

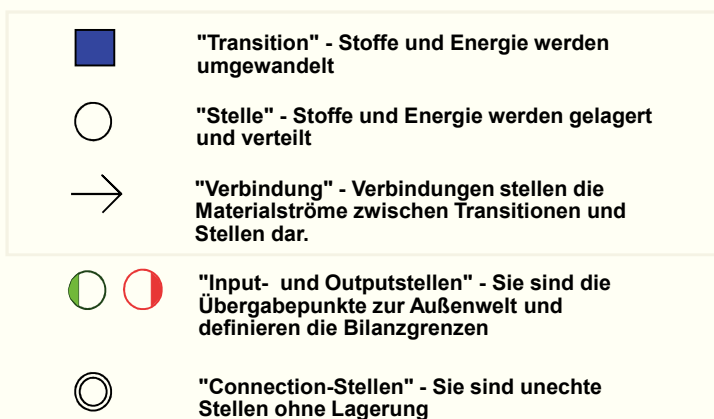


20

Modellierung von Prozessnetzen

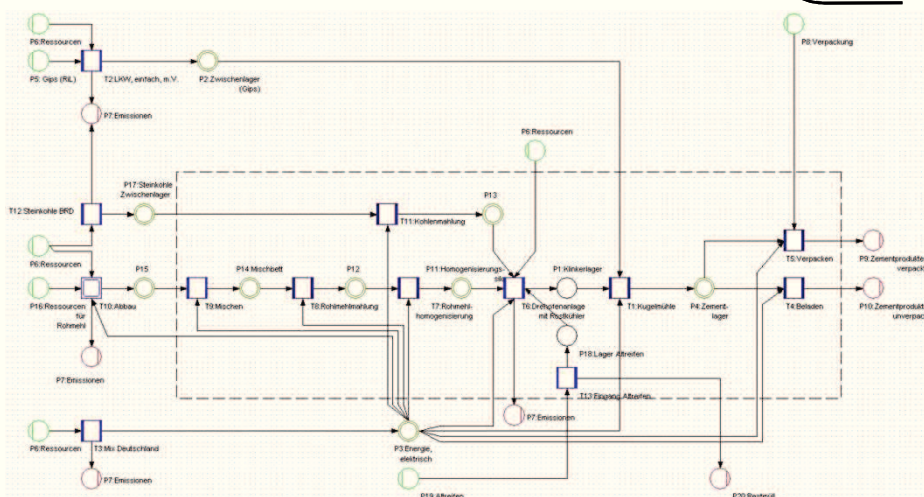


- Elemente eines Stoffstromnetzes



21


Beispiel eines Prozessnetze/Stoffstromnetzes

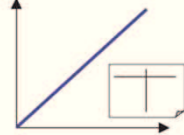

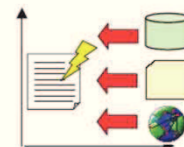


Vereinfachte Zementherstellung modelliert mit *Umberto* (ifu)

22

Transitionen/ Einzelprozesse




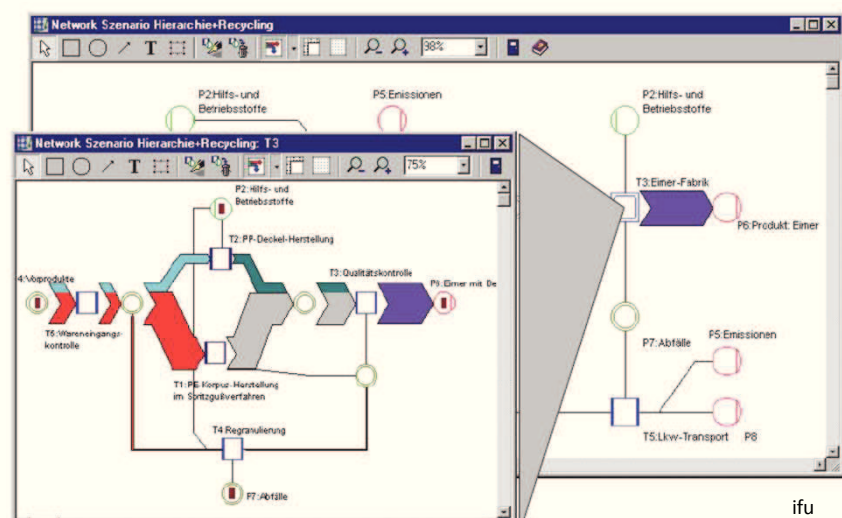
- Als lineare Input-Output-Relationen**

- Als mathematische Funktionen der In- und Outputs**

- Als extern definierter Prozess, z.B. über COM-Schnittstelle**

- Als Subnetz ...**

ifu

23

Transitionen als Subnetze





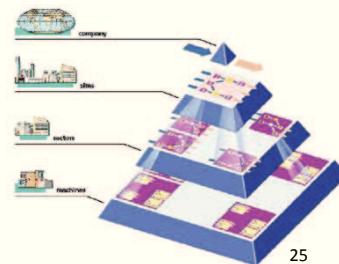
ifu

24

Reichweite Stoffstromnetze



- **Modulare** Struktur und Schnittstellen
 - Stoffstromnetze können beliebig komplexe Prozessnetze abbilden
- Stoffstromnetze **statisch oder dynamisch**
 - Bilanzierung und Berechnung von Szenarien
 - Dynamische Vorgänge können abgebildet werden
- **Auswertungssysteme** definierbar
 - Betriebliche Kennzahlen
 - Effizienzen/Produktivitäten
 - Kosten/Nutzen Relationen
 - Wirkungsbilanzen (LCA, PCF etc.)

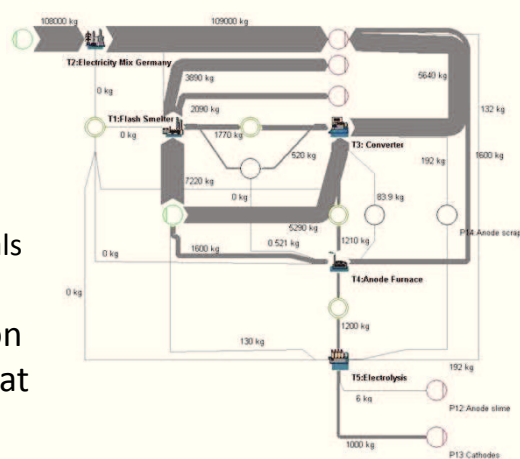


25

Anwendung: Ressourcenverbrauch



- **Stoffstromnetze** zur Analyse von
 - Stoffströmen
 - Energieverbrauch
 - Abwärme
 - Ressourcenverbrauch (als Entropieerzeugung)
- Beispiel: Herstellung von **Kupfer** aus Erzkonzentrat



Kupferherstellung (nur Metallurgie)

26

Anwendung: Ressourcenverbrauch



Property	Value	Unit
A	-203.606	
B	1523.29	
C	-3196.413	
D	2474.455	
E	3.655326	
F	-256.5478	
G	-488.7163	
H	-265.8304	
IsMixture	False	
M	20.04	g/mol

Shomate equation parameters

New Edit Delete

OK Cancel Help

Property	Value	Unit
M	18.02	g/mol
S1570	252.782	J/K/mol
S298	188.84	J/K/mol

Absolute specific entropy values

New Edit Delete

OK Cancel Help

Thermodynamische Parameter in Materialdatenbank hinterlegt (absolut oder parametrisch)

27

Anwendung: Ressourcenverbrauch



```

Script Editor - Entropie-Berechnung (Python)
Script options log
112 # Extensions müssen mit angegeben werden, sofern sie existieren: "Material,Ext". Ansonsten nicht!
113
114 MixArray[1] = ["Dioxidkonzentration":0.6442, "SiO2":0.074, "CO":0.023, "Al2O3":0.0224, "BaO":0.0212,
115 "FeO":0.0035, "MnO":0.003, "As2O3":0.003, "Ni":0.0005, "CaO":0.0052,
116 "ZnO":0.0095, "Al2O3":0.001, "Fe2O3-High":0.021,
117 "Air":["N2":0.7542, "O2":0.2458, "Ar":0.0138]]
118
119 MixArray[2] = ["Materie":0.2045, "Cu2S":0.746, "CuS":0.0385, "FeO":0.0121, "BaO":0.0125,
120 "FeO":0.0054, "Ni":0.0011,
121 "O-Blag":["Cu2S":0.0251, "SiO2":0.094, "Fe2O3-High":0.0044, "As2O3":0.0044, "Fe3O4-High":0.0,
122 "Al2O3":0.0468, "CaO":0.0102, "BaO":0.0306]]
123
124 MixArray[3] = ["O2Gas":["N2":0.5047, "SiO2":0.4023, "O2":0.0577, "Materie":0.0266, "Ar":0.0087]]
125
126 # erzeuge Temperatur-Array für Pfeile mit Key = Arrow.ID
127 # und der Temperatur für jedes Material (nicht nur Mischungen).
128 # Materialien ohne T sollen später Temp zugewiesen bekommen
129 # Element mit Key=0 bleibt leer (enthält Eintrag (0, 0))
130 # Straucht man das?
131
132 T = dict([(k,0) for k in range(ArrowCount+1)])
133
134 T[1] = {}
135 T[2] = {"Materie":1460, "O-Blag":1500}
136 T[3] = {"O2Gas":1570}
137
138
139 def Main():
140     global Ftj, Soc, Det, ArrowCount, Period
141     Tref = 298.15 # K
142     R = 8.314472 # J/(K mol)
143
144
145
146
147
    
```

Transition (=Prozess) wird über ein Skript definiert (Python, VB, Perl, Jscript)

Zusammensetzung und Temperaturen werden zum Netzwerk hinzugefügt.

MixArray[] = Array of flows and their composition
T[] = Array of flow temperatures

28

Anwendung: Ressourcenverbrauch



```

Script Editor - Entropie-Berechnung (Python)
-----
Script [options] [log]

# Extensions müssen mit angegeben werden, sofern sie existieren! "Material.Ext". Ansonsten nicht!
112 MixArray[1] = ["Drosselrate":0.8442, "SiO2":0.074, "C":0.023, "Al2O3":0.0224, "Dust":0.0212,
113              "FeO":0.0035, "Materie":0.003, "An2O3":0.003, "Ni":0.0005, "CuO":0.0052,
114              "Flux":{"SiO2":0.95, "Al2O3":0.03, "Fe3O4-Low":0.02},
115              "Air":{"N2":0.7542, "O2":0.232, "Ar":0.0138}]
116
117
118 MixArray[2] = ["Materie,L":{"FeS":0.2045, "Cu2S":0.746, "CuO":0.0185, "FeO":0.0121, "Dust":0.0125,
119              "FeO,L":0.0054, "Ni":0.001},
120              "O-Slag,L":{"Cu2S":0.0251, "SiO2":0.094, "Fe2SiO4":0.7132, "An2O3":0.0044, "Fe3O4-High":0.
121              "Al2O3":0.0408, "CuO":0.0102, "Dust":0.0306}]
122
123 MixArray[3] = ["Offgas":{"N2":0.5047, "SiO2":0.4023, "CuO":0.0577, "Materie":0.0266, "Ar":0.0087}]
124
125
126 # erzeuge Temperatur-Array für Pfeile mit Key = Arrow.ID
127 # und der Temperatur-Array für jedes Material (nicht nur Mischungen).
128 # Materialien ohne T sollen später Tref zugewiesen bekommen
129 # Element mit Key=0 bleibt leer (enthält Eintrag (0, 0))
130 # Braucht man das?
131
132 T = dict([(k,0) for k in range(ArrowCount+1)])
133
134 T[1] = {}
135 T[2] = {"Materie,L":1460, "O-Slag,L":1500}
136 T[3] = {"Offgas":1570}
137
138
139 def Main():
140     global T, S, W, Net, ArrowCount, Period
141     Tref = 298.15 # K
142     R = 8.314472 # J/(K mol)
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

MixArray[] = Array of flows and their composition
T[] = Array of flow temperatures

Algorithmen zur Berechnung von Massen- und Energieflüssen

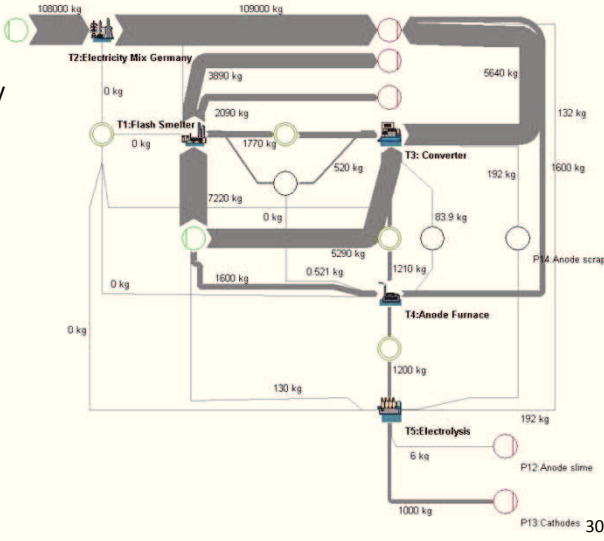
Erweiterung: Entropieflüsse

Weitere möglich: Energiebilanzen, Effizienzen, Ausbringung

Anwendung: Ressourcenverbrauch



Massenflüsse als Sankey Diagramm



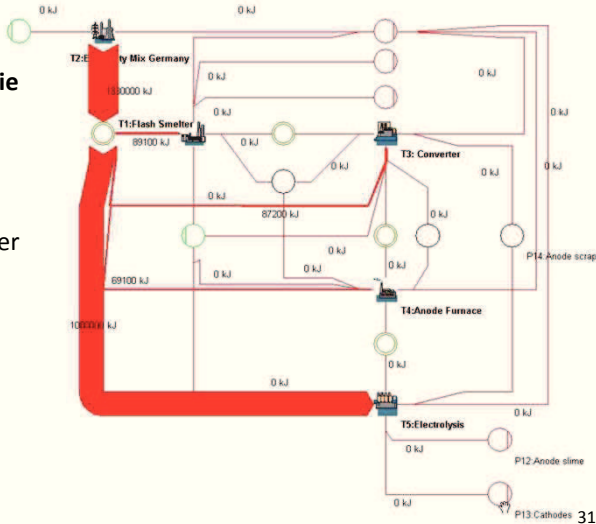
Anwendung: Ressourcenverbrauch



Bedarf elektrische Energie

Beinhaltet Vorketten der Stromerzeugung

Weitere Energieträger hier nicht betrachtet



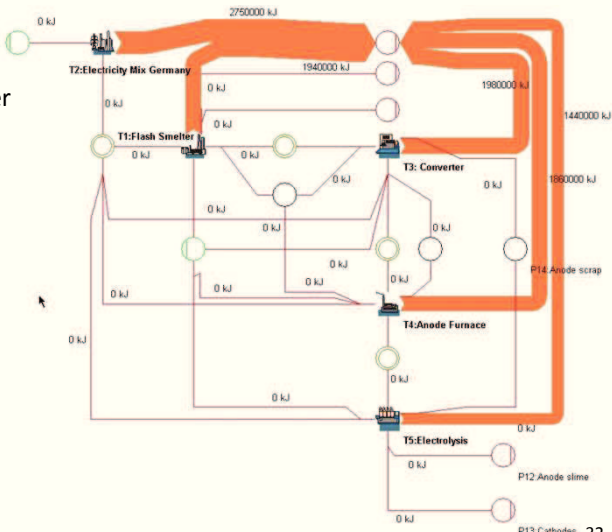
31

Anwendung: Ressourcenverbrauch



Abwärmeströme aus der Umwandlung von chemischer (und elektrischer) Energie

Hier als Emission in die Umwelt



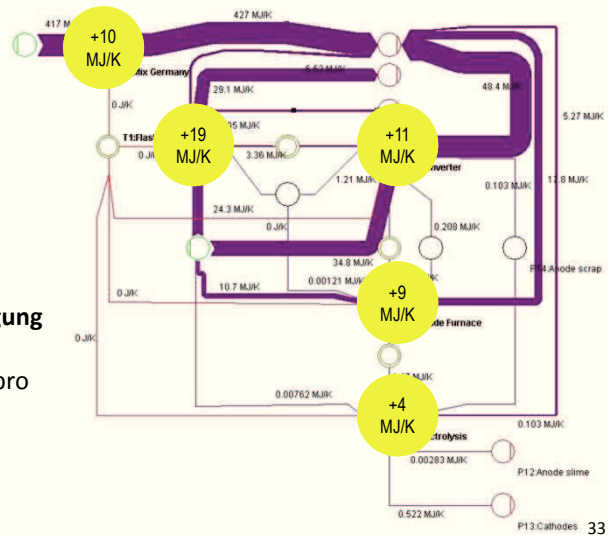
32

Anwendung: Ressourcenverbrauch



Entropieströme zeigen große Abwärmeverluste und Verluste durch Vermischung von verschiedenen Abgasströmen

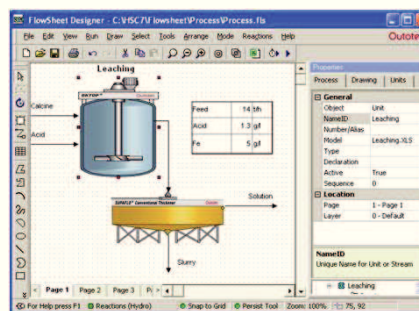
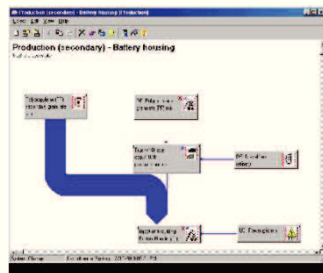
Weitere **Entropieerzeugung** durch Bergbau und Aufbereitung: 37 MJ/K pro Tonne Kupfer



Ausblick: HSC und GaBi



- Noch in 2012 werden GaBi 5 (PE International) und HSC Chemistry® (Outotec) zusammen arbeiten. Dies wird die energetische / thermodynamische Analyse von Prozessen und Produkten entlang des Lebenszyklus stark vereinfachen



34

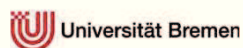
Fazit



- **Stoff- und Energiemodelle** von Einzelprozessen (z.B. Thermoprosesstechnik) sind grundlegende Elemente vieler **übergreifender Betrachtungen** (z.B. Ökobilanzen)
- Durch **Lebenszyklusbetrachtung** wird Verschiebung von Umweltlasten in andere Prozessketten aufgedeckt
- **Stoffstromnetze** bieten eine solide Grundlage zur Modellierung von Energie- und Ressourcenverbrauch
- Kombiniert mit **Flow-Sheet Software** lassen sich auch komplexere Fragestellungen bearbeiten

35

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Dr.
Stefan Gößling-Reisemann

Gruppenleiter Energiesysteme und
Stoffstromanalyse

Fachbereich 4: **Produktionstechnik**



Enrique-Schmidt-Str. 7
28359 Bremen

Tel 0421 / 218 - 64884
Fax 0421 / 218 -98-64884
eMail sgr@uni-bremen.de
www www.tecdesign.uni-bremen.de

36

FRAKO Kondensatoren-
und Anlagenbau GmbH
79331 Teningen

Energie-Management-Systeme

Energieeffizienz

Referent: Michael Höing

Themen heute:

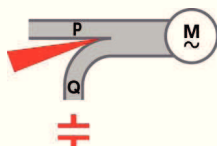
- Woher kommt die FRAKO...
- Was sich direkt „rechnet“ ...
- ... und was geht noch?
- Aufbau Energie-Management
- Komponenten/Hardware
- Visualisierung/Software

- Gegründet 1928 als
Frankfurter **K**ondensatoren
- Einer der ältesten Kondensatoren-Hersteller in Europa
- Führend in der Technologie verlustarmer Kondensatoren
- Derzeit ca. 120 Mitarbeiter

Wie reduziere ich meine Stromrechnung?

1. Vermeidung von Blindleistungskosten durch Blindleistungs-Kompensation

- Auslegung/Dimensionierung
- Verdrosselung
- Oberwellenbelastung
- Sonderlösungen:
 - (teil)dynamisch
 - Aktive Filter

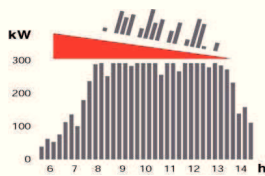


Gibt es zusätzliches Einsparpotential?

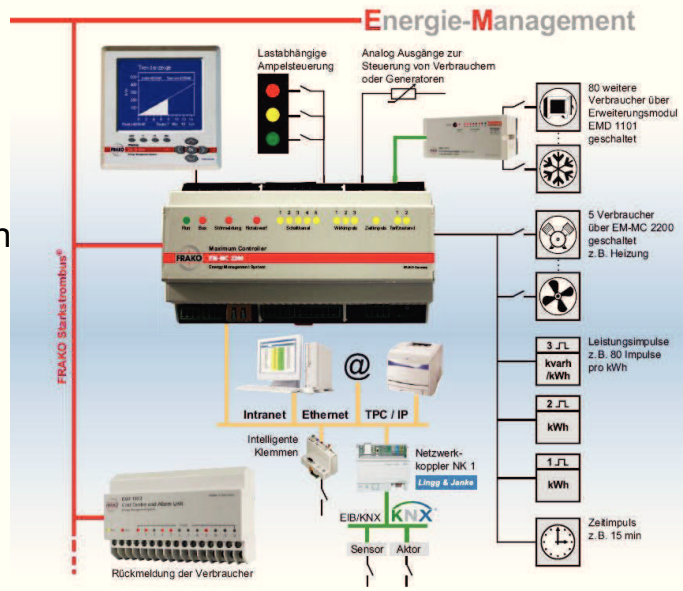
Wie reduziere ich meine Stromrechnung?

2. Maximum-Optimierung durch Spitzenlastabschaltung

- Lasten abschalten
- Generatoren zuschalten
- Profilvorgaben durch den Energieversorger
- Jahresbetriebsstunden ≥ 7000



Maximum Controller EM-MC 2200
Modularität in einer neuen Form



- Gibt es zusätzliches Einsparpotential?

13.06.2012

© FRAKO GmbH - Michael Höing

Seite 5/23

... und was geht noch?

- Gibt es zusätzliches Einsparpotential?
 - Rückerstattung Stromsteuer
 - Erstattung der EEG-Umlage
 - Prozessoptimierung
 - Leck- und Fehlererkennung
- Forderungen nach der aktuellen ISO 50001 (zuvor EN 16001)
- Transparenz und Überblick im eigenen Netz schaffen
 - Wissen, wo es Probleme gibt und wo Einsparpotential existiert
 - rechtzeitig Maßnahmen ergreifen um Schäden zu vermeiden
 - Energieflüsse visualisieren!
- Wie ?? → mit einem **FRAKO Energie-Management-System!**

Energie-Management-Systeme

Der Begriff Energiemanagementsystem (EMS) umfasst die zur Verwirklichung des Energiemanagements erforderlichen Organisations- und Informationsstrukturen einschließlich der hierzu benötigten technischen Hilfsmittel (z. B. Hard- und Software).

Dazu gehören Messstellen, Wärmemengenzähler, Stromzähler, Druckluftzähler, Wasserzähler, Gaszähler, Ölzähler, Lastgangmessungen, usw. sowie die entsprechende Visualisierungs- und Auswertungssoftware und das Berichtswesen.

- Energie-Management ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Verbesserung der Effizienz der aufgewendeten Energiemenge im Vergleich zu einem gewünschten Ergebnis an Komfort bzw. Produkten
- Energie-Management umfasst die Gesamtheit aller Überlegungen, Planungen und Umsetzungen zu Bedarf, Auswahl, Einrichtung und Betrieb energietechnischer Einrichtungen
- Energie-Management umfasst technische und organisatorische Maßnahmen
- Energie-Management ist ein gelebter, strukturierter und mit Zielen, Maßnahmen und Meilensteinen unterlegter, dauerhaft eingeführter Prozess, der stetig betreut und weiterentwickelt werden muss
- Energie-Management und Energieeffizienz werden in zeitgemäß geführten Unternehmen ebenso in Controlling-Instrumentarien eingebettet wie kaufmännische Daten

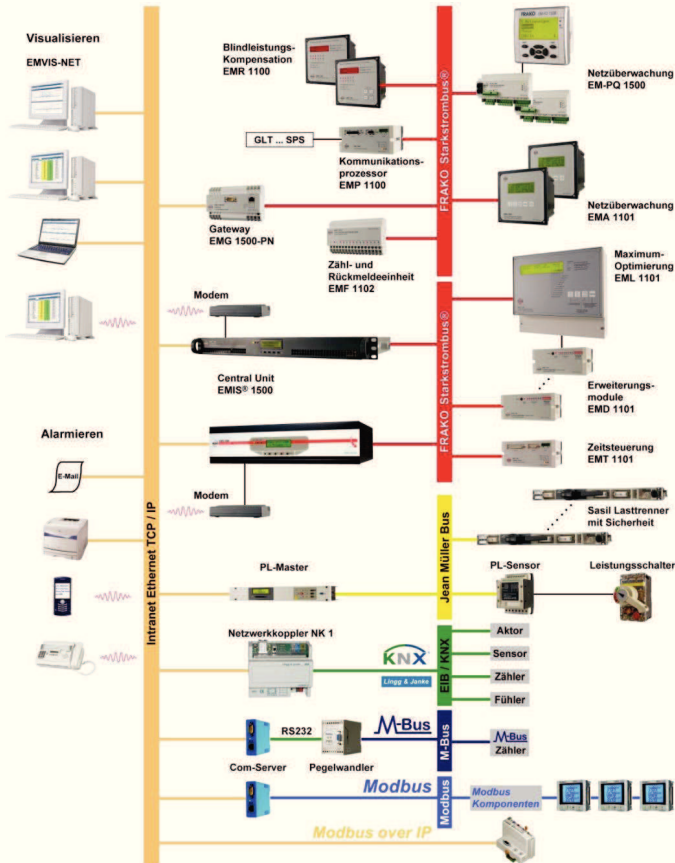
FRAKO: Energie-Management-System

- Erste Komponenten seit 1990
 - EMA 1101, Lastoptimierung
- Einstieg in erste EM-Systeme seit 1995
- Neue EM-Zentraleinheit EMIS 1500 (Ethernet) seit 2004
- Eigenes EM-System im Hause FRAKO
 - Zertifiziert nach EN 16001: 2009 seit 07/2010
 - abgelöst (neues Audit) im Mai 2012 durch ISO 50001

Aufbau: Energie-Management-System



- Blindleistungs-Kompensation
- Maximum-Optimierung
- Netzqualität und Netzüberwachung
- Alarmsystem
- Erfassung aller Energiedaten (Strom, Wasser, Gas, Druckluft, Zustände, u.v.m.)
- Visualisierung
- Kostenstellen und/oder produktbezogene Auswertung aller Verbrauchsdaten

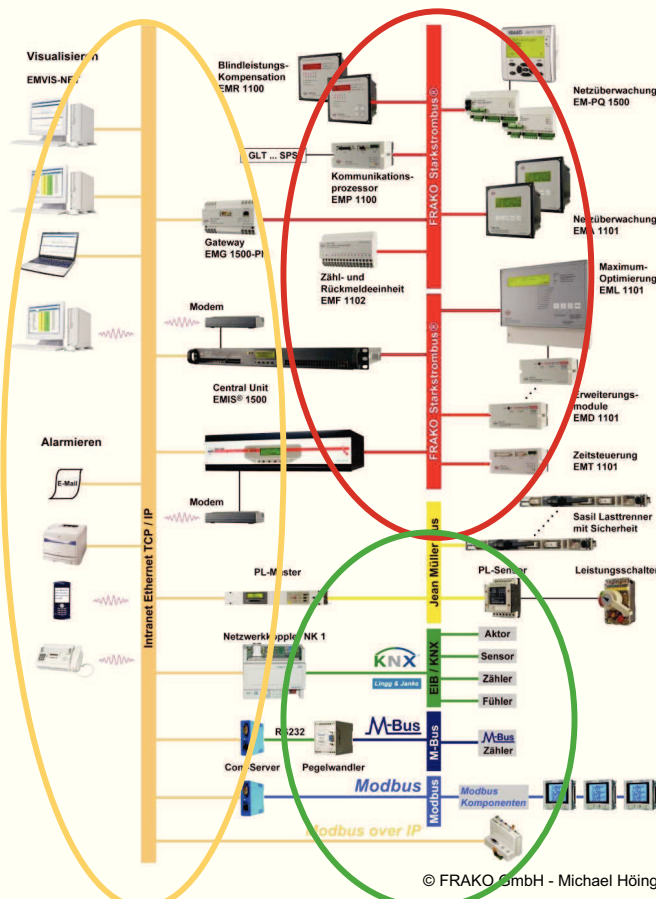


13.06.2012

© FRAKO GmbH - Michael Höing

Seite 9/23

Aufbau: Energie-Management-System



FRAKO - Starkstrombus

Ethernet

**Fremd-System
Fremde Daten /
Bus-Typen**

13.06.2012

© FRAKO GmbH - Michael Höing

Seite 10/23

Netzüberwachungsgeräte
Die richtige Lösung für jedes Netz

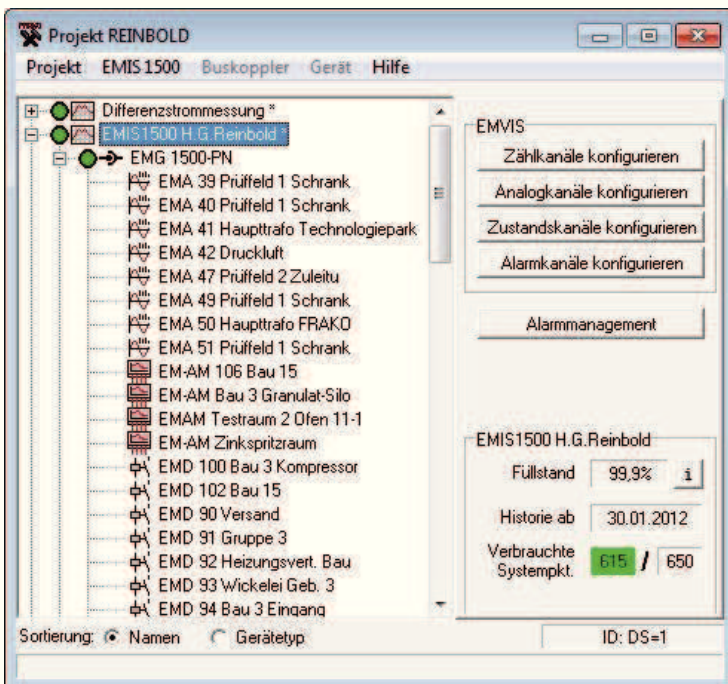
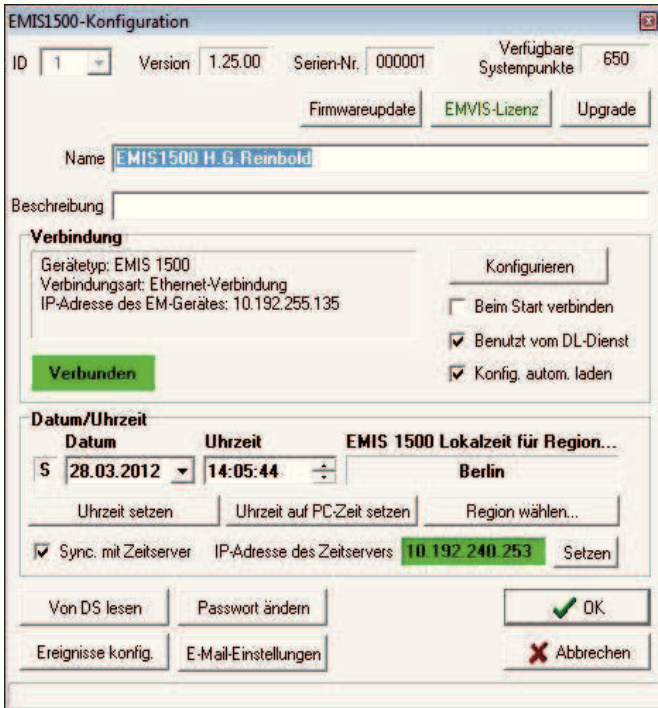


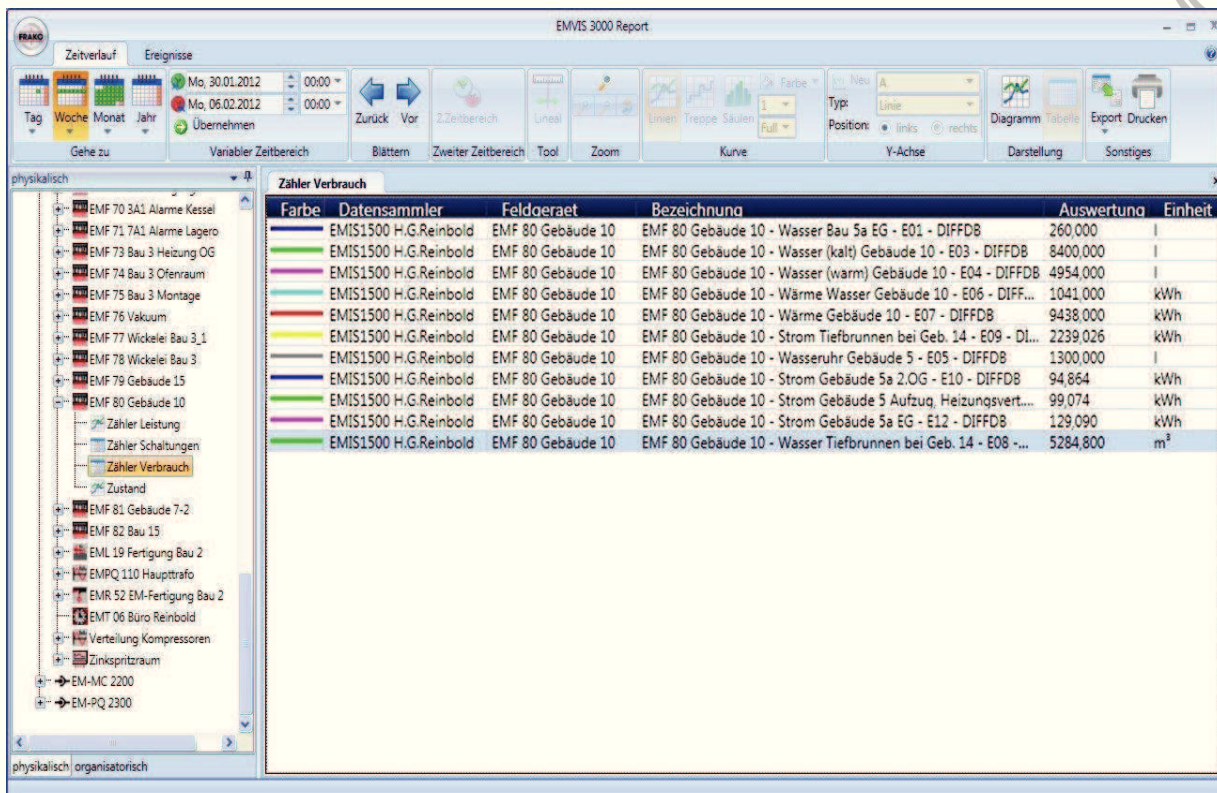
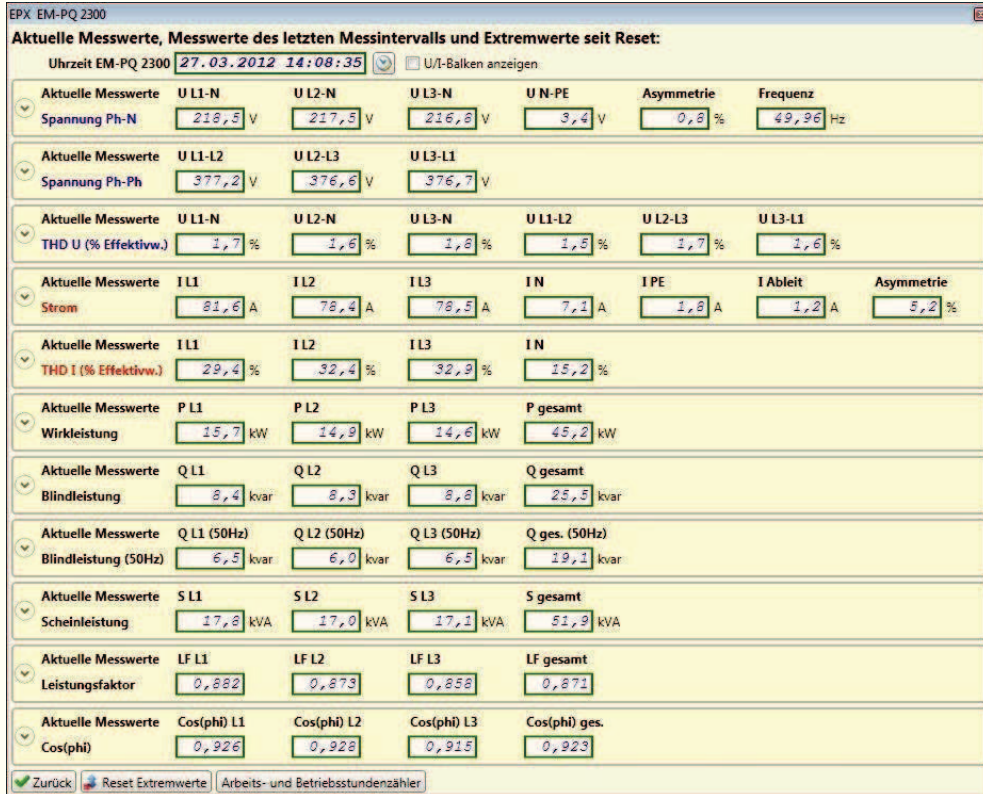
Energie-Management

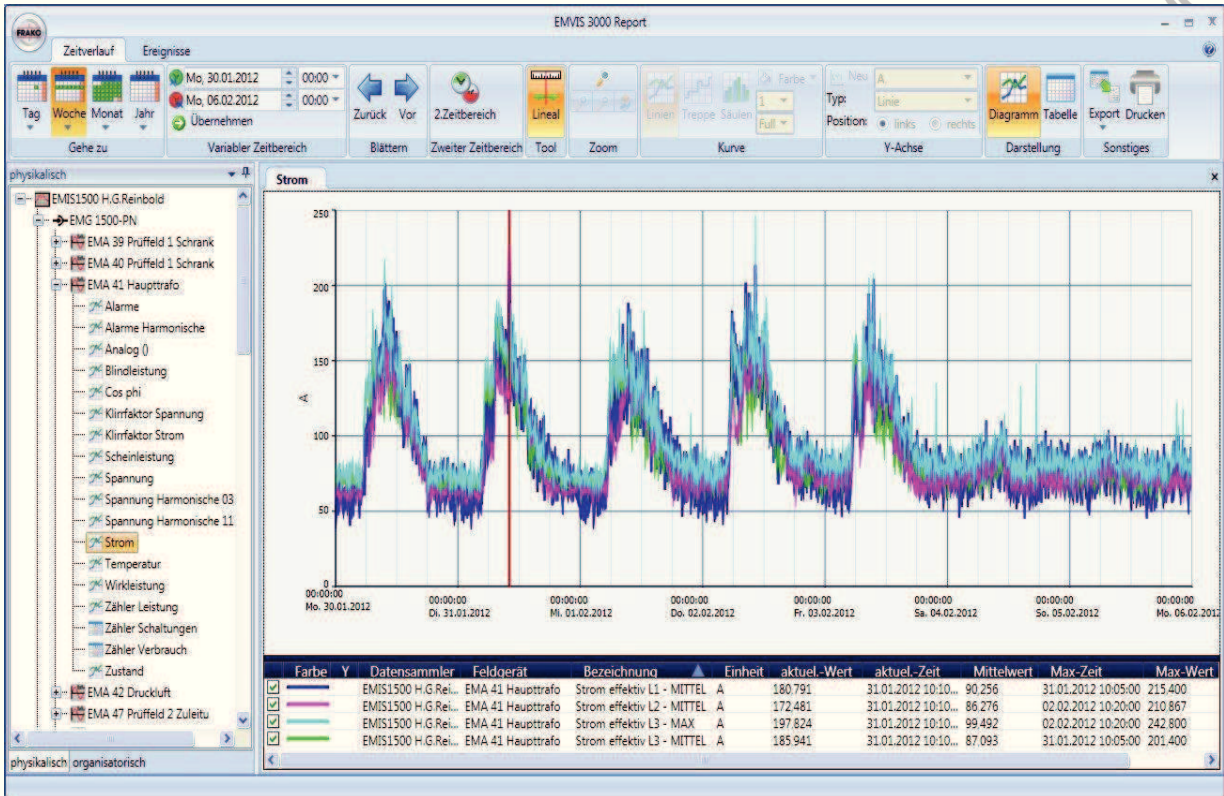


Schwerpunkt
Elektrische
Energie

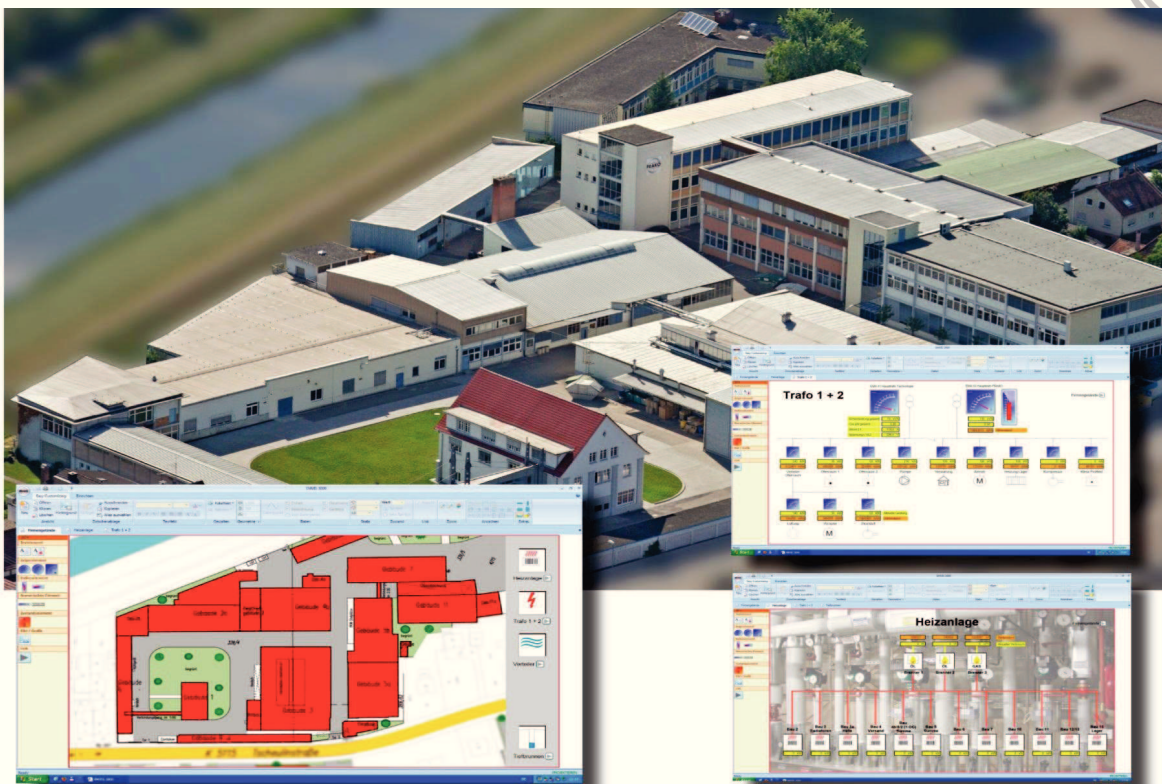


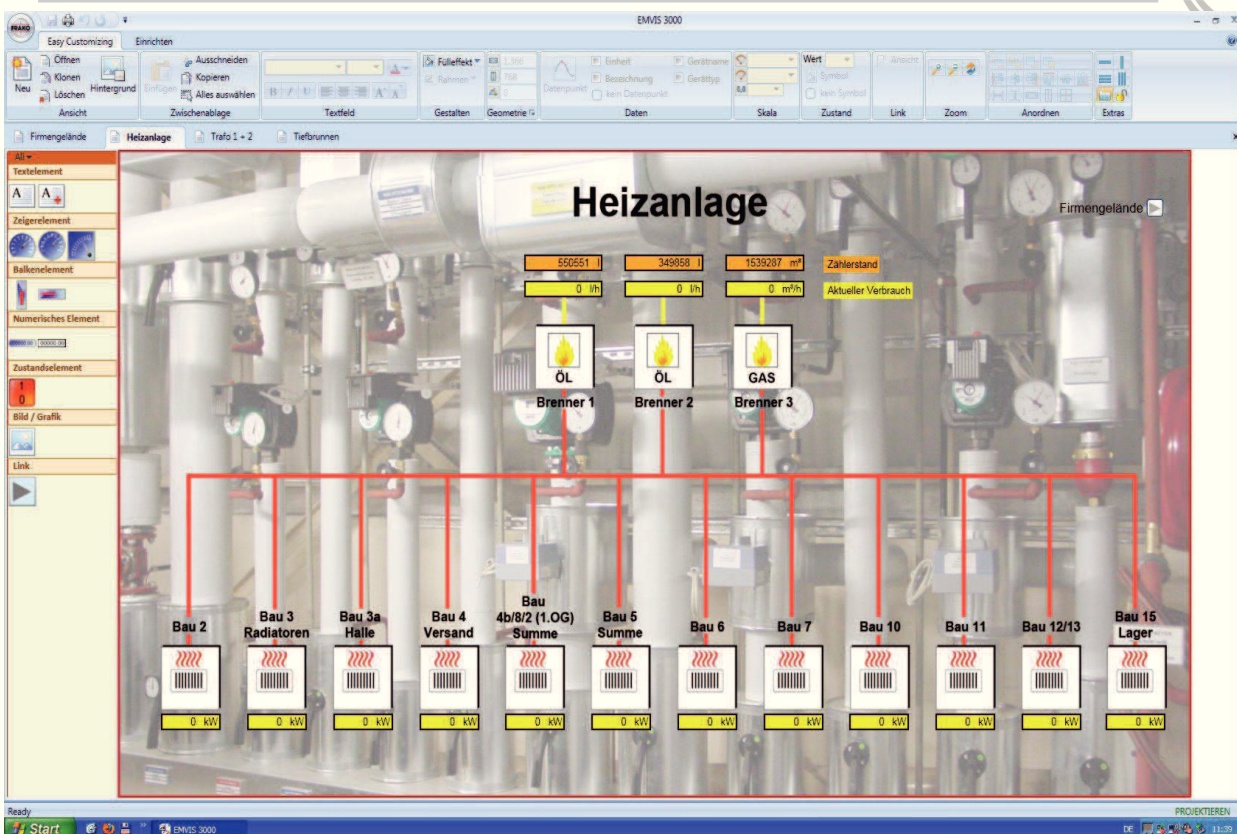
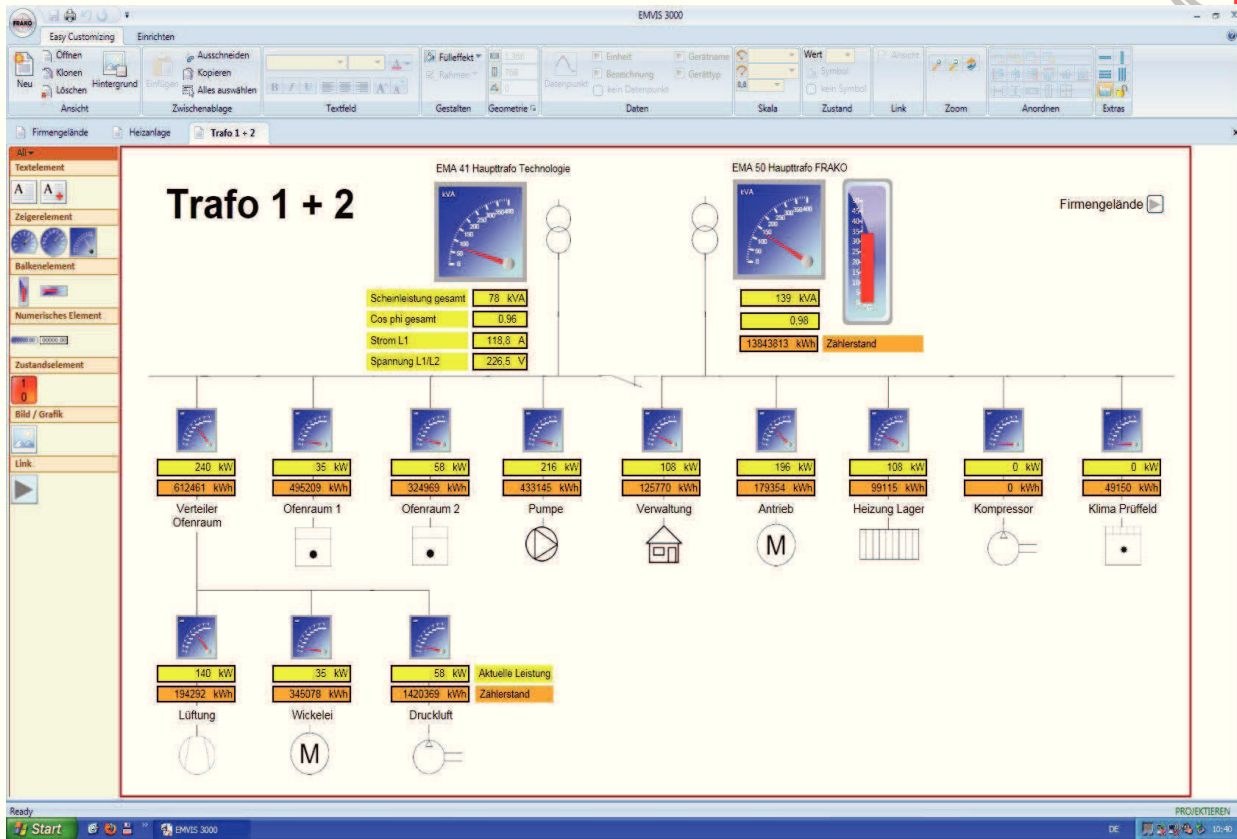






Easy Customizing



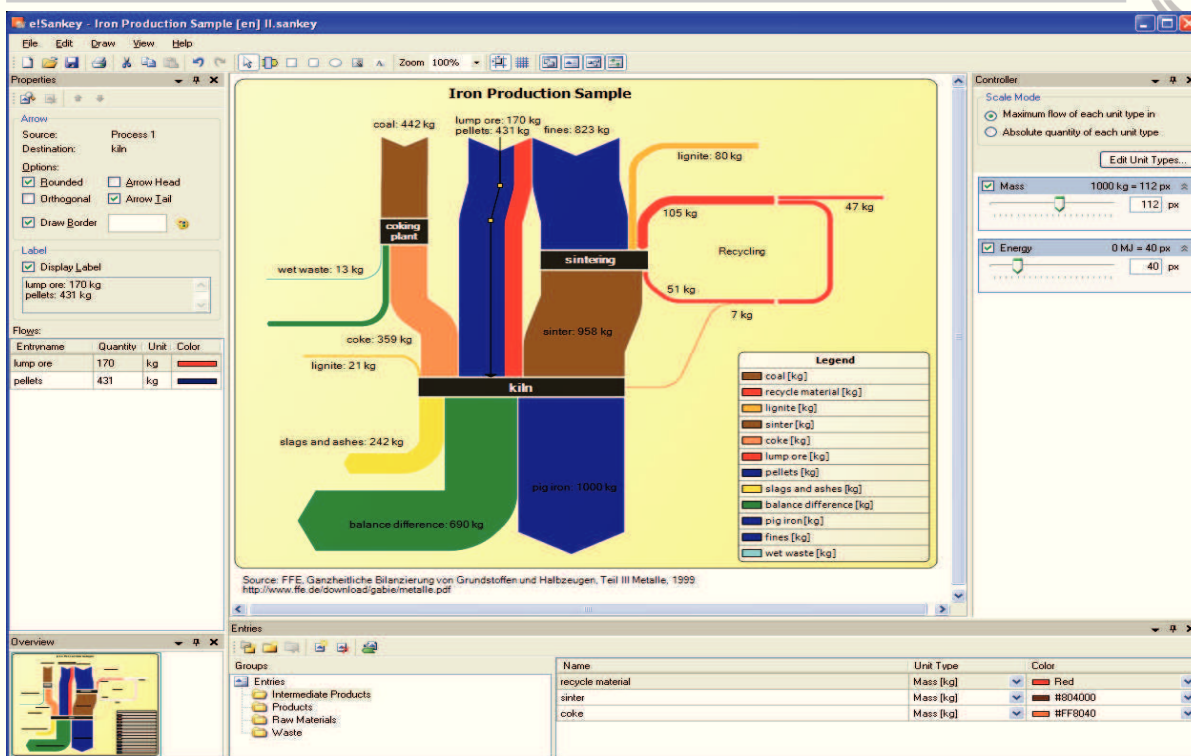


Energiekosten Beispielfirma

01. November 2005 00.00 Uhr bis 01. Dezember 2005 00.00 Uhr

Energieart	Kostenstellen	Teil	Verbrauch	Einheit	Verbrauchskosten	Verbrauch (t) + (M)	Einheit	Verbrauchskosten (t) + (M)	Verbrauch Maximum	Einheit	Umsatz des Unternehmens im Maximum	Umsatz des Unternehmens im Maximum
Elektr. Energie	Gesamt EM1 1101	HT	67.990,00	kWh	4.541,73 €	99.348,00	MWh	5.766,95 €	264,00	MWh	10.03.2004 16:30	1.366,00 €
	HT von 8:00 bis 21:00 Uhr	HT	22.399,00	kWh	1.258,22 €							
	Gesamter Verbrauch	HT	67.990,00	kWh	4.541,73 €							
Kosten kWh ohne KWKG		HT	20.888,06	kWh	1.344,79 €							
	Druckluftversorgung	HT	5.745,94	kWh	383,50 €							
	Druckluftversorgung	HT	46,75	kWh	2,52 €							
	Verwaltung/Verand	HT	10.967,40	kWh	732,62 €							
	Verwaltung/Verand	HT	2.929,70	kWh	185,01 €							
Kosten kWh ohne KWKG		HT	17.242,00	kWh	1.111,01 €							
	Produktion	HT	16.441,56	kWh	872,29 €							
	Lagerlösen	HT	11.459,00	kWh	758,50 €							
	Lagerlösen	HT	4.879,00	kWh	315,08 €							
Leistungspreis kW		HT	12.809,55	kWh	844,08 €							
	Produktion	HT	7,22	kWh	42,32 €							
	AP	HT	4.160,40	kWh	273,20 €							
	AP	HT	320,40	kWh	17,56 €							
	Umsatzsteuer Fest	HT	5190,10	kWh	346,09 €							
	Umsatzsteuer Fest	HT	1.829,14	kWh	80,52 €							
KWKG-Abgabe pro kWh												
Verbrauch = 8933 kWh pro Monat						8.933,00	kWh	33,47 €				
Verbrauch = 8933 kWh pro Monat						82.015,00	kWh	41,01 €				
Wasser												
Kosten Liter												
	Gesamter Verbrauch		62.177,00	l	226,44 €							
	Verwaltung W		30.156,00	l	109,59 €							
	Gebäude-W		11.975,00	l	43,32 €							
	Produktverbrauch		22.177,00	l	79,75 €							
Wärme-Energie Gas												
Kosten m³												
	Gesamter Verbrauch		1.025,50	m³	32,92 €							
	Produktion		1.025,50	m³	32,92 €							
Bereitstellung pro Jahr												
	Anzahl der 15 min-Intervalle pro Fertigungsraum		2001		95,64 €							
					95,64 €							
Wärme-Energie Heizung												
Kosten kWh												
	Gesamter Verbrauch		1.730,00	kWh	17,62 €							
	Verwaltung WE		21.790,00	kWh	716,06 €							
	Gebäude 1 HP		20.800,00	kWh	683,53 €							
	Gebäude 2 AP+Labor		5.700,00	kWh	187,31 €							
	Gebäude 4 HP		5.050,00	kWh	165,50 €							
	Gebäude 3 Sozial		0,00	kWh	0,00 €							
Bereitstellung pro Jahr												
	Anzahl der 15 min-Intervalle pro Fertigungsraum		2001		164,44 €							
					164,44 €							
Wärme-Energie Heizung												
Kosten kWh												
	Wärmerückgewinnung		1.454,80	kWh	47,83 €							
Umsatz												
	Verkauf											6,32 mg pro t

Verknüpfung z. B. mit eSankey



Quelle: eSankey der ifu Hamburg



FRAKO Kondensatoren- und Anlagenbau GmbH

Michael Höing
Tel.: 07641/453-620
Mail: hoeing@frako.de

AWT/VDMA – Seminar Energie- und Ressourceneffizienz



Effizienzsteigerung durch Verbindung von Anlagentechnik und Prozessführung

Matthias Rink, Dirk Joritz
Ipsen International GmbH
Bremen, 13. Juni 2012

© 2011 IpsenInternational GmbH

Übersicht

- Anlagentechnik - Einsparungen durch „elektrische“ und konstruktive Maßnahmen
- Einsparung durch verfahrenstechnische Optimierung und / oder optimierte Automatisierung
- Prozessgasminimierung bei thermochemischen Anwendungen

Reduzierung des Stromverbrauchs bei Vakuumofenanlagen

- LCP - Start®
- $\cos \varphi$ - Steuerung
- Etc.

3 Einsparungen durch „elektrische“ Maßnahmen



LCP-Start® (Low Current Power Start)

Auftretende maximale Stromaufnahme:

(Beispiel : Umwälzermotor 160kW)

ohne LCP 3600 A

mit LCP 570 A

-> Reduzierung der Energiekosten

-> Höhere Abkühlgeschwindigkeit

- erhöhter Abschreckintensität
- Stromersparnis von bis zu 70%
(in den betreffenden Phasen der Wärmebehandlung)

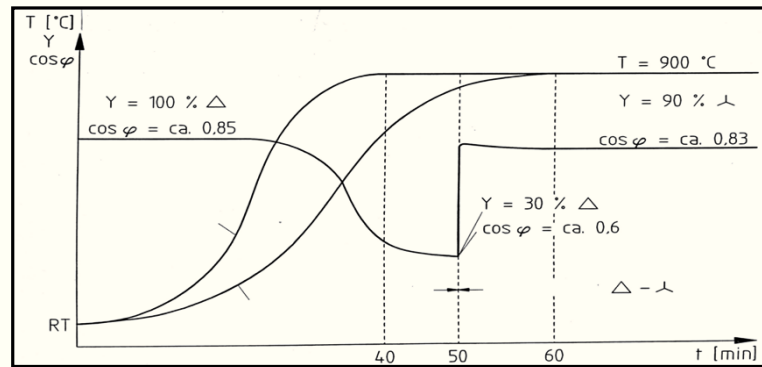


4 Einsparungen durch „elektrische“ Maßnahmen



Cosφ - Schaltung

Möglichkeit zur Reduzierung der Bildeistung bei elektrischen Heizelementen



-> Verringerung der Energiekosten (Blindleistung um bis zu - 40%)

5 Einsparungen durch „elektrische“ Maßnahmen



Weitere “elektrische” Maßnahmen

- Intelligente Vakuumpumpenabschaltung
- Abschaltung/Aktivierung der Peripheriegeräte
- Etc.

6 Einsparungen durch „elektrische“ Maßnahmen



Einsparungen durch konstruktive Maßnahmen

- Brenner / Heizsysteme
- Isolierungen

7



Brenner-/Heizsysteme

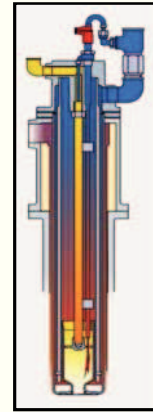
- Verwendung von effizienten Brennern -
Rekuperatorbrenner
- Moderne Materialien
- Brennersteuerungen

8 Brenner-/Heizsysteme



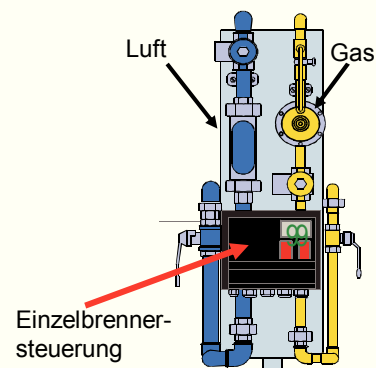
Einsatz von Gasbrenner mit keramischen Strahlrohren

- Verbesserung des Wirkungsgrades durch besseren Wärmeübergang
- für horizontalen und vertikalen Einsatz geeignet
- wartungsfreundlicher
- aus temperaturbeständigem SiC
- für Temperaturen bis 1200°C



9 Brenner-/Heizsysteme

Intelligente Heizungsregelung durch Einzelbrennersteuerung



10 Brenner-/Heizsysteme

Verringerung der Wärmeverluste durch bessere Isolierungen

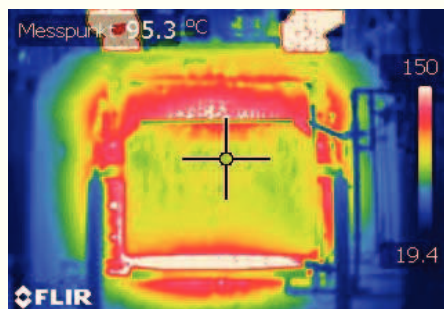
Zur hohen Energieeffizienz eines modernen Ofens trägt auch die optimale Wärmedämmung bei. Der Schlüssel für eine gute Isolierung ist hier die Kombination von unterschiedlichen Isoliermaterialien.

Dies betrifft sowohl die Atmosphären- wie auch die Vakuumofen – Technologie, wobei die verwendeten Materialien und Vorgehensweisen sich doch erheblich unterscheiden.

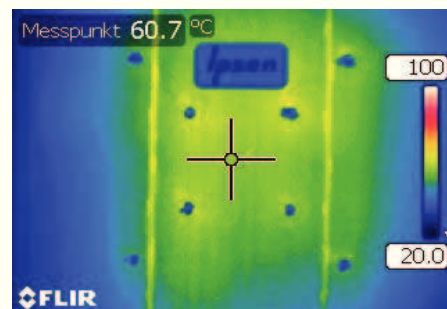
11 Einsparungen durch konstruktive Maßnahmen



Verringerung der Wärmeverluste durch bessere Isolierungen



altes Design -
Heizkammertür



neues Design -
Heizkammertür

12 Einsparungen durch konstruktive Maßnahmen



Einsparpotential durch optimierte Verfahrenstechnik

- Durch Optimierung der Wärmebehandlungsprogramme können Prozesszeiten minimiert werden. Dies kann durch Variationen der Behandlungstemperaturen oder des Kohlenstoffgehalts der Ofenatmosphäre erreicht werden.
- Es sind aber zwingend die Zielvorgaben der Wärmebehandlung zu beachten (z.B. Verzüge), die besonders bezüglich der Behandlungstemperatur Grenzen setzen können.



13

Vergleich eines Härtezyklus'

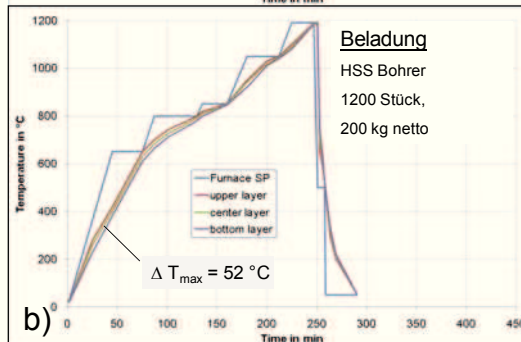
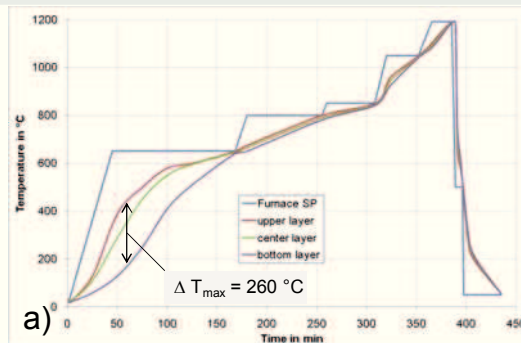
- Erwärmen unter:
- Vakuum (Strahlung) und
 - Inertgas (Konvektion)

Schnellere Aufheizzeit:

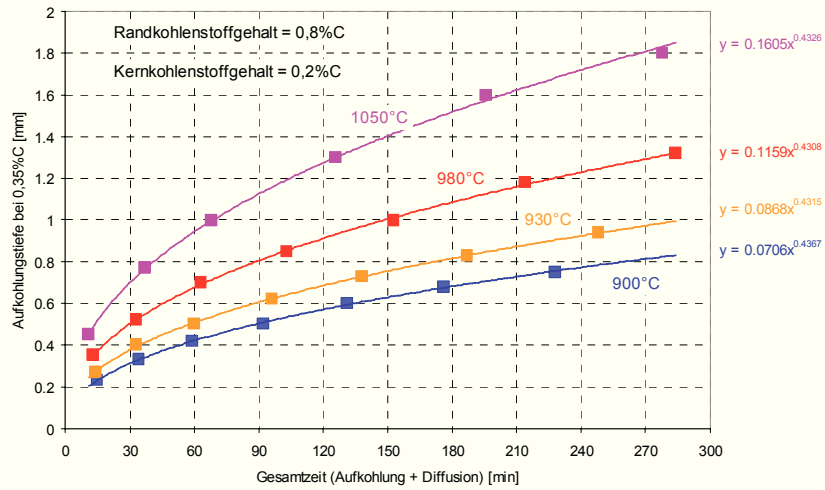
- kürzere Zykluszeiten,
- bessere Temperaturgleichmäßigkeit

aber:

- höherer Gasverbrauch
- nicht für alle Materialien möglich



Aufkohlungstiefe in Abhängigkeit von der Temperatur



15 Einsparpotential durch optimierte Verfahrenstechnik

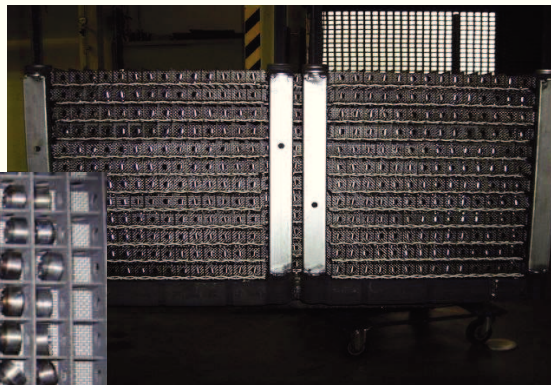


Beispielcharge 10200 "Düsenkörper"

- Optimierter Prozess
- Ideale Chargierung



Detailansicht

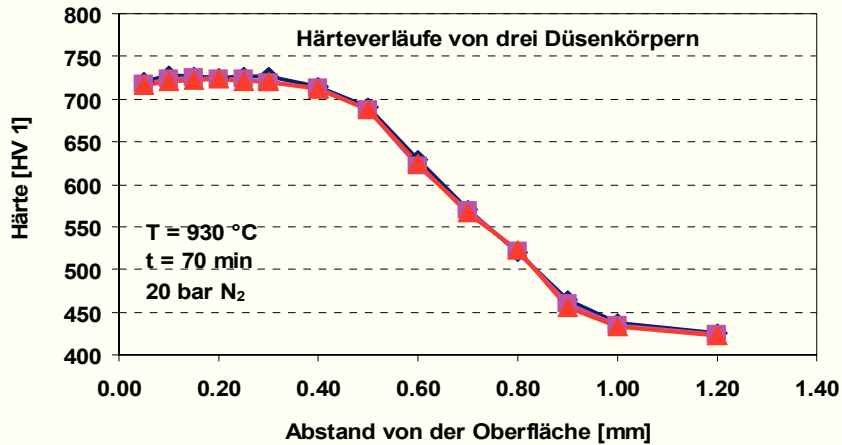


Gesamtansicht

16 Einsparpotential durch optimierte Verfahrenstechnik und Chargierung



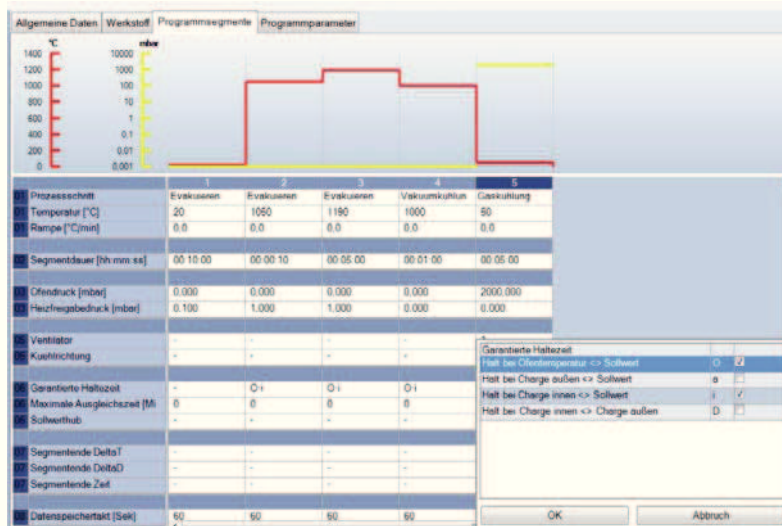
Härteverläufe dreier Düsenkörper aus den Lagen 1, 6 und 12



17 Einsparpotential durch optimierte Verfahrenstechnik



Programmsegmente mit Chargenthermoelementen

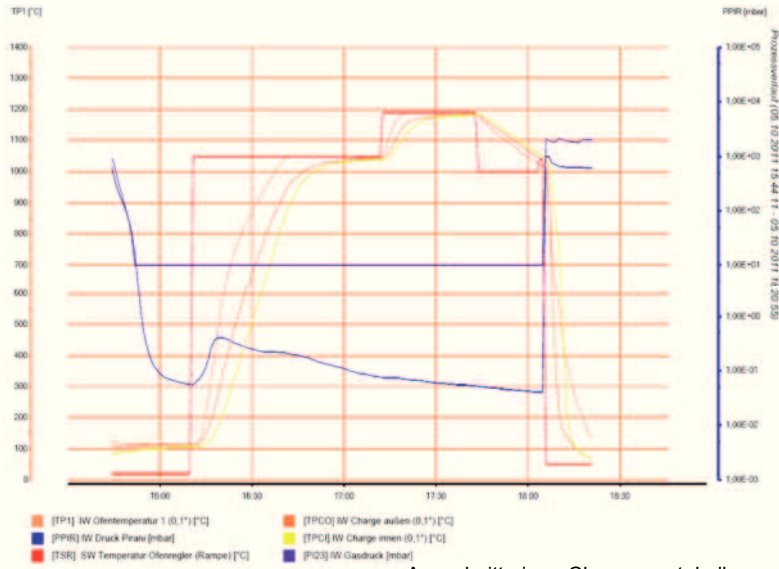


Bildschirmausschnitt Vacu-Pro 4



18 Prozessführung

Prozessverlauf Vacu-Prof 4.0



Ausschnitt eines Chargenprotokolls



19 Prozessführung

Modul „Prozess“

Kunde	Auftrag	Artikel	Gewicht	Rezeptur
01	Kunde A	Auftrag A	Artikel A	1 kg 1 Dk
02	Kunde B	Auftrag B	Artikel B	2 kg 2 Dk
03	Kunde C	Auftrag C	Artikel C	3 kg 3 Dk
04	Kunde D	Auftrag D	Artikel D	4 kg 4 Dk
05	Kunde E	Auftrag E	Artikel E	5 kg 5 Dk



20 Prozessführung

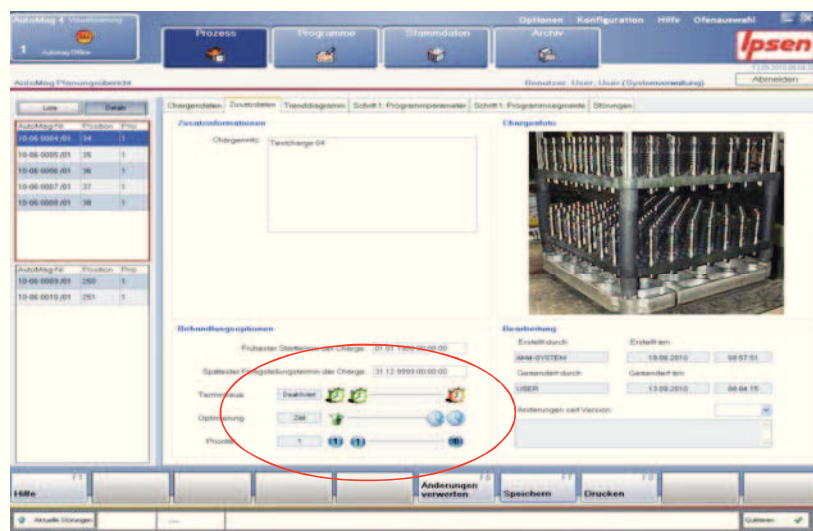
Einsparpotential durch optimierte Automatisierung AutoMag 4.0

- Durch optimierte Auslastung aller Anlagenteile können Leerstandszeiten vermieden werden und die Produktivität der Gesamtanlage steigt an.
- Durch diese höhere Produktionseffizienz werden natürlich auch alle Ressourcen (Gase und Energie) optimiert verwendet.



21 Automatisierung


Chargenspezifische Behandlungsoptionen



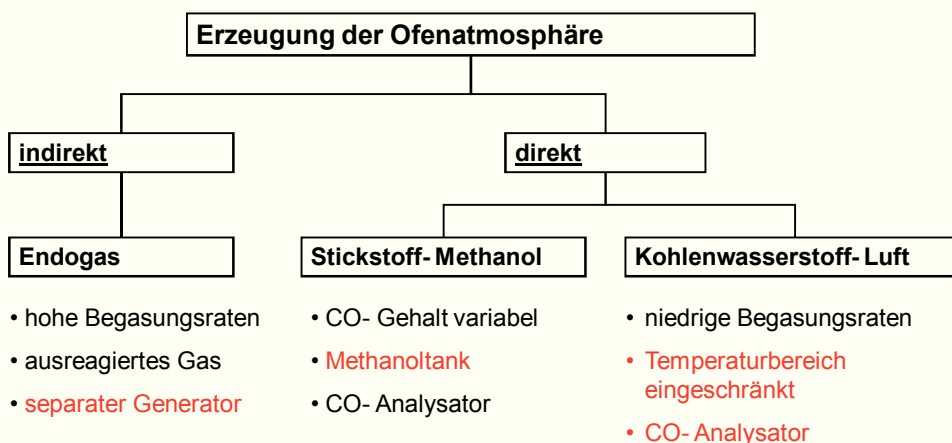
22 Automatisierung

Energiesparfunktion / Termintreue

23 Automatisierung



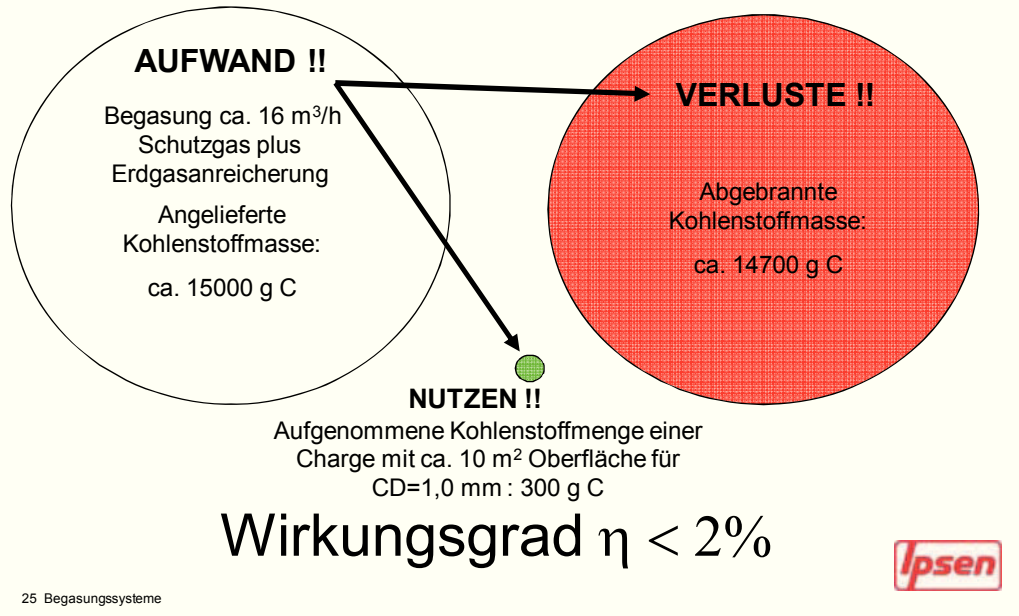
Verschiedene Begasungssysteme bei der Gasaufkohlung



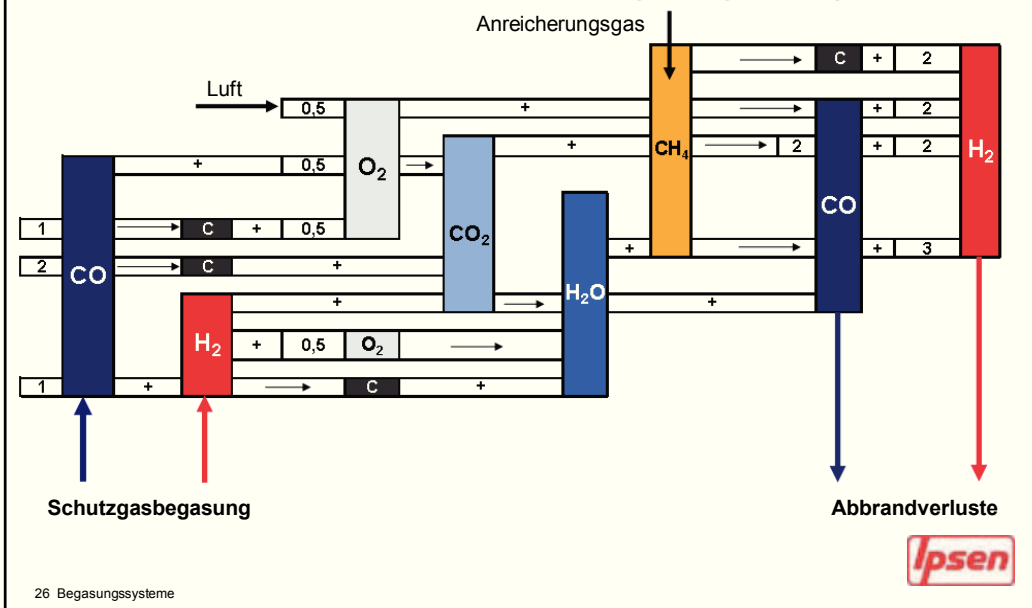
24 Begasungssysteme



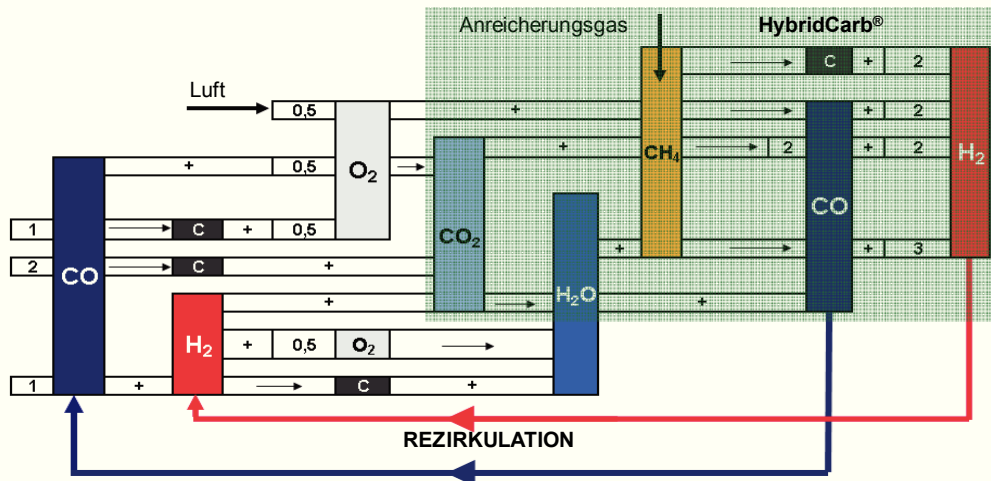
Wirkungsgrad der Aufkohlung bei Spülbegasung



Schema herkömmliche Aufkohlungsbegasung



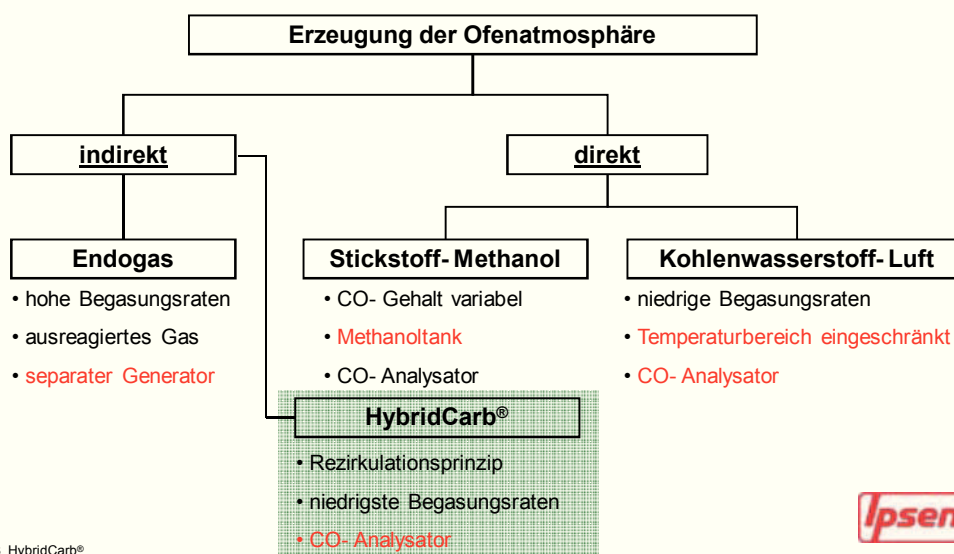
Schema HybridCarb® -Realisierung des Aufbereitungsprozesses-



27 HybridCarb®



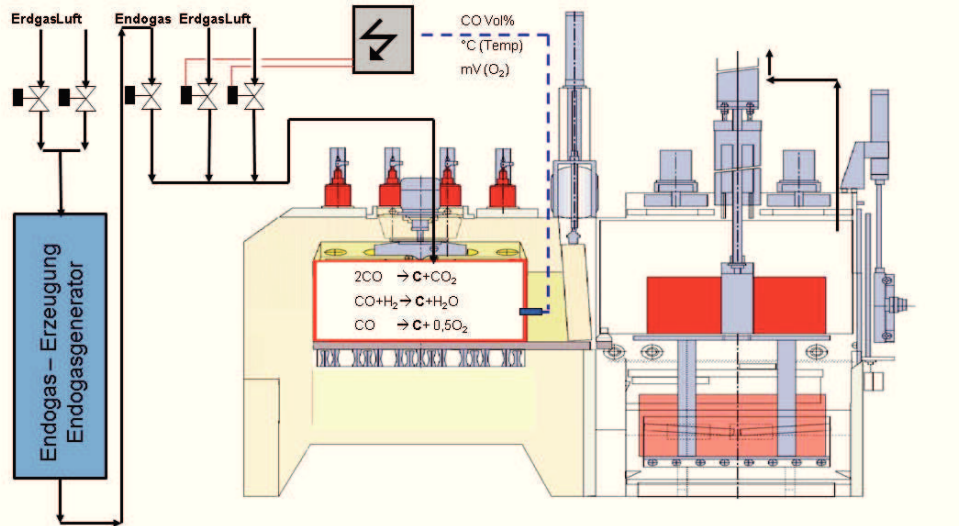
Verschiedene Begasungssysteme bei der Gasaufkohlung



28 HybridCarb®



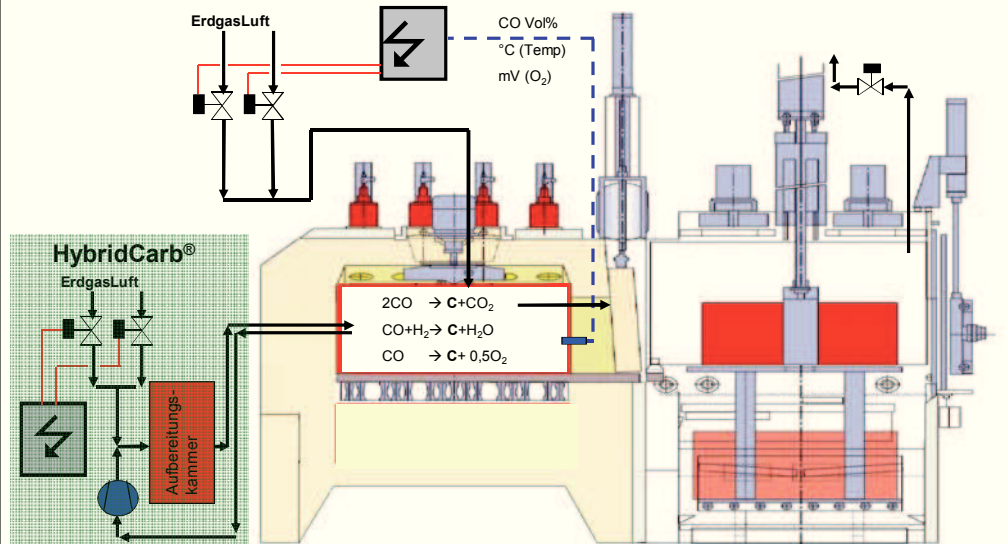
Endogas – System



29 HybridCarb®

Ipsen

Ofen mit HybridCarb® System



30 HybridCarb®

Ipsen

HybridCarb® der 2. Generation im Einsatz



Installation am
RTQ-26 Ofen

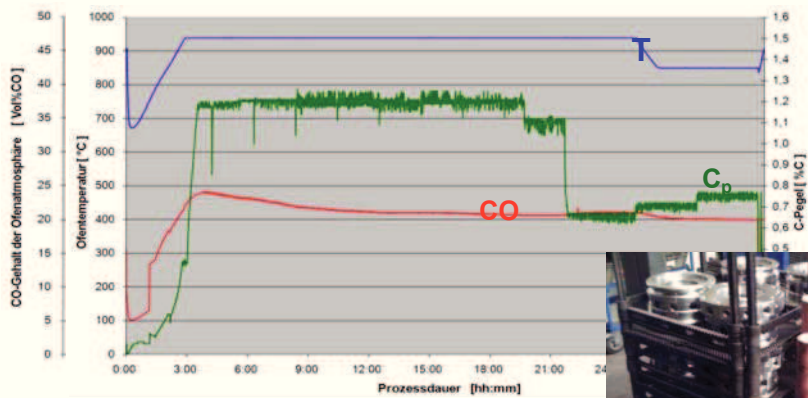


Installation am
RTQ-17 Ofen



31 HybridCarb®

Prozessverlauf der 2 t Charge (CHD 2,50 mm)

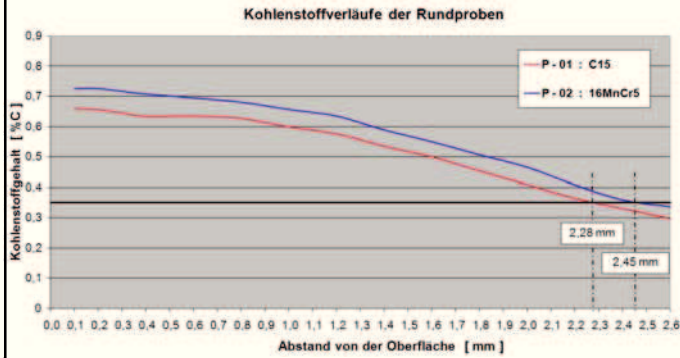


Prozessverlauf in einer TQ-17 Ofenanlage



32 HybridCarb®

C-Verlauf & Verbrauch der 2 t Charge (CHD 2,50 mm)



Verbräuche:

Prozessdauer : 32,5 h

Erdgas
(HybridCarb®) : 19,76 m³

Erdgas
(Anreicherungsgas) :

3,90 m³

Erdgasverbrauch gesamt:

23,66 m³

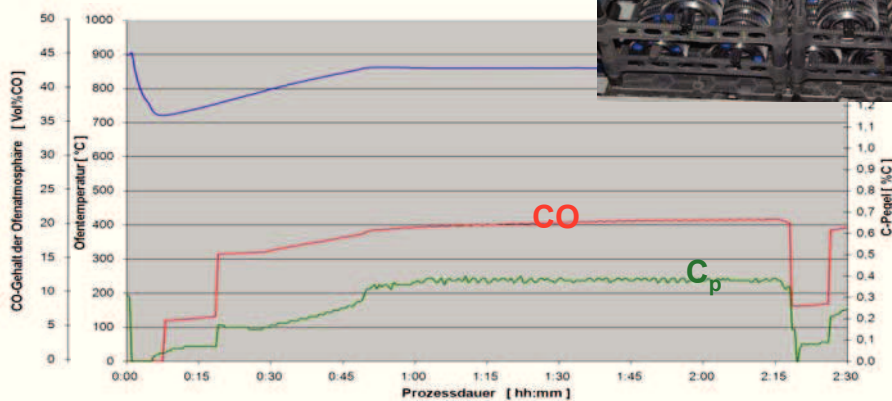
Erdgasverbrauch pro Stunde :

~ 0,71 m³/h



33 HybridCarb®

Prozessverlauf der Härtecharge



Prozessverlauf in einer TQ-17 Ofenanlage, m=615 kg



34 HybridCarb®

Prozessgasverbrauch der Härtecharge

Prozessdauer : 2,33 h

Erdgas (HybridCarb®) : 2,05 m³

Erdgas (Anreicherungsgas) : 0,36 m³

Erdgasverbrauch pro Charge: 2,41 m³

Erdgasverbrauch pro Stunde : ~1,03 m³/h



35 HybridCarb®

Vergleich des Prozessgasverbrauches HybridCarb® und Endogas

TQ-17 Ofenanlage

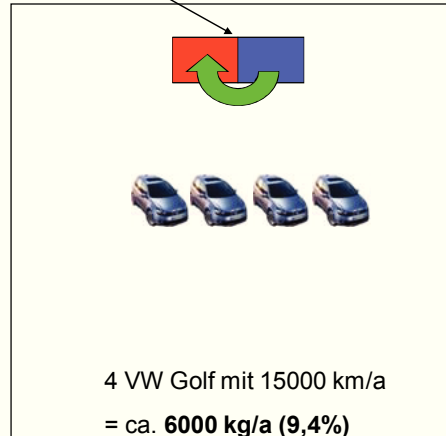
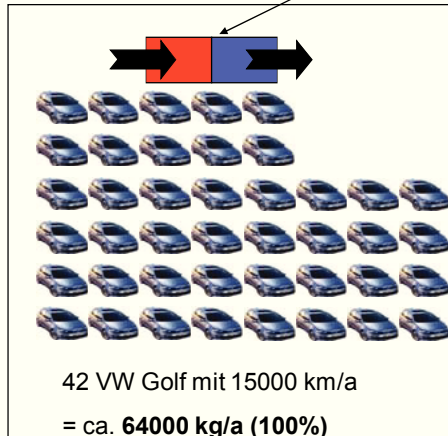
Prozess	CD / CHD	Gewicht	Dauer	Endogas				Hybrid Carb		Einsparung		
				Trägergas		Summe		Summe		pro Stunde	pro Zyklus	%
				gesamt	Erdgas - äquivalent	pro Stunde	pro Zyklus	pro Stunde	pro Zyklus			
[mm]	[kg]	[h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³]	[m ³ /h]	[m ³]	[m ³]	[m ³ /h]	[%]	
Aufkohlen	0,7	1800	9,25	18,0	4,0	4,0	37,0	0,65	5,97	3,35	31,03	83,9
	1	1838	10,95	18,0	4,0	4,0	43,8	0,41	4,44	3,59	39,36	89,9
	1,2	1000	9,5	18,0	4,0	4,0	38,0	0,44	4,17	3,56	33,83	89,0
	1,7	2000	18,75	18,0	4,0	4,0	75,0	0,47	8,76	3,53	66,24	88,3
	2,1	2000	25,33	18,0	4,0	4,0	101,3	0,48	12,26	3,52	89,06	87,9
	2,2	1383	29,14	18,0	4,0	4,0	116,6	0,45	13,21	3,55	103,35	88,7
	2,5	2000	32,5	18,0	4,0	4,0	130,0	0,61	19,76	3,39	110,24	84,8
Härten		1000	3,25	18,0	4,0	4,0	13,0	0,87	2,83	3,13	10,17	78,2
		1000	5	18,0	4,0	4,0	20,0	0,77	3,86	3,23	16,14	80,7
		600	4,75	18,0	4,0	4,0	19,0	0,72	3,41	3,28	15,59	82,1



36 HybridCarb®

CO₂-Bilanz

-Endogas vs. HybridCarb® -



für Ofengröße 17



37 HybridCarb®

Fazit

Durch umfassende Maßnahmen in den Bereichen

- Konstruktion,
- Komponentenauswahl,
- Prozessführung und
- Automatisierung

ist es letzter Zeit immer besser möglich geworden,
Wärmebehandlungen nicht nur qualitativ hochwertig,
sondern zusätzlich auch noch energieeffizient zu gestalten.



38

Energetische Optimierung von thermochemischen Vakuumprozessen und Anlagen

Volker Heuer, Klaus Löser, ALD Vacuum Technologies GmbH, Hanau

1. Einleitung

Die energetische Optimierung von Thermoprozessanlagen ist sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten von großer Bedeutung. So belaufen sich die jährlichen Energiekosten für die Betreiber von Industrieöfen in Deutschland auf circa 30 Milliarden Euro [Ben2011].

Die EU hat im Rahmen des sogenannten „Energie- und Klimapakets“ folgende Ziele bis 2020 ausgegeben: Steigerung der Energieeffizienz um 20%, Reduktion der Treibhausgasemissionen um 20% und Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien um 20%.

Dies kann nur gelingen, wenn auch im Bereich der Thermoprozessanlagen signifikante Energieeinsparungen erzielt werden, denn circa 40% der industriell genutzten Energie in Deutschland werden in Thermoprozessanlagen verbraucht [Ben2011]. So wurden im Jahre 2005 circa 270 TerraWattstunden verbraucht. Dies entspricht in etwa dem Energieverbrauch von 14 Millionen Haushalten.

Eine Steigerung der Energieeffizienz bewirkt nicht nur für gasbeheizte sondern auch für elektrisch beheizte Industrieöfen einen signifikanten Beitrag zur Kohlendioxid-Reduktion. Mit jeder eingesparten Kilowattstunde Strom wird der Ausstoß von 520g Kohlendioxid vermieden (Stand 2005).

2. Thermochemische Prozesse in Vakuumanlagen

Viele Verfahren der Thermoprozesstechnik werden im Vakuum durchgeführt. Zumeist werden Vakuumverfahren eingesetzt um während des thermischen Prozesses unerwünschte Oberflächenreaktionen am Nutzgut wie z.B. die Oxidation von metallischen Bauteilen zu vermeiden. Die Vakuumprozesstechnik bietet eine einfache und wirtschaftliche Möglichkeit eine Schutzgasatmosphäre herzustellen, denn bereits bei einem Vakuum von 10^{-2} bis 10^{-3} mbar liegt eine Atmosphärenqualität vor, die mit der industrieller Gase wie z.B. Stickstoff (Qualität 4.6) vergleichbar ist [Heu2010]. Eine Vielzahl unterschiedlicher Prozesse wird im Vakuum durchgeführt wie z.B.:

- Glühen,
- Vergüten (=Neutralhärten),
- Thermochemische Prozesse (z.B. Niederdruckaufkohlung, Plasmaaufkohlung, Niederdruck-Nitrieren, Plasmanitrieren, Carbonitrieren),
- Löten und
- Bainitisieren.

Als Beispiel für einen thermochemischen Prozess in einer Vakuumanlage wird im Folgenden die Niederdruckaufkohlung näher erläutert. Bei der Niederdruckaufkohlung (NDA) handelt es sich um ein Einsatzhärtungsverfahren, welches unter Ausschluss von Sauerstoff bei Drücken zwischen 5mbar und 15mbar sowie Temperaturen zwischen 870°C und 1050°C durchgeführt wird. Im den meisten Anwendungsfällen liegt die Aufkohlungstemperatur zwischen 920°C und 980°C.

In Abb.1 ist eine schematische Darstellung des Prozessablaufs dargestellt. Zunächst wird die Charge unter Vakuum in den Ofenraum eingeschleust. Dann folgt die konvektive Erwärmung unter 1,2 bar Stickstoff. Diese konvektive Erwärmung dient zur schnellen und homogenen Erwärmung der Bauteile. Eine weitere Erwäm- und Durchwärmphase unter Vakuum schließt sich daran an. Nachdem alle Bauteile die gewünschte Aufkohlungstemperatur erreicht haben, beginnt die eigentliche Aufkohlung und Diffusion.

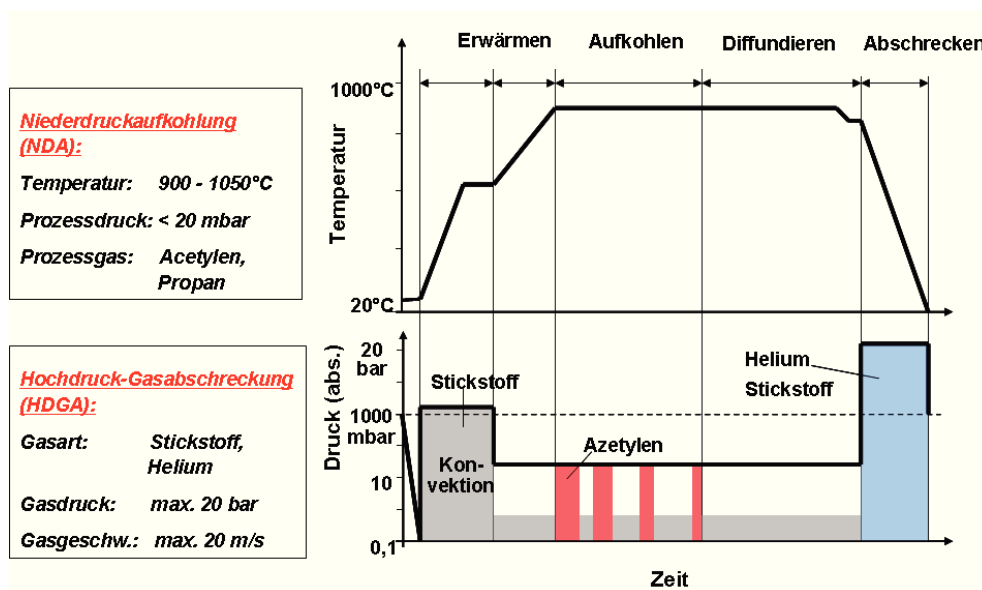


Abb. 1: Prozessablauf Niederdruckaufkohlung und Hochdruckgasabschreckung

Als Kohlenstoffspender werden sauerstofffreie Kohlenwasserstoffe wie Acetylen C_2H_2 (=Ethin) und Propan C_3H_8 verwendet. Diese Kohlenwasserstoffe werden in den Ofenraum eingedüst. Dabei stellt sich ein Druck von wenigen mbar ein, der während der Pulsdauer geregelt wird. Acetylen weist eine Kohlenstoffausnutzung von ca. 60 % und Propan von ca. 25 % auf. Als Ausnutzung wird dabei das Verhältnis zwischen der in die Charge eindiffundierten Kohlenstoffmenge und der in Form von Kohlungsgas in den Ofenraum eingedüsten Kohlenstoffmenge verstanden.

Bei optimaler Prozessführung wird eine Einsatzschicht frei von Karbiden und mit geringem Restaustenitanteil erzeugt. Die NDA zeichnet sich zudem durch Randoxidationsfreiheit aus. Die verwendeten Gase und die Ofenatmosphäre sind frei von Sauerstoff. Damit wird sowohl eine intergranulare Oxidation als auch eine Randoxidation an der Bauteiloberfläche sicher vermieden.

Im Regelfall schließt sich an die NDA eine Hochdruckgasabschreckung (HDGA) der Bauteile an. Bei der HDGA werden die zuvor austenitisierten bzw. thermochemisch behandelten Bauteile mit Hilfe eines inerten Gasstroms im Druckbereich zwischen 2 bar und 20 bar abgeschreckt. Die HDGA gilt als umweltfreundliches

und verzugsarmes Abschreckverfahren im Vergleich zur Flüssigabschreckung wie Öl-, Polymer- oder Wasserabschreckung. Zur Hochdruck-Gasabschreckung werden in der Regel technische Gase, wie z.B. Stickstoff, Helium und Argon bzw. Gemische dieser Gase eingesetzt. Dabei werden Gasdrücke von bis zu 20 bar und Gasgeschwindigkeiten von bis zu 20 m/s verwendet.

Abb. 2 zeigt eine Vakuumanlage zur Niederdruckaufkohlung mit anschließender Hochdruckgasabschreckung.

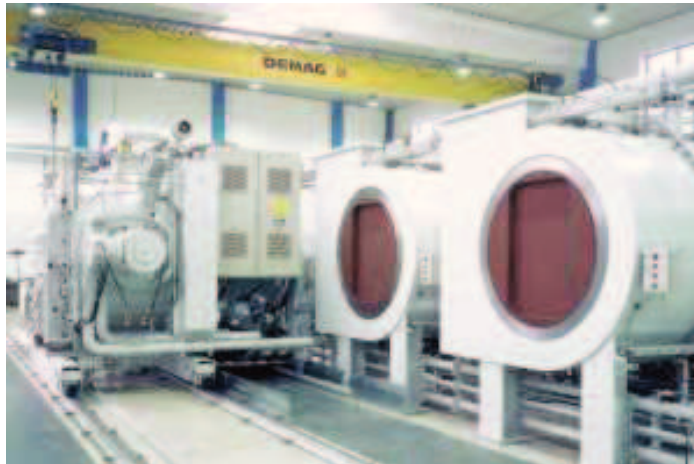


Abb. 2: Anlage vom Typ Modultherm[®] (mit separaten Behandlungskammern zur Niederdruckaufkohlung und einer verfahrbaren Abschreckkammer zur HDGA)

3. Energieströme im Ofenraum

Vakuumwärmebehandlungsanlagen werden üblicherweise elektrisch beheizt. Dabei erfolgt die Beheizung über indirekte Widerstandserwärmung mit graphitischen oder metallischen Heizleitern in Form von Stäben oder Bändern. Die Energie wird von den Heizleitern durch Strahlung und Konvektion auf das Nutzgut übertragen.

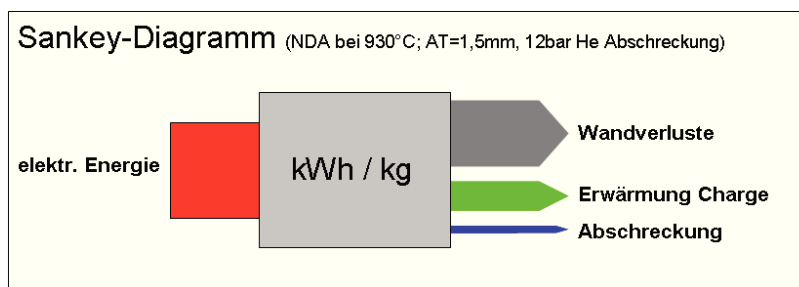


Abb. 3: Energieströme im Ofenraum in kWh pro 1 kg Chargengewicht (Vakuumwärmebehandlungsanlage im stationären Zustand)

Abb. 3 zeigt die Energieströme in einer Vakuumwärmebehandlungsanlage im stationären Zustand. D.h. es wird davon ausgegangen, dass die Anlage sich bereits vor Einbringen der Charge auf Temperatur befindet. In diesem Beispiel wurde eine Charge mit Bruttogewicht von 800 kg bei 930°C auf eine Aufkohlungstiefe von 1,5 mm aufgekocht und anschließend mit 12 bar Helium abgeschreckt. Als elektrische Energie wird die

Heizleistung in die Behandlungskammer sowie die während der Gasabschreckung erforderliche Gebläse- und Pumpleistung in die Abschreckkammer eingebracht. Abb. 3 zeigt die Aufteilung der eingebrachten Energie in Erwärmung der Charge, Abschreckung und Wandverluste bezogen auf 1 kg Chargengewicht. Unter Wandverlusten werden die sogenannten „Leerverluste“ verstanden, die während des Prozesses durch die Wände nach außen abgeführt werden.

Es gilt jedoch nicht nur den stationären Zustand der Anlage zu betrachten, sondern auch den instationären Zustand, also das Aufheizen und Abkühlen der Behandlungskammern. Es wird dabei unterschieden zwischen Einkammeranlagen und Mehrkammeranlagen. Bei den Einkammeranlagen wird der thermochemische Prozess und die Gasabschreckung in einem Aggregat durchgeführt. Bei den Mehrkammeranlagen wird der thermochemische Prozess in sogenannten Behandlungskammern und die Abschreckung separat in einer sogenannten Abschreckkammer durchgeführt, siehe auch Abb. 2.

Der energetische Vorteil der Mehrkammertechnik besteht darin, dass die Behandlungskammern stets auf Temperatur gehalten werden und somit keine zusätzliche Energie für Erwärmung und Abkühlung der Behandlungskammern verbraucht wird, siehe auch Abb.4.

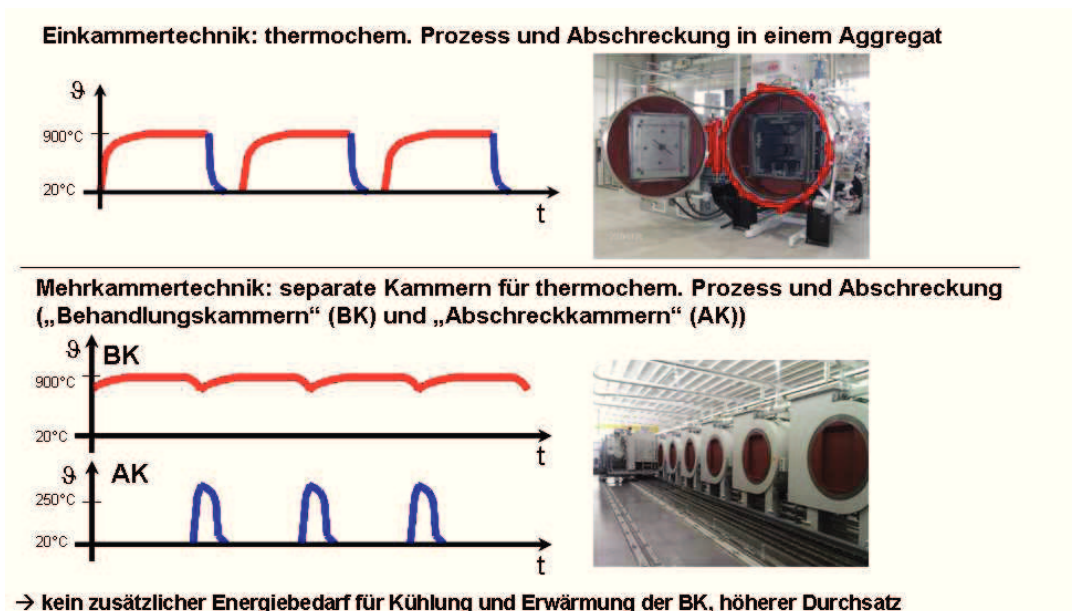


Abb. 4: Vergleich des Temperaturverlaufs in Einkammer- und Mehrkammeranlagen der Vakuumprozessestechnik

4. Optimierte Wärmedämmung

Die Innenwände von Vakuumwärmebehandlungsanlagen werden üblicherweise mit Hartfilzplatten aus Graphit zugestellt. Um die Wandverluste zu reduzieren, empfiehlt sich jedoch eine zusätzliche Dämmung mit Keramikfasermodulen.

So konnten die Wandverluste bei 950°C und einer Atmosphäre von 5 mbar Stickstoff durch den Einbau von zusätzlichen Keramikfasermodulen aus $Al_2O_3 + SiO_2$ um 44% reduziert werden.

5. Optimierte Chargiersysteme

In vielen Fällen werden hochnickelhaltige Stähle als Chargiermaterial eingesetzt. Der Energiebedarf zur Erwärmung der Chargiergestelle kann jedoch deutlich reduziert werden durch den Einsatz von kohlefaserverstärktem Kohlenstoff (CFC-Material). Abb. 5 zeigt ein typisches Chargiergestell aus CFC-Material.



Abb. 5: Chargiergestell aus CFC-Material [Gra2011]

Vergleich CFC- /Stahl- Werkstückträger (Werte bezogen auf einen Härterost)		
Material	CFC	Stahlguss (1.4818)
Dichte	1,6 kg/dm ³	7,9 kg/dm ³
Gewicht Träger	1 kg	12 kg
spez. Wärmekapazität	1,8 kJ/kgK	0,7 kJ/kgK
Energiebedarf zum Heizen auf 1000°C	1.764 kJ (21%)	8.232 kJ (100%)
Biegefestigkeit bei 1000°C	~ 230 MPa	~ 10 MPa
Ausdehnungskoeffizient	5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹	12 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹

Abb. 6: Vergleich zwischen Chargiermaterial aus CFC und Stahlguss [Gtd2011]

In Abb. 6 ist ein Vergleich zwischen CFC-Material und Stahlguss dargestellt. Die spezifische Wärmekapazität von CFC ist höher als die von Stahlguss. Aber aufgrund des deutlich geringeren Gewichts von CFC ist der Energiebedarf zum Heizen signifikant kleiner. So kann der Energiebedarf zum Heizen auf 1000°C von 8232 kJ auf 1764 kJ reduziert werden durch Umstellung von Stahlguss auf CFC. Dies entspricht einer Reduzierung um 79%.

6. Energieeffizienz bei Teilauslastung der Produktion

Bei Betrachtung des Energieverbrauchs in Thermoprozessanlagen sollte nicht nur die volle Produktionsauslastung der Anlagen, sondern auch eine eventuelle Teilauslastung berücksichtigt werden.

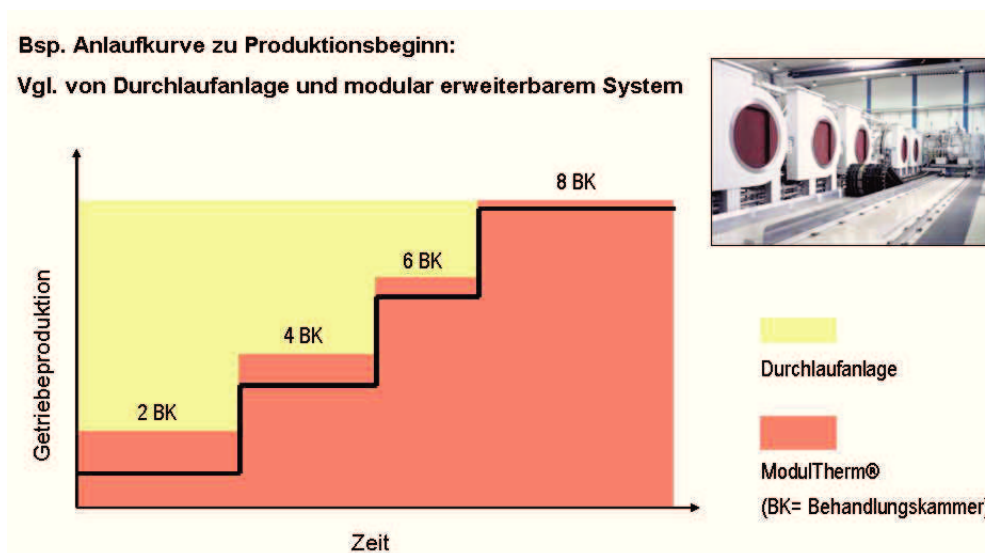


Abb. 7: Anlagenauslastung während der Anlaufkurve zu Produktionsbeginn eines neuen Getriebes

Zu Beginn der Produktion eines neuen Getriebes werden z.B. die Stückzahlen zunächst Stufe für Stufe angehoben. Abb. 7 zeigt den Anstieg der Getriebeproduktion. Wenn eine Durchlaufanlage zur Wärmebehandlung der Getriebekomponenten installiert wird, so ist diese zunächst schlecht ausgelastet. Dies hat sowohl ökonomische als auch ökologische Nachteile, da der Energieverbrauch unnötig hoch ist. Mit Hilfe eines modular erweiterbaren Systems, kann die Kapazität den tatsächlichen Produktionserfordernissen folgen, siehe Abb. 7.

In Abb. 8 ist der typische Verlauf einer jährlichen Getriebeproduktion dargestellt. Häufig wird in den Sommermonaten die Produktion gedrosselt. Bei Einsatz einer Durchlaufanlage bleibt der Energieverbrauch durchgehend auf hohem Niveau. Wird jedoch ein modular aufgebautes System eingesetzt, so können je nach Bedarf einzelne Behandlungskammern abgeschaltet werden. Somit kann der Energieverbrauch signifikant reduziert werden. Im Beispiel aus Abb. 8 konnte der Energieverbrauch von 6400 MWh auf 4800 MWh pro Jahr gesenkt werden. Dies entspricht einer Reduzierung des jährlichen Energieverbrauchs von 25%.

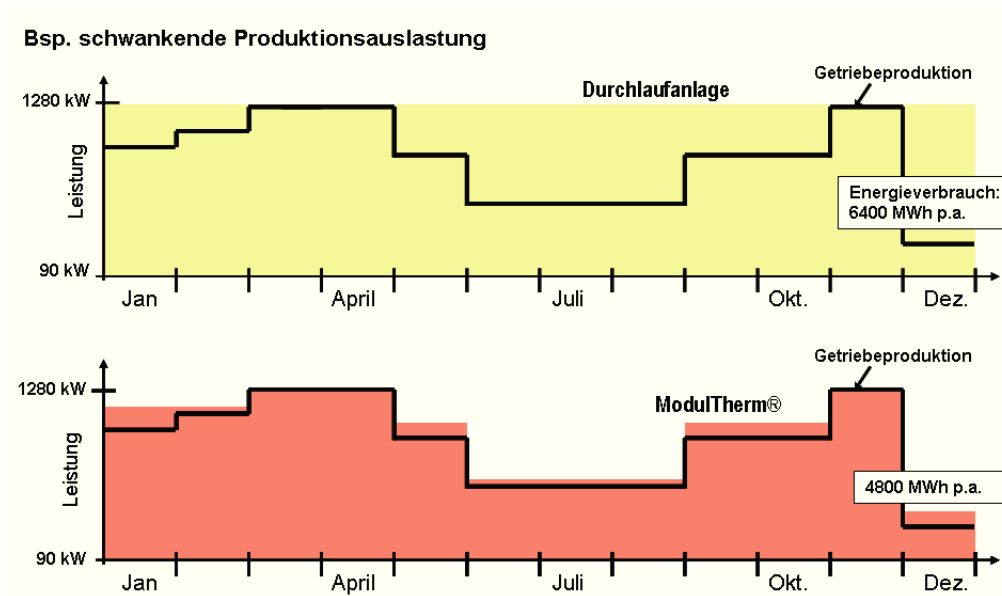


Abb. 8: Typische Anlagenauslastung in der Getriebeproduktion betrachtet über Zeitraum von einem Jahr

7. Energiemanagementsysteme zur Vermeidung von Lastspitzen

Bei Betrachtung der Energiekosten ist nicht nur der tatsächliche Energieverbrauch von Bedeutung. Die Kosten, die der Betreiber eines Industrieofens dem Stromversorger zu begleichen hat, richten sich auch nach der maximalen Lastspitze, die der Stromversorger für den Betreiber bereithalten muss.

Betriebsarten

Status: Autostart Normalbetrieb Ausfahren

Tag	ein [SS:MM]	aus [SS:MM]
Sonntag	22:00	00:00
Montag	00:00	00:00
Dienstag	00:00	00:00
Mittwoch	00:00	00:00
Donnerstag	00:00	00:00
Freitag	00:00	00:00
Samstag	00:00	14:00

Reihenfolge	BK	Wert
1.	BK	4
2.	BK	3
3.	BK	1
4.	BK	2
5.	BK	5
6.	BK	6

Abb. 9: Automatisiertes An- und Abfahren zur Vermeidung von Lastspitzen (Modultherm® - Anlage)

Moderne Thermoprozessanlagen bieten ein automatisiertes An- und Abfahren der Anlage. Dabei werden Reihenfolge und Zeitpunkt zum Einschalten der Aggregate festgelegt. Somit werden Lastspitzen gesenkt und es wird unnötiges Heizen vermieden. Abb. 9 zeigt beispielhaft wie das automatisierte An- und Abfahren eingerichtet werden kann. Das An- und Abfahren kann manuell oder per Zeitschaltuhr initiiert werden.

8. Energieeffizienz durch beschleunigte Prozesse

Wie in Abb. 3 dargestellt, tragen die Wandverluste erheblich zum Energieverbrauch einer Vakuumanlage bei. Diese Wandverluste können signifikant reduziert werden, wenn die Prozesse verkürzt werden. Nachfolgend werden zwei Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz durch beschleunigte Prozesse näher erläutert.

8.1 Konvektive Erwärmung

Da die Wärmeübertragung durch Strahlung im Temperaturbereich unterhalb von etwa 700°C nur sehr langsam erfolgt, empfiehlt sich es sich die Charge zusätzlich konvektiv zu erwärmen. Dazu werden die Anlagen mit einem internen Gasumwälzer ausgerüstet. Zu Prozessbeginn wird der evakuierte Ofen mit Stickstoff bis zu einem Druck von 1,2 bis 2 bar abs. geflutet. Durch die Umwälzung des Stickstoffs wird die Wärmeübertragung verbessert [Heu2010].

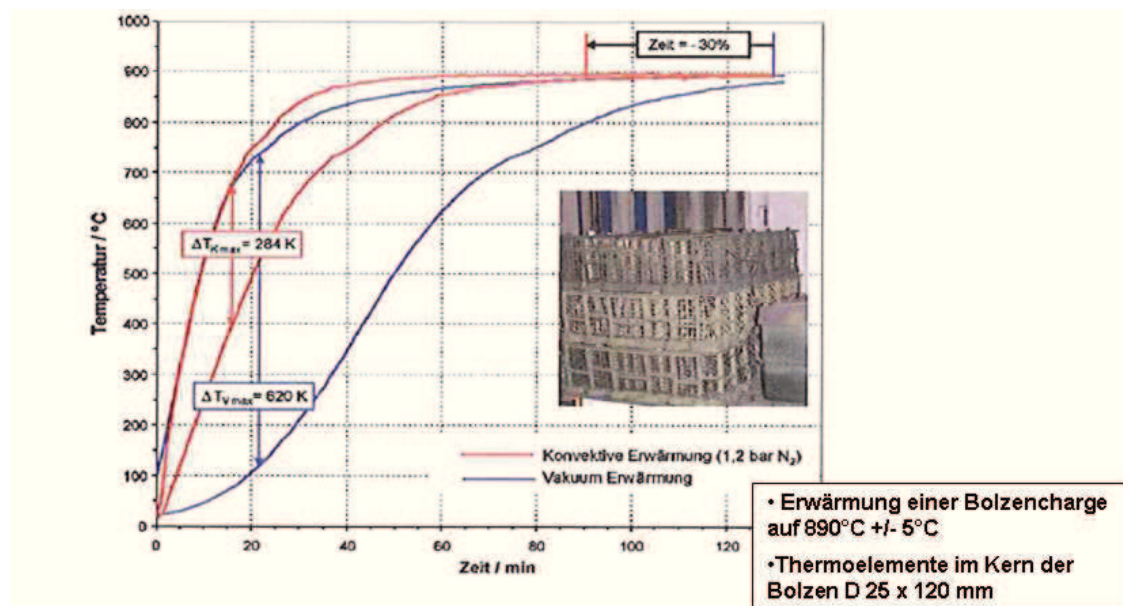


Abb. 10: Vergleich des Aufheizverhaltens bei konvektiver bzw. Vakuum Erwärmung

Abb. 10 zeigt, dass die Erwärmdauer einer dicht gepackten Charge aus Metallbolzen auf 900°C durch Konvektionsbetrieb von 130 min auf 90 min verkürzt wird. Der Wandverlust dieser Anlage beträgt unter Vakuum 28,5 kW. Multipliziert mit der Erwärmdauer von 2,17 h ergibt sich ein Energieverbrauch durch Wandverlust von 62 kWh. Der Wandverlust unter konvektiver Erwärmung mit 1,2 bar N₂ beträgt 37 kW. Aufgrund der verkürzten Erwärmdauer von 1,5 h kann aber der Energieverbrauch durch Wandverlust auf 55,5 kWh reduziert werden. Dies entspricht einer Reduzierung der Wandverluste im Prozessschritt „Erwärmen“ von 10%.

8.2 Hochtemperatur – Einsatzhärten

Die Niederdruckaufkohlung ist ein diffusionsgesteuerter Prozess. Mit zunehmender Temperatur steigt die Diffusionsgeschwindigkeit stark an und es kommt zu einer deutlichen Verkürzung der Aufkohlungsdauer, siehe Abb. 11.

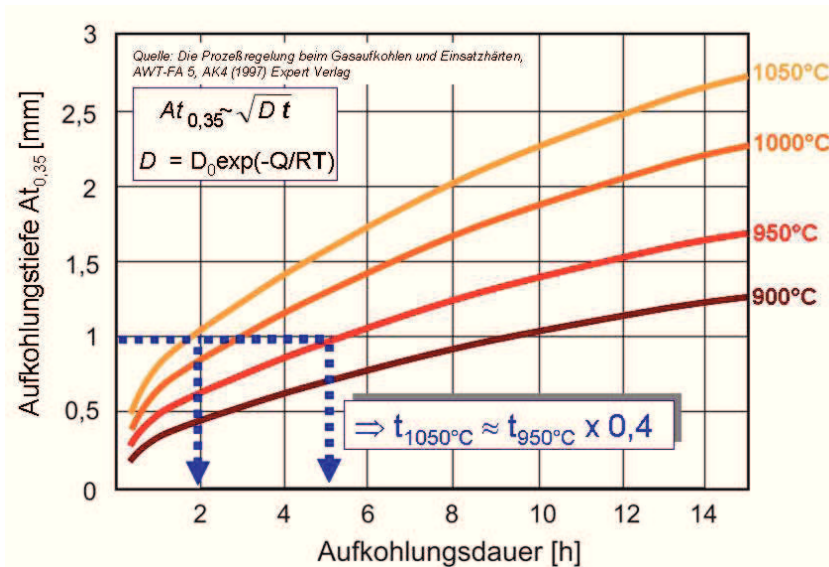


Abb. 11: Aufkohlungstiefe als Funktion der Aufkohlungstemperatur und der Aufkohlungsdauer (ohne Erwärmung) [Exp97]

Außerdem wird die Grenze zur Karbidausscheidung hin zu höheren Werten verschoben. Für unlegierten Stahl (z.B. C15) steigt gemäß dem Eisen-Kohlenstoff-Diagramm die Ausscheidungsgrenze von ca. 1,3 % C bei 930 °C auf ca. 1,65 % C bei 1030 °C an. Somit können während der Hochtemperaturaufkohlung in jedem Aufkohlungspuls höhere Randkohlenstoffgehalte angefahren werden. Aufgrund des nun höheren Konzentrationsgefälles wird eine weitere zusätzliche Verkürzung der Behandlungsdauern bewirkt. Diese zusätzliche Verkürzung der Aufkohlungsdauern ist in Abb. 11 noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 1 zeigt Behandlungsdauern für die NDA von 18CrNiMo7-6 bei verschiedenen Temperaturen für eine Aufkohlungstiefe (AT) von 1,5 mm. Demnach wird die Gesamtprozesszeit um 40% verkürzt, wenn die Aufkohlungstemperatur von 930°C auf 1030°C angehoben wird. Der Energieverbrauch durch Wandverluste kann durch diese Prozesszeitverkürzung signifikant reduziert werden. In Abb. 12 ist der Energieverbrauch in kWh bezogen auf 1 kg Chargengewicht für eine Charge mit einem Gewicht von 800 kg brutto, einer Aufkohlungstiefe von 1,5 mm und mit einer Abschreckung von 12 bar He dargestellt. Durch Erhöhung der Aufkohlungstemperatur von 930°C auf 1030°C kann in diesem Fall der Energieverbrauch von 0,61 kWh pro kg auf 0,483 kWh pro kg reduziert werden. Dies entspricht einer Reduzierung von 21%.

Tabelle 1: Behandlungsdauern für die NDA von 18CrNiMo7-6 bei verschiedenen Temperaturen (für AT=1,5mm)

Niederdruckaufkohlung AT 1,5 mm - 18CrNiMo7-6		Behandlungstemperatur		
		930 °C	980 °C	1030 °C
Laden	Std.	0,25	0,25	0,25
Erwärmen	Std.	1,5	1,75	2
Aufkohlung und Diffusion	Std.	8,5	5	3
Absenken Kernhärtemp.	Std.	0,75	1	1,25
Abschrecken u. Entladen	Std.	0,5	0,5	0,5
Boden → Boden	Std.	11,5	8,5	7
Gesamtprozesszeitverkürzung		~ 25 %		~ 40 %

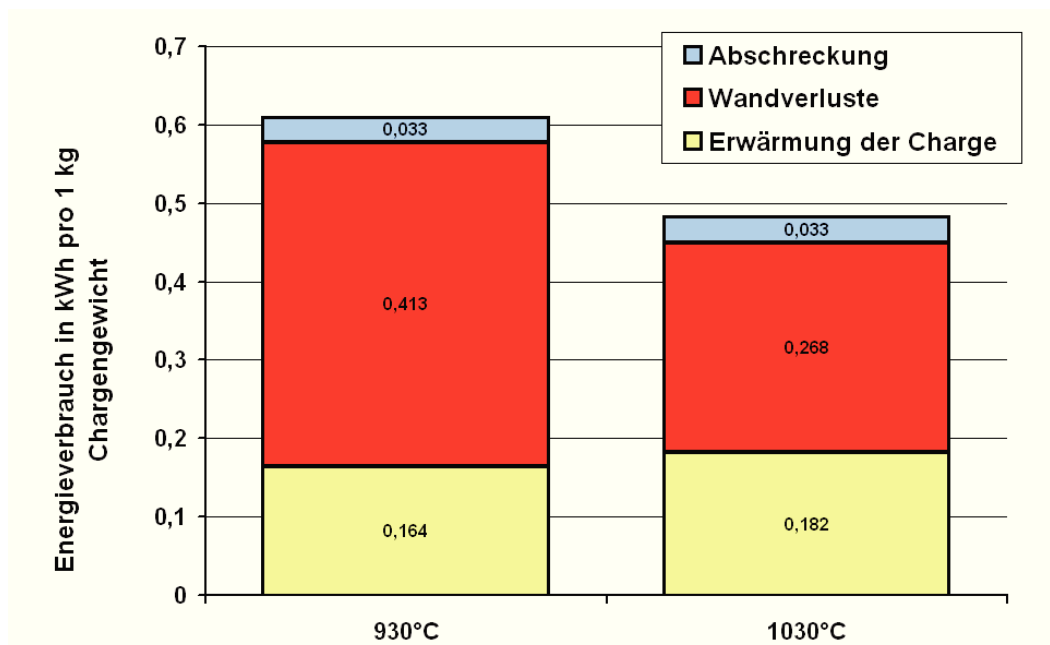


Abb. 12: Energieverbrauch in kWh bezogen auf 1 kg Chargengewicht (Charge mit 800kg brutto; Aufkohlungstiefe = 1,5 mm und 12 bar He Abschreckung)

Mit zunehmender Aufkohlungstiefe nimmt das Verbesserungspotential weiter zu. So wurden z.B. für den Werkstoff 15CrNi6 bei einer Aufkohlungstiefe von 3 mm eine Gesamtprozesszeitverkürzung von 55 % nachgewiesen, wenn die Aufkohlungstemperatur von 950°C auf 1050°C angehoben wird [Koc08].

Anzumerken ist jedoch, dass es bei Aufkohlungstemperaturen oberhalb 980°C zu einem starken Wachstum der Körner und damit zu einer Grobkornbildung bzw. zu einer Mischkornbildung kommen kann. Insbesondere für dynamisch belastete Bauteile ist die Grobkornbildung von Nachteil im Hinblick auf die Bauteillebensdauer. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, wurden mikrolegierte Werkstoffe entwickelt, die auch bei hohen Aufkohlungstemperaturen oberhalb 1050°C nicht zur Grobkornbildung neigen. Diesen Werkstoffen werden kleinste Mengen der Elemente Aluminium, Niob und Titan zulegiert. Die mikrolegierten

Werkstoffe sind eine notwendige Voraussetzung um das große Potential zur Prozesszeitverkürzung durch Hochtemperaturaufkohlen mittels NDA zu erschließen.

9. Weitere Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Neben den bereits beschriebenen Punkten gibt es weitere Möglichkeiten die Energieeffizienz von thermochemischen Prozessen zu steigern. Diese Möglichkeiten werden im Folgenden am Beispiel der Niederdruckaufkohlung von Getriebekomponenten erläutert. So empfiehlt es sich kundenseitig die tatsächlich erforderliche Wärmebehandlungsspezifikation zu überprüfen. Falls es möglich ist kleinere Aufkohlungstiefen zu spezifizieren, können die Prozesse verkürzt werden. Dies führt zu Einsparungen beim Energieverbrauch durch Wandverluste.

Des Weiteren kann auch mittels verzugsarmer Wärmebehandlung Energie gespart werden. Bei verzugsarmer Wärmebehandlung ist weniger Schleifaufmass in der Grünfertigung der Getriebekomponenten erforderlich. Somit kann eine kleinere Aufkohlungstiefe spezifiziert werden was wiederum zu kürzeren Prozessen führt. Falls es möglich ist, die Verzüge derart zu reduzieren, dass die nachfolgende Hartbearbeitung komplett eliminiert wird, so entfällt zudem der Energieverbrauch für die Hartbearbeitung der Getriebekomponenten.

Bei der Auswahl der Hilfsaggregate wie Antriebe, Vakuumpumpen und Kompressoren sollte deren Energieeffizienz berücksichtigt werden. Es empfiehlt sich zumindest Komponenten der Effizienzklasse IE2 auszuwählen. Außerdem müssen die Ventilatoren exakt ausgelegt werden.

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig verstärkt sogenannte Kombiprozesse industriell eingeführt werden wie z.B. das Sinterhärten von pulvermetallurgisch hergestellten Bauteilen. Dabei wird das Sintern und das Härten der PM-Bauteile „in einer Hitze“ durchgeführt und somit wird der Energieverbrauch signifikant reduziert.

10. Zusammenfassung

Die energetische Optimierung von Thermoprozessanlagen ist sowohl unter ökologischen als auch unter ökonomischen Gesichtspunkten von großer Bedeutung.

Vakuumwärmebehandlungsanlagen werden üblicherweise elektrisch beheizt. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten die Energieeffizienz dieser Anlagen zu erhöhen. Mit Hilfe von optimierter Wärmedämmung des Ofenraums und mit Chargiergestellen aus kohlenstofffaserverstärktem Kohlenstoff (CFC) kann der Energieverbrauch signifikant gesenkt werden.

Modular aufgebaute Systeme bieten bei Teilauslastung der Produktion deutliche Vorteile gegenüber Durchlaufanlagen. Anhand eines Beispiels aus der Getriebeproduktion wurde gezeigt, dass bei einem modular aufgebauten System je nach Produktionsbedarf einzelne Behandlungskammern abgeschaltet werden. Dies führte zu einer Reduzierung des jährlichen Energieverbrauchs von 25%.

Moderne Thermoprozessanlagen besitzen ein Energiemanagementsystem mit automatisiertem An- und Abfahren der Anlage. Dabei werden Reihenfolge und Zeitpunkt zum Einschalten der Aggregate festgelegt. Somit werden Lastspitzen gesenkt und es wird unnötiges Heizen vermieden.

Mit Hilfe von beschleunigten Prozessen wie z. B. dem Hochtemperatur-Einsatzhärten kann die Energieeffizienz deutlich erhöht werden. Es wurde an einem Beispiel gezeigt, dass durch Erhöhung der Prozesstemperatur von 930°C auf 1030°C der Energieverbrauch pro kg Nutzgut von 0,61 kWh auf 0,483 kWh reduziert wurde. Dies entspricht einer Einsparung von 21%.

Bei der Auswahl der Hilfsaggregate wie Antriebe, Vakuumpumpen und Kompressoren sollte deren Energieeffizienz berücksichtigt werden.


11. Literaturverzeichnis

- [Ben2011] Beneke, F. et al: VDMA-Leitfaden „Energieeffizienz von Thermoprozessanlagen“; VDMA Thermoprozesstechnik, 2011
- [Exp97] Autorenkollektiv AWT-FA 5; AK4: Die Prozeßregelung beim Gasaufkohlen und Einsatzhärten; Expert Verlag 1997
- [Heu2010] Heuer, V. und Löser, K.: Kapitel 8.2 „Grundlagen der Vakuumwärmebehandlung“ in Praxishandbuch Thermoprozesstechnik, Vulkan-Verlag 2010; ISBN 978-3-8027-2947-8
- [Gra2011] Graphite Materials GmbH, 2011
- [Gtd2011] GTD Graphit Technologie GmbH
- [KOC08] Koch, A., Steinke, H., Brinkbäumer, F., Schmitt, G.: Hochtemperatur-Vakuumaufkohlung für große Aufkohlungstiefen an hoch belasteten Rundstahlketten. In: Der Wärmebehandlungsmarkt 4/2008, S. 5-7



Gliederung

- Physikalische Grundlagen
- Energiebilanz – Primärenergie
- Direkte elektrothermische Verfahren
- Prozesswirkungsgrad (Thermischer Wirkungsgrad)
- Elektrischer Wirkungsgrad
- Induktionshärteanlagen
 - Umrichter
 - Induktoren
 - Peripheriegeräte
- Vergleich Ofen – Induktion
- Beispiele



© EFD Induction GmbH

Grundlagen Induktionseffekt

Jeder stromdurchflossene Leiter baut ein Magnetfeld auf.

Innerhalb einer Spule kommt es zur Verstärkung des Magnetfeldes.

Wird Wechselstrom angelegt, tritt dauernde Feldänderung ein → es wird eine Spannung im Werkstück induziert.

Feldlinien

Die Feldlinienrichtung kann anhand der „rechten Hand-“ oder „Schrauben-“ Regel ermittelt werden.

© EFD Induction GmbH

Grundlagen Ursachen der induktiven Erwärmung

Wirbelstromverluste (Joule´sche Verluste)
⇒ ferro-, dia- und paramagnetische Stoffe

Ummagnetisierungsverluste (Hystereseverluste)
⇒ ferromagnetische Stoffe

Curie-Temperatur (T_C)
Bei T_C erfolgt Wechsel von Ferro- zu Paramagnetismus.
Die T_C ist werkstoffabhängig.
 T_C für Stahl: 770° - 730°C

© EFD Induction GmbH

▶ Grundlagen
Skin-Effekt

$$\Rightarrow i_x = i_0 \cdot e^{-x \cdot 2\pi \sqrt{\frac{\mu_r \cdot f}{\rho \cdot 10^7}}} = i_0 \cdot e^{-\frac{x}{\delta}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{e} \approx 0,37$$

$$\Rightarrow \delta \approx 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}}$$

Werkstoffkennwerte

Umrichterfrequenz

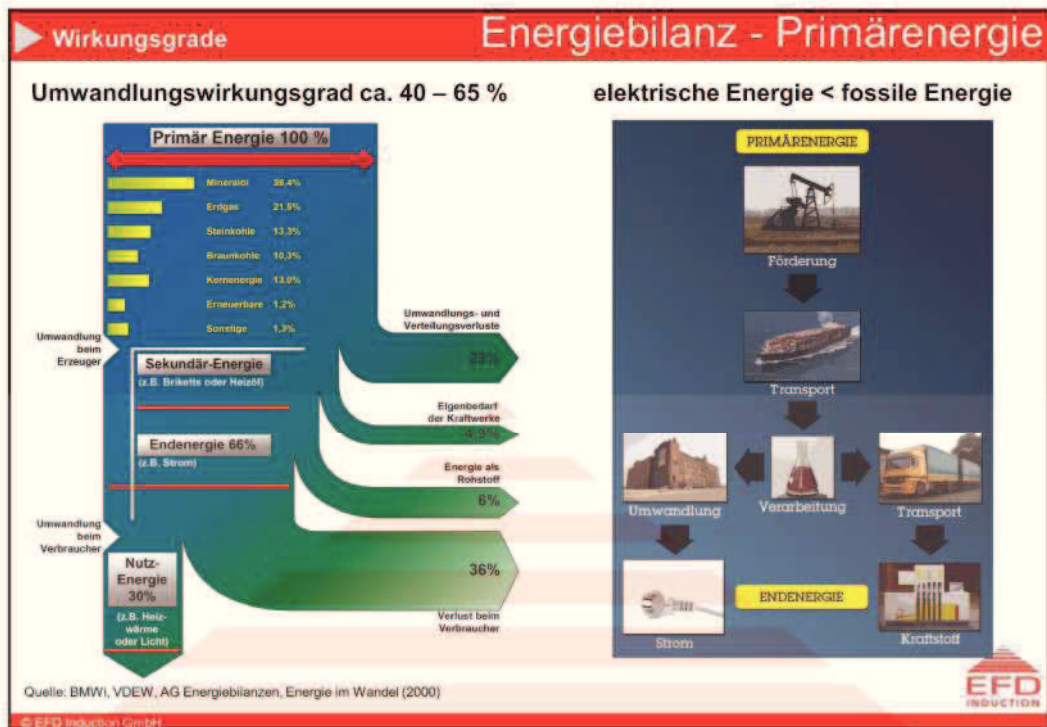
i_0 [A]	= Strom an der Oberfläche
i_x [A]	= Strom in der Tiefe x
δ [mm]	= elektrische Eindringtiefe
ρ [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$]	= spezifischer Widerstand des zu erheizenden Materials
μ_0 [V-s/A-m]	= magn. Feldkonstante
μ_r [1]	= Permeabilitätszahl des zu erheizenden Materials
μ [V-s/A-m]	= $\mu_0 \cdot \mu_r$ (Permeabilität)
f [1/s]	= Frequenz des Induktorstromes

© EFD Induction GmbH

▶ Induktionshärten
Induktionshärten - Beispiele

Vorschubhärtung

Gesamtflächenhärtung



Wirkungsgrade Direkte elektrothermische Verfahren

$$\eta_{ges} = \eta_{el} \cdot \eta_p$$

Gesamtwirkungsgrad
elektrischer Wirkungsgrad
Prozesswirkungsgrad (thermischer Wirkungsgrad)

Hauptübertragungselemente

- Netztransformator
- Umrichter
- Stromzuführung
- Kondensatoren zur Blindleistungskompensation
- elektrothermische Energieumwandlung (Induktor)

EFD INDUCTION

Direkte elektrothermische Erwärmung **Prozesswirkungsgrad**

$$\eta_{ges} = \eta_{el} \cdot \eta_p$$

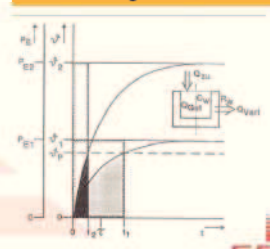
Prozesswirkungsgrad = Umwandlung des im Bauteil erzeugten Stroms in Wärme
= thermischer Wirkungsgrad

➔ Prozesswirkungsgrad ist abhängig von Aufheizrate $\eta_p \propto \dot{T} \Rightarrow \dot{T} \uparrow \rightarrow \eta_p \uparrow$

Erwärmungsart	Prozesswirkungsgrad in %
induktives Schmelzen im Tiegelofen	95 – 97
induktive Erwärmen zum Schmieden	90 – 95
induktives Randschichthärten	98 – 99
konduktives Erwärmen von Knüppeln	90 – 95

Verluste

- Konvektion < 0,1 - 2 %
- Strahlung < 0,3 - 3 %



Quellen: Praxishandbuch Thermprozesstechnik, Vulkan-Verlag (2010)
Dissertation Zedler T., Sierke/Verlag (2010)

EFD
INDUCTION

Direkte elektrothermische Erwärmung **Elektrischer Wirkungsgrad**

$$\eta_{el} = \frac{P_i}{P_i + P_C} = \frac{1}{1 + \frac{D}{d} \cdot \frac{l}{h} \cdot \frac{1}{m} \cdot \sqrt{\frac{\rho_C}{\mu_r \cdot \rho \cdot f_C}}}$$

P_i im Werkstück induzierte Leistung

P_C Stromwärmeverluste im Induktor

d Werkstückdurchmesser

D Innendurchmesser Induktor

l Länge Induktor

h Bauteillänge im Induktor

f_C Füllfaktor Induktor

ρ_C spezifischer el. Widerstand Induktormaterial

ρ spezifischer el. Widerstand Werkstückmaterial

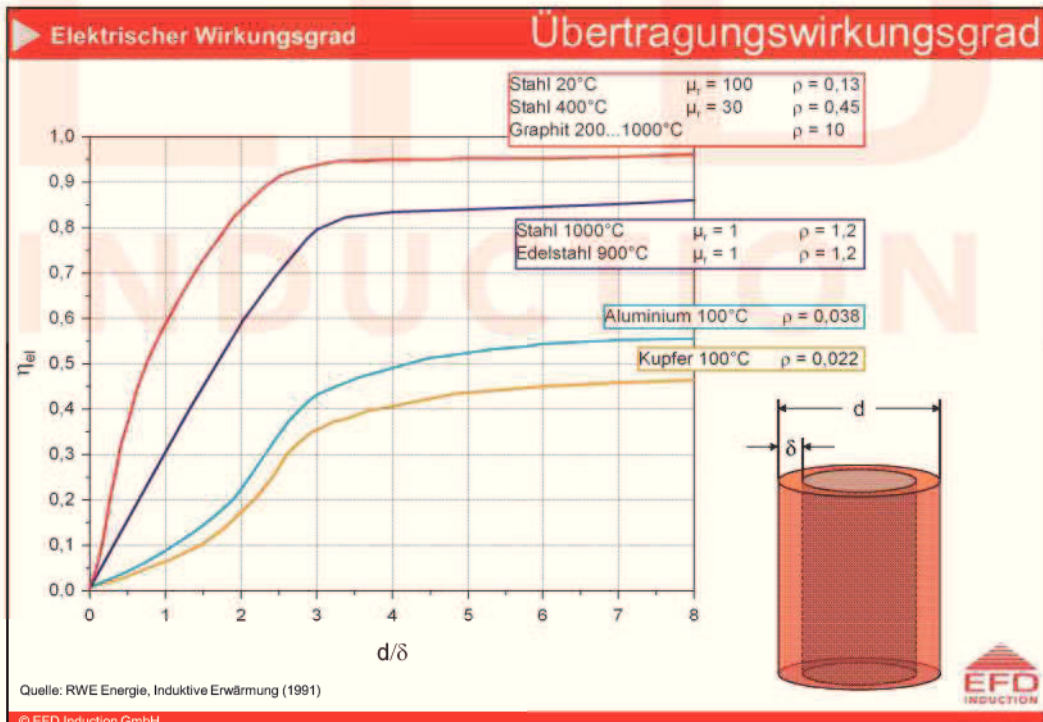
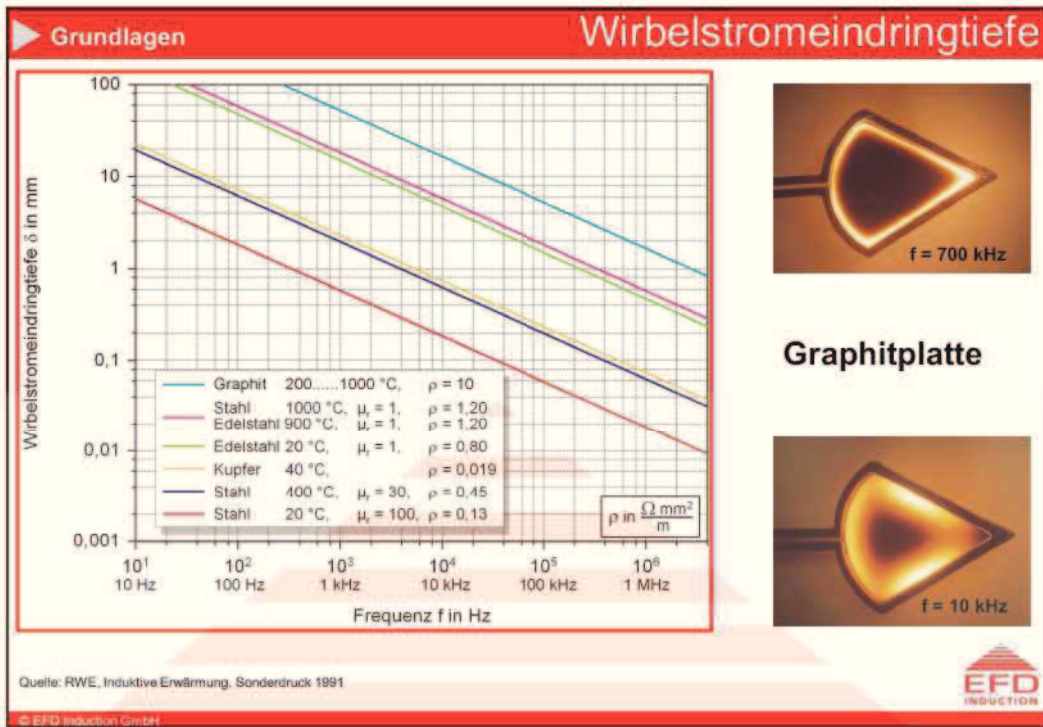
μ_r relative Permeabilität des Werkstückmaterials

m Widerstandsfunktion $m = f_{(d/\delta)}$

Einflussfaktoren


- Geometrie
- Werkstoff
- Frequenz
- Widerstandsfunktion

EFD
INDUCTION




Induktoren **Induktorwirkungsgrad**


Innenfeld
 $\eta_c \approx 0,6 - 0,9$



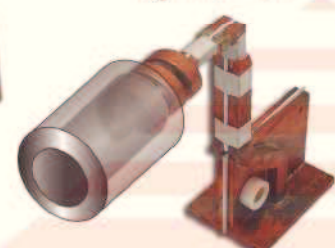
Gesamtfläche
 $\eta_c \approx 0,4 - 0,5$



„Haarnadel“
 $\eta_c \approx 0,2 - 0,4$



Außenfeld
 $\eta_c \approx 0,3 - 0,5$



EFD INDUCTION

Elektrischer Wirkungsgrad **Einfluss Werkstoff**

Schmelzofen für Gusseisen

100% → 6270 kW / 520 kWh/t

75% → 4700 kW / 390 kWh/t

→ Eisenwerkstoffe $\eta_{el} > 80\%$

1,5%	3%	1,5%	15%	1%	3%
95 kW	190 kW	95 kW	940 kW	60 kW	190 kW
Trans- formator	Um- richter	Kond. Zuleit.	Spule	Ofen- konstr.	Wärme- verluste

Tiegelofen für Kupfer

100% → 6270 kW / 385 kWh/t

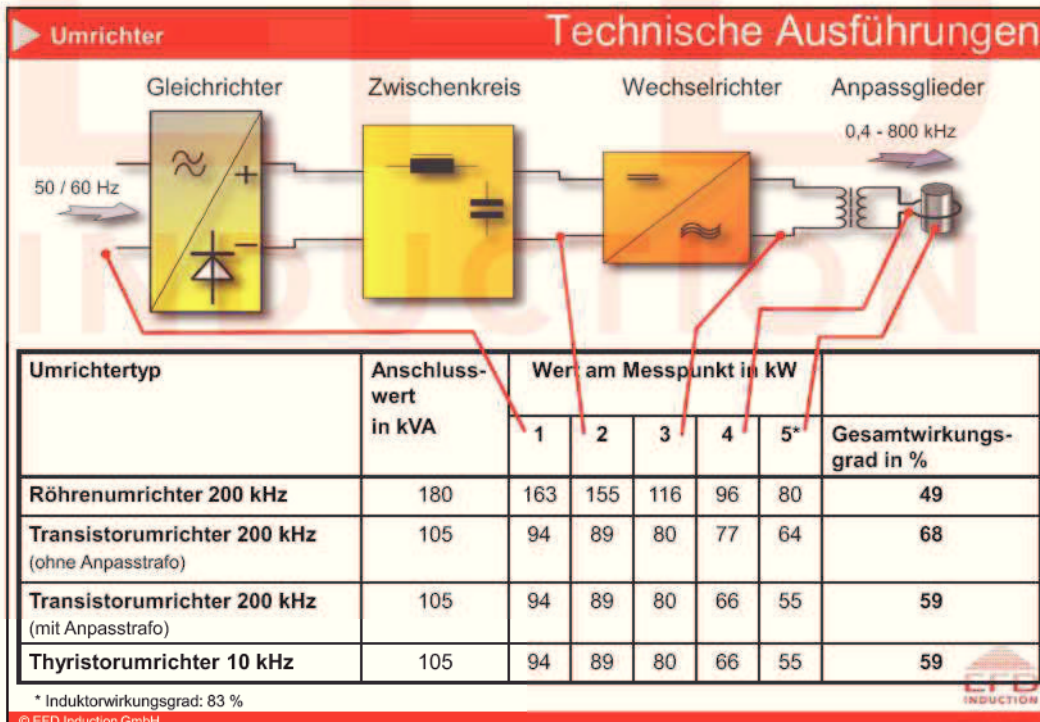
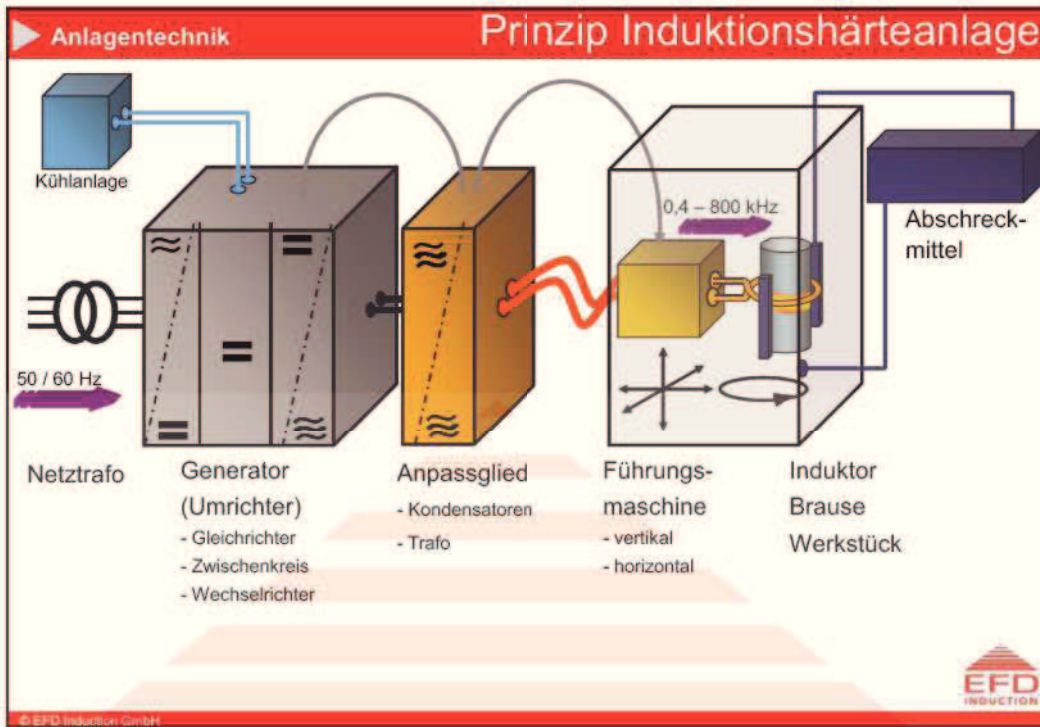
53% → 3320 kW / 204 kWh/t

→ Aluminium, Kupfer $\eta_{el} = 60 - 80\%$

1,5%	3%	2%	36%	1,5%	3%
95 kW	190 kW	130 kW	2250 kW	95 kW	190 kW
Trans- formator	Um- richter	Kond. Zuleit.	Spule	Ofen- konstr.	Wärme- verluste

Quelle: Praxishandbuch Thermoprozesstechnik, Vulkan-Verlag (2010)


EFD INDUCTION



Umrichter **Umrichter für die Induktionserwärmung**

Generator-Typ	Arbeitsfrequenzen
Netzfrequenz-Anlagen	50 – 60 Hz
Motor-Umformer	2 – 10 kHz
Thyristor-Umrichter	0,2 – 25 kHz
Transistor-Umrichter mit IGBT	1 – 150 (200) kHz
Transistor-Umrichter mit MOSFET	20 – 500 (1000) kHz
Röhren-Umrichter aperiodisch	10 – 200 kHz
Röhren-Umrichter klassisch	0,1 – 5 MHz
Impuls Röhren-Umrichter	27,12 MHz


IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor
MOSFET: Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor



© EFD Induction GmbH


Umrichter **Technische Ausführungen**

85 kW Transistorgenerator
für Härteapplikationen





geschlossen geöffnet

25 kW Transistorgenerator
für Härte- und Lötapplikationen



MW Transistorgenerator
für Rohrschweissapplikationen





© EFD Induction GmbH

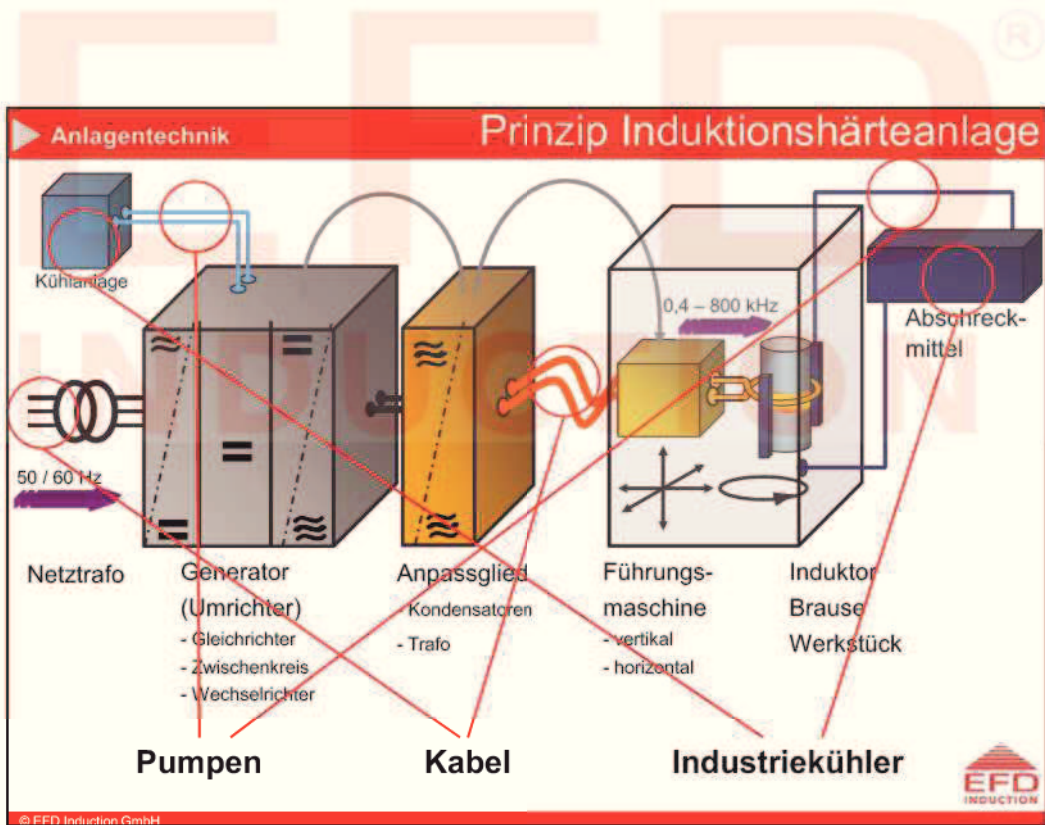
Umrichter **Vergleich Röhren – Halbleiter Umrichter**

Klemmleistung: 15 kW Frequenz: 400 kHz

Röhren-Generator Transistor-Generator

EFD
INDUCTION

© EFD Induction GmbH

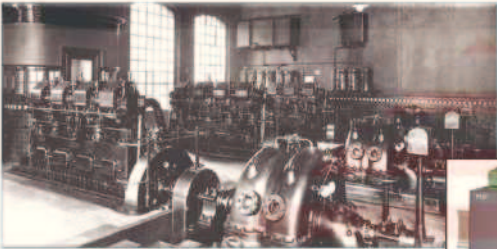



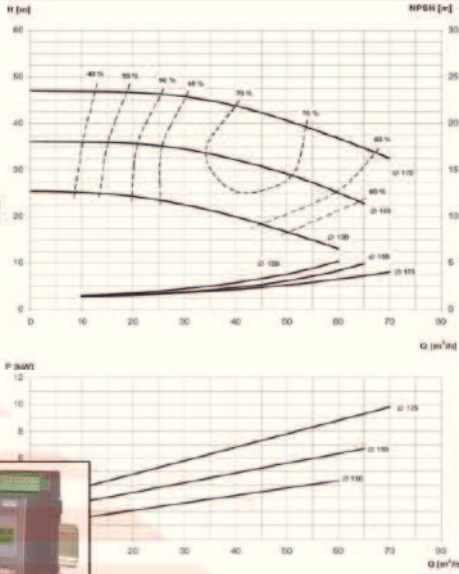
▶ Einsparpotentiale
Peripherie - Pumpen


Pumpen

- flache Kennlinien
- frequenzgeregelt

➔ abhängig von der Einschaltdauer!





© EFD Induction GmbH


▶ Einsparpotentiale
Peripherie - Kabel + Industriekühler

Kabel


- kurze Zuleitungen
- luftgekühlt


$$\Delta p = \frac{2 \cdot I \cdot R'_w \cdot P_c}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi_c} \cdot 100\%$$

$$\Delta p = \frac{I \cdot R'_w \cdot P_c}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi_c} \cdot 100\%$$

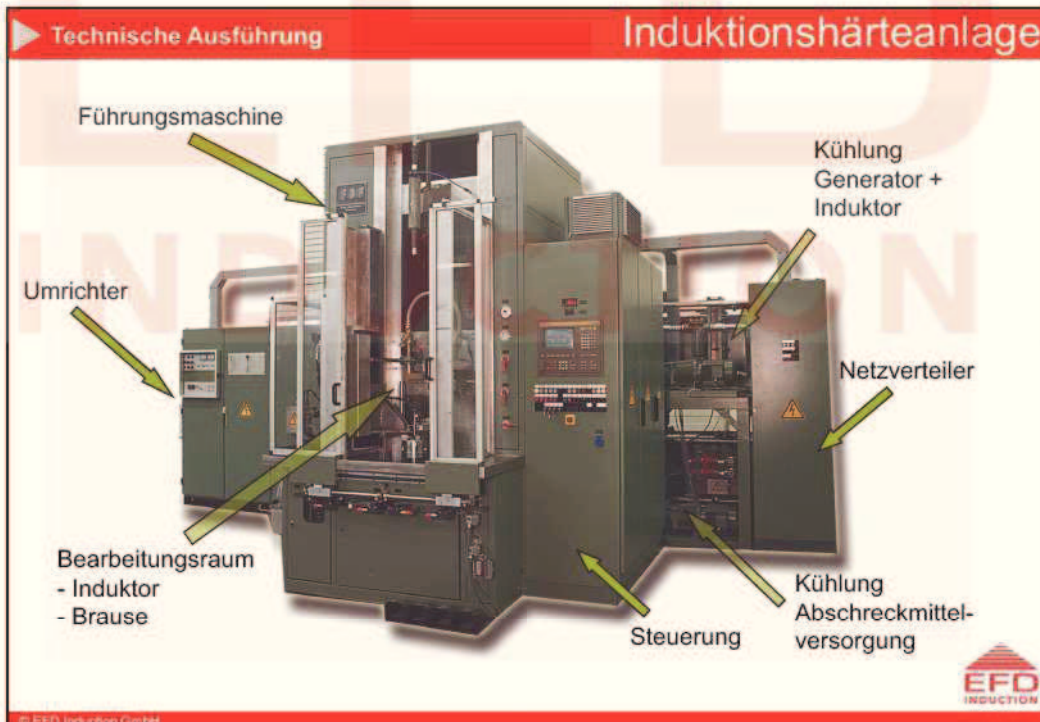
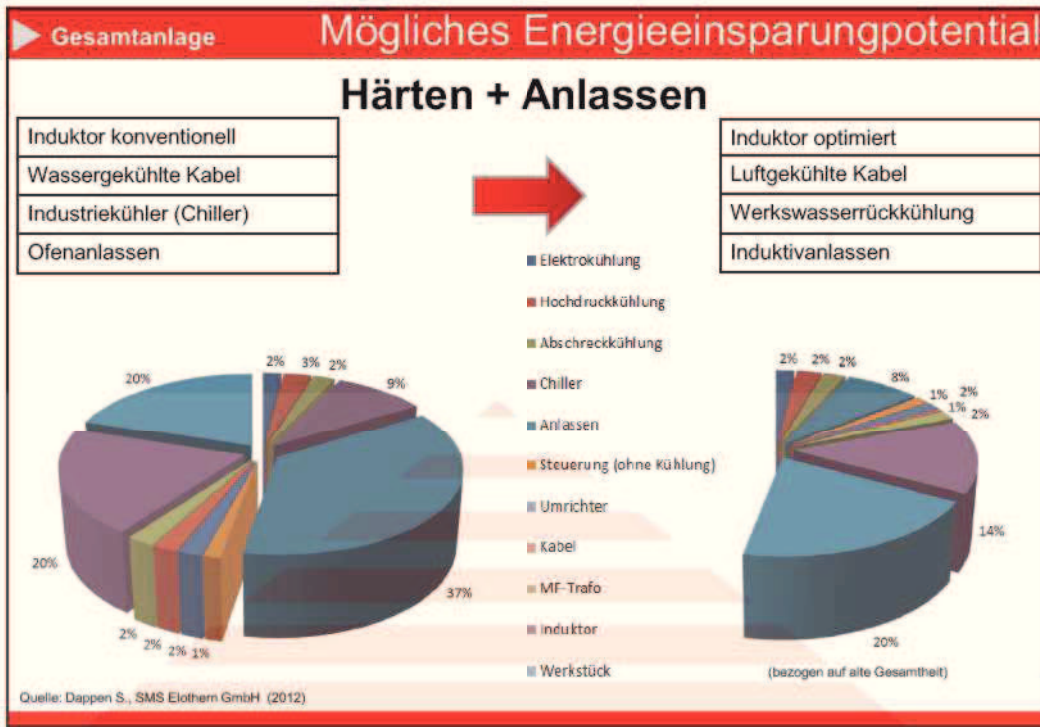


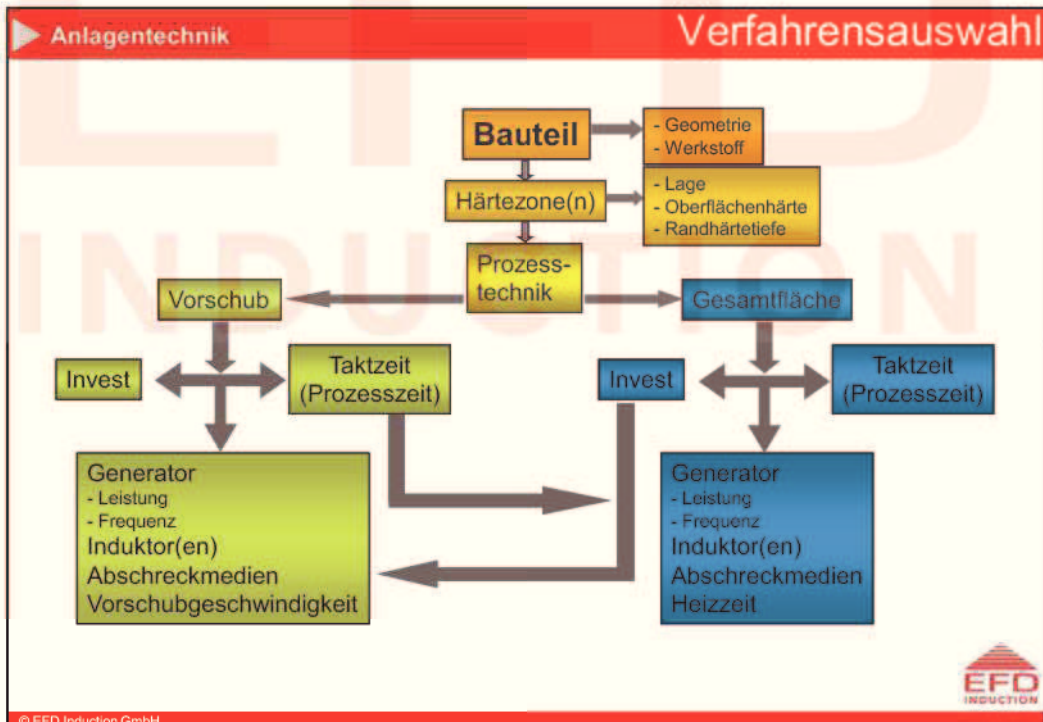
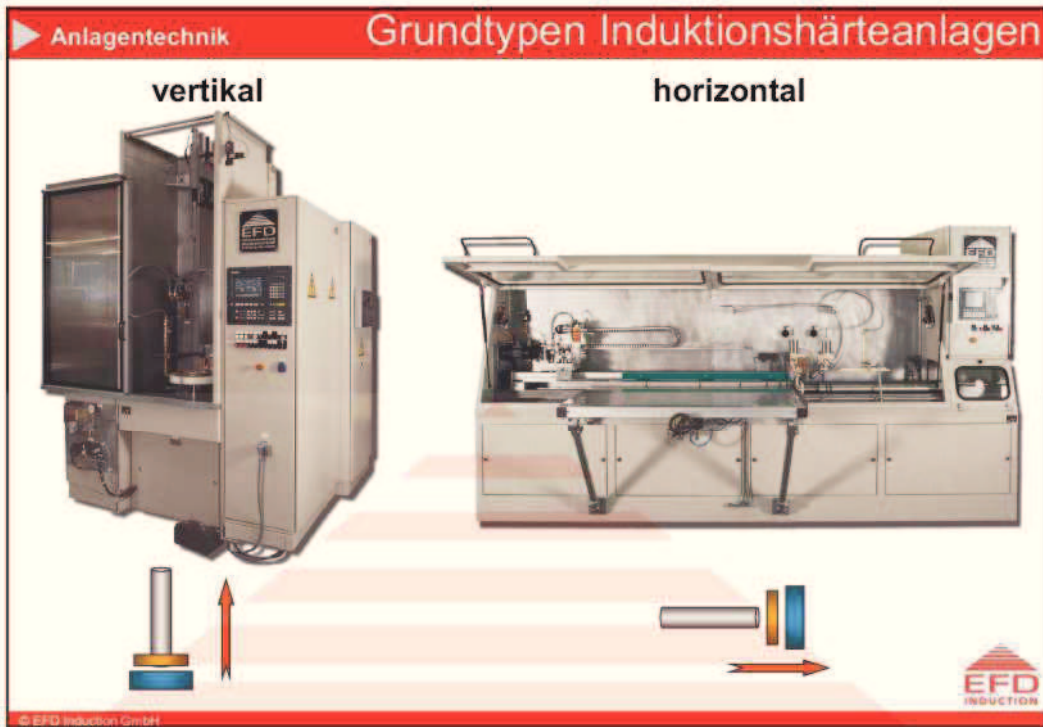
Industriekühler





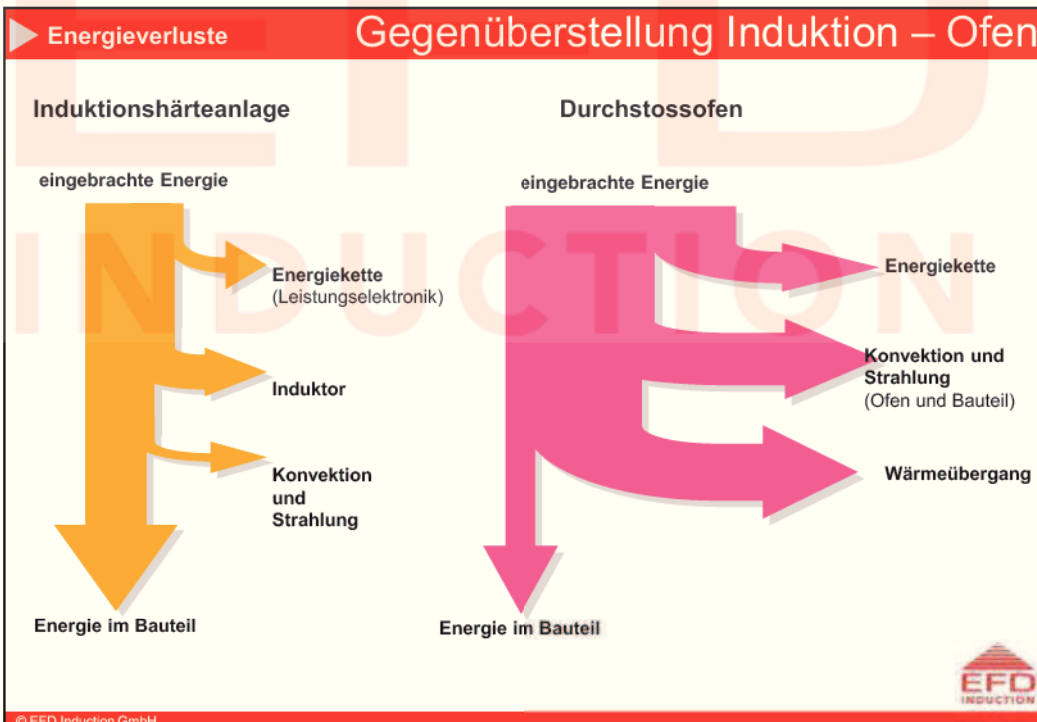
© EFD Induction GmbH





Gesamtenergiebedarf		Beispiel Statorwelle			
Vorgang	Statorwelle	Anschluss	EinschaltDauer	Frage	
Station 1 (Ent- und Beladen):	Sekunden	KW	Faktor	KW	
Teller fiktiv	1,50				
Einblenden	9,00	11,4	0,46	5,26	
Beladen	9,00	11,4	0,46	5,26	
Summe Station	19,50				
RC-Pumpe	19,50	5,5	1,00	5,50	
Station 2 (Härten):					
Teller fiktiv	1,50	3	0,08	0,23	
Reilstock ab	1,00	1	0,05	0,05	
Erreichen Heizposition	2,00	3	0,10	0,21	
Rotation	8,00	1,5	0,41	0,22	
Anheizen	0,50	106	0,03	2,72	
Heizen+Brausen im Vorschub	bei 20mm/s 2,00	106	0,10	10,07	
Nachbrausen	5,00				
Erreichen Induktor-Parposition	1,50	3	0,08	0,23	
Reilstock auf	1,00	1	0,05	0,05	
Summe Station	14,50				
Station 3 (Anlassen):					
Teller fiktiv	1,50				
Reilstock ab	1,00	1	0,05	0,05	
Erreichen Heizposition	2,00	3	0,10	0,21	
Rotation	8,00	1,5	0,41	0,22	
Anheizen	0,50	106	0,03	2,72	
Heizen im Vorschub	bei 14mm/s 1,50	106	0,08	8,15	
Nachbrausen	5,00				
Erreichen Induktor-Parposition	1,50	3	0,08	0,23	
Reilstock auf	1,00	1	0,05	0,05	
Summe Station	14,00				
Station 4 Brausen:					
Verweilzeit	8,00				
Abschrecken	8,00				
Summe Station	16,00				
Taktzeit und Energiebedarf für 1 Werkstück:	19,50				474,30

induktiv Härten + Anlassen



Vergleich Induktion - Einsatzhärten **Grosslager Windkraftanlagen**

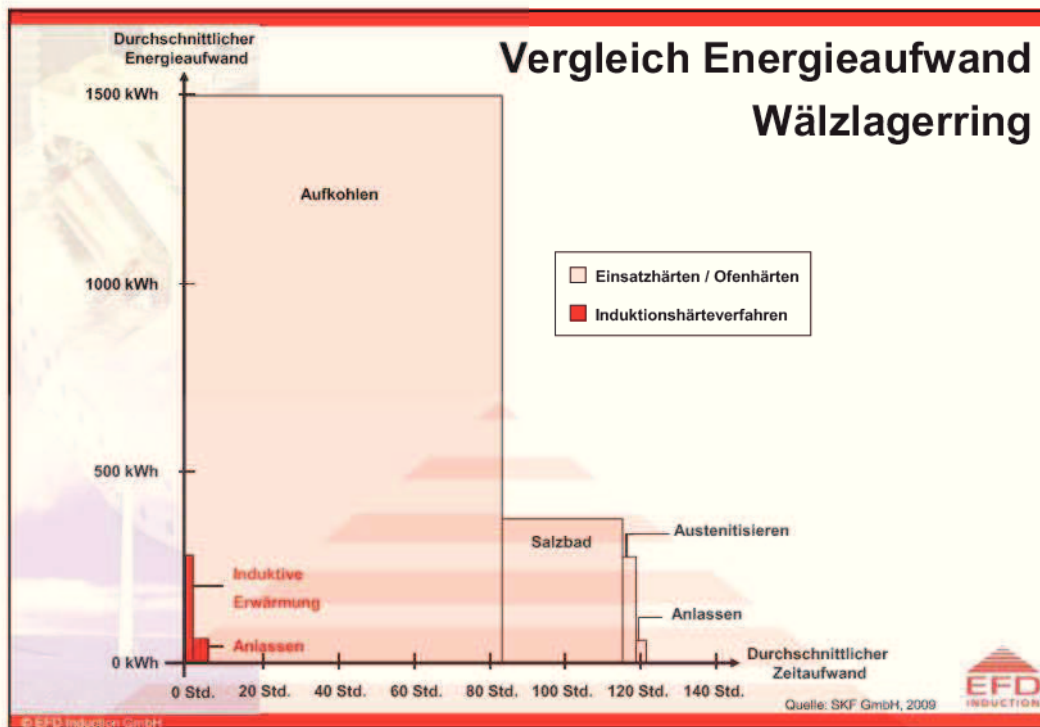
Hauptlager
Nabenwelle
Getriebe
Rotorblattlager
Pitch-Antrieb
Horizontallager
Azimut-Antrieb
Generatorwelle
Außenring
Rollkörper
2 Innenringe

EFD INDUCTION

Vergleich Induktion - Einsatzhärten **Schlupflos Härten**

Von EFD patentiertes Verfahren


EFD INDUCTION




Potenziale zur Energieeinsparung

- Umrichter
- Energiekette (Kabel, Anpassglieder etc.)
- Induktor
- Antriebe, Pumpen etc.
- Industriekühler (Kühlaggregate)

Zusammenfassung



- Induktives Randschichthärten und Anlassen, Schmiederwärmen, Auf- und Umschmelzen etc. sind direkte elektrothermische Erwärmungsverfahren. D.h. die Wärme entsteht direkt im Wärmgut.
- Gesamtwirkungsgrad = el. Wirkungsgrad x Prozesswirkungsgrad (therm. Wirkgrad)
- Prozesswirkungsgrad > 95 %
- Der elektrische Wirkungsgrad ist von den Faktoren:
 - Geometrie
 - Werkstoff
 - Frequenz
 - Widerstandsfunktionabhängig.
- Bei den Peripheriegeräten (z.B. Pumpen, Industriekühler etc.) lassen sich teilweise Energieeinsparungen erzielen
- Beispiele
 - Statorwelle induktiv gehärtet und angelassen
 - Vergleich induktives Randschichthärten mit Einsatzhärten von Grosslagern



© EFD Induction GmbH

EFD®
INDUCTION

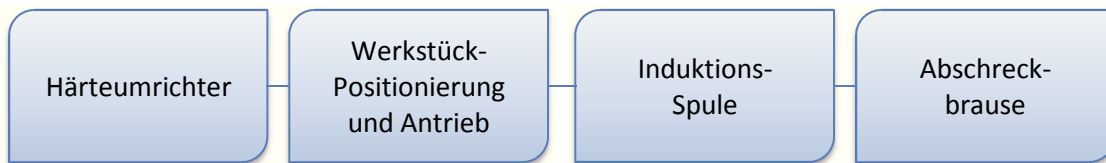


Einleitung

Seit einigen Jahren hält die Betrachtung energieeffizienter Prozesse auch verstärkt im Bereich des induktiven Härtens Einzug. Auf dem Prüfstand stehen einerseits die Härteanlage samt Energiequelle und zum anderen die Ausprägung des Prozesses selbst. Grund genug, um die Thematik einmal aufzugreifen und anhand einiger Beispiele zu beleuchten.

Diese Präsentation zielt im Wesentlichen auf dem Prozess selbst und alle damit verbundenen Anforderungen. Trotzdem sei das Gesamtsystem kurz vorgestellt, um den späteren Prozess im Anschluss ein wenig objektiver beurteilen zu können.

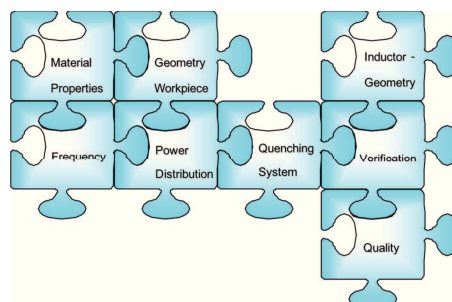
Eine induktive Härteanlage besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:



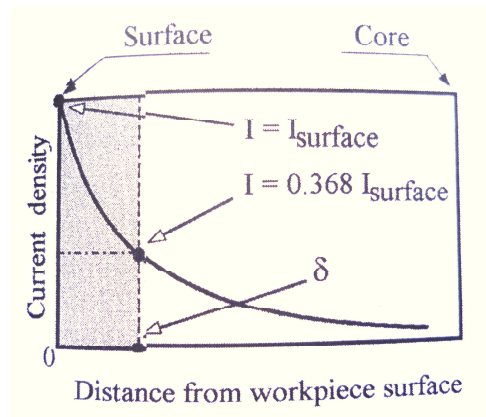
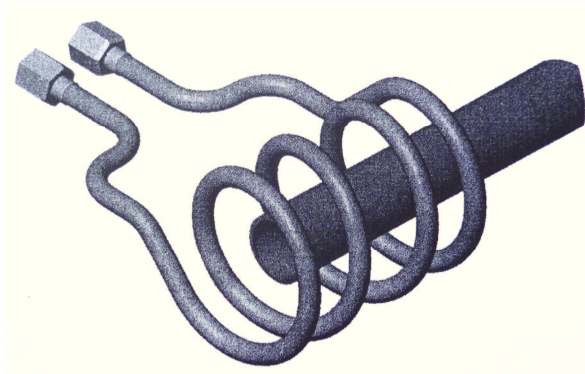
Noch vor einem Jahrzehnt sind gerade für den höheren Frequenzbereich ab 300 kHz Röhren-Umrichter entwickelt worden. Röhrenumrichter weisen einen Gesamtwirkungsgrad von 50 – 60 % auf. Im Vergleich zu den heute üblichen Wirkungsgraden bei Halbleiter-Umrichtern von 80-95%. Leistungsröhren haben im Schnitt eine Lebenserwartung von 2000-4000 h. Somit drücken auch die regelmäßig anstehenden Wartungsarbeiten die Effizienz des Gesamtprozesses. Zudem stellen die bei Röhrenumrichtern notwendigen sehr hohen Spannungen von mehr als 10 kV ein Risikopotential dar. Die folgerichtige Konsequenz war somit die Entwicklung von Halbleiterumrichtern, die die Röhrenumrichter für Applikationen unter 1 MHz weitgehend abgelöst haben. Moderne Halbleiterumrichter weisen bereits heutzutage eine Effizienz von 95-98% auf; eine weitere Optimierung des Wirkungsgrades ist somit beschränkt.

Eine effektivere Optimierung des energetischen Gesamtwirkungsgrades ist daher durch die Optimierung des Prozesses selbst möglich.

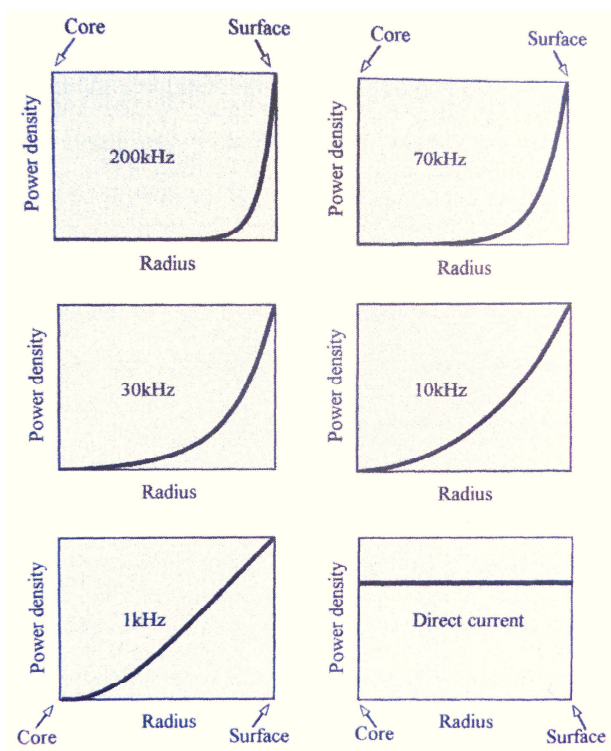
Das Feld der induktiven Wärmebehandlung ist immens groß. Aus diesem Grund sei lediglich ein Teilaspekt betrachtet, der jedoch auch die Grenzen der energetischen Optimierbarkeit beleuchtet und aufzeigt, dass in erster Linie das Härteergebnis im Vordergrund steht, welches dann im zweiten Schritt möglichst energieeffizient realisiert werden soll.



Induktionshärten



Die Wärmebehandlung durch Induktion erfolgt durch Beaufschlagung einer Induktorspule mit einem Wechselstrom. Der Induktorstrom führt zur Ausprägung eines elektrischen und magnetischen Wechselfeldes, welches im zu behandelnden Werkstück Wirbelströme induziert. Durch den elektrischen Widerstand des Werkstücks erzeugen diese Wirbelströme Wärmeverluste, die das Werkstück aufheizen. Die Erwärmung ist dabei abhängig vom Quadrat der fließenden Ströme (I^2R). Die Maximalwerte der Stromdichte treten an der Oberfläche des Werkstücks auf. Das Phänomen der ungleichmäßigen Verteilung der Ströme wird auch als Skin-Effekt bezeichnet. Rund 86% der induzierten Leistung konzentriert sich auf die oberflächennahen Bereiche, in denen auch die Härtezonen angeordnet sind. Hohe Frequenzen des Induktorstroms führen zu kleinen Eindringtiefen des elektromagnetischen Feldes und folglich zu kleinen Einhärtetiefen im Werkstück, unter der Randbedingung, dass die Heizdauer so gewählt ist, dass Wärmeleitungseffekte den Prozess nicht dominieren. Durch ein Herabsetzen der Induktorfrequenz lassen sich konsequenterweise höhere Einhärtetiefen erreichen.



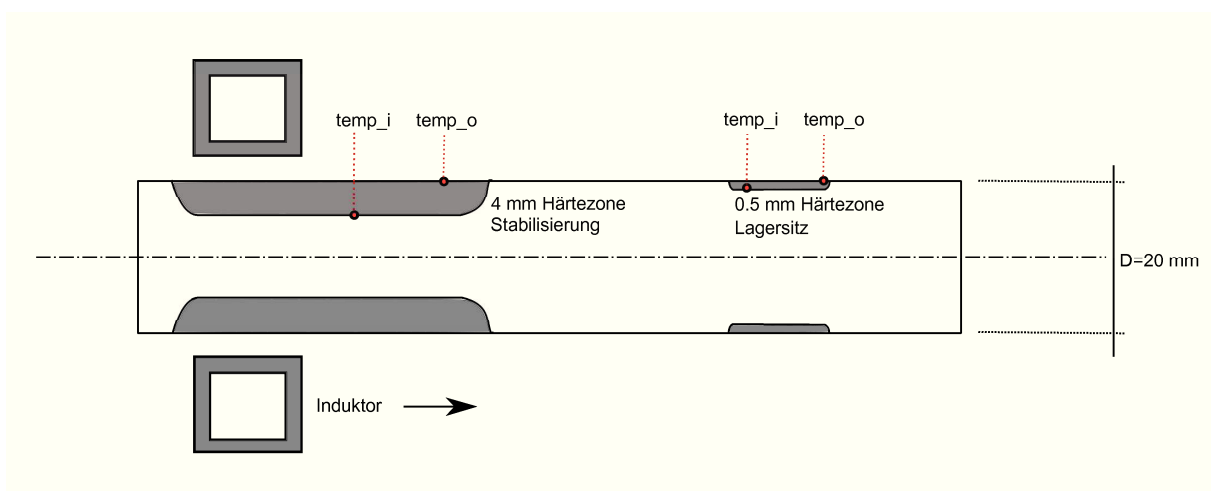
Vielfach tritt beim Härten von Bauteilen der Anspruch auf, gleich mehrere Stellen am Werkstück zu härten. Die Härtespezifikation gestaltet sich dabei durchaus variabel und die Randbedingungen sind oft vielfältig. Zur Erhöhung der Festigkeit und zum Abfangen der Dauerschwingbelastung werden die betreffenden Bereiche am

Werkstück oft tiefer eingehärtet, gleichzeitig bei Bewahrung der duktilen Eigenschaften im Kern, um die Bruchgefahr des wärmebehandelten Bauteils im Betrieb zu reduzieren. In anderen Fällen dient der Härteprozess eher zum Schutz vor höheren Oberflächenbelastungen und Materialabrieb. Beide Anwendungsfälle sollen anhand eines Werkstücks im Rahmen dieses Vortrags beleuchtet und die Anforderungen an den induktiven Härteprozess erörtert werden. Dabei stellen wir uns bewusst die Frage nach den Grenzen der technischen Machbarkeit.

Die Machbarkeit der energetischen Optimierung von Induktions-Härteprozessen



Folgender Fall sei betrachtet: Eine Welle aus dem Material C45 (SAE 1045) mit einem Durchmesser von 20 mm soll an zwei unterschiedlichen Stellen induktiv gehärtet werden. Bereich 1 ist aus Stabilisierungsgründen 4 mm tief einzuhärten, um die auf die Welle wirkende schwingende Dauerbelastung abzufangen. Bereich 2 ist ein Lagersitz und daher aus Gründen der Reduzierung der geometrischen Verzüge nur mit 0.5 mm einzuhärten.



Um die passende Frequenz und die notwendige Leistungsverteilung für das Erreichen der Härteziele zu evaluieren, werden jeweils für die Oberfläche und für den unteren Bereich der Härtezone zwei Ziel-Temperaturen festgelegt (Die Tiefe der Härtezone sei durch den Temperaturgradienten abgeschätzt, um den Prozess mit Hilfe numerischer Modellierung zu analysieren):

An der Oberfläche soll die finale Härtetemperatur 990°C betragen (temp_o im Diagramm). Gleichzeitig soll die Temperatur am unteren Bereich der Härtezone 850°C (temp_i im Diagramm) betragen. Die tiefer liegenden Schichten des Materials unterliegen dann dem Abfall der Härte hinab bis auf die Grundhärte des Materials.

Beide Härtestellen werden im Folgenden bei einem Härteprozess mit 5 kHz und 50 kHz als Arbeitsfrequenz betrachtet und die Temperaturverläufe im Ablauf der Erwärmungszeit für die Oberfläche (temp_o) und den unteren Härtebereich (temp_i) analysiert und die für die Prozesse notwendige Gesamtenergie berechnet.

Ein der wichtigste Faktor zum effizienten Erreichen der Härtetiefe stellt die elektromagnetische Eindringtiefe dar, die sich neben der Frequenz aus den elektrischen, jedoch temperaturabhängigen Materialparametern ableitet. [1], [2]

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}}$$

Bei den gewählten Frequenzen von 5 kHz und 50 kHz ergibt sich ein Verhältnis von $\sqrt{10}$ zwischen den sich ergebenden Eindringtiefen:

$$\frac{\delta_{5 \text{ kHz}}}{\delta_{50 \text{ kHz}}} = \sqrt{10} = 3.1623$$

Innerhalb der elektromagnetischen Eindringtiefe wird rund 86% der im Werkstück induzierten Leistung in Wärme umgesetzt. Diese Größe ist somit maßgeblich zum Einstellen der korrekten Einhärtetiefe.

Härtebereich 1: Stabilisierungszone

Im Bereich der Stabilisierungszone haben wir das Ziel, 4 mm tief einzuhärten. In Bild 3 ist die Aufheizkurve für die beiden zuvor festgelegten Messpunkte bei einer Arbeitsfrequenz von **50 kHz** zu erkennen. Die Aufheizgeschwindigkeit am unteren Ende der Zielhärtezone fällt deutlich geringer aus als an der Oberfläche. Ab dem Curiepunkt nimmt die Aufheizgeschwindigkeit merklich ab, was dazu führt, dass sich beide Temperaturen angleichen und sich am Ende des Heizprozesses die gewünschte Differenz von 140 °C einstellt. (990°C zu 850°C). Insgesamt dauert der gesamte Heizprozess bei einer Frequenz von 50 kHz rund 2.4 Sekunden.

Wird die Arbeitsfrequenz um den Faktor 10 von 50 kHz auf 5 kHz reduziert, ist der Unterschied zwischen den Aufheizgeschwindigkeiten noch gegeben, jedoch weniger ausgeprägt (Bild 2). Am Ende des Aufheizprozesses bleibt wiederum die Differenz von 140 °C. Jedoch erhöht sich die Gesamtheizzeit bei 5 kHz von 2.4 s auf 7 Sekunden.

Aus der zeitlichen Leistungsverteilung lässt sich auf den sich ergebenden Energiebedarf schließen, der beim Härteprozess mit 5 kHz gegenüber dem Prozess mit 50 kHz zu einer Energieeinsparung von 27 % führt.

Fazit: Für die induktive Wärmebehandlung der Stabilisierungszone eignet sich die geringere Frequenz von 5 kHz besser; zudem liegt die Energieeffizienz bei einem Prozess mit 5 kHz deutlich höher.

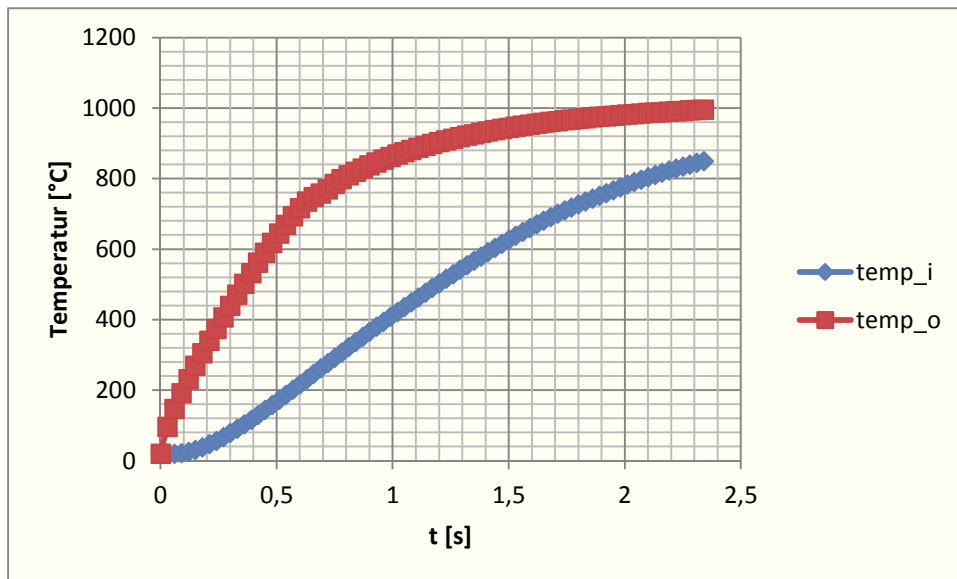


Abbildung 1: Härten der Stabilisierungszone bei einer Frequenz von 5 kHz

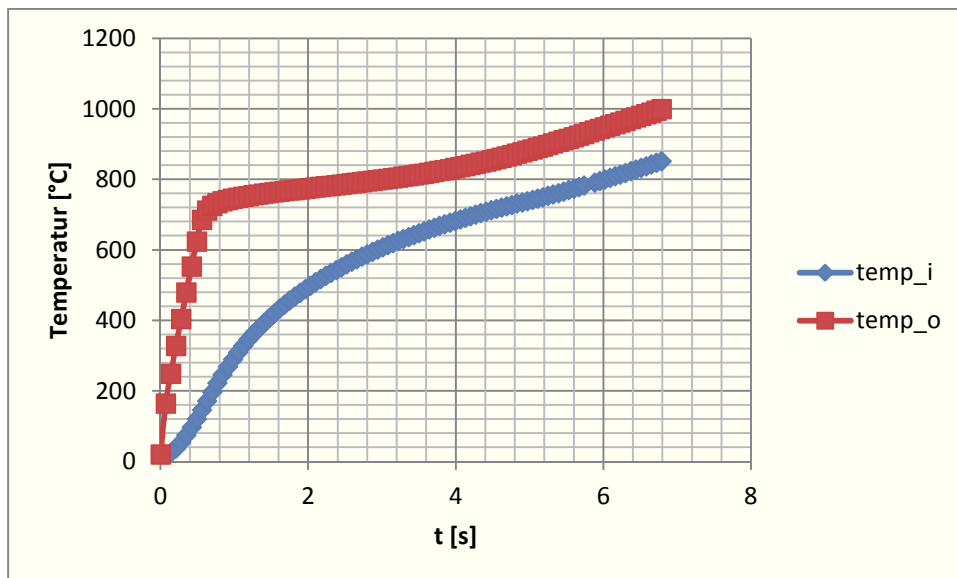


Abbildung 2: Härten der Stabilisierungszone bei einer Frequenz von 50 kHz

Härtebereich 2: Lagersitz

Im Bereich des Lagersitzes verfolgen wir das Ziel, 0.5 mm tief einzuhärten um die Werkstückverzüge in dem Bereich so minimal wie möglich zu halten. Das wird erreicht, in dem der Wärmeeinfluss und auch die Martensitbildung so gering wie möglich ausgestaltet werden. Auch für diesen Anwendungsfall sollen die Prozesse bei 50 kHz und bei 5 kHz betrachtet werden. Tendenziell ergibt sich hier eine völlig andere Verteilung der Ergebnisse.

Bild 6 zeigt die Aufheizkurven des Materials im Bereich des Lagersitzes an der Oberfläche und am unteren Bereich der gewünschten Härtezone für die Arbeitsfrequenz von **50 kHz**. Klar erkennbar ist die stärkere Aufheizgeschwindigkeit an der Oberfläche und die deutliche Temperaturdifferenz zwischen den Messpunkten, die sich am Ende des Erwärmungsprozesses auf das zuvor festgelegte Level von 140 °C einstellt. Die Heizzeit im Prozess beträgt 100 ms. Somit wird der gewünschte Härteverlauf in diesem Prozess problemlos erreicht.

Die Reduktion der Arbeitsfrequenz von 50 kHz auf **5 kHz** zeigt eine deutliche Änderung in der Qualität der Erwärmung. Ein Unterschied zwischen den Aufheizgeschwindigkeiten an der Oberfläche und der tiefer

liegenden unteren Schicht der Härtezone (Bild 4) ist nicht mehr erkennbar. Ein Blick in die Detailauflösung (Bild 5) zeigt, dass sich am Ende des Heizprozesses eine Differenz von unter 25°C zwischen den Messpunkten einstellt. Das führt zu einer deutlich tieferen Einhärtung als zuvor definiert. Selbst mit einer kurzen Heizzeit von 100 ms ist das Härtebild am Lagersitz mit einer Frequenz von 5 kHz nicht erreichbar.

Ein Blick auf den Energiebedarf der beiden betrachteten Prozesse zeigt, dass der Prozess bei 50 kHz einen um 77 % niedrigeren Energiebedarf besitzt als der Prozess bei 5 kHz.

Für die induktive Wärmebehandlung des Lagersitzes ist eine Arbeitsfrequenz von 50 kHz zu wählen. Das geforderte Härtebild ist mit einer Frequenz von 5 kHz nicht erreichbar und steht auch energetisch in keinem Verhältnis zum höherfrequenten Prozess.

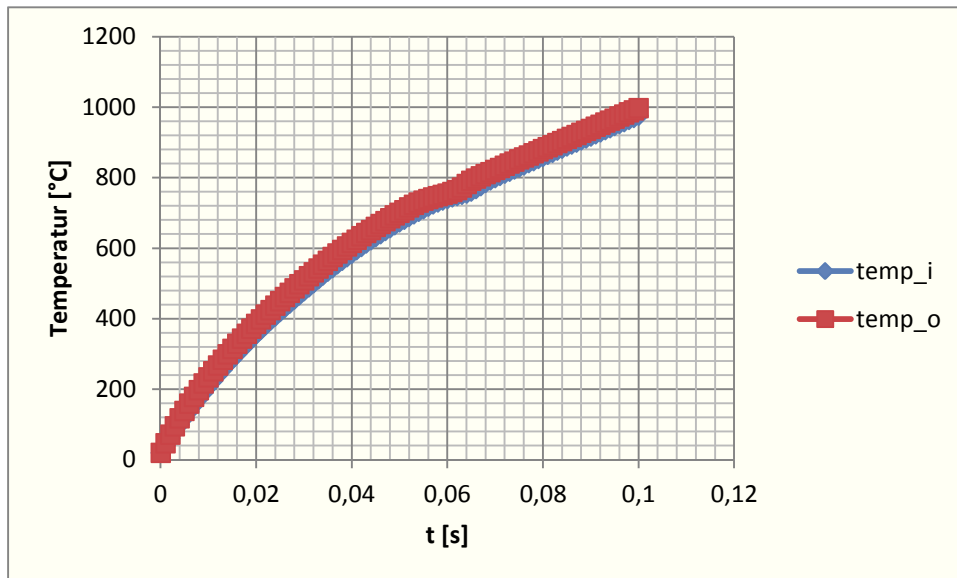


Abbildung 3: Härten des Lagersitzes bei einer Frequenz von 5 kHz

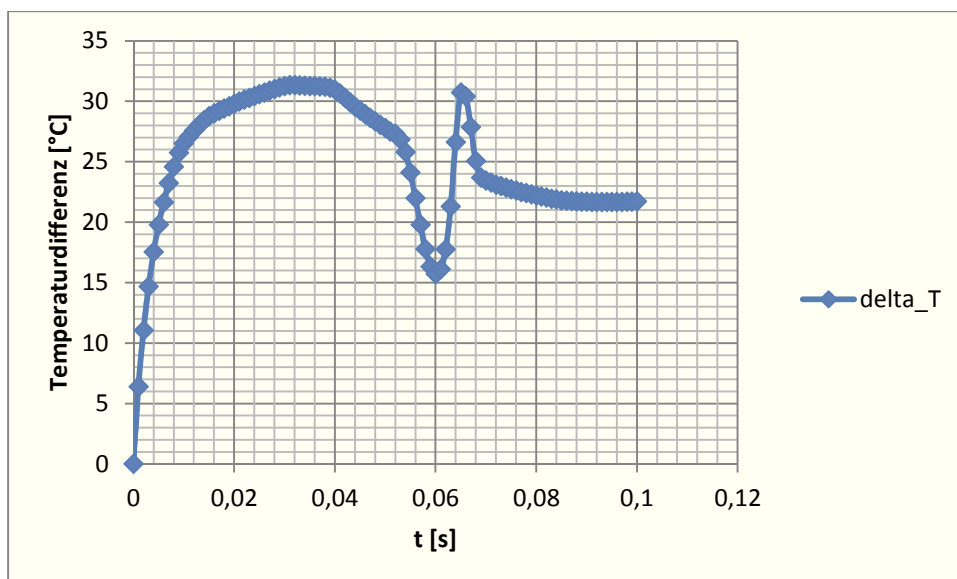


Abbildung 5: Temperaturdifferenz beim Härten des Lagersitzes, Frequenz: 5 kHz

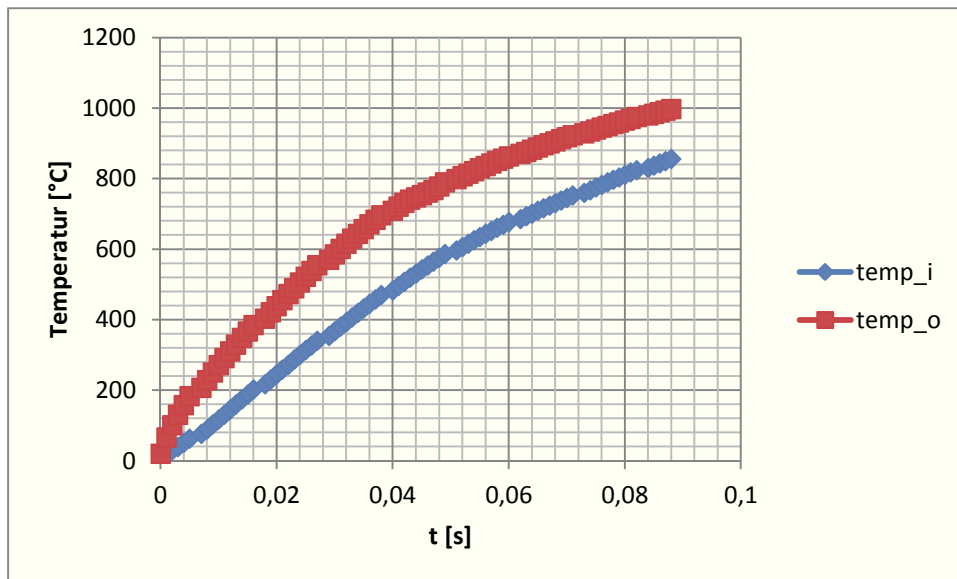


Abbildung 6: Härten des Lagersitzes bei einer Frequenz von 50 kHz

Fazit

Das vorliegende Werkstück zeigt zwei Härtestellen auf, die im induktiven Härteprozess mit zwei unterschiedlichen Frequenzen behandelt werden müssen, die sich im Optimalfall um den Faktor 10 unterscheiden. Somit ist während des Wärmebehandlungsprozesses eine Änderung der Frequenz notwendig.

Im klassischen Fall sind dazu zwei verschiedene Schwingkreis-Umrichter (5 kHz und 50 kHz) nötig. Der Härteprozess wird so in zwei Teilprozesse zerlegt.

Ein neuer Ansatz ist die Verwendung des zwangsgeführten Umrichters **Statitron iFP**. Die Umrichterfrequenz ist bei diesen Umrichtern nicht mehr bestimmt durch die im System enthaltenen induktiven und kapazitiven Elemente sondern wird vorgegeben durch die Steuerung der Pulsweitenmodulation. Über eine Änderung der Impulslänge ist die Arbeitsfrequenz auch während eines Heizprozesses frei variierbar. Gleichzeitig ist eine zeitgesteuerte Anpassung der Leistung über eine Änderung des Duty-Cycles möglich.

Die beiden Härtestellen der Welle sind somit in einem Prozess und einer Aufspannung durch die Online-Änderung der Frequenz induktiv härtpbar. Zudem führt die Online-Frequenzoptimierung des Härteprozesses zu deutlich energieeffizienterem Verhalten des Härteprozesses. Bei identischer Qualität der Temperaturverteilung sind für den betrachteten Fall Einsparungen von 27 % im Energieverbrauch möglich.

Das betrachtete Gedanken- und Applikationsbeispiel zeigt neben dem Potential auch die Grenzen der Optimierbarkeit. Gerade schwierige Härteprozesse werden zu allererst unter der Prämisse der Prozessbeherrschung und Prozess-Sicherheit definiert, was nicht immer zu einer effizienten Nutzung der Energie führt, jedoch in den Fällen oft den einzigen Weg aufzeigt, den Härteprozess überhaupt durchzuführen.

Ein weiteres, in diesem Rahmen nicht betrachtetes Feld der Energieoptimierung stellt die Verwendung von Feldkonzentratoren im Induktordesign und der Induktorfertigung dar. Auch hier gibt es eine Reihe von Ansatzpunkten, das elektromagnetische Feld effizienter zu nutzen, als es in vielen aktuellen Applikationen der Fall ist. Diese Diskussion sei jedoch einer weiteren Vortragsreihe überlassen.

Effiziente Brennertechnik in der Wärmebehandlung und Thermoprosesstechnik



Joachim G. Wüning

Uwe Bonnet

WS Wärmeprosesstechnik GmbH
Tel. +49 (7159) 1632-0 Fax +49 (7159) 2738
E-mail: j.g.wuenning@FLOX.com
Internet: www.FLOX.com

© 2012, Joachim Wüning

Brennstoffbeheizte Industrieöfen

- Viele Industrieöfen werden bei Prozesstemperaturen im Bereich von 800 bis 1300°C betrieben
- Wärmebehandlungsprozesse werden oft unter Schutzgasatmosphäre durchgeführt
- Es fallen somit Abgastemperaturen die häufig über 1000°C liegen an
- Ohne Abwärmenutzung bedeutet dies Abgasverluste von >50%
- Die Wärmezufuhr muß oft verteilt über viele Brenner kleinerer Leistung erfolgen

© 2012, Joachim Wüning

- Die mit Abstand wirtschaftlichste Methode zur Effizienzsteigerung liegt in der Nutzung der Abgaswärme zur Verbrennungsluftvorwärmung
- weitere Nutzungsmöglichkeiten sind Produktvorwärmung, Warmwasserbereitung, Gebäudeheizung, Trocknung, Wärme-Kraft-Koppelung, etc.

© 2012, Joachim Wüning

Primärenergieverbrauch

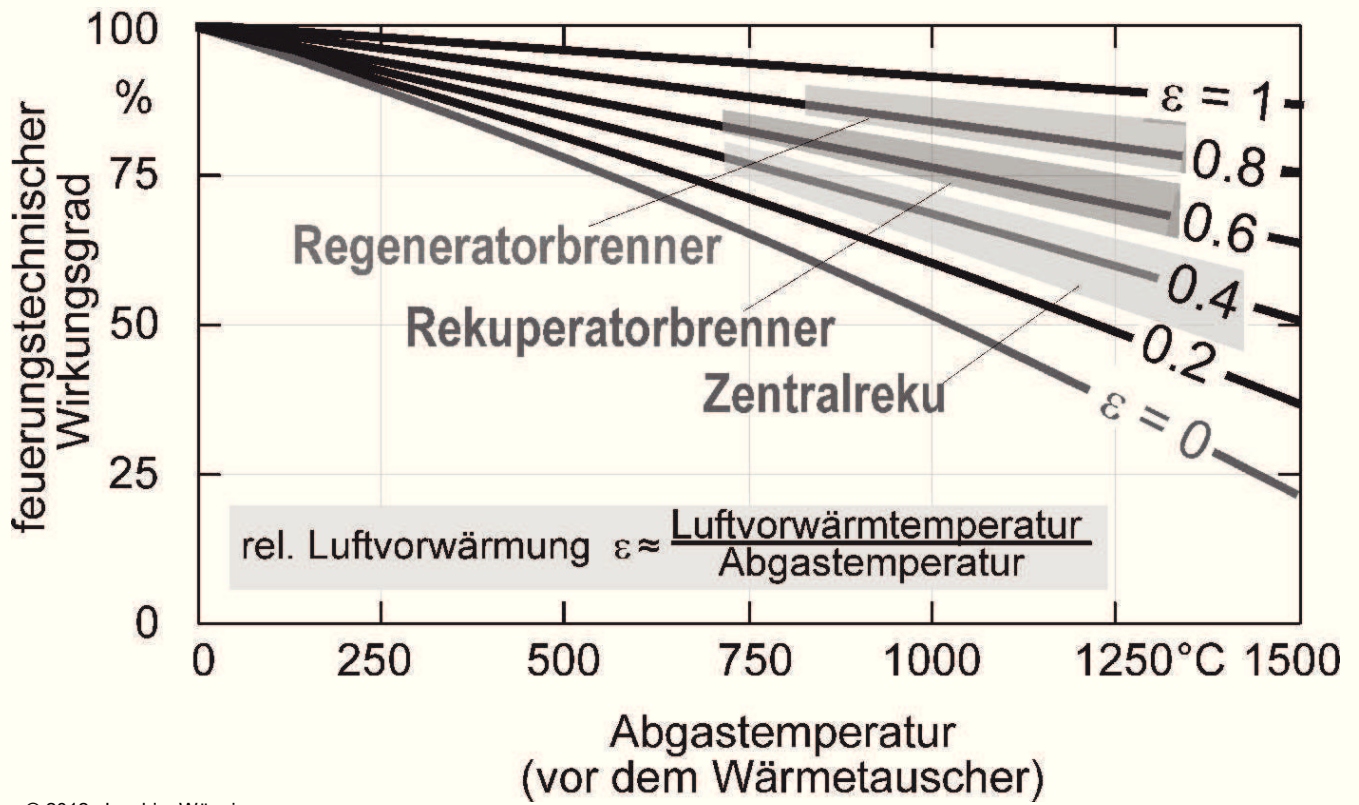
Beheizungsart	Erdgas ohne Luvo	Erdgas mit Luvo	Erdgas mit opt. Luvo	Erdgas mit O ₂ ***	Elektro
Abgasverlust im Ofen*	50%	30%	15%	15%	-
Verluste im Kraftwerk	-	-	-	7%	58%
Primärenergieeinsatz** (normiert)	2	1,4	1,2	1,3	2,4
CO ₂ -Emissionen (normiert)**	2	1,4	1,2	1,4	2,6

* bei 1000°C Prozesstemperatur

** Energiemix Kraftwerke in Deutschland (Quelle: BMWi)

*** für O₂-Erzeugung 0,5 kWh_{el} / m³

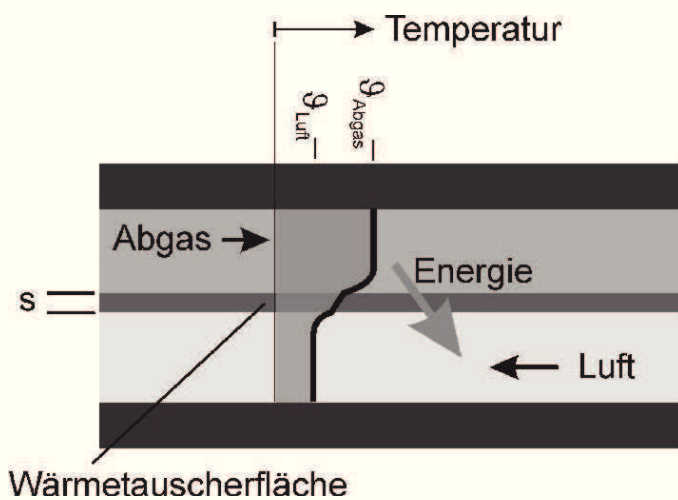
© 2012, Joachim Wüning



© 2012, Joachim Wüning

© 2012, Joachim Wüning

Wärmedurchgangskoeffizient



$$Q := k \cdot (T_1 - T_2) \cdot A$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Wärmeübertragungs - Kenngröße

$$\kappa \equiv \frac{kA}{\dot{m}_1 c_{p,1}}$$

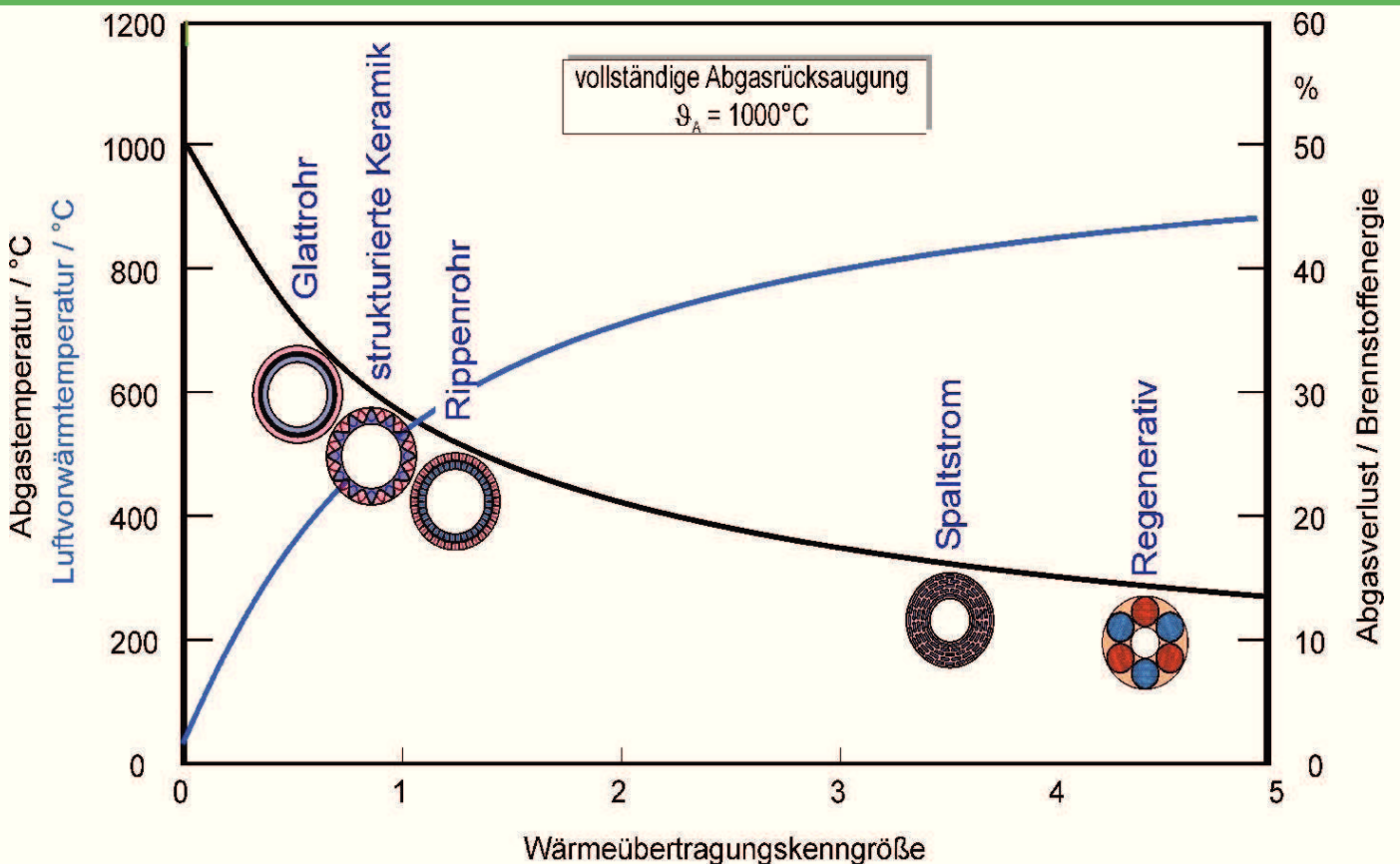
Wärmekapazitätsstromverhältnis μ

Betriebscharakteristik (Q/Q_{max})

$$\phi \equiv \frac{1 - e^{-\kappa (1 - \mu)}}{1 - \mu e^{-\kappa (1 - \mu)}}$$

© 2012, Joachim Wünnig

Wärmeübertragungskenngröße - NTU



bei Erdgasverbrennung

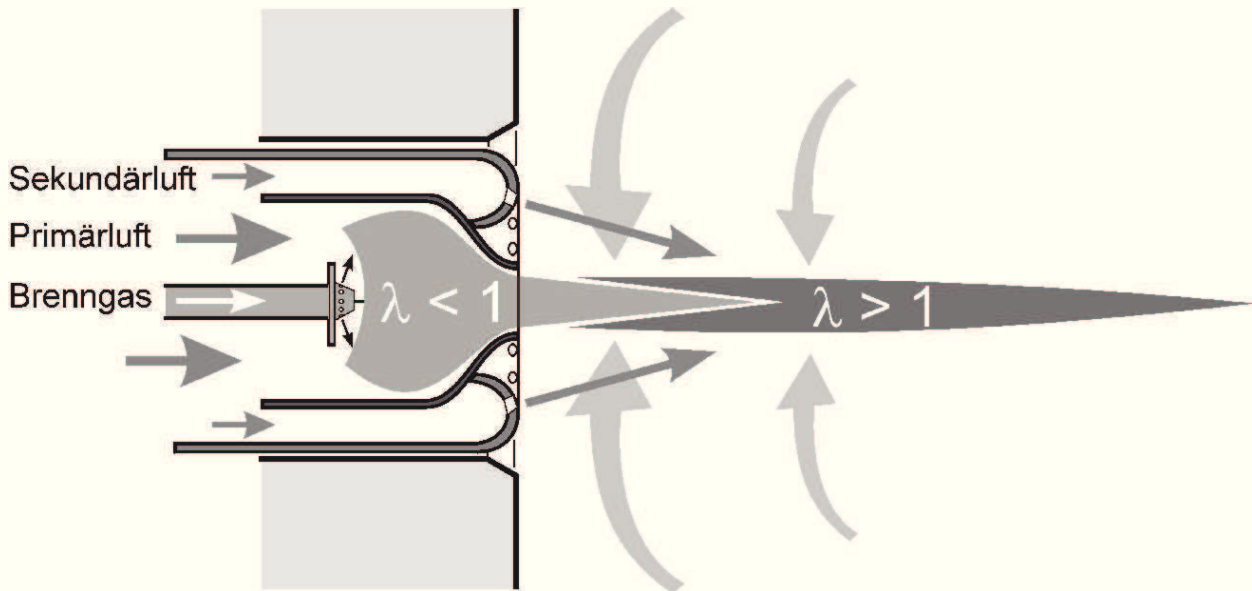
- Kohlenmonoxid
- Kohlendioxid
- Stickoxid

© 2012, Joachim Wüning

NO_x-Emissionen

NO _x Werte																		Energie-Bezug								
Abgas-Volumen-Bezug															Erdgas H						Propan					
0% O ₂	1 % O ₂	2 % O ₂	3 % O ₂	4 % O ₂	5 % O ₂	7 % O ₂	11 % O ₂	15 % O ₂	0% O ₂	1 % O ₂	2 % O ₂	3 % O ₂	4 % O ₂	5 % O ₂	7 % O ₂	11 % O ₂	15 % O ₂	Erdgas H			Propan					
ppm															mg / kWh						mg / MJ			# / MMBTU		
mg/m ³															mg / kWh						mg / MJ			# / MMBTU		
12	11	11	10	9	9	8	6	3	24	23	22	21	19	18	16	11	7	20	6	0,01	21	6	0,01			
23	22	21	20	19	18	16	11	7	48	46	43	41	39	36	32	23	14	41	11	0,03	41	11	0,03			
35	33	32	30	28	27	23	17	10	72	69	65	62	58	55	48	34	21	61	17	0,04	62	17	0,04			
47	44	42	40	38	36	31	22	13	96	91	87	82	77	73	64	46	27	81	23	0,05	82	23	0,05			
58	56	53	50	47	44	39	28	17	120	114	108	103	97	91	80	57	34	102	28	0,07	103	29	0,07			
70	67	63	60	57	53	47	33	20	144	137	130	123	116	109	96	68	41	122	34	0,08	124	34	0,08			
82	78	74	70	66	62	54	39	23	167	159	151	144	136	128	112	80	48	142	40	0,09	144	40	0,09			
93	89	84	80	76	71	62	44	27	191	182	173	164	155	146	128	91	55	163	45	0,11	165	46	0,11			
105	100	95	90	85	80	70	50	30	215	205	195	185	174	164	144	103	62	183	51	0,12	185	52	0,12			
117	111	106	100	94	89	78	56	33	239	228	216	205	194	182	159	114	68	204	57	0,13	206	57	0,13			
140	133	127	120	113	107	93	67	40	267	273	260	246	232	219	191	137	82	244	68	0,16	247	69	0,16			
163	156	148	140	132	124	109	78	47	335	319	303	287	271	255	223	159	96	285	79	0,18	288	80	0,19			
187	178	169	160	151	142	124	89	53	383	364	346	328	310	292	255	182	109	326	90	0,21	330	92	0,21			
210	200	190	180	170	160	140	100	60	431	410	390	369	349	328	287	205	123	366	102	0,24	371	103	0,24			
233	222	211	200	189	178	156	111	67	478	456	433	410	387	364	319	228	137	407	113	0,26	412	114	0,27			
292	278	264	250	236	222	194	139	83	598	569	541	513	484	456	399	285	171	509	141	0,33	515	143	0,33			
350	333	317	300	283	267	233	167	100	718	683	649	615	581	547	478	342	205	611	170	0,39	618	172	0,40			
408	389	369	350	331	311	272	194	117	837	797	757	718	678	638	558	399	239	712	198	0,46	721	200	0,47			
467	444	422	400	378	356	311	222	133	957	911	866	820	774	729	638	456	273	814	226	0,53	824	229	0,53			
525	500	475	450	425	400	350	250	150	1076	1025	974	923	871	820	718	513	308	916	254	0,59	927	258	0,60			
583	556	528	500	472	444	389	278	167	1196	1139	1082	1025	968	911	797	569	342	1018	283	0,66	1030	286	0,67			
700	667	633	600	567	533	467	333	200	1435	1367	1298	1230	1162	1093	957	683	410	1221	339	0,79	1236	343	0,80			
817	778	739	700	661	622	544	389	233	1674	1594	1515	1435	1355	1276	1116	797	478	1425	396	0,92	1442	401	0,93			
933	889	844	800	756	711	622	444	267	1913	1822	1731	1640	1549	1458	1276	911	547	1628	452	1,05	1648	458	1,07			
1050	1000	950	900	850	800	700	500	300	2153	2050	1948	1845	1743	1640	1435	1025	615	1832	509	1,18	1854	515	1,20			
1167	1111	1056	1000	944	889	778	556	333	2392	2278	2164	2050	1936	1822	1594	1139	683	2035	565	1,32	2060	572	1,33			

© 2012, Joachim Wüning



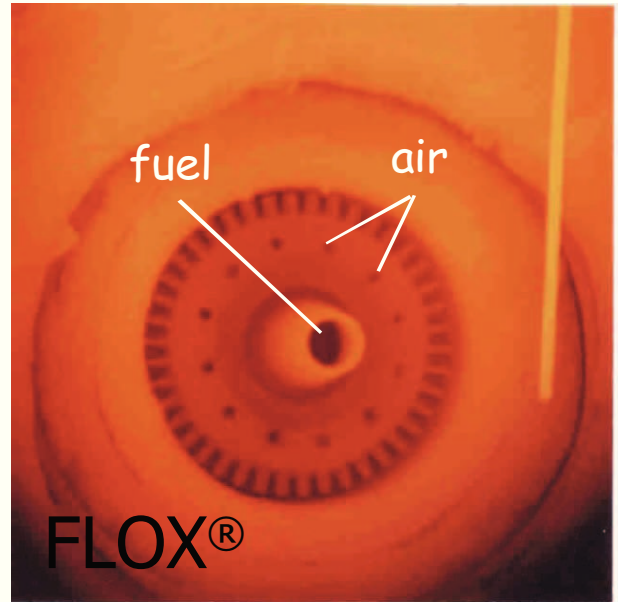
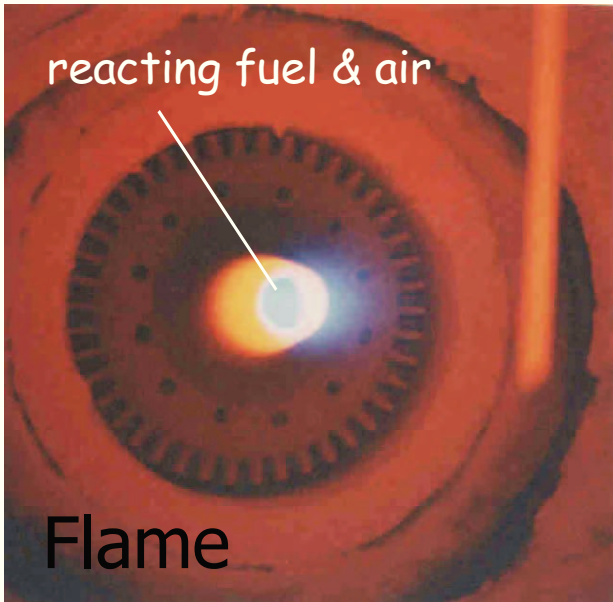
© 2012, Joachim Wüning

Was ist Flammlose Oxidation?

Stabile Verbrennung ohne Flamme mit definierter Rezirkulation von heißen Verbrennungsprodukten

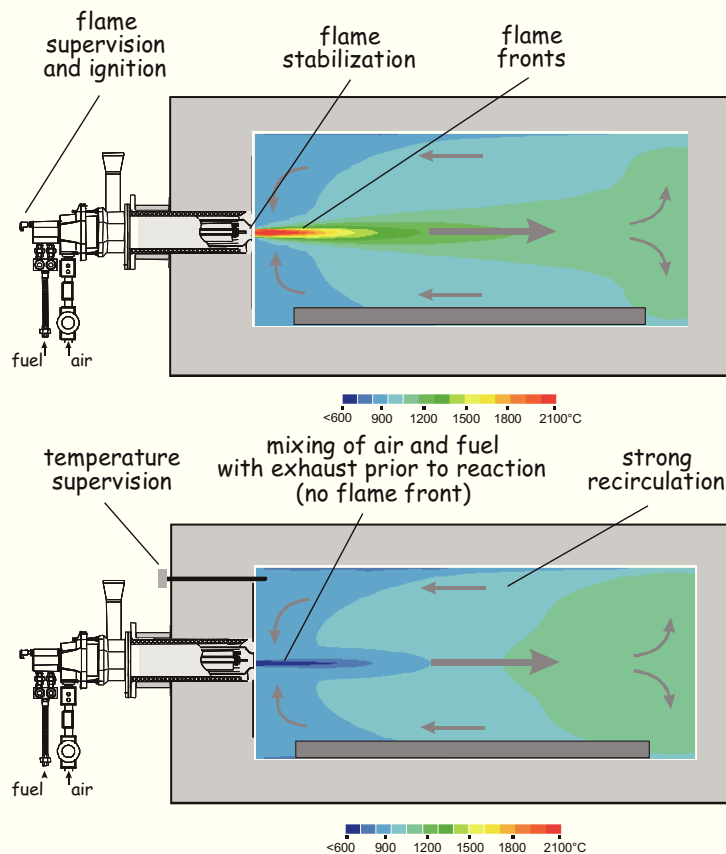
- für gasförmige, flüssige und feste Brennstoffe
- mit und ohne Luftvorwärmung
- mit und ohne Brennstoffvorwärmung
- für magere, nahstöchiometrische und fette Verbrennung (e.g. $\lambda = 0.3 - 3$)
- für Diffusions-, Teilvormisch- und Vormischverbrennung

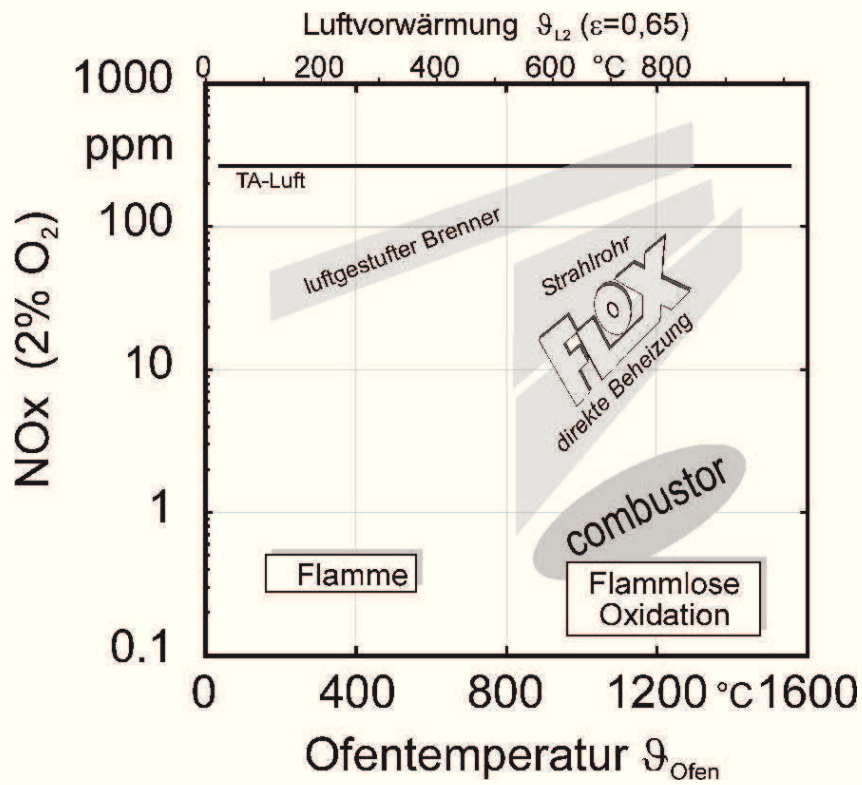
© 2012, Joachim Wüning



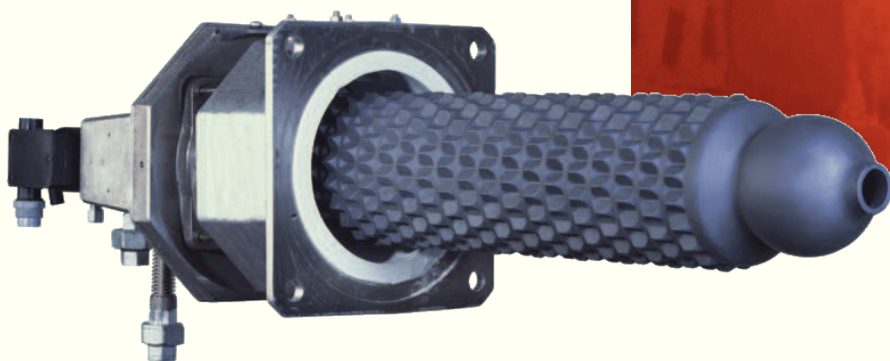
© 2012, Joachim Wünnig

WS GmbH test lab, 1989

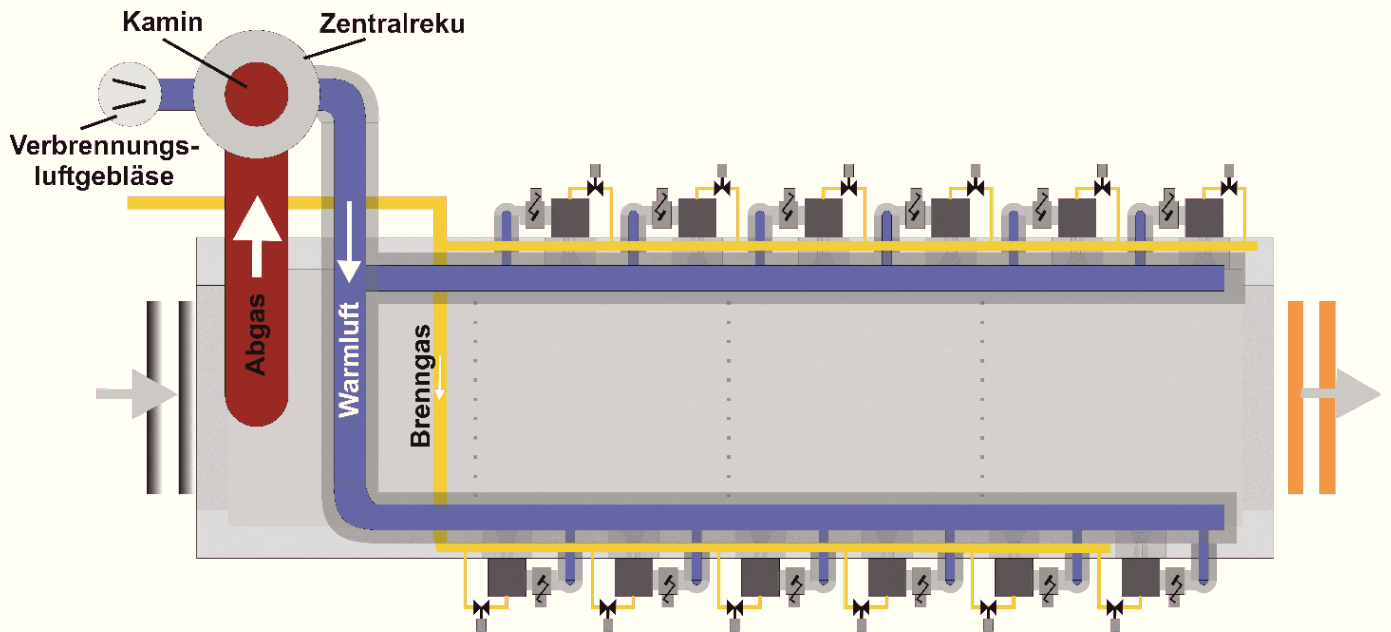




© 2012, Joachim Wüning

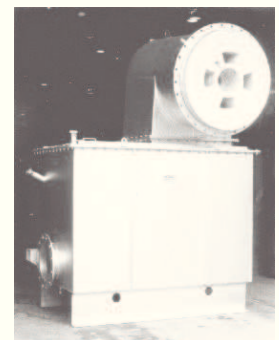
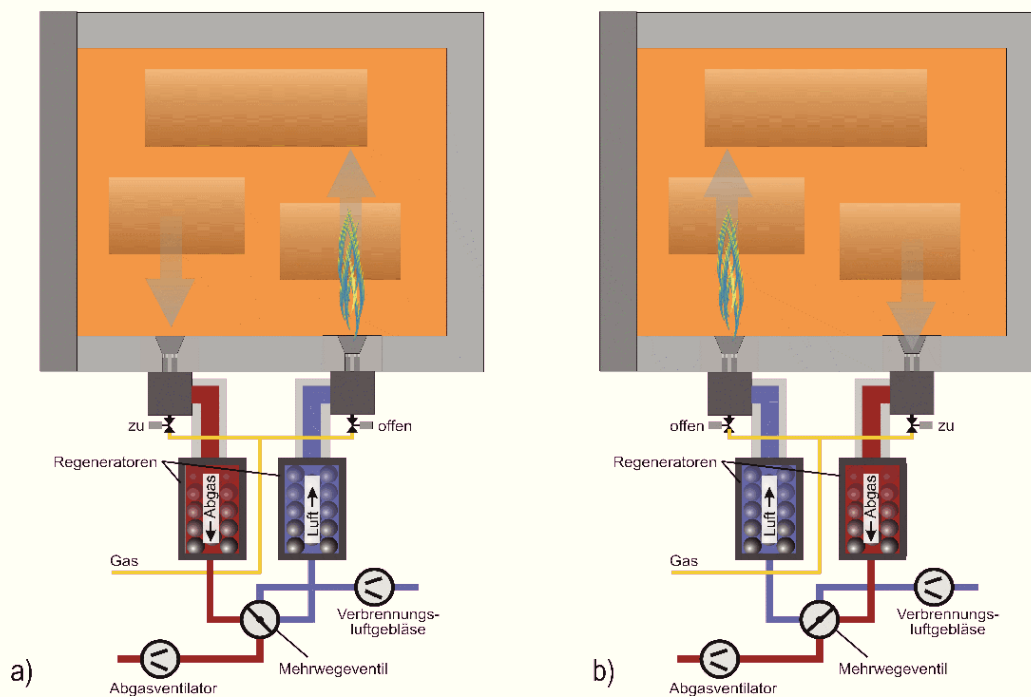


© 2012, Joachim Wüning



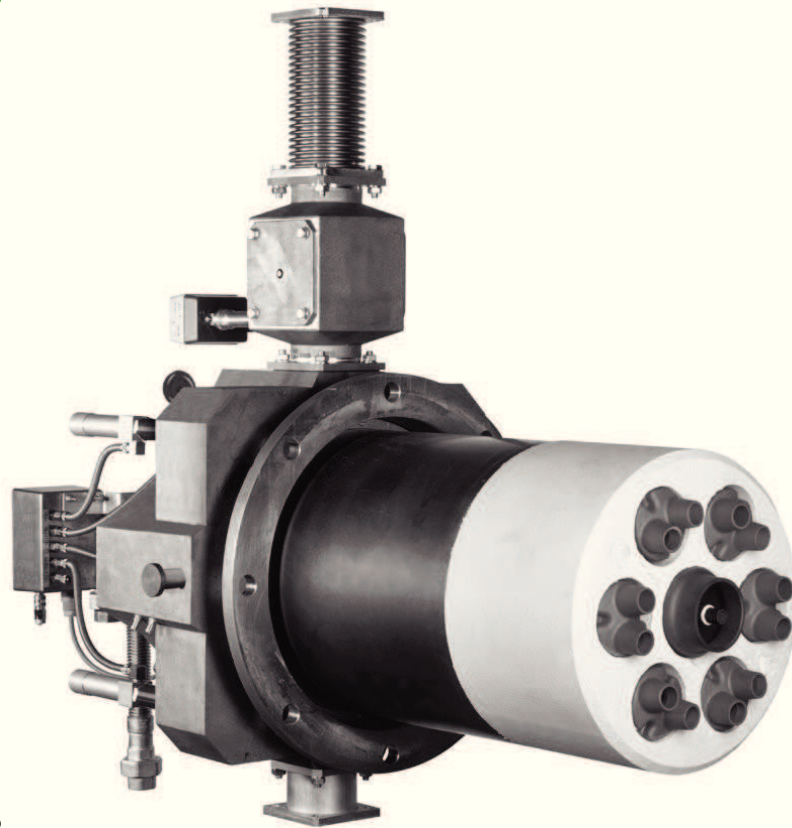
© 2012, Joachim Wüning

Regenerativ-Brennerpaar



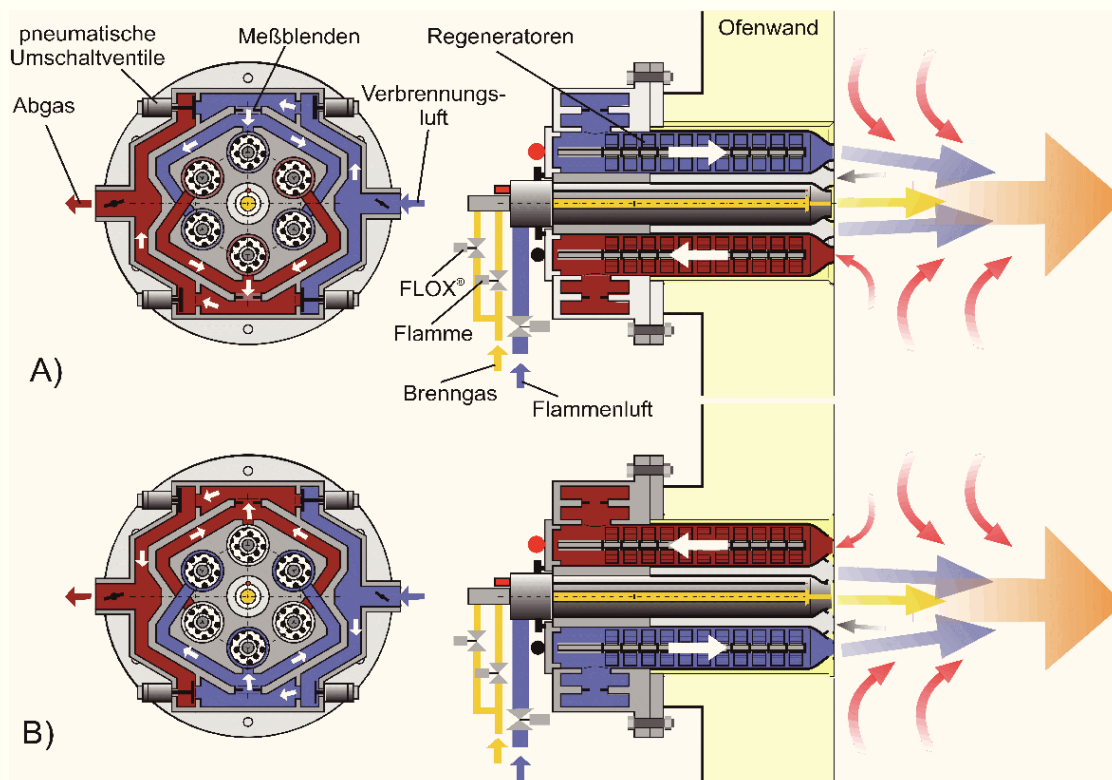
© 2012, Joachim Wüning

Regenerativbrenner



© 2012, Joachim Wünnin

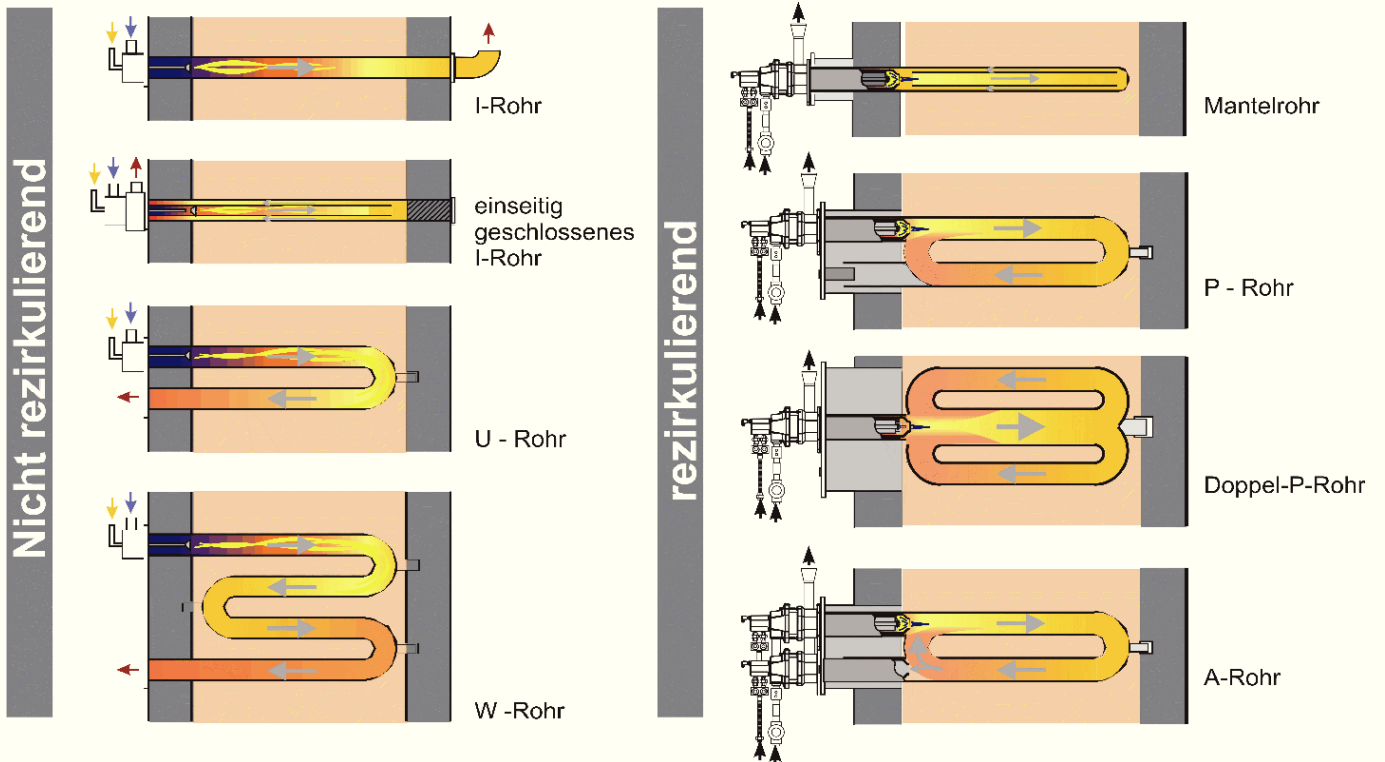
Regenerativbrenner



© 2012, Joachim Wünnin

Strahlrohrbauarten

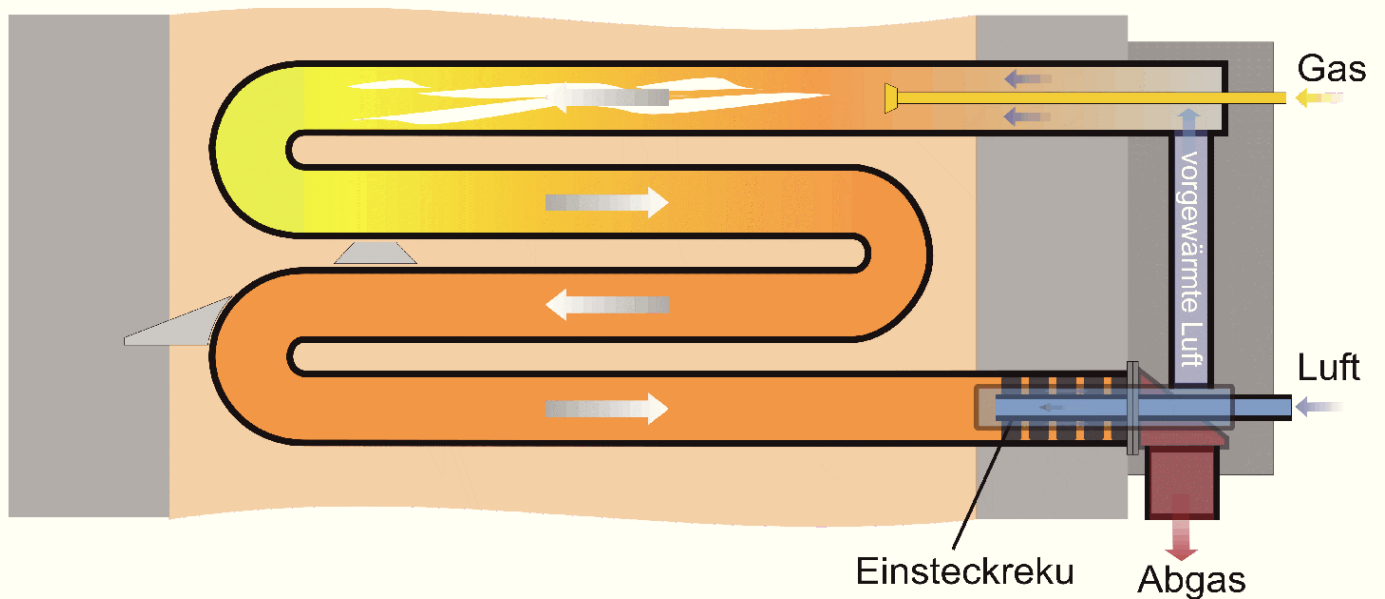
Energie- und Ressourceneffizienz



© 2012, Joachim Wüning

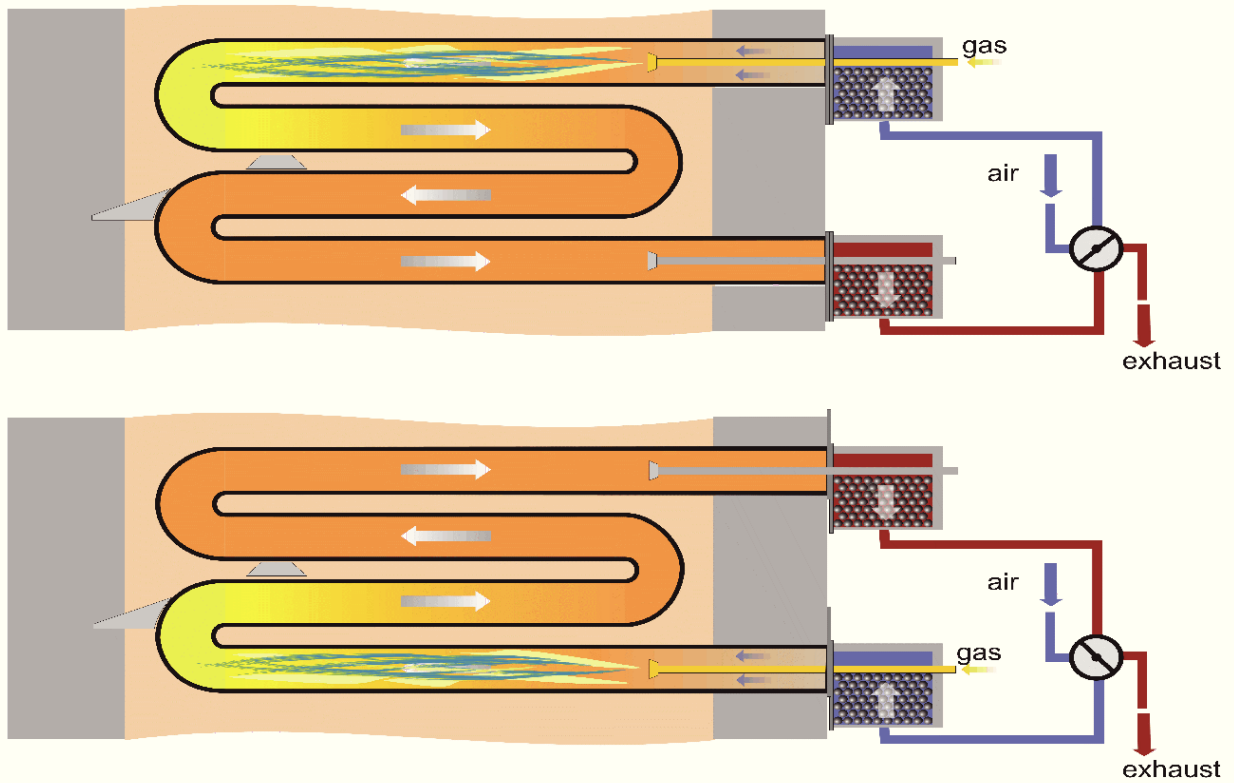
Einsteckreku

Energie- und Ressourceneffizienz



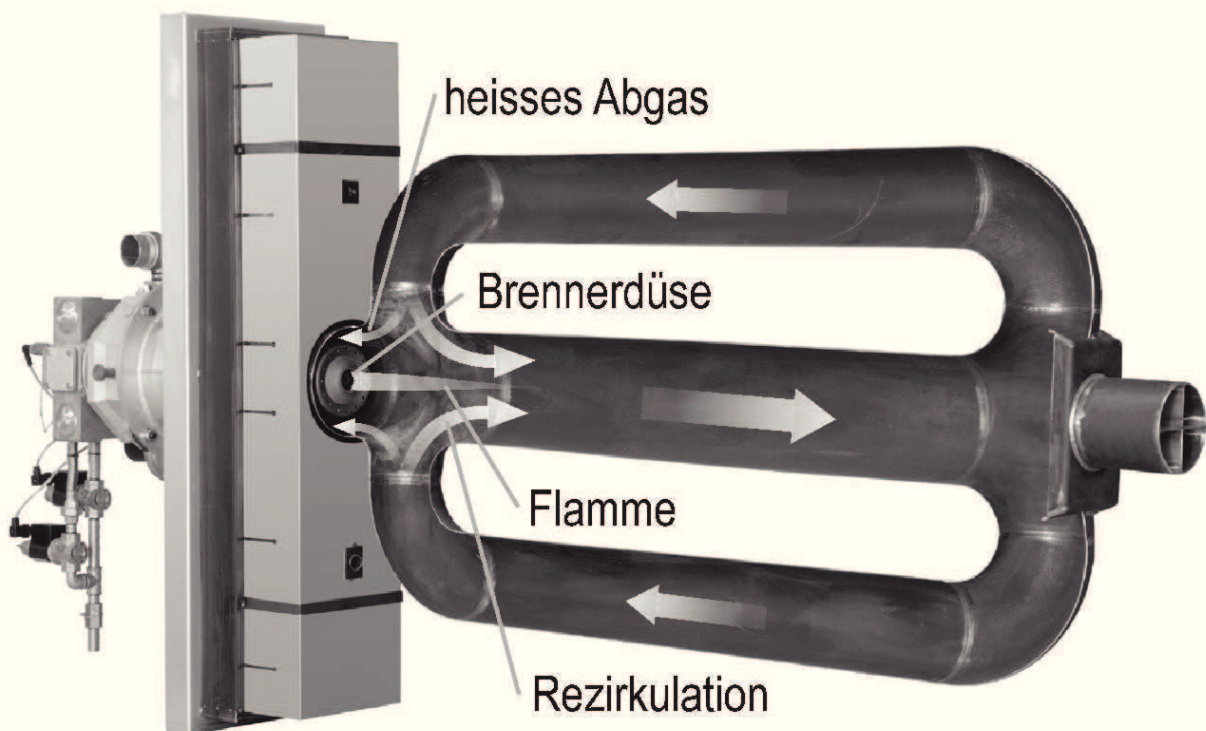
© 2012, Joachim Wüning

Regenerative beheiztes W-Rohr



© 2012, Joachim Wüning

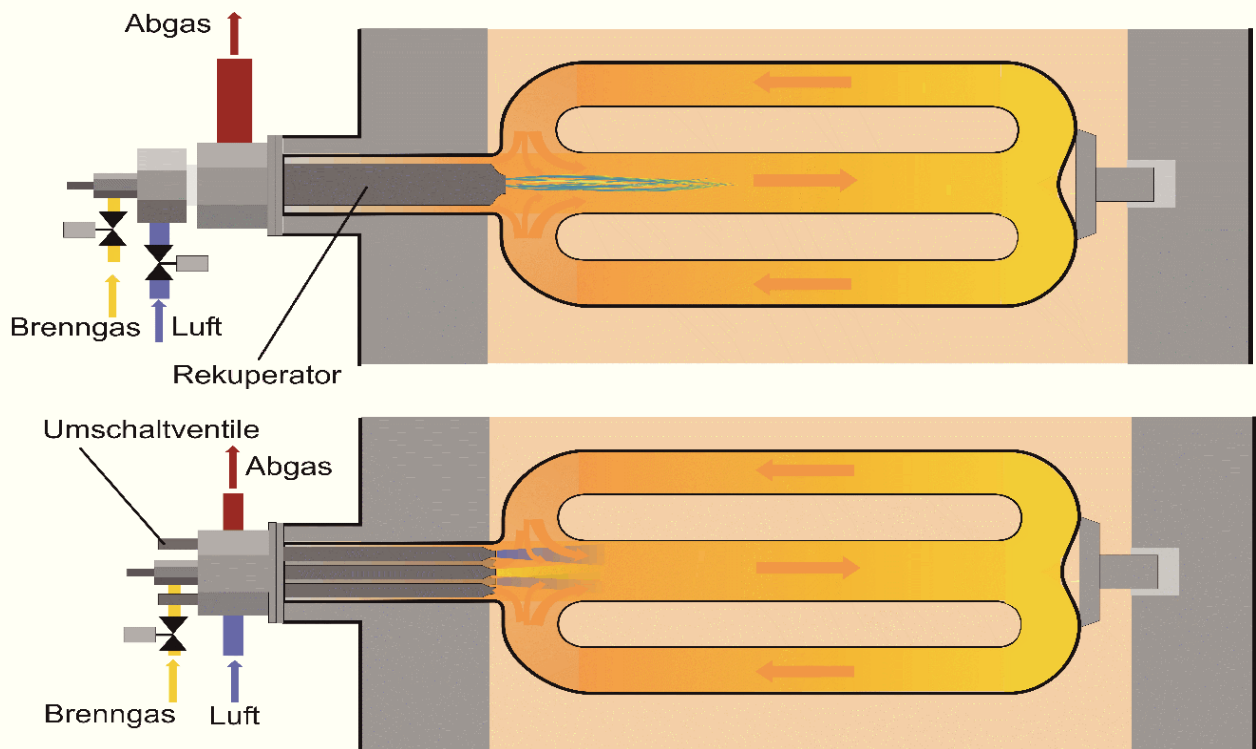
Doppel-P-Rohr



© 2012, Joachim Wüning

Doppel-P-Rohr

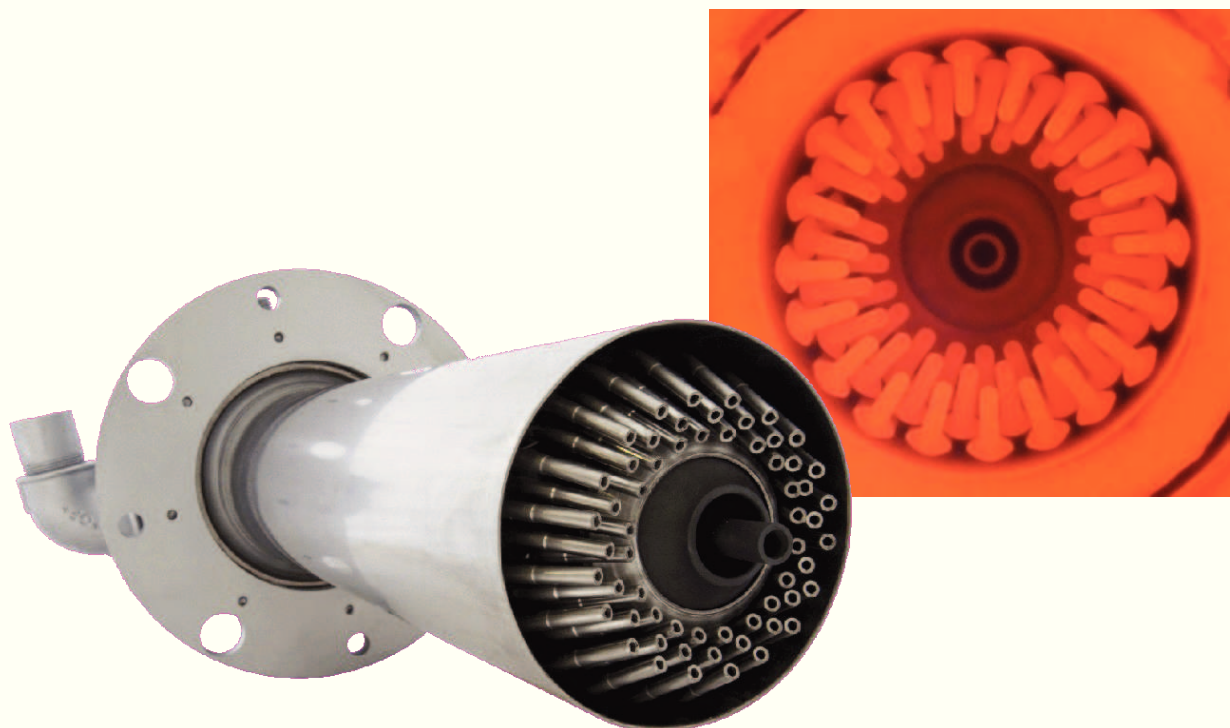
Energie- und Ressourceneffizienz



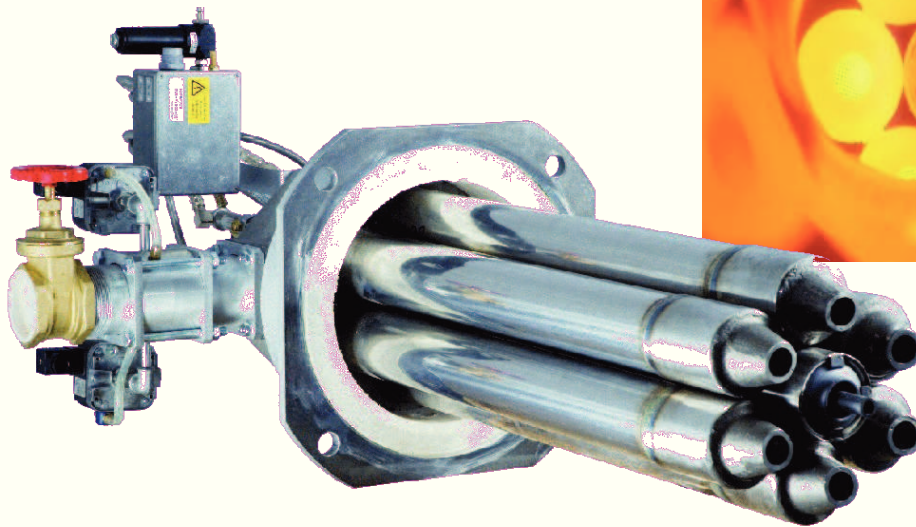
© 2012, Joachim Wüning

FLOX® Regenerativbrenner

Energie- und Ressourceneffizienz



© 2012, Joachim Wüning



© 2012, Joachim Wüning

Zusammenfassung

- Ein Einsparpotential von 15 bis 50% kann durch Verbrennungsluftvorwärmung mit vertretbarem Aufwand ausgeschöpft werden
- Die Verbrennungstechnik hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht die die Einhaltung von strengen Abgasgrenzwerten auch bei höchsten Luftvorwärmtemperaturen ermöglichen
- Die Einführung neuer Techniken erfordert eine partnerschaftliche Zusammenarbeit von Kunden und Lieferanten

© 2012, Joachim Wüning

Energieeffizienz von kontinuierlichen Wärmebehandlungsanlagen

Aktueller Stand und Zukunftspotentiale

Herwig Altena, Peter Schobesberger, Aichelin Holding GmbH,
Klaus Buchner, Aichelin Ges.m.b.H., Mödling

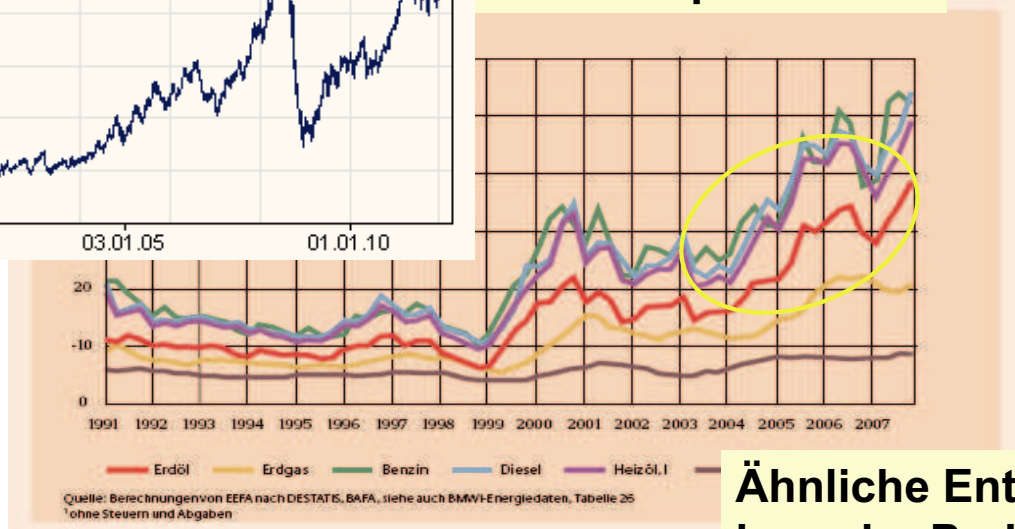
AWT / VDMA – Seminar “Energieeffizienz”
13. - 14. 6. 2012
IWT Bremen / Deutschland

Weltweite Explosion der Energiepreise



**Ölpreis 01.04.2012:
ca. \$ 125 per barrel**

IWT



Quelle: Berechnungen von EEFA nach DESTATIS, BAFA, siehe auch BMW-Energiedaten, Tabelle 25
* ohne Steuern und Abgaben

Ähnliche Entwicklung der Preise für Erdgas und Erdöl

Energieeffizienz von Ofenanlagen gewinnt zunehmend an Bedeutung

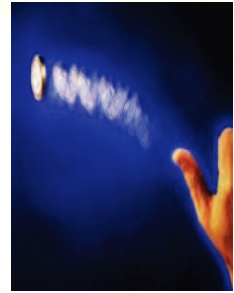
Ökonomische Gründe:

- Weltweiter Anstieg der Energiekosten
- **ROI von Energieeffizienz-Maßnahmen wird verkürzt**

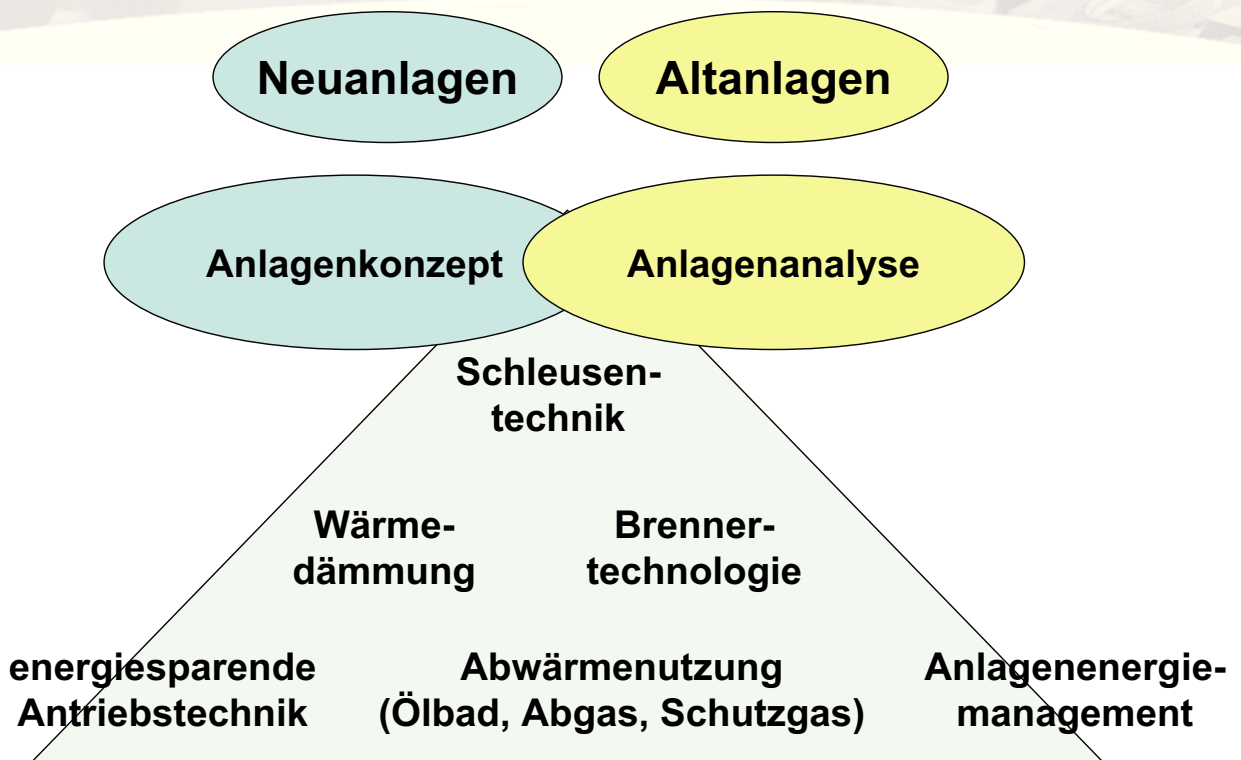
Rechtliche Grundlagen:

- Globale Ziele zur Verringerung des Energieverbrauchs und der CO₂ Emissionen (Kyoto-Protokoll)
- Eine „Öko-Designrichtlinie“ soll den maximalen Energieverbrauch von Ofenanlagen festlegen
- **Energieeffizienz von Ofenanlagen wird durch die Europäische Union vorgeschrieben**

Schutz der Umwelt ??



Übersicht Maßnahmenswerpunkte



Einsatzhärten von Getriebeteilen für die Automobilindustrie im zweibahnigen Durchstoßofen

AICHELIN
Heat Treatment Systems

Durchsatzleistung
bis 2500 kg/h
Begasung Endogas



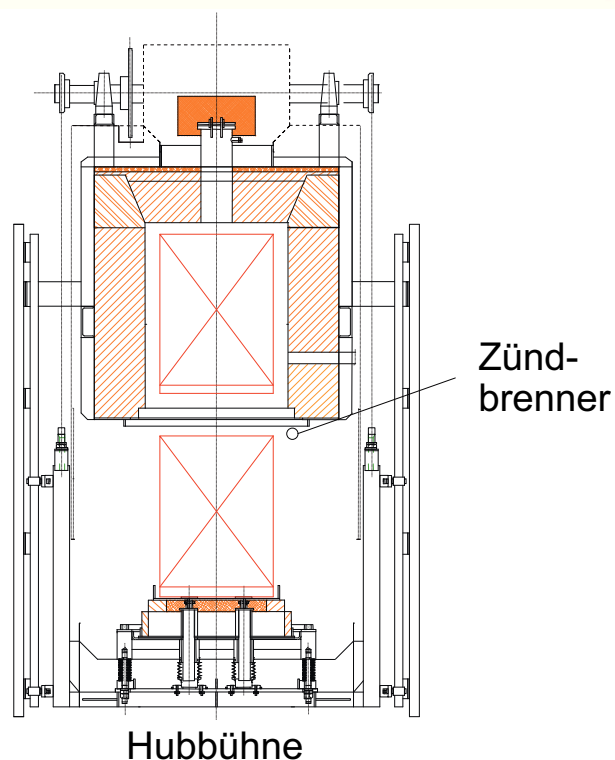
Einlaufschleuse mit Hubbühne (Schema)

AICHELIN
Heat Treatment Systems

- verminderter Sauerstoffeintrag in die Ofenatmosphäre
- reduzierte Randoxidation
- verminderter Gasverbrauch

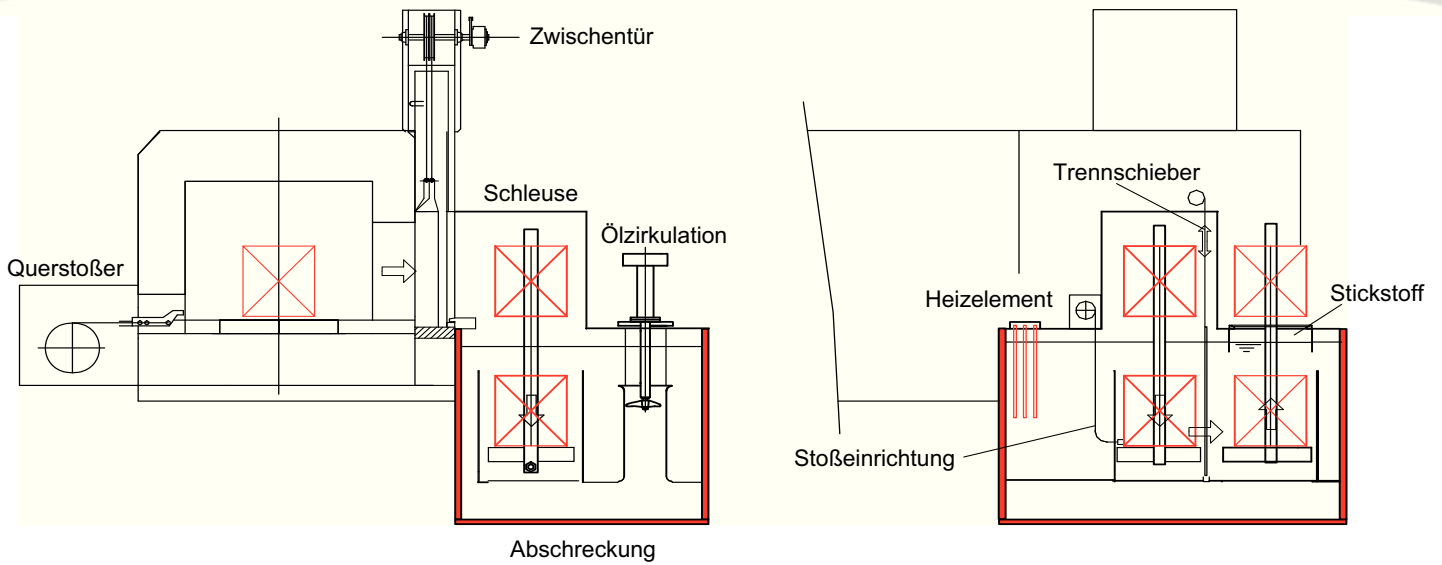


Einlaufschleuse



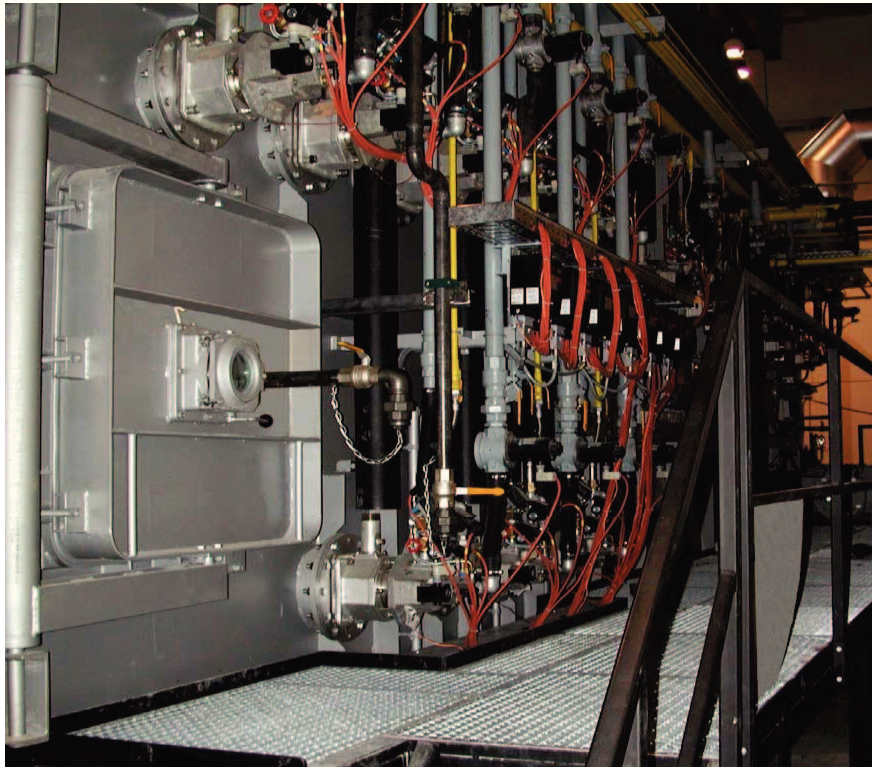
Hubbühne

Ölabschreckvorrichtung mit Auslass-Schleuse (Schema)



- verringerter Sauerstoff-Eintrag in die Ofenatmosphäre
- Reduzierung des Prozessgasverbrauchs

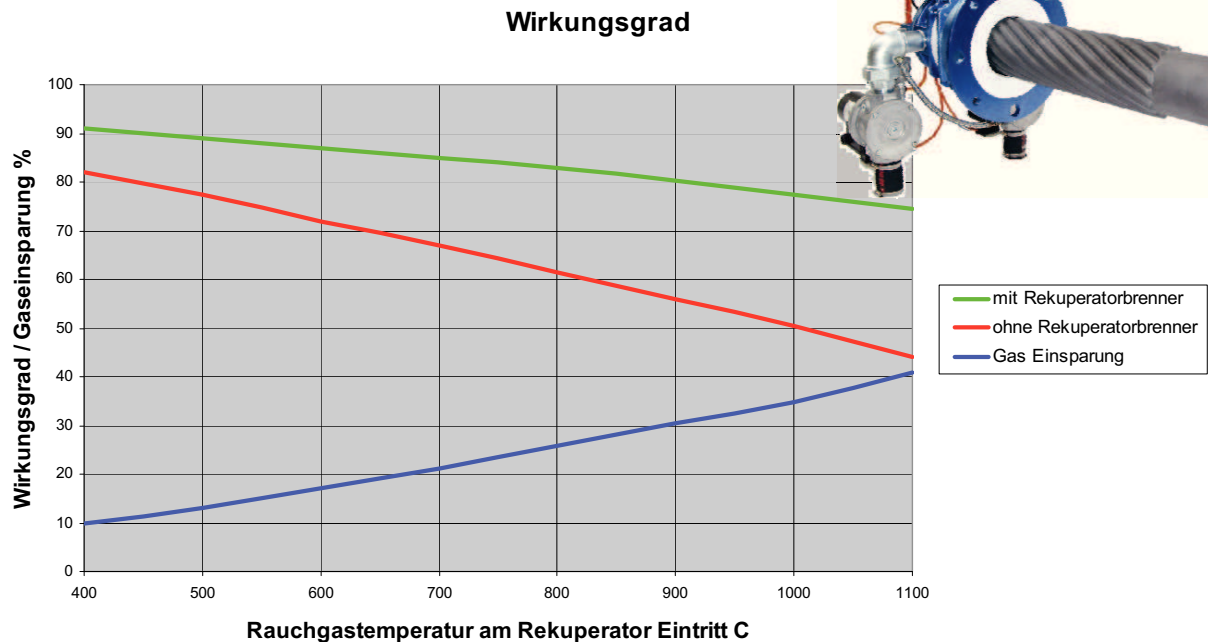
NOXMAT® - Beheizung des Hochtemperaturofens



Verbesserung des Wirkungsgrades durch Rekuperatorbrenner

Amortisation (ROI):

- Hochtemperaturofen **1 Jahr**
- Niedertemperaturofen **5 Jahre**



Energieeinsparpotenzial eines modernen Durchstoßofens

- Hubbühne und Durchtauchölbad
- Moderne, energieeffiziente Rekuperator-Gasbrenner
- verbesserte Isolierung

Ergebnis :

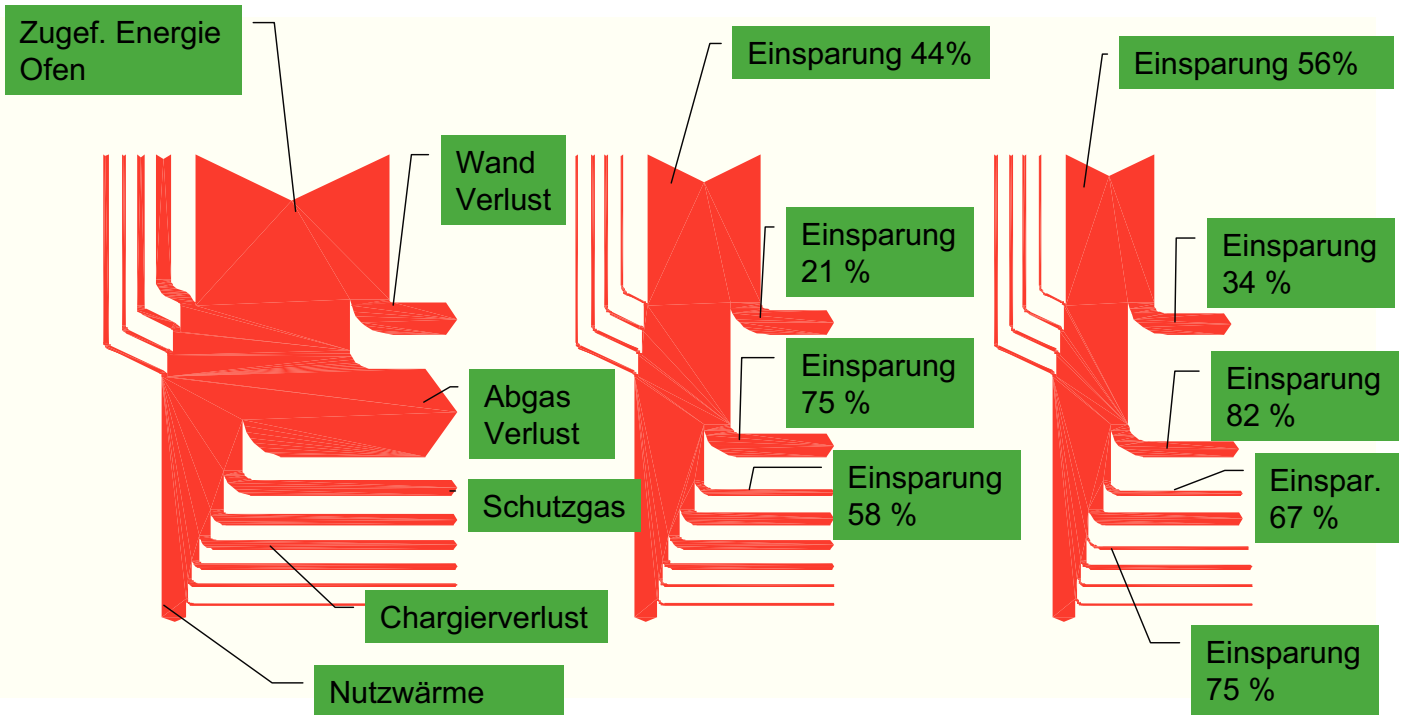
- **40% verringerter Prozessgasverbrauch**
- **50 % verringerter Energieverbrauch**

Sankey Diagramm: nach energetischer Optimierung

Einfache Bauart

Moderne Bauart

Zukünftiges Potenzial



Schutzgaserzeuger

Rekuperatorbrenner

Verbesserung Brennerwirkungsgrad

Reduktion des Erdgasverbrauchs
zur Beheizung: -25 %

Amortisation Neuanlage: 1-2 Jahre

Regelbarkeit des Endomaten

Minimierung der abgepackelten
Endogasmengen

Reduktion des Erdgasverbrauchs
zur Spaltung: bis zu -50 %

Amortisation Neuanlage: 1-2 Jahre

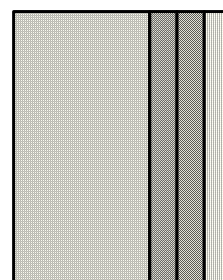


- **Verbesserung des Wandaufbaues**
 - Verbesserte Isolierstoffe
 - Mikroporöse Platte (0,025 W/mK)
- **CFC-Chargiergestelle mit dichter, keramischer Beschichtung**
- **Einsatz von Energiesparmotoren (Dauerläufer)**
- **Einsatz von Piezo-Zündung für Flammstreifer**
- **Energierückgewinnungssysteme**

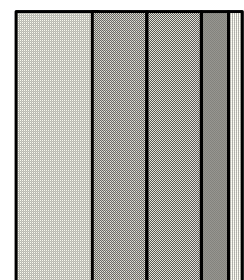
Höhere Wirtschaftlichkeit durch verbesserte Isolierwerkstoffe

- **Hochtemperaturofen einer kontinuierlichen Gasaufkohlungsanlage**
Verbesserter Wandaufbau durch mikroporöse Dämmplatten (0,025 W/mK)

Aufkohlungstemperatur	930 °C
ΔT Ofenwand	- 7 K
Energieeinsparung	20 %
Amortisation	~ 5 Jahre^{*)}



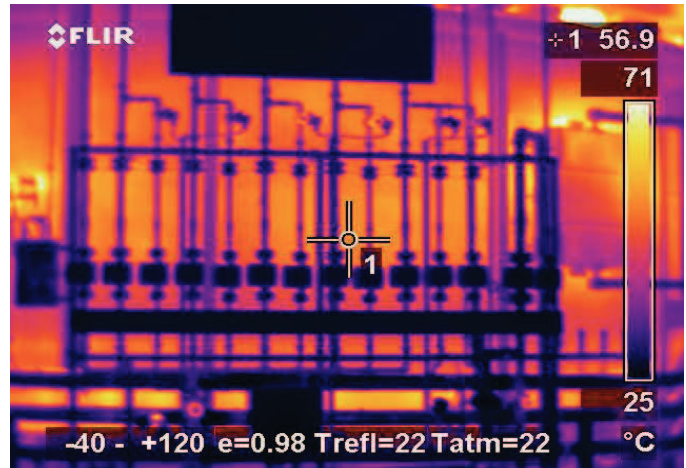
Standard



mit mikroporöser
Dämmplatte

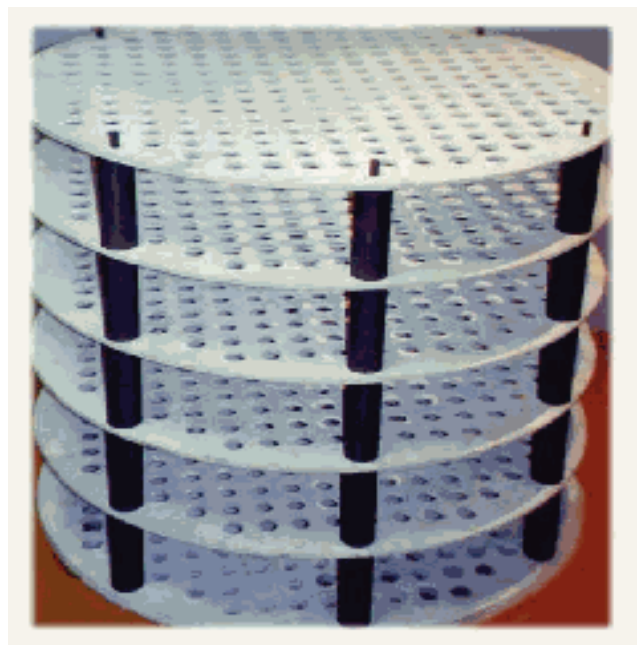
^{*)} Basis: € 0,35/m³ Gas

Feststellung Isolationsschäden
Lokalisieren von Hot Spots

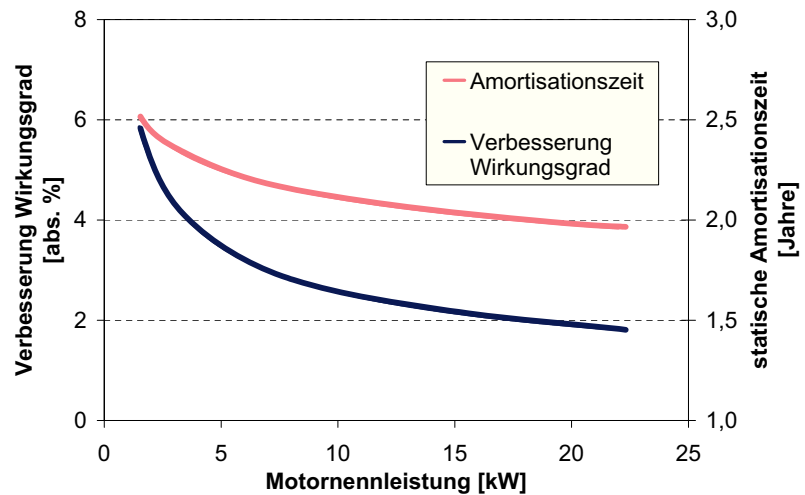
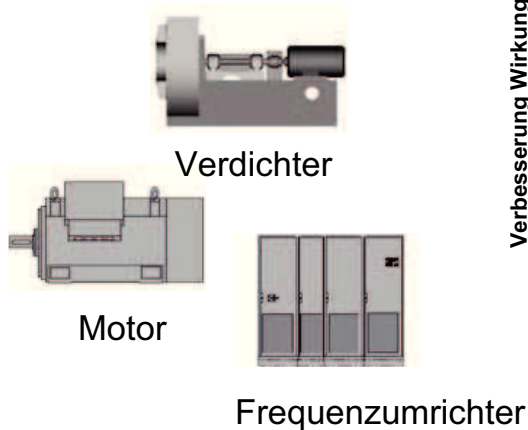


Beschichtete Chargiergestelle aus CFC (Beispiel)

- hohe Festigkeit bei hoher Temperatur
- Stark reduzierte Wandstärke
- Verringerung des Chargerverlustes um 50 %



EFF1 Effizienzverbesserung von Elektromotoren durch bessere Blechqualitäten, Vergrößerung der Blechpakete, optimierte Lager und Lüfter, ...



Weitere Einsparpotentiale

- **Verbesserung des Wandaufbaues**
 - Verbesserte Isolierstoffe
 - Mikroporöse Platte (0,025 W/mK)
- **CFC-Chargiergestelle mit dichter, keramischer Beschichtung**
- **Einsatz von Energiesparmotoren (Dauerläufer)**
- **Einsatz von Piezo-Zündung für Flammschleier**
- **Energierückgewinnungssysteme**

Abwärme

Abschreckbäder
(Öl / Salz / Polymer)

Abgas
(Brennerabgas /
Prozessgasabfackelung)

Wärmebedarf

Beheizung Waschmedien

Chargentrocknung
(Waschmaschine)

Erzeugung Warmwasser

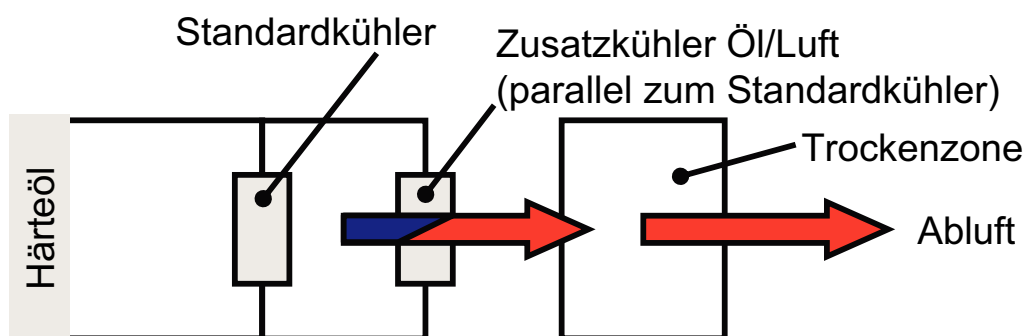
Hallenheizung (Warmluft)

Externe Verbraucher



Abwärmenutzung des Ölbad zur Trocknung

➤ Durchstoßofenanlage

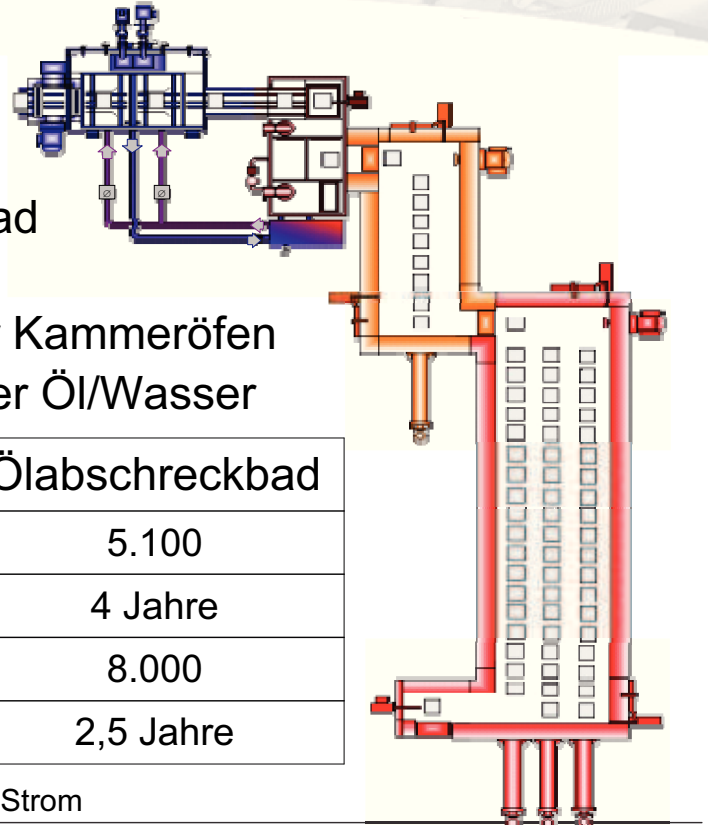


- bestehender Schwadenkondensator mit E-Heizung entfällt
- Energieeinsparung **17 kW** und 20.000 m³/Jahr Kühlwasser
- Statische Amortisationszeit: ca. **3 Jahre**

Wärmerückgewinnung zur Beheizung wässriger Reinigungsmedien

A) Wärmerückgewinnung vom Ölabschreckbad

- $\Delta T > 20 \text{ °C}$ zwischen Ölbad und Reiniger erforderlich
- Nur begrenzte Eignung für Kammeröfen
- Sicherheits-Wärmetauscher Öl/Wasser



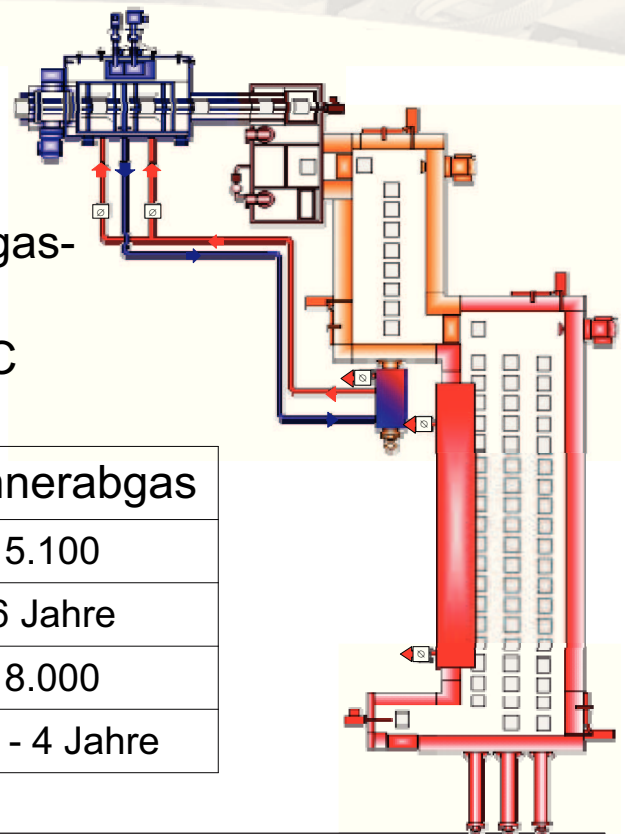
Beheizung		Ölabschreckbad
Gas	Einsparung [€/a]*)	5.100
	Amortisation	4 Jahre
elektrisch	Einsparung [€/a]*)	8.000
	Amortisation	2,5 Jahre

*) Basis: € 0,35/m³ Gas und € 0,07/kWh Strom

Abwärmenutzung zur Beheizung wässriger Reinigungsmedien

B) Wärmerückgewinnung aus Brennerabgas (160°C oder 450°C)

- Bypass erforderlich
- Wärmetauscher über dem Abgas-Sammelkanal der HT-Zone
- Kammeröfen benötigen 450 °C Abgastemperatur



Beheizung		Brennerabgas
Gas	Einsparung [€/a]*)	5.100
	Amortisation	6 Jahre
elektrisch	Einsparung [€/a]*)	8.000
	Amortisation	3,5 - 4 Jahre

*) Basis: € 0,35/m³ Gas und € 0,07/kWh Strom

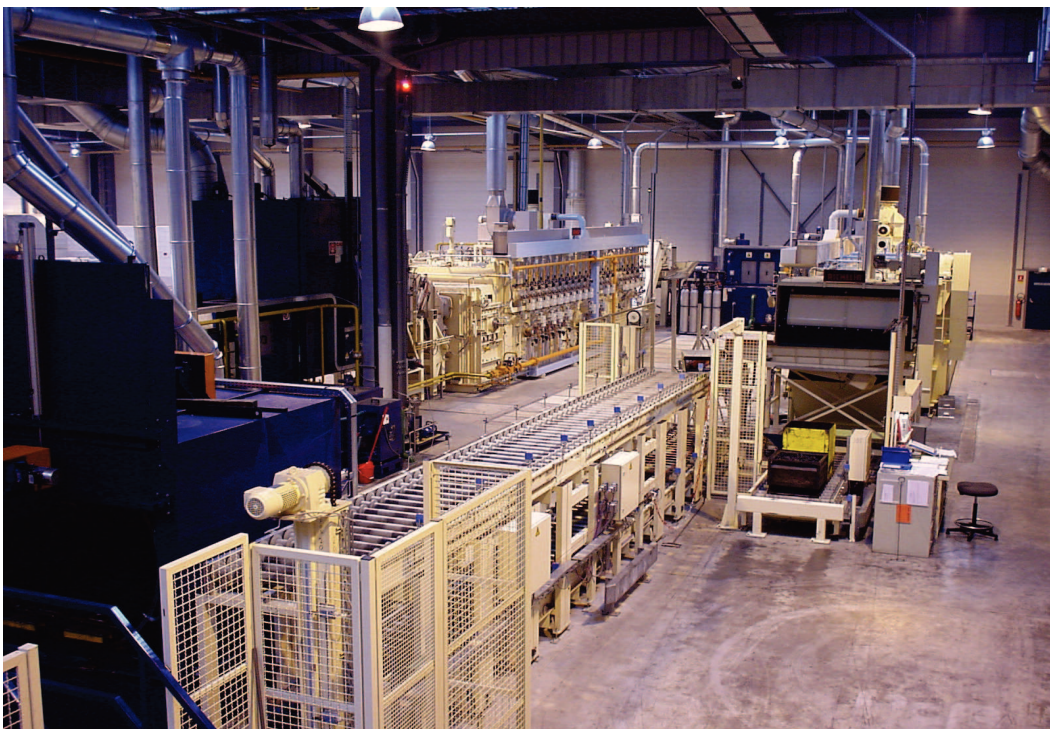
▪ Beispiele von durchgeführten Maßnahmen bei Aichelin Kunden:

➤ Fa. AGRATI, Italien (Schraubenfabrik):

- Wärmerückgewinnung für **Trocknung in der Waschmaschine**
 - Nutzung **Brennerabgas und Abfackelungsabwärme**
 - Gas / Luft Wärmetauscher
 - Energieeinsparung: bis zu **50 kW**
 - Kosteneinsparung von ~ **€ 18.000.-- / Jahr**
 - statische Amortisation ca. **2 – 3 Jahre**
- Wärmerückgewinnung für **Hallenheizung**
 - Nutzung **Abwärme Ölkühler**
 - Öl / Luft Wärmetauscher
 - Energieeinsparung: bis zu **200 kW**



Förderband-Ofenanlage zum Vergüten von Schrauben mit Wärmerückgewinnungseinrichtung (Agrati)



Wärmerückgewinnung vom HT-Ofen Trocknung nach wässriger Reinigung

AICHELIN
Heat Treatment Systems



Energieeffizienz

AICHELIN
Heat Treatment Systems

Fa. MOLLA, Italien (Schmiedeindustrie):

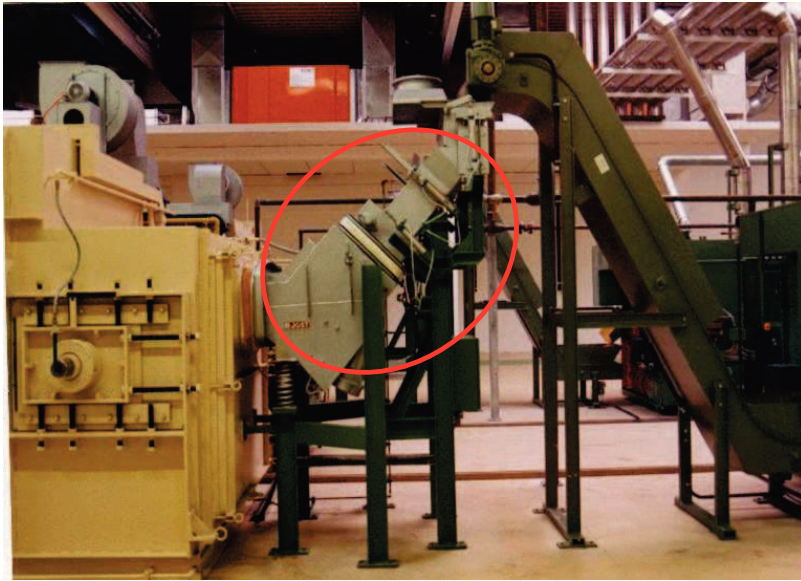
Wärmerückgewinnung aus
Brennerabgas für Gebäude-
heizung und Warmwasser

Luft / Wasser Wärmetauscher

Energieeinsparung:
bis zu **120 kW**

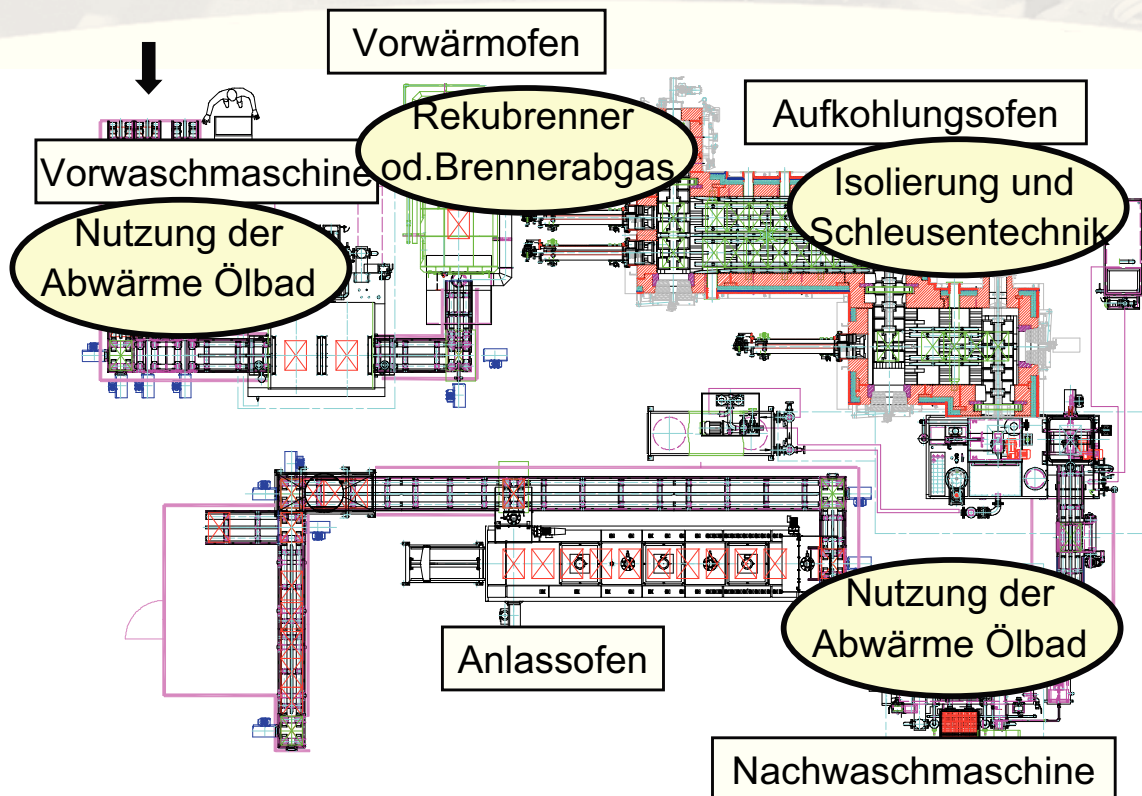


Bandofen-Beschickung mit optimierter Schleusentechnik



- Reduktion Erdgasverbrauch bis zu 7 %
- Reduktion Endogasverbrauch bis zu 50 %
- Energieeinsparung 20 – 30 %
- **Amortisationszeit (ROI): 3 Jahre**

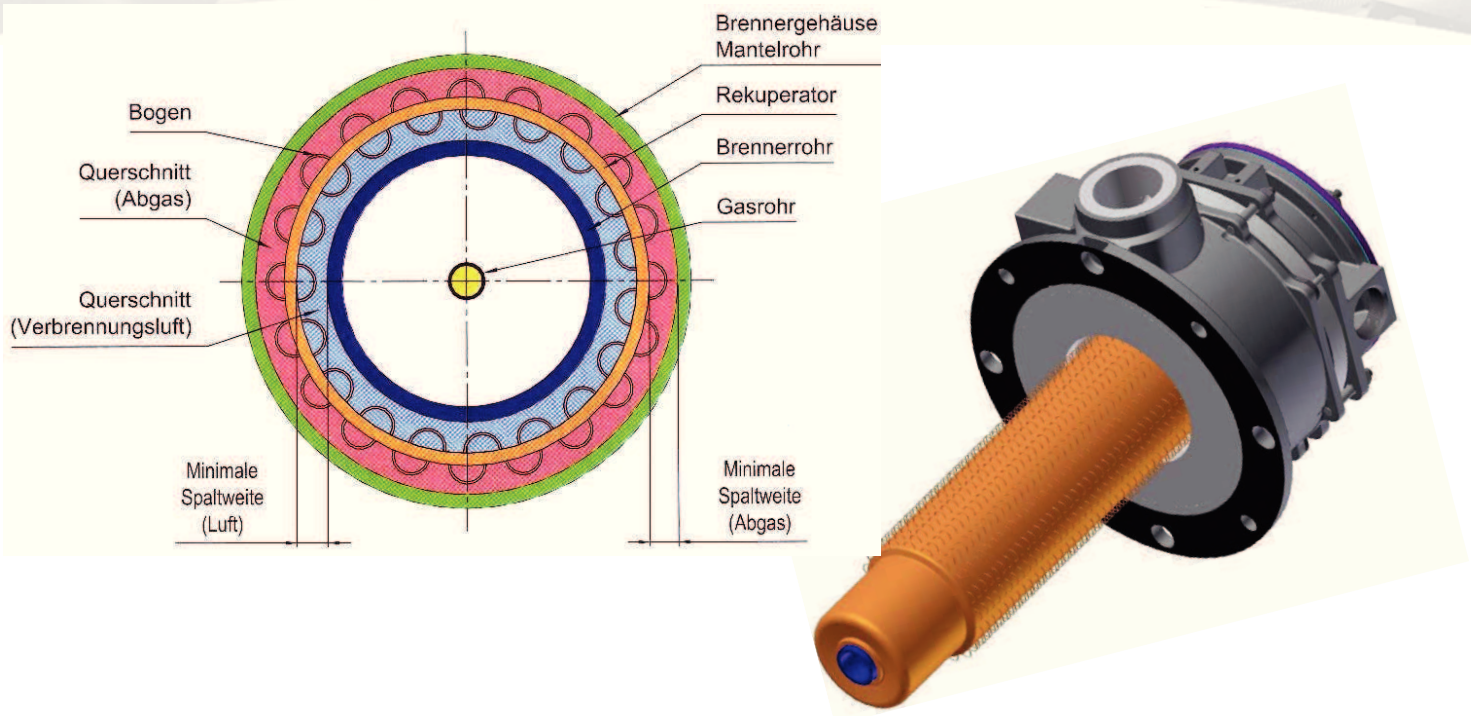
Energieeffizienz



Zukünftige Entwicklungspotentiale:

- Verbesserte Brennertechnologie (CEREXPro)
- Vorwärmen mittels Brennerabgas
- Nutzung unverbranntes Prozessgas
- Speicherung der Abwärme mittels Wärmeträgeröl
- ORC-Anlagen zur Kraft-Wärmekopplung (Stromerzeugung aus Abwärme)

Keramischer Rekuperatorbrenner mit vergrößerter Wärmetauscherfläche



Energieeffizienz und Abschreckprozesse

AWT / VDMA - Seminar



➤ Franz Hoffmann

AWT)))
Seminare Bremen
Energieeffizienz

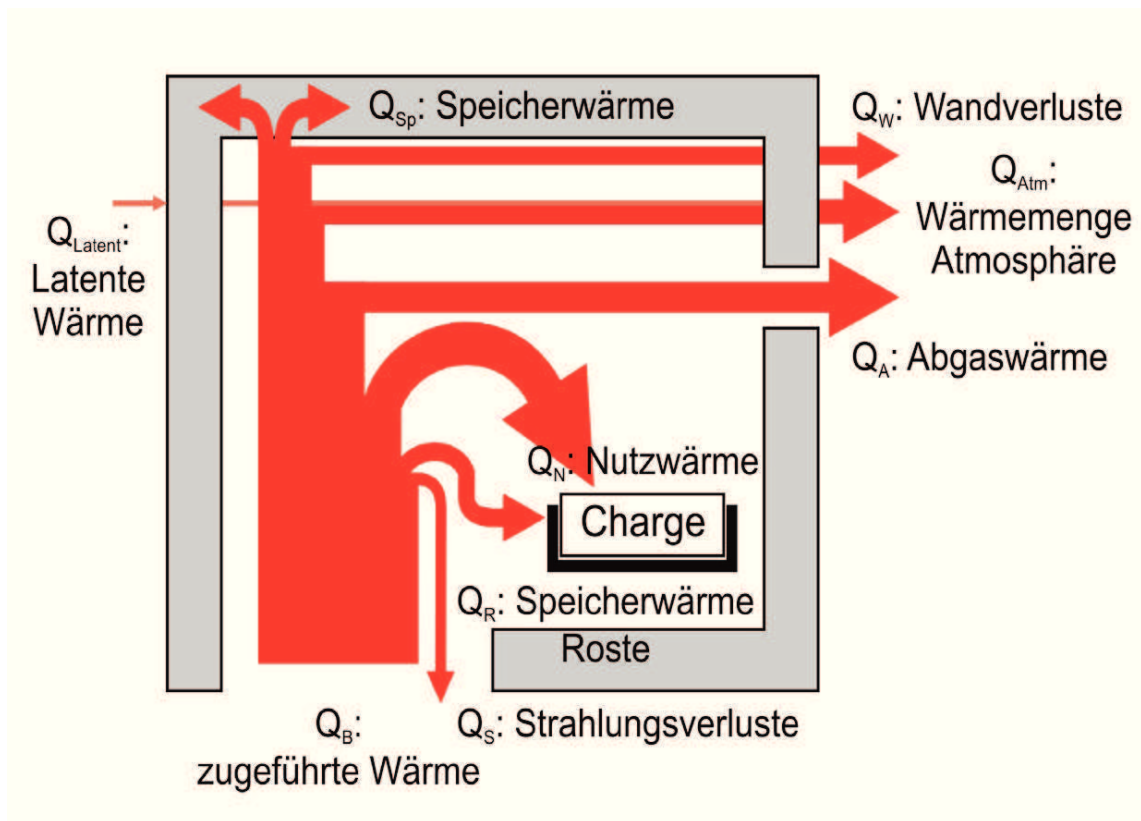
HÄRTEN

Die lokale Härte in einem Bauteil wird bestimmt durch
die **lokale Abkühlkurve** und
das **(lokale) Umwandlungsverhalten**

- Geometrie und Abmessungen
- thermophysikalische Eigenschaften
- Härtetemperatur
- Abkühlbedingungen

Wärmeinhalt der Nutzlast und Chargiergestelle

- Geometrie und Abmessungen
 - thermophysikalische Eigenschaften
 - Härtetemperatur
 - Abkühlbedingungen
- Volumen
spez. Wärmekapazität
Wärmeinhalt



Zugeführte Wärmemenge pro Charge:	$Q_B = m_B \cdot H_U$
Nutzwärme:	$Q_N = \bar{c}_{pFe} \cdot m_{Fe} \cdot \Delta T = \Delta H_{T,Fe} \cdot m_{Fe}$
Speicherwärme Roste:	$Q_R = \bar{c}_{pFe} \cdot m_{Fe} \cdot \Delta T = \Delta H_{T,Fe} \cdot m_{Fe}$
Abgaswärme:	$Q_A = (\bar{c}_{pN_2} \cdot m_{N_2} + \bar{c}_{pCO_2} \cdot m_{CO_2} + \bar{c}_{H_2O} \cdot m_{H_2O}) \cdot \Delta T$ $= \Delta H_{N_2} \cdot m_{N_2} + \Delta H_{CO_2} \cdot m_{CO_2} + \Delta H_{H_2O} \cdot m_{H_2O}$ $= Q_B - (n_{Brenner} \cdot Q_B)$
Wärmeinhalt Atmosphäre:	$Q_{Atm} = (\bar{c}_{pN_2} \cdot m_{N_2} + \bar{c}_{pCO} \cdot m_{CO} + \bar{c}_{H_2} \cdot m_{H_2} + \bar{c}_{NH_3} \cdot m_{NH_3}) \cdot \Delta T \text{ (+ latente Wärme)}$ $= \Delta H_{N_2,T} \cdot m_{N_2} + \Delta H_{CO,T} \cdot m_{CO} + \Delta H_{H_2,T} \cdot m_{H_2} + \Delta H_{NH_3} \cdot m_{NH_3} \text{ (+ latente Wärme)}$
Bilanzgleichung:	$Q_B = Q_N + Q_R + Q_A + Q_{Atm} + Q_S + Q_W + Q_{SP}$
Mit: Q in kJ/Charge, m in kg, H_U in kJ/kg, c_p in kJ/kg-K, T in K	

Abschreckmedien

Abschrecken

- Verdampfende Abschreckmedien

- + allgemeine Einflussgrößen
- + Wasser
- + Polymerlösungen
- + Abschrecköle

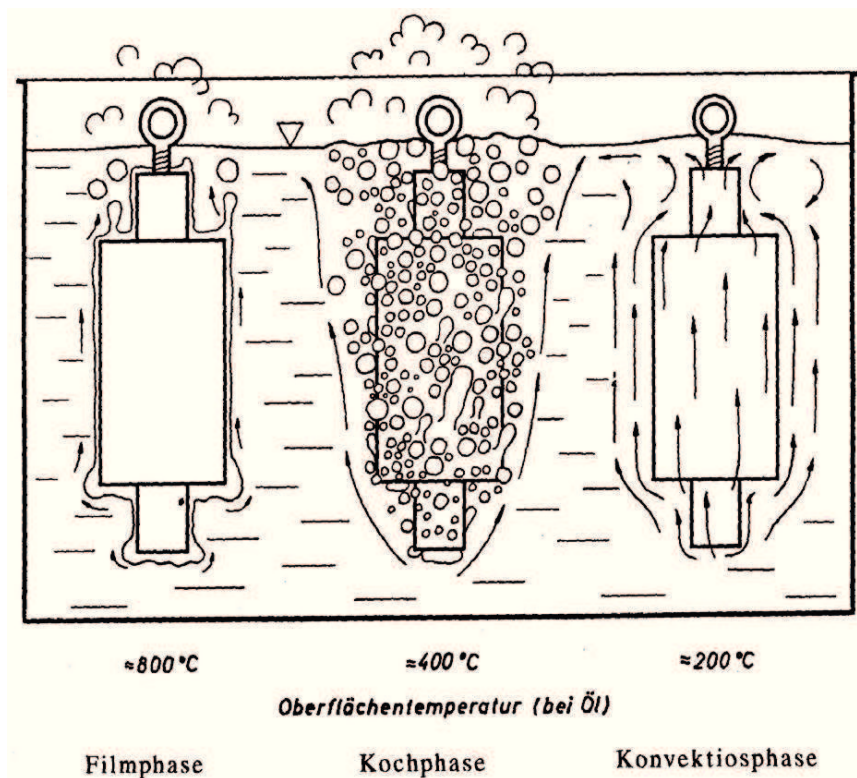
- Gase

- + allgemeine Einflussgrößen
- + Hochdruck-Gasabschreckung

Härtbarkeit

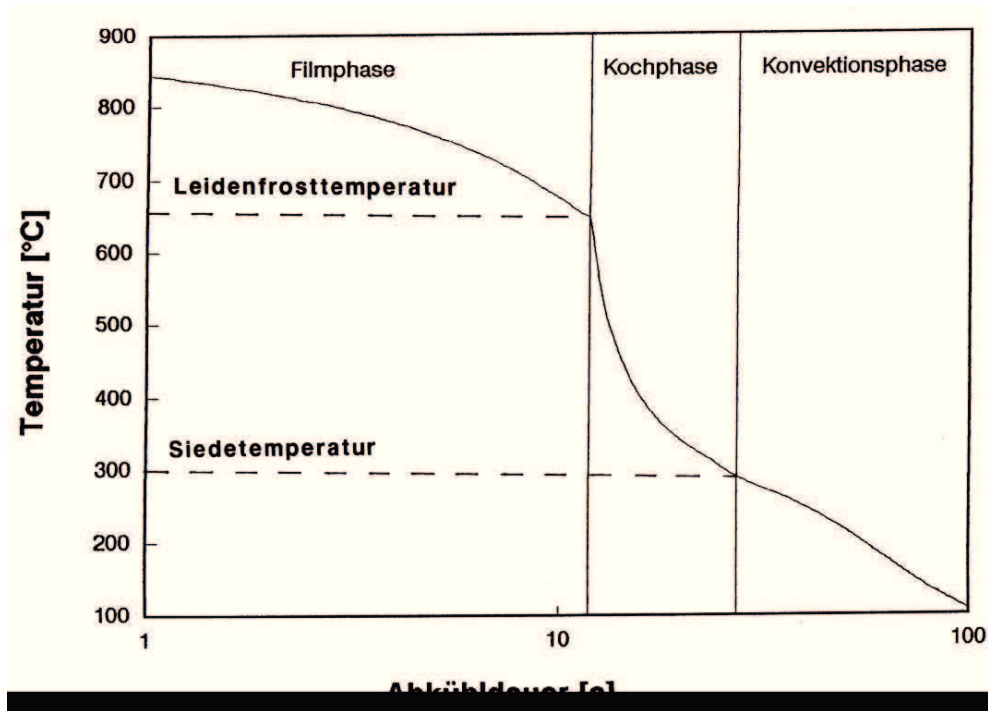
- Charakterisierung

- + ideal kritischer Durchmesser
- + Stirnabschreckversuch



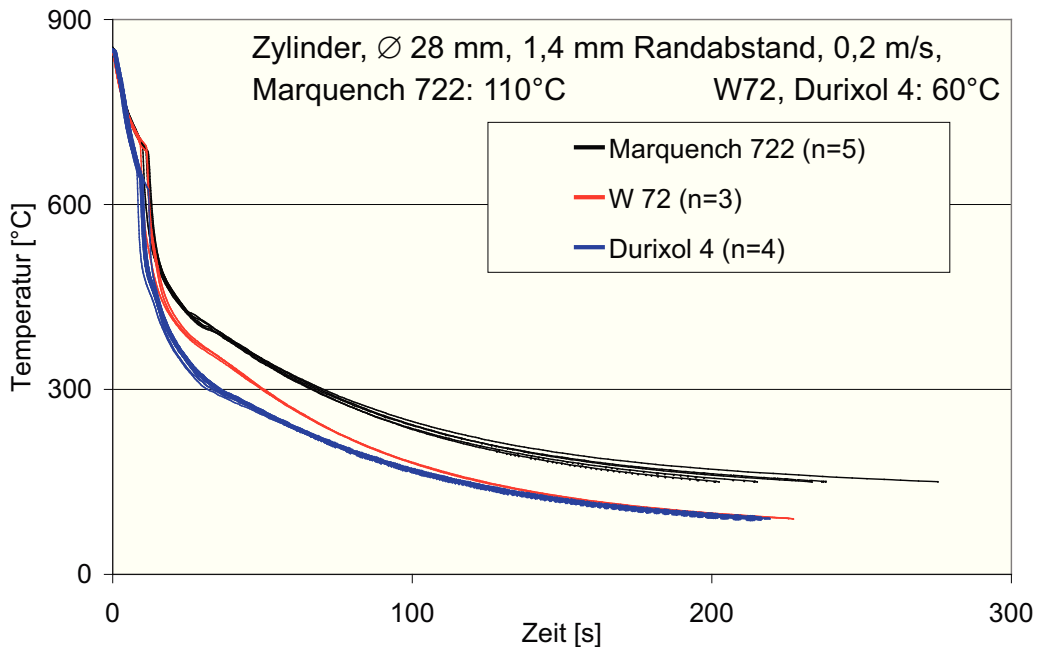
nach Kopietz

2. Härtetemperatur kleiner als die Siedetemperatur

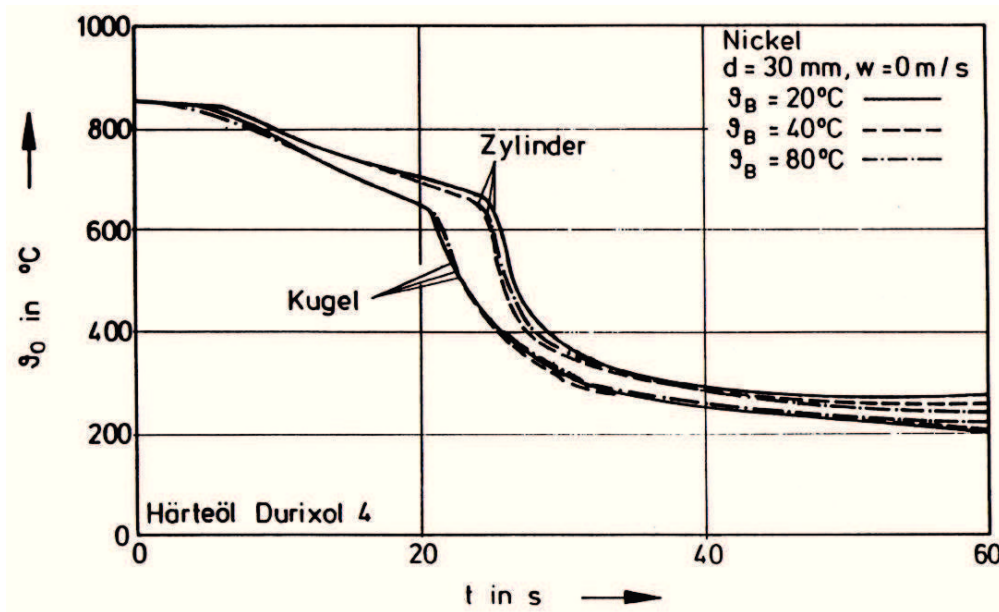


schematisch

Typischer Abkühlverlauf beim Abschrecken in verdampfenden Abschreckmedien



Die Ölsorte hat einen deutlichen Einfluss auf die Abkühlkurve.



Die Badtemperatur hat praktisch keinen Einfluss auf die Abkühlkurve.

nach Maaß

Einfluss der Badtemperatur (Durixol 4)

Während und nach Abschrecken:

- Kühlen des Abschreckbades
- Reinigen der Charge

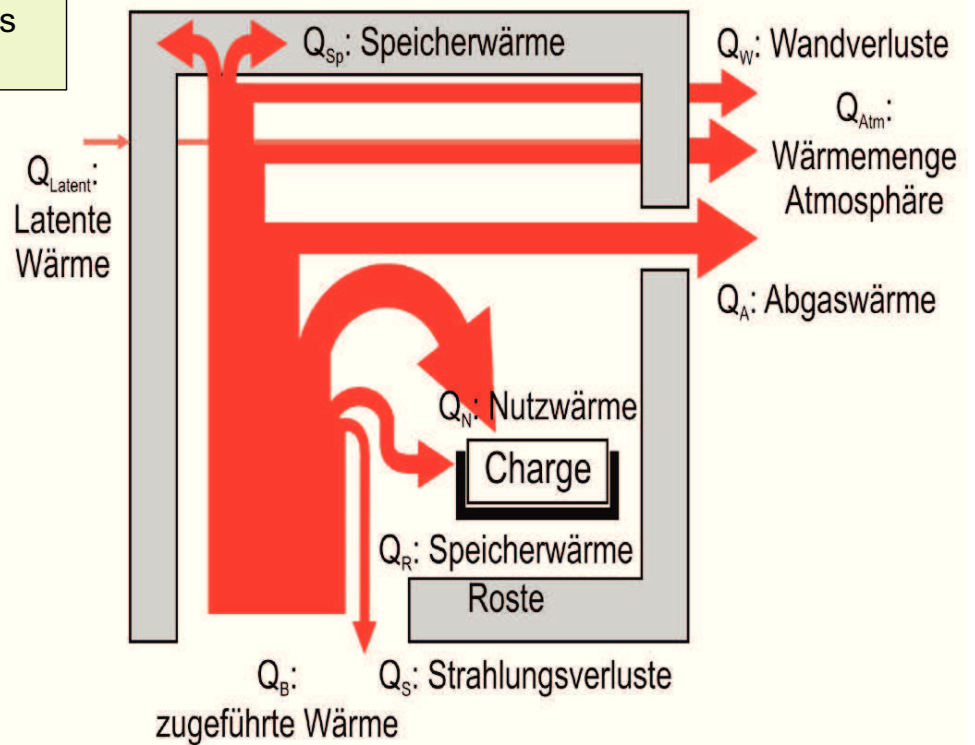


Bild: nach Plicht, AWT-Handbuch Anlagentechnik

Abschrecken mit Gasen

- **Mechanismen der Wärmeübertragung**
 - + Konvektion (freie und erzwungene)
 - + Strahlung
-
- **Prinzipielle Einflussgrößen**
 - + Art des Gases bzw. des Gasgemisches
 - Dichte
 - Wärmekapazität
 - Viskosität
 - Wärmeleitfähigkeit
 - + Druck
 - + Gasgeschwindigkeit
 - + Turbulenzgrad
 - + Gastemperatur

Gebräuchliche Gase

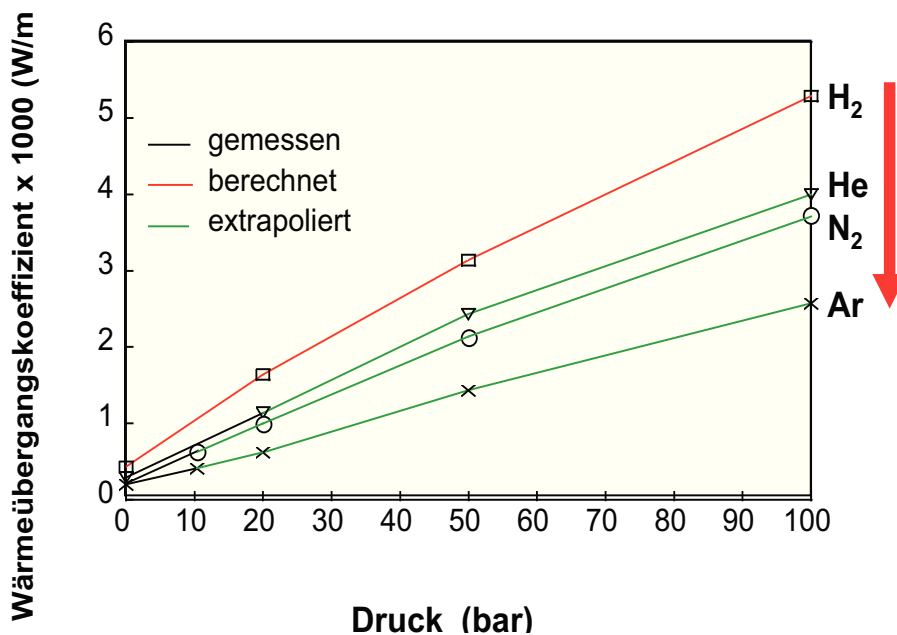
- + Stickstoff
- + Helium

- Luft
- Wasserstoff
- Argon
- Gasgemische

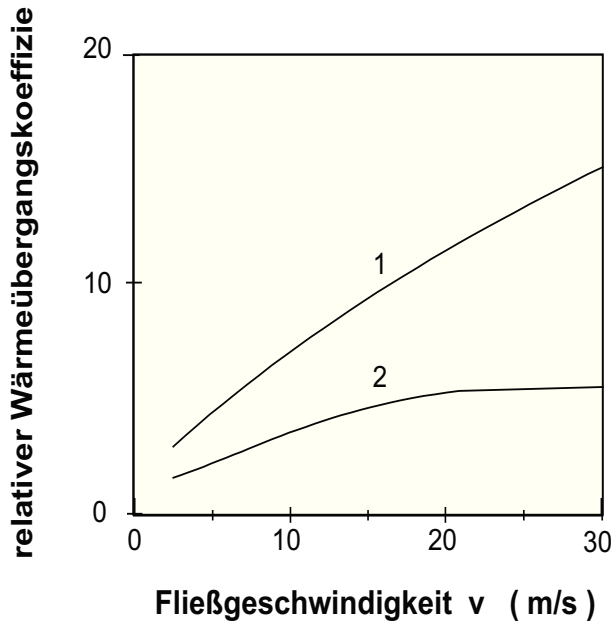
Grundsätzliche Verfahren

- + Hochdruckgasabschrecken (Chargenabschreckung)
- + Düsenfeldabschreckung (Einzelteilabschreckung)
- + Kombination aus beiden (einlagige Chargen)

Zylinder, radiale Anströmung, $v = 20 \text{ m/s}$, $T_{\text{Gas}} = 200^\circ\text{C}$



Nach Heilmann



1: turbulent
 $5 \cdot 10^5 \leq Re \leq 10^7$

2: laminar
 $10^2 \leq Re \leq 5 \cdot 10^5$

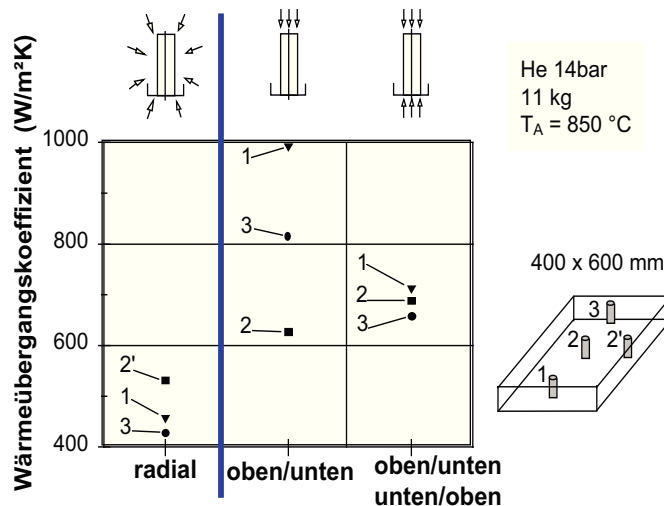
Beeinflussbar durch

- Chargierung
- Strömungsführung
- Düsensysteme

Nach R. Hoffmann

Einfluss von Gasgeschwindigkeit und Turbulenz auf den Wärmeübergang in Gasen

- Ofenkonstruktion (Strömungsführung, Kammerzahl, ...)
- Umwälzleistung
- Gasversorgung
- Gasrückkühlung
- mit/ohne Strömungsreversierung
- Geometrie der Bauteile
- Chargierung

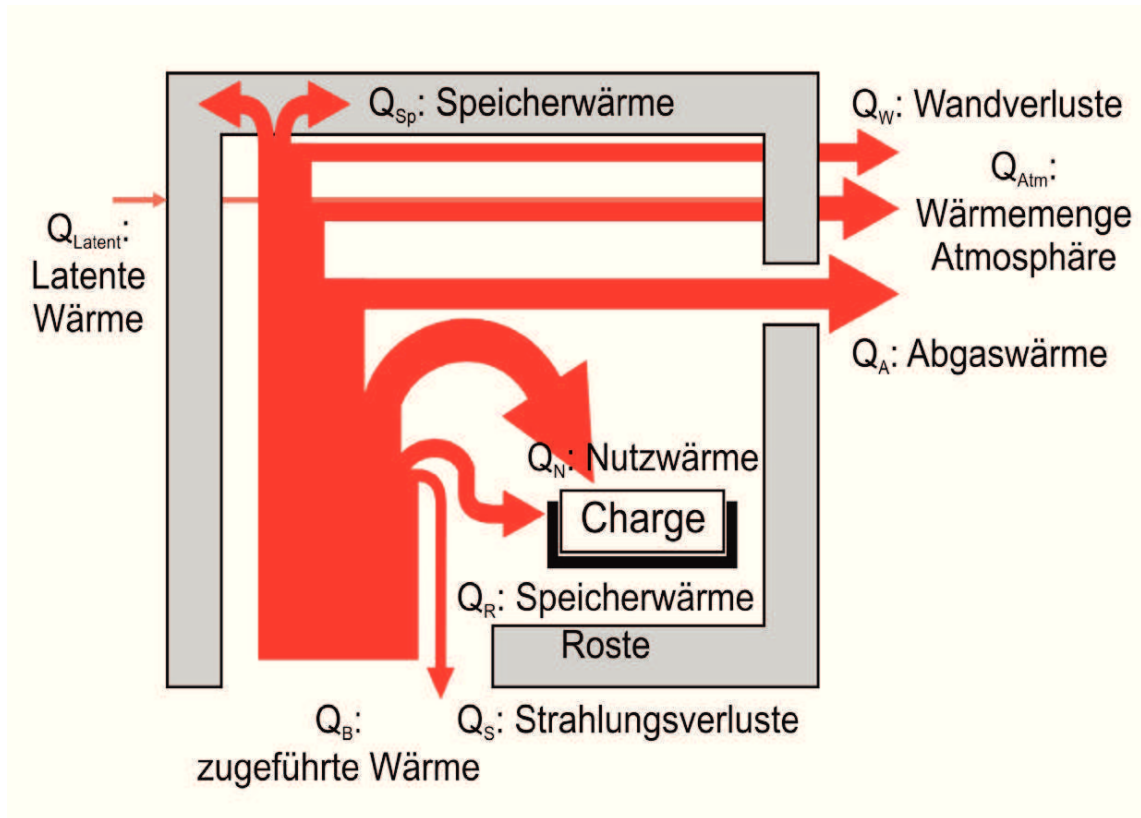


Anlagenbedingte Einflussgrößen auf den Wärmeübergang beim Hochdruckgasabschrecken

Abfuhr der Wärme:

- chargenweises Abschrecken:
Über Wärmetauscher im Abschreckgasstrom
- Abschrecken von Einzelteilen im Düsenfeld:
In Umgebung

Ofentypabhängige Unterschiede



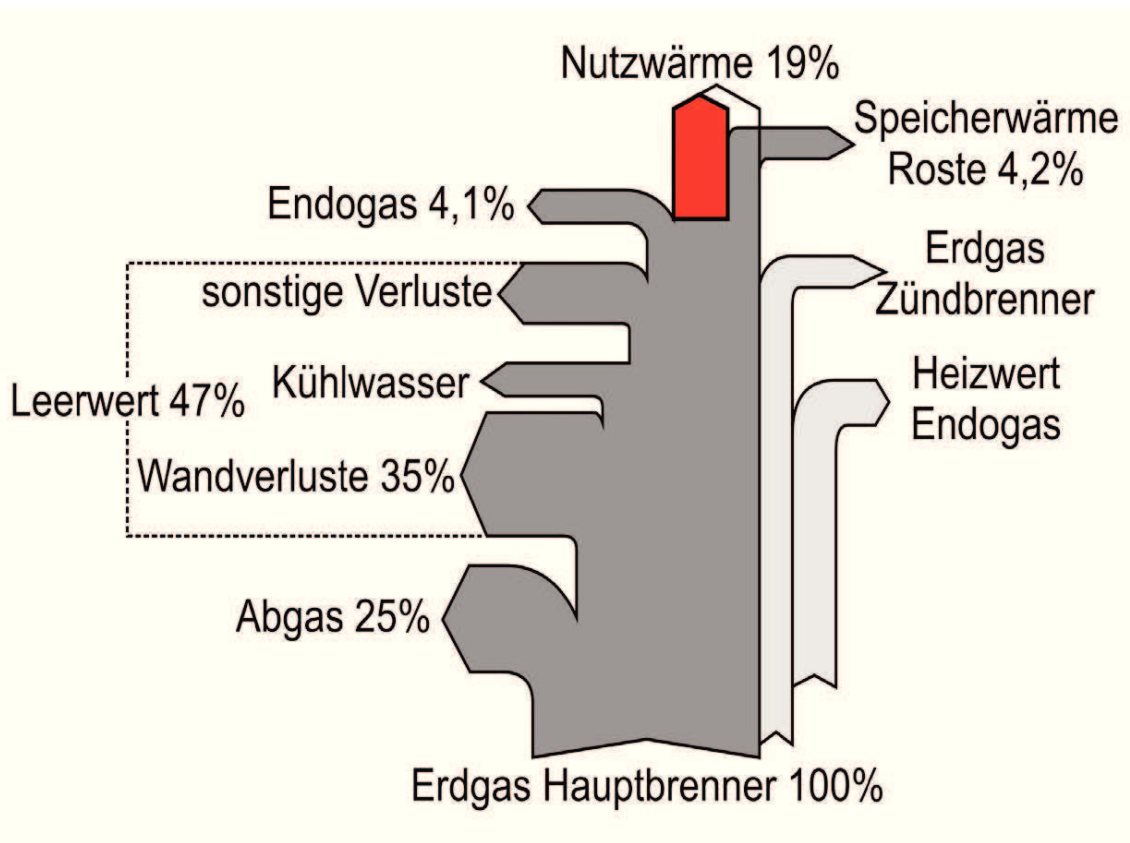
Schematische Darstellung des Wärmehaushalts eines Aufkohlungsprozesses₂₃

Prozeßparameter:

Erdgas / m ³ /h:	7
Elektrische Energie / kWh	0
Chargengewicht / kg:	410
Chargenzeit (Aufheizen + Aufkohlen) / h:	5,4
Aufkohlungstemperatur / °C:	970
Schutzgasmenge / m ³ /h:	9
Nutzungsgrad Brenner	0,75
Rand-C-Gehalt / %	0,8
EHT / mm	1,2
C-Gehalt bei EHT / %	0,4
Gewicht Roste / kg:	90
CO-Gehalt Atmosphäre /%	20
Einsatz Methanol / ja = 1; nein = 0	0
Chargenoberfläche / m ² :	5
Energieverbraucher elektr. Energie	0
Atmosphäre:	Endogas
Durchsatz / kg/h	75,93

Energiebilanz:

	Energie / kWh	Prozentual/ %	Bezogen auf 100% Nutzenergie
Nutzenergie:	80	19,0	100
Speicherwärme Roste:	18	4,2	22
Reaktionsenergie:	1	0,1	1
Wärmeinhalt Endogas:	17	4,1	22
Spaltenergie bei Einsatz von Methanol	0	0,0	0
Wärmeverluste Abgase Brenner:	105	25,0	132
Leerwert / Wärmeverluste / sonstige Verluste:	200	47,6	250
Zugeführte Energie gesamt:	420	100 %	526



nach Plicht, AWT-Handbuch Anlagentechnik

Berechnete Energiebilanz eines Doppelkammerofens

Prozeßparameter:

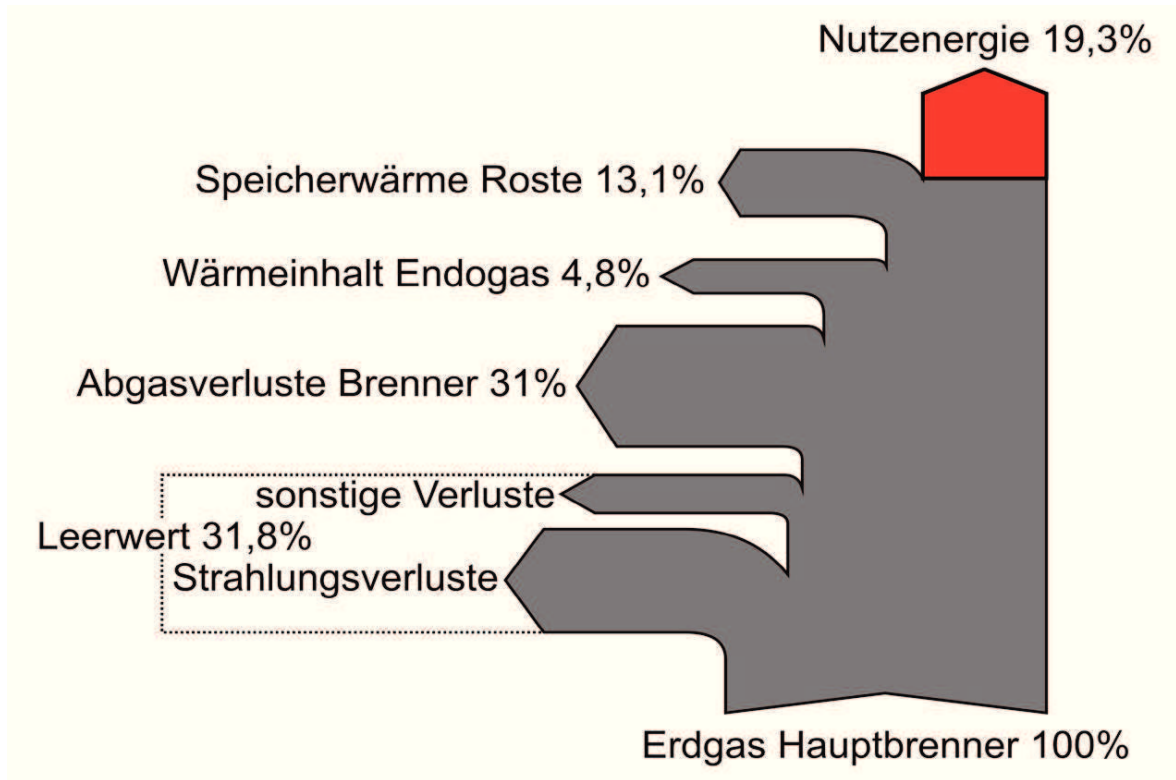
Erdgas / m ³ /h:	20
Elektrische Energie / kWh:	0
Chargengewicht / kg:	220
Chargenzeit (Aufheizen + Aufkohlen) / h:	1
Aufkohlungstemperatur / °C:	970
Schutzgasmenge / m ³ /h:	30
Nutzungsgrad Brenner:	0,69
Rand-C-Gehalt / %:	0,8
EHT / mm:	0,4
C-Gehalt bei EHT / %:	0,4
Gewicht Roste / kg:	150
CO-Gehalt Atmosphäre / %:	20
Einsatz Methanol / ja = 1; nein = 0:	0
Chargenoberfläche / m ² :	5
Energieverbraucher elektr. Energie:	0
Atmosphäre:	Endogas

Energiebilanz:

	Energie / kWh	Prozentual / %	Bezogen auf 100% Nutzenergie
Nutzenergie:	43	19,3	100
Speicherwärme Roste:	29	13,1	68
Reaktionsenergie:	0	0,1	0
Wärmeinhalt Endogas	11	4,8	25
Spaltenergie bei Einsatz von Methanol	0	0,0	0
Wärmeverluste Abgase Brenner:	69	31,0	161
Leerwert / Wärmeverluste / sonstige Verluste:	71	31,7	165
Zugeführte Energie gesamt:	222	100 %	519

nach Plicht, AWT-Handbuch Anlagentechnik

Durchstoßofen



nach Plicht, AWT-Handbuch Anlagentechnik

Berechnete Energiebilanz für einen Durchstoßofen

Prozeßparameter:

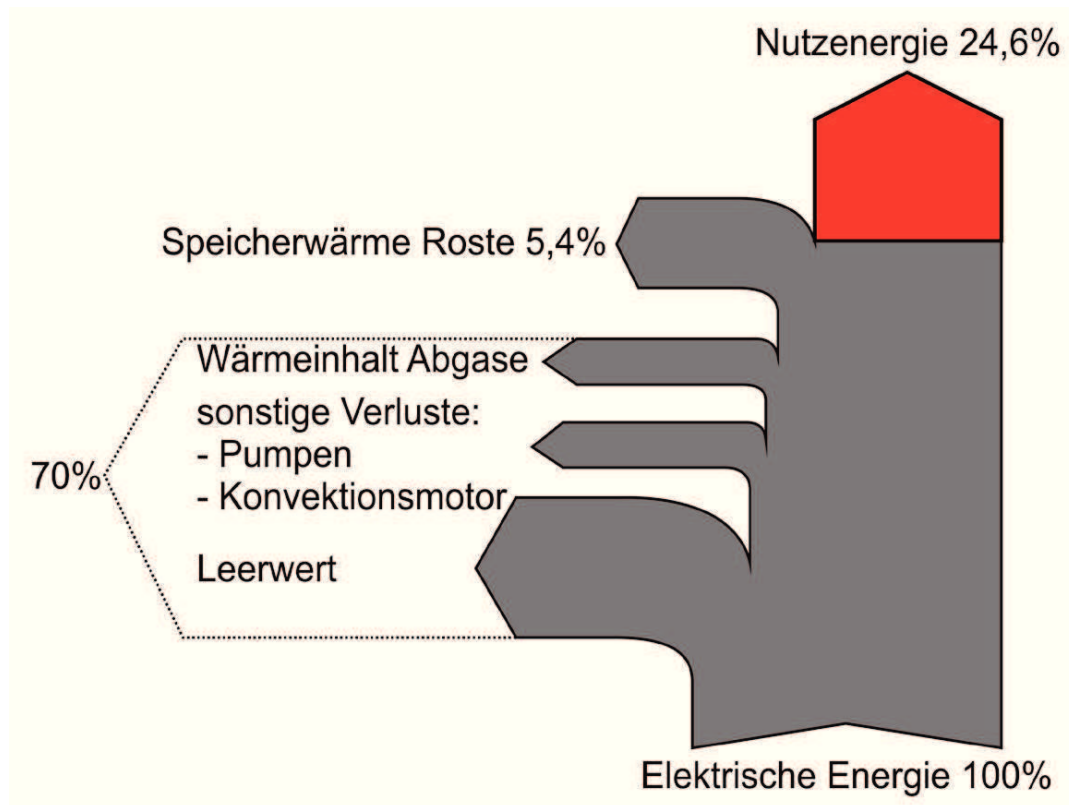
Erdgas / m³/h:	0
Elektrische Energie / kWh	325
Chargengewicht / kg:	410
Chargenzeit (Aufheizen + Aufkohlen) / h:	5,00
Aufkohlungstemperatur / °C:	970
Schutzgasmenge / m³/h:	0
Nutzungsgrad Brenner	0
Rand-C-Gehalt / %	0,8
EHT / mm	1,2
C-Gehalt bei EHT / %	0,4
Gewicht Roste / kg:	90
CO-Gehalt Atmosphäre / %	0
Einsatz Methanol / ja = 1; nein = 0	0
Chargenoberfläche / m²:	5
Energieverbraucher elektr. Energie Atmosphäre:	0

Durchsatz / kg/h 82

Energiebilanz:

	Energie / kWh	Prozentual/ %	Bezogen auf 100% Nutzenergie
Nutzenergie:	80	24,55	100
Speicherwärme Roste:	18	5,39	22
Reaktionsenergie:	1	0,17	1
Wärmeinhalt Endogas	0	0,00	0
Spaltenergie bei Einsatz von Methanol	0	0,00	0
Wärmeverluste Abgase Brenner:	0	0,00	0
Leerwert / Wärmeverluste / sonstige Verluste:	227	69,89	285
Zugeführte Energie gesamt	325	100,00	407

nach Plicht, AWT-Handbuch Anlagentechnik



nach Plicht, AWT-Handbuch Anlagentechnik

FAZIT:

- Die Energie, die den Bauteilen zugeführt werden muss, muss wieder abgeführt werden
- Dies erfolgt beim Abschrecken
- Die Wärme muss in sehr kurzer Zeit dem Bauteil entzogen werden
- Für die Rückkühlung des Abschreckmediums steht eine längere Zeit zur Verfügung
- Die Wärme des Prozessschritts Abschrecken beinhaltet ein hohes Nutzungspotential
- Wünschenswert:
 - Speichermöglichkeit der Wärme
oder
 - Umwandlung in elektrische Energie zur allgemeinen Nutzung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



AWT)))
Seminare Bremen
Energieeffizienz



**Energie – und
Ressourceneffizienz**
in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik

Soft-Optimierung

Ressourceneinsparpotentiale auf der
Prozessseite und Prozessoptimierung für
Thermoprozessanlagen

Karl-Michael Winter
Process-Electronic GmbH



Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Wo kann man sparen ?



**Energie- und
Ressourceneffizienz**
13. – 14. Juni 2012

Bereiche für Energie (-kosten) – Optimierung

- Erzeugung
- Nutzung
- Wiedergewinnung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Energieerzeugung

- **beim Energieversorger (elektrisch beheizte Ofenanlagen)**
 - kein Einfluss auf den Wirkungsgrad
 - **Kostenoptimierung** durch Spitzenstrombegrenzung
 - **keine Energieeinsparung!**
- **im eigenen Hause (gasbeheizte Ofenanlagen)**
 - Einsatz effektiver Brennersysteme:
Rekuperatoren, Regeneratoren, mit Sauerstoff betriebene Brenner ...
 - Regelung der optimalen Gas- Luftgemische (λ)
bei Anlagen mit offenen Brennern



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Energienutzung

- **Reduktion der Wärmeverluste**
 - Wärmedämmung
 - Abgasverluste
- **Erhöhung der Nutzungsgrades der Anlagen**
 - möglichst volle Chargen
 - belasten bis an Kapazitätsgrenzen
 - keine Stillstandszeiten
 - möglichst kurze Durchlaufzeiten



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Energiewiedergewinnung

- **Nutzung der abgeführten Energie**
 - Wärmerückgewinnung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Abgrenzung: Hart-Optimierung zu Soft-Optimierung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Energiebilanz eines Industrieofens

(Beispiel gasbeheizter MZKO, 1 t Nutzlast)

Erdgasverbrauch gemittelt 10 m³/h (inkl. 0.4 m³/h Zündbrenner)

Brennerabgase	~ 25 %
Ölbadkühlung	~ 25 %
Wandverluste	~ 35 %
Durchführungen (Austrag heißes Prozessgas)	~ 9 %
Abgaszündbrenner	~ 4 %
Sonstige	~ 2 %



Prozessgasverbrauch (Stickstoff/Methanol 20/40) 10 m³/h

nach Aichelin



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Hart-Optimierung eines Industrieofens

(Beispiel gasbeheizter MZKO, 1 t Nutzlast, 5 Stundenzyklen)

Erdgasverbrauch gemittelt 10 m³/h (inkl. 0.4 m³/h Zündbrenner)

Brennerabgase	~ 25 %	um ca. 20 % → 20 %
Ölbadkühlung	~ 25 %	(Wärmetauscher)
Wandverluste	~ 35 %	um ca. 22 % → 27 %
Durchführungen (Austrag heißes Prozessgas)	~ 9 %	
Abgaszündbrenner	~ 4 %	Abschaltung → 1 %
Sonstige	~ 2 %	

Ergibt eine Einsparung von **16 %** der eingesetzten Heizenergie
zzgl. mögliche Nutzung der Ölbadkühlung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Kostenverteilung eines Industrieofens

(Beispiel gasbeheizter MZKO, 1 t Nutzlast, 5 Stundenzyklen)

Abschreibung und Zinsen	~ 30 %
Löhne / Gehälter	~ 25 %
Energie	~ 15 %
Betriebsstoffe	~ 5 %
Instandhaltung	~ 5 %
Raumkosten	~ 4 %

eine **Einsparung von 16 %** der eingesetzten **Heizenergie**
ergibt eine Einsparung von **~ 2.5 %** der **Gesamtkosten**

nach Dr. Sommer / IHT



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung

**konsequente Nutzung des vorhandenen
Maschinenparks – inkl. Energie und Betriebsmittel**



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Mögliche Ansätze zur Soft-Optimierung

- Verkürzung der Chargenlauf- und Gesamtprozesszeiten
 - Optimierung von Spülzeiten
 - Einsatz von Modell gestützter Zielsteuerung
 - Vermeiden von zusätzlichen Arbeitsgängen
- Verkürzung Chargenwechselzeiten
 - geschwindigkeitsgeregelte Verfahrwagen
 - Zonenstarts bei kontinuierlichen Ofenanlagen
 - Vorbereitung der Anlagen vor der Beschickung
- Reduzierung von Ausschuss
 - SPC
 - Anbindung Labor an automatische Chargierung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Mögliche Ansätze zur Soft-Optimierung

- Optimierung von Stillstandszeiten
 - Vorbeugende Wartung durch Vergleich von Maschinen- und QS-Daten
 - Wochenendbetrieb bei Stoßöfen
 - gezieltes Anfahren von Anlagen (Spitzenstrom, Vorbereitung auf geplanten Auftrag)
 - optimale Nutzung von Engpässen
- Optimierung des Prozessgaseinsatzes
 - Regelung des Kohlenstoffübergangs
 - verbrauchsgeregelte Generatorsteuerung
- Optimierung der Nutzlast
 - Rechner gestützte Chargenzusammenstellung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Fallbeispiele



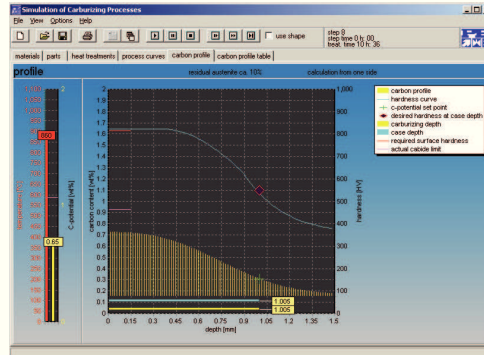
Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Modell-gestützte Zielgrößensteuerung (Gas-Aufkohlungsprozess)

Ziel:

Verbesserung der Tragfähigkeit
und der Verschleißeigenschaften
durch höhere Härte -
hervorgerufen durch
Einlagerung von Kohlenstoff

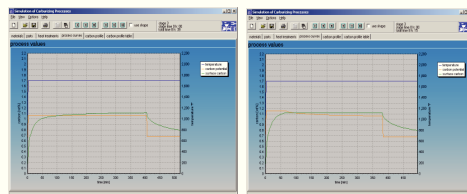


Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Modell-gestützte Zielgrößensteuerung (Gas-Aufkohlungsprozess)

Gegenüberstellung 2-stufiger und diffusionsgesteuerter Prozess



Geforderte Einsatztiefe	Verkürzung der Prozesszeit
0.5 mm	25 %
1.0 mm	12 %
1.5 mm	6 %
2.0 mm	3 %
2.5 mm	1.5 %

Carbidgrenzenregelung nach Dr. Wünnig



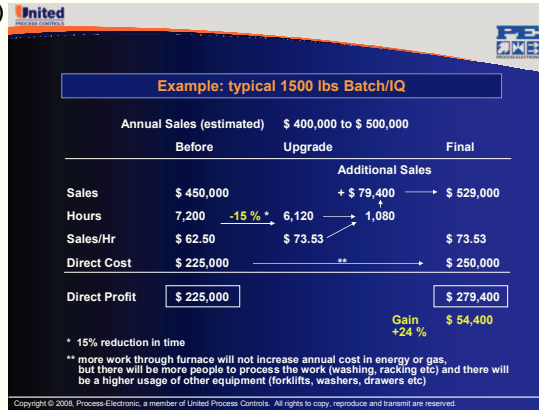
Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Modell-gestützte Zielgrößensteuerung

(Gas-Aufkohlungsprozess)

Umrüstung in einer Lohnhärterei in Michigan, USA



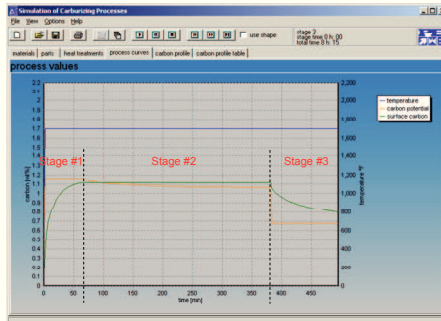
Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Modell-gestützte Zielgrößensteuerung

(Gas-Aufkohlungsprozess)

Gegenüberstellung feste Grundbegasung zu Beta-Regelung



Geforderte Einsatztiefe	Einsparung an Methanol / Kosten
0.5 mm	27 % / 19 %
1.0 mm	46 % / 31 %
1.5 mm	55 % / 38 %
2.0 mm	59 % / 40 %
2.5 mm	60 % / 41 %

reines Methanol zu geregelter Verdünnung mit Stickstoff (Annahme: Preis Methanol = 2 x Stickstoff)

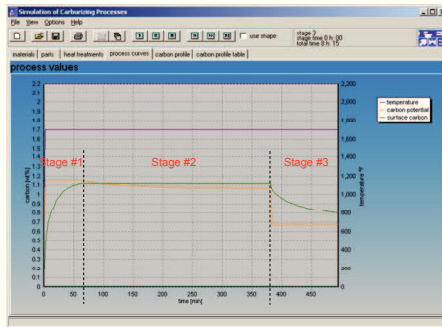


Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Modell-gestützte Zielgrößensteuerung
(Gas-Aufkohlungsprozess)

Gegenüberstellung feste Grundbegasung zu Beta-Regelung



Geforderte Einsatztiefe	Einsparung an Methanol / Kosten
0.5 mm	19 % / 12 %
1.0 mm	29 % / 16 %
1.5 mm	34 % / 19 %
2.0 mm	36 % / 20 %
2.5 mm	37 % / 21 %

Stickstoff-Methanol (20:40) zu geregelter Verdünnung mit Stickstoff (Annahme: Preis Methanol = 2 x Stickstoff)



Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

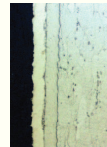
Modell-gestützte Zielgrößensteuerung
(Gas-Nitrierprozess)

Man unterscheidet:



Nitrieren

Hohe Einsatztiefe
Tragfähigkeit
Verbindungsschicht unerwünscht



Nitrocarburieren

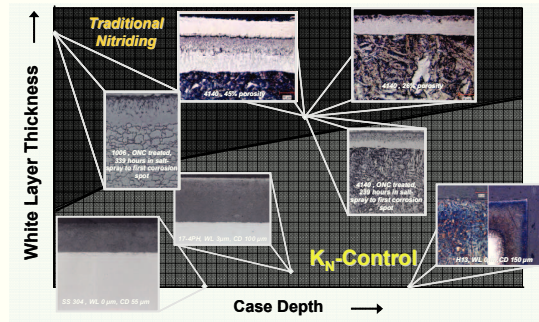
Kleine Einsatztiefe
Korrosionsbeständigkeit
Abriebfestigkeit



Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Modell-gestützte Zielgrößensteuerung (Gas-Nitrierprozess)

Gegenüberstellung traditionell und Nitrierkennzahl geregelter Prozess



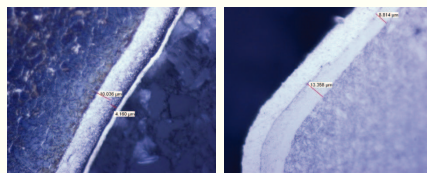
nach Nitrex



Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

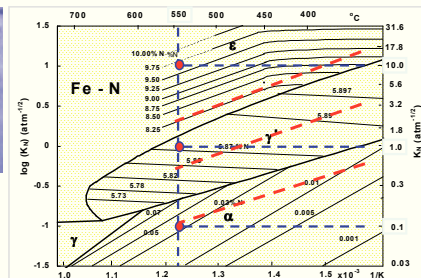
Modell-gestützte Zielgrößensteuerung (Gas-Nitrierprozess)

Gegenüberstellung Nitrierkennzahl und Phasen geregelter Prozess



Traditionell =
Festbegasung,
KN-Regelung

Phasenregelung



Schliffbilder: Linde Material Handling



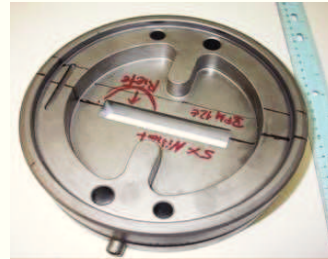
Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Modell-gestützte Zielgrößensteuerung

(Gas-Nitrierprozess)

Vorteile:

- Wegfall nachgelagerter Schleifprozesse
→ **geringere Fertigungskosten**
- kompakte Verbindungsschichten erhöhen
Werkzeugstandzeiten
- Beeinflussung der Temperaturbeständigkeit
→ **höhere Produktivität**
→ **höhere Werkzeuglebensdauer**
→ **weniger Nachnitrierungen**



Geschädigtes Strangpresswerkzeug

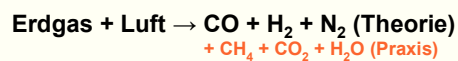


Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Abnahme geregelte Endogas - Generatoren

(Trägergas für Gas-Aufkohlungsprozesse)

Endogas =



Wenige Generatoren versorgen viele Öfen.

Ist die Gasabnahme geringer als die eingestellte Versorgungsmenge,
wird das überschüssige Gas abgebrannt.

Moderne Generatoren bieten eine Gasmengenregelung und damit eine
variable Abnahmemenge von 2:1 bis 3:1

Generator: Gebrüder Hammer



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

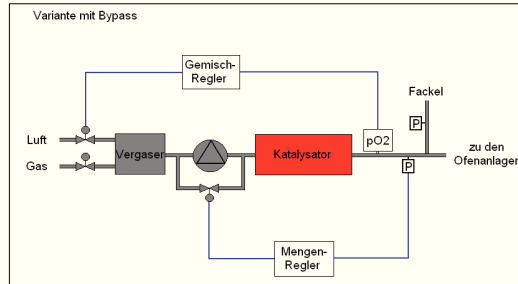
Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Abnahme geregelte Endogas - Generatoren
(Trägergas für Gas-Aufkohlungsprozesse)

Geringe Bandbreite:

$$\text{Rest - CH}_4 = f(T, A_{\text{cat}}, \Phi)$$

bei Übersteuerung
Ruß oder Wasser



Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

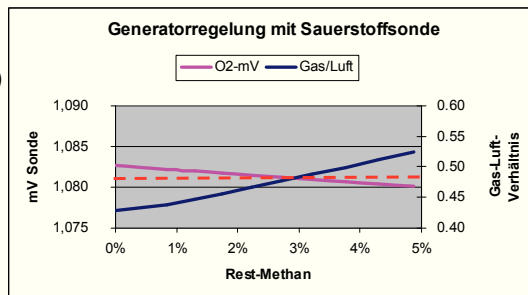
Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Abnahme geregelte Endogas - Generatoren
(Trägergas für Gas-Aufkohlungsprozesse)

Geringe Bandbreite:

$$\text{Rest - CH}_4 = f(T, A_{\text{cat}}, \Phi)$$

bei Übersteuerung
Ruß oder Wasser



Energie- und Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

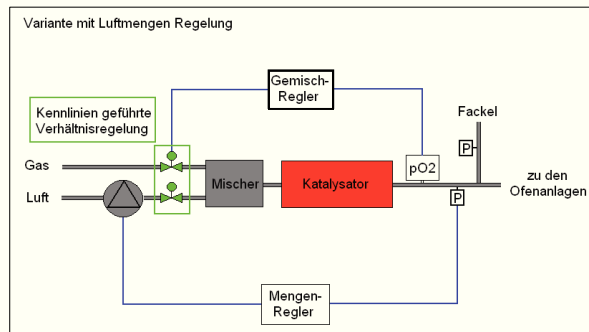
Abnahme geregelte Endogas - Generatoren

(Trägergas für Gas-Aufkohlungsprozesse)

Abhilfe:
Variabler Arbeitspunkt
sowie zwangsgeführtes
Verhältnis von
Luft zu Gas.

Vorteil:

→ **Abnahmeregelung**
bis zu 10:1



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Minimierten von Stillstandszeiten

Massnahme:

Engpass orientierte Feinplanung
(Moshe Eliyahu Goldratt: The OPT Philosophy)

- eine verlorene Stunde an einem Engpass ist eine verlorene Stunde im Gesamtsystem
- eine gewonnene Stunde an einem Nicht-Engpass ist nur eine Illusion



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Engpass orientierte Feinplanung

(Schachtofen Einsatzhärtungsanlage, 10 HTO, 2 WM, 2 AO, 2 Öl)

Hohe Einsatztiefen, manuelle Abhärtung
in gemeinsame Ölbäder im
2-Schicht Betrieb

Die Reihenfolgeplanung der Einsatz-
chargen auf die Schachtofen ermittelt
die Startzeiten, um die **Abschreckbäder**
während der Arbeitszeiten **optimal**
auszulasten.



Nebenbedingung:
Keine Wartezeiten aufgekohlter Chargen, sonst kann es zu
überkohlten Teilen kommen.



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Minimierten von Stillstandszeiten

Weitere Maßnahmen:

Optimierung von Rüstzeiten

Vermeiden von Leerfahrten / Stand-by Betrieb

Vorbereiten der Anlagen vor Arbeitsbeginn



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

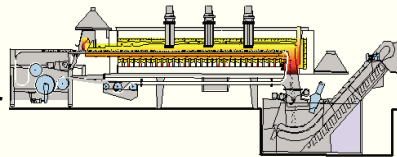
Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Zonenstarts an kontinuierlich arbeitenden Anlagen

(Bandofen Einsatzhärtungsanlage)

Auftragswechsel bedingen

- Mindestabstand zur Chargentrennung
- Umstellung der Behandlungsparameter



Automatische Umstellung der Behandlungsparameter mit auslaufender Charge und Projektion des sicheren Neustarts.

Vorteile:

(Durchlaufzeit von 60 min, 8 Chargenwechsel pro Tag / 24h)

→ Kapazitätsgewinn ca. 2 Stunden pro Tag und Anlage ~ 8 %



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Automatisches Wochenende bei Stoßofenanlagen

(Stoßofen Einsatzhärtungsanlage ohne vorgeschaltetes Lager)

Abschalten der Anlage über das Wochenende bedingt

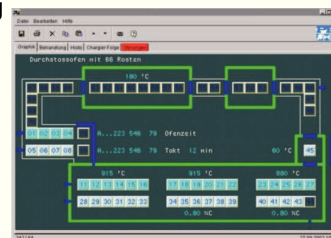
- Leerfahren des Aufkühlungsofens am Freitag
- Anfahren des Aufkühlungsofens am Montag

Gezieltes Einstellen der Prozessparameter ermöglichen, dass die Chargen im Ofen verbleiben können, ohne Toleranzverletzung

Vorteile:

(34 Roste in Aufkühlungsofen, Takt: 15 min)

→ Kapazitätsgewinn 8.5 Stunden pro Woche ~ 9 %



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Gezieltes Anfahren von Anlagen

(vollverkettete elektrisch beheizte Bandofenanlage 15 HO, 4 WM, 8 AO, ...)

Ein Abschalten der Anlagen am Wochenende bzw. an Feiertagen bedingt ein Einschalten der Anlagen zu Wochenbeginn

- Spitzenströme
- Überlastung der Trafostation

Abhilfe schafft ein automatisches gezieltes Anfahren der Anlagen und Einstellen der Prozessparameter auf den nächsten Auftrag.

Vorteile:

→ Reduzierung der Stromrechnung sowie der Personalkosten



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Vermeiden von Ausschuss / Nacharbeit

Maßnahme:

Einbeziehung der Qualitätssicherung in die Fertigungssteuerung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Vorteile der Soft-Optimierung



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Vorteile der Soft-Optimierung

- die Steigerung der Nutzung reduziert alle Kosten gleichermaßen
- der Einsatz von Modellen führt zu kürzeren Behandlungszeiten und geringerem Einsatz von Betriebsmitteln
- optimierte Prozesse reduzieren zusätzliche Arbeitsgänge und Nacharbeit
- der Kapitaleinsatz ist vergleichsweise gering



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Soft-Optimierung eines Industrieofens

(Stufe 1: Verkürzung der Prozesszeit um 15% bei 0.8 mm mittlere Einsatziefe)

Erdgasverbrauch gemittelt 10 m³/h (inkl. 0.4 m³/h Zündbrenner)

Brennerabgase	~ 24 %	mehr Chargen
Ölbadkühlung	~ 28 %	
Wandverluste	~ 34 %	
Durchführungen (Austrag heißes Prozessgas)	~ 9 %	
Abgaszündbrenner	~ 4 %	
Sonstige	~ 1 %	

Der erhöhte Chargendurchsatz verschiebt die prozentualen Verhältnisse in Richtung Ölbadkühlung (Nutzwärme)



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Soft-Optimierung eines Industrieofens

(Stufe 2: Beta-Regelung bei 0.8 mm mittlere Einsatziefe)

Erdgasverbrauch gemittelt 10 m³/h (inkl. 0.4 m³/h Zündbrenner)

Brennerabgase	~ 24 %	mehr Chargen
Ölbadkühlung	~ 28 %	
Wandverluste	~ 34 %	
Durchführungen (Austrag heißes Prozessgas)	~ 9 %	
Abgaszündbrenner	~ 4 %	
Sonstige	~ 1 %	

Prozessgasverbrauch (Stickstoff/Methanol 20/40) 10 m³/h
→ **Kostenreduktion ca. 15 %**



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

Kostenverteilung nach Soft-Optimierung

(Beispiel gasbeheizter MZKO, 1 t Nutzlast, 4:25 Stundenzyklen)

Abschreibung und Zinsen	~ 30 %
Löhne / Gehälter	~ 25 %
Energie	~ 15 % → 15.6 %
Betriebsstoffe	~ 5 % → 4.2 %
Instandhaltung	~ 5 %
Raumkosten	~ 4 %

**15 % Einsparung an Prozesszeit und Prozessgaskosten
ergeben eine Einsparung von ~ 15 % der Gesamtkosten
bezogen auf eine Charge**



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Soft-Optimierung: Einsparpotentiale und Prozessoptimierung

ein letztes Wort ...



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Energie (- kosten) Erhaltungssatz

In einem *energetisch* geschlossenen System ist die Gesamtenergie konstant.

In einem *wirtschaftlich* geschlossenen System ist die Summe der Energiekosten konstant (*steigend*).

Jede Einsparung bedingt damit zwangsläufig eine Erhöhung der Kosten um (*mehr als*) die eingesparte Summe.

Einsparungen sind damit schon allein daher notwendig, um mit der allgemeinen Kostenentwicklung Schritt zu halten.



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Gibt es Fragen?



Energie- und
Ressourceneffizienz
13. – 14. Juni 2012

Kühlanlagen für induktive Härteanlagen

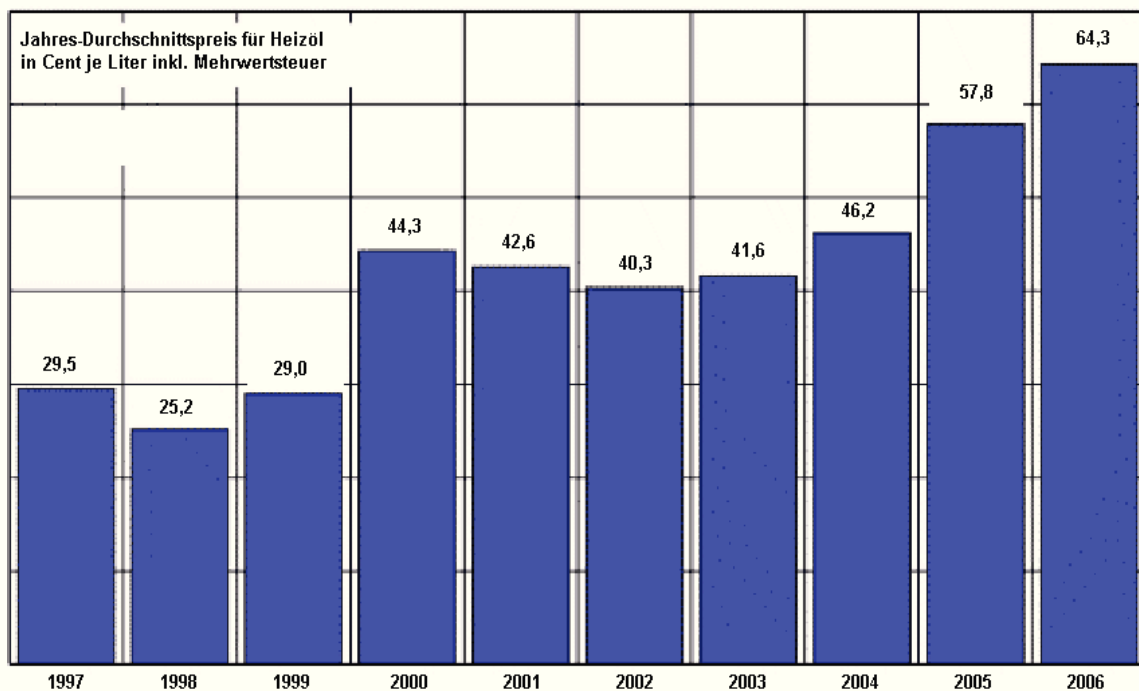
Möglichkeiten der Einsparung von Betriebskosten

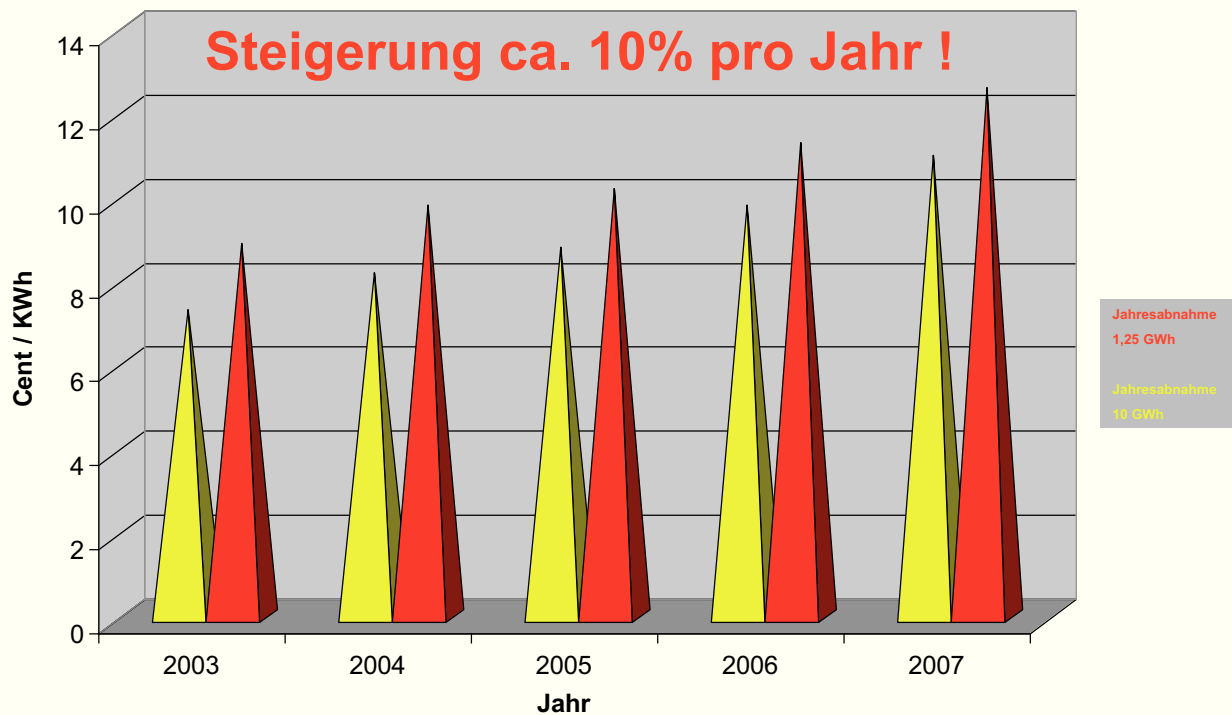


gwk
Wolfgang Exner

Entwicklung der Energiekosten - Heizöl

gwk





Ziel = Senkung der Energiekosten

Wenig sinnvoller Ansatz

- Diskussionen mit den Energieversorgern
- Hoffnung auf politische Einflussnahme

Einzig sinnvoller Ansatz

- Verantwortung selbst übernehmen
- Kosteneinsparpotentiale identifizieren
- Energiekostenreduzierung konsequent umsetzen

Detaillierter Ansatz

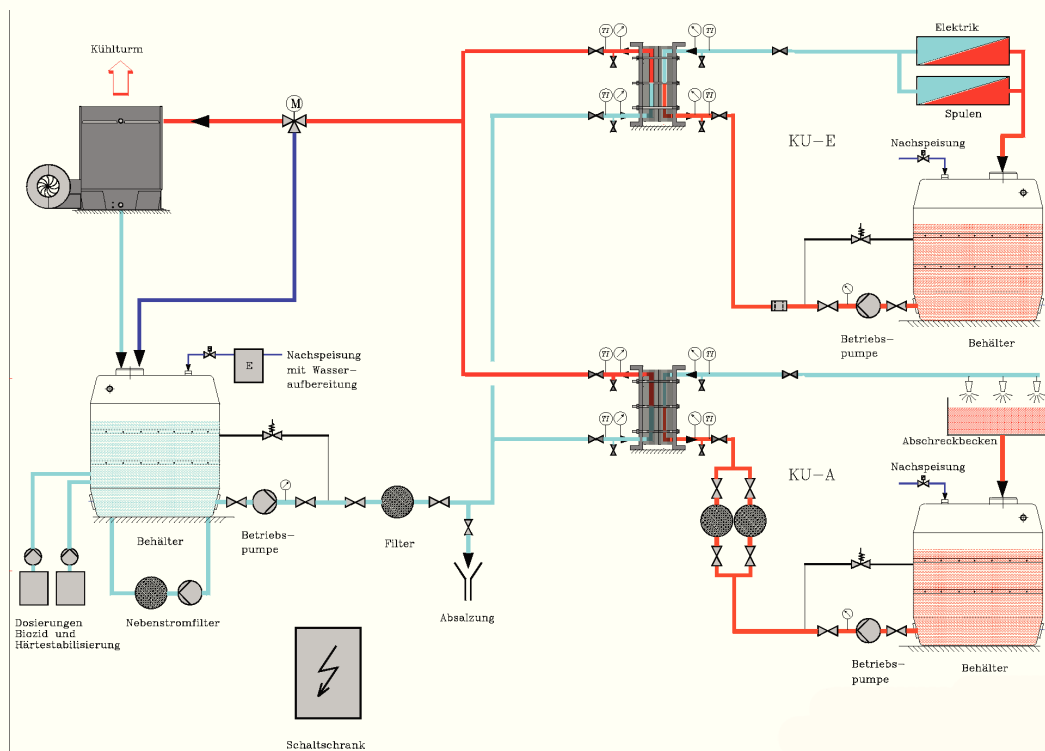
- Stromverbrauch senken
- Wasserverbrauch senken
- Heizenergiebedarf senken

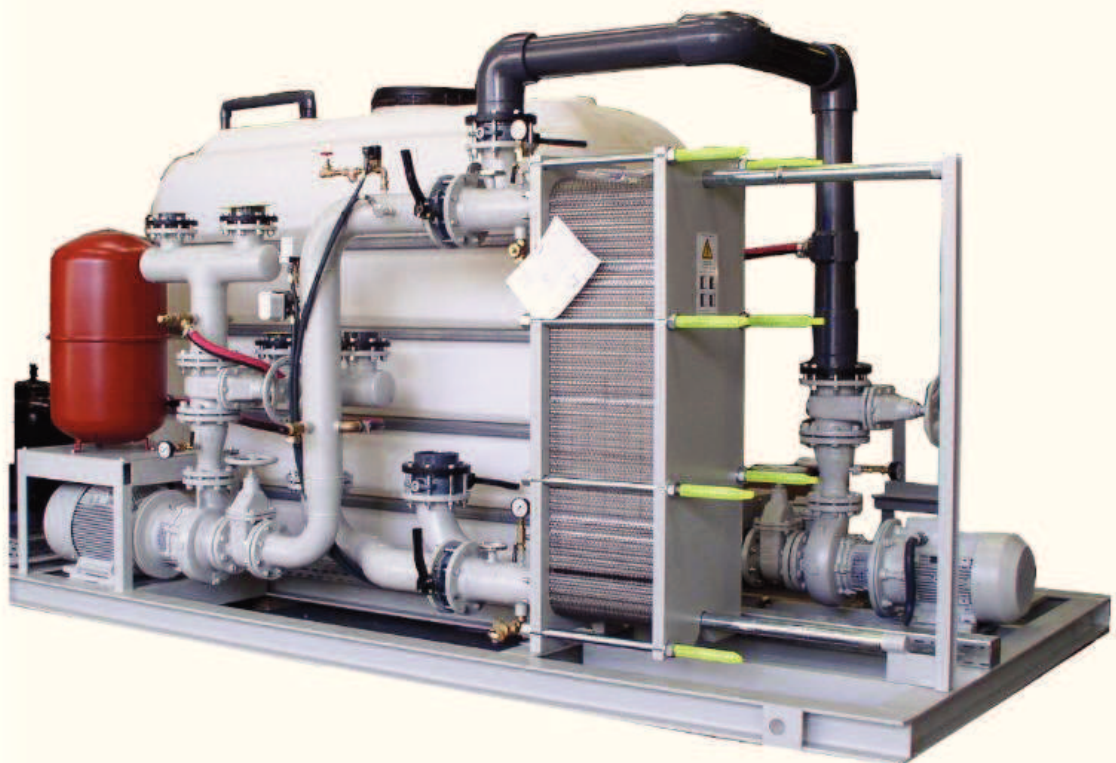
- Ermittlung des optimalen Verbundsystems (Kühl- und Heizsystems) für einen Härtereibetrieb
- Abführung der Überschusswärme aus den Produktionsmaschinen unter Berücksichtigung
 - größtmöglicher Betriebssicherheit bei
 - hoher Produktqualität und
 - **geringsten Betriebskosten**

- **Produktionsanlage und Produkte**
 - = Kühlleistungsbedarf
 - = niedrigste erforderliche Wassertemperatur
- **Wirtschaftlichkeit der Kühlanlage**
 - = Betriebskosten
- **Energiemanagement des Gesamtbetriebes**
 - = Potential für Abwärmenutzung

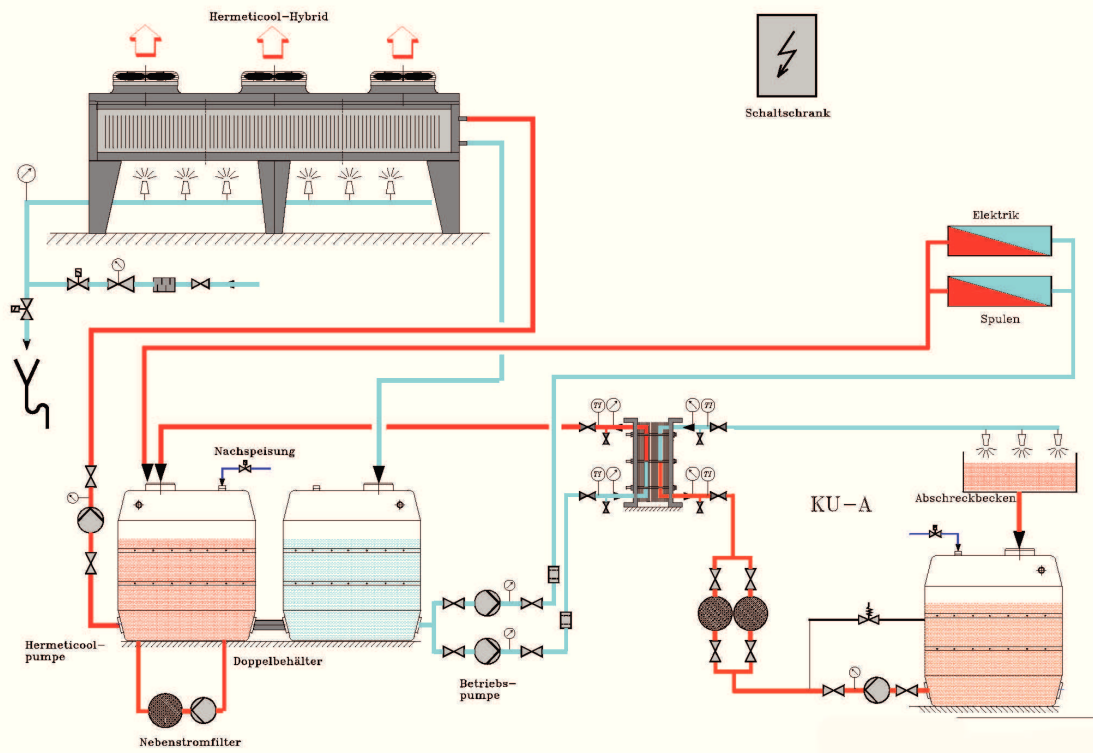
- Kühlwasser-Umwälzsysteme (KU)
- Kühltürme offener und geschlossener Bauart
- Hermeticool-Hybrid (Adiabater Freikühler)
- Wärmewandler

Kühlturmanlage mit KU





Hermeticool-Anlage mit KU



Hermeticool - Hybrid





gwkk Wärmerückgewinnung

ist Heizenergie zum Nulltarif

Die Abwärme aus Produktionsmaschinen muss in den meisten Fällen über Rückkühlsysteme abgeführt werden. Diese Abwärme kann über Wärmerückgewinnungssystem von **gwkk** sinnvoll zu Heizzwecken genutzt werden.

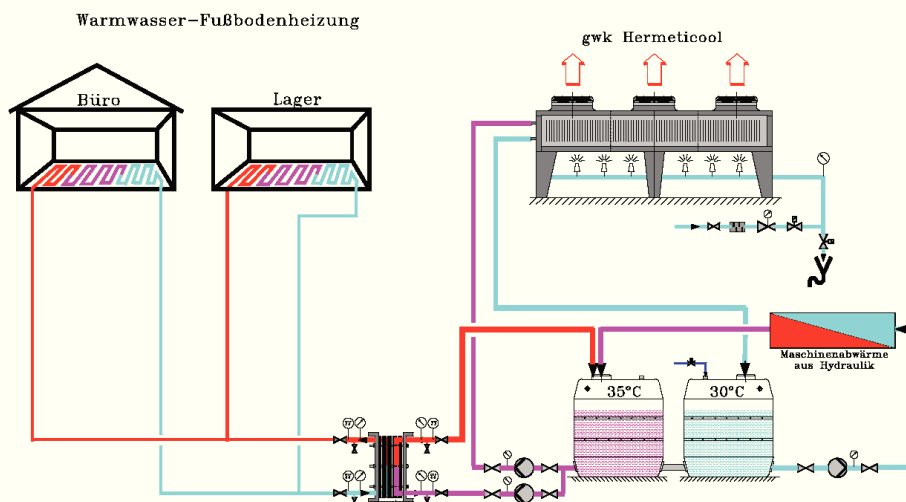
- Wärmewandler
- Wärmerückgewinnung z.B. Fußbodenheizung
- Wärmerückgewinnung z.B. Vorwärmung Brauchwasser



gwkk Wärmerückgewinnungssystem

zur Abdeckung des Gebäudewärmebedarfes über die Ankopplung an Flächenheizsystem wie die z.B. Fußbodenheizung

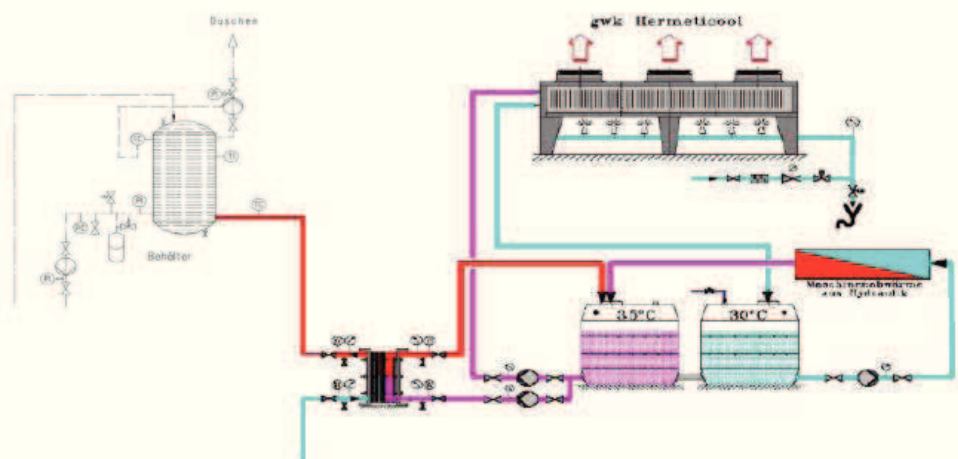
Die Überschusswärme aus den Produktionsmaschinen wird an das Niedertemperaturheizsystem übertragen. Hierbei wird, wie bei den gwkk Wärmewandlern, die Abwärme direkt in nutzbare Heizenergie ohne Verwendung von zusätzlicher Primärenergie umgewandelt.



gwkk Wärmerückgewinnungssystem

zur Vorwärmung des Brauchwassers mit einem Plattenwärmetauscher

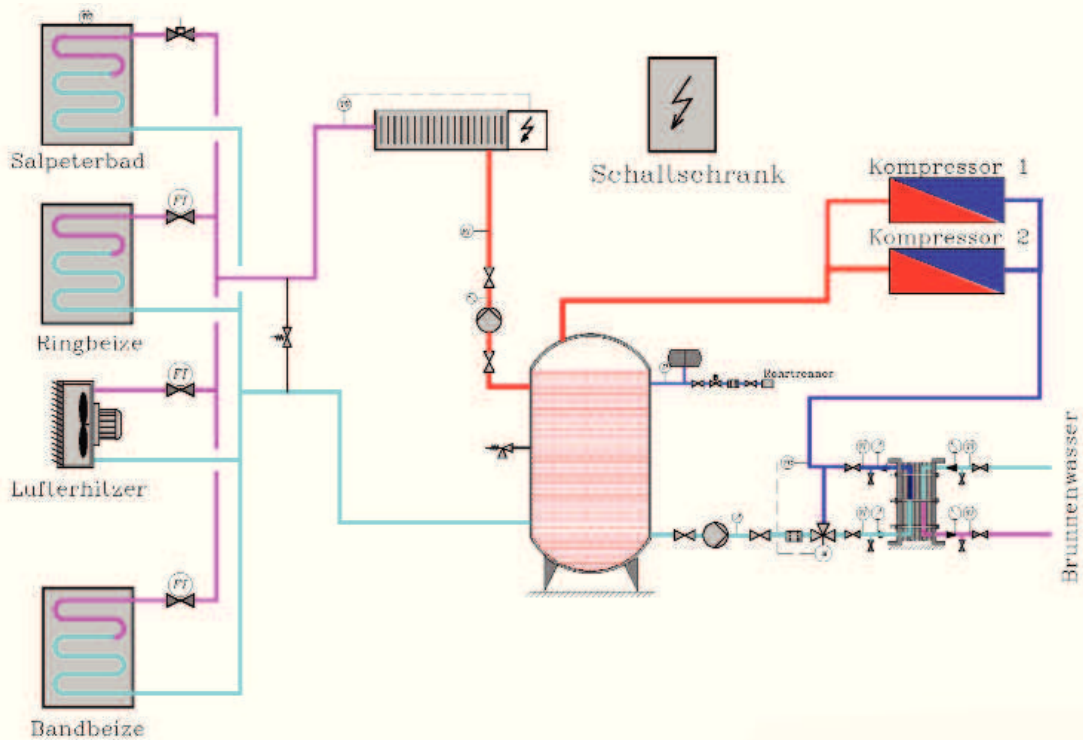
Die Überschusswärme aus den Produktionsmaschinen wird über einen Plattenwärmetauscher an das Brauchwasser abgegeben, bevor es zum Brauchwasserspeicher der Heizungsanlage gelangt. Durch diese gwkk Einheit wird das Brauchwasser (Stadtwasser) bereits von 10°C auf die Rücklauftemperatur des Kühlwassers aufgeheizt.







Wärmerückgewinnung z.B. Kompressor





gwk Ihr Partner für energieeffiziente Kühlanlagen

Gesellschaft Wärme Kältetechnik mbH
Friedrich-Ebert-Str. 306 – 314
D- 58566 Kierspe
www.gwk.com



PETROFER
industrial oils and chemicals


**Energie- und Ressourceneffizienz
in der Wärmebehandlung und Thermoprozesstechnik
13.-14. Juni 2012 / IWT-Bremen**

Öle und Abschreckmedien

Dipl.-Ing. Thorsten Beitz
PETROFER CHEMIE Hildesheim, Germany

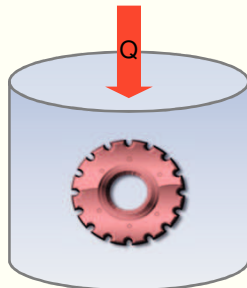


Inhalt



- **Abwärme beim Abschreckvorgang**
Entstehung, Nutzung
- **Umwälzung**
Effektivität, Entwicklung
- **Aufkohlungstiefe**
Steigerung der CHD beim Einsatz von polymeren Abschreckmedien gegenüber Abschreckölen
- **Induktivhärtung**
Vorteile beim Einsatz eines wassergemischten polymeren Abschreckmediums
- **Entsorgung**

Entstehende Abwärme beim Abschreckvorgang



Wärmeleitfähigkeit c [kJ/kgK]

Abschrecköl	= 2,0
wmb Abschreckmittel	= 3,8

Temperatur-Anstieg durch Abschreckung

$m_{\text{FQ 2000}}$	120.000 kg
m_{Stahl}	12.000 kg

Erwärmung pro Abschreckperiode: $\Delta T = \text{ca. } 17 \text{ K}^*$

* Berechnet für einen verlustlosen Wärmeübergang von den Werkstücken in die Abschreckflüssigkeit und unter Annahme der max. Chargengröße

Abzuführende Wärmemenge

$$Q = m \times c_{\text{Stahl}} \times \Delta T$$

$$Q = 12.000 \text{ kg} \times 0,71 \text{ kJ/kgK} \times 900 \text{ K}$$

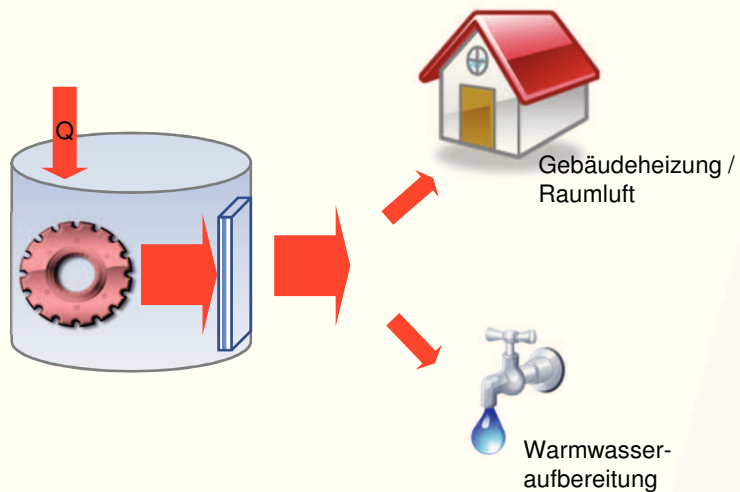
$$Q = \underline{7.668.000 \text{ kJ}} \text{ entspr. } \underline{2130 \text{ kW}}$$

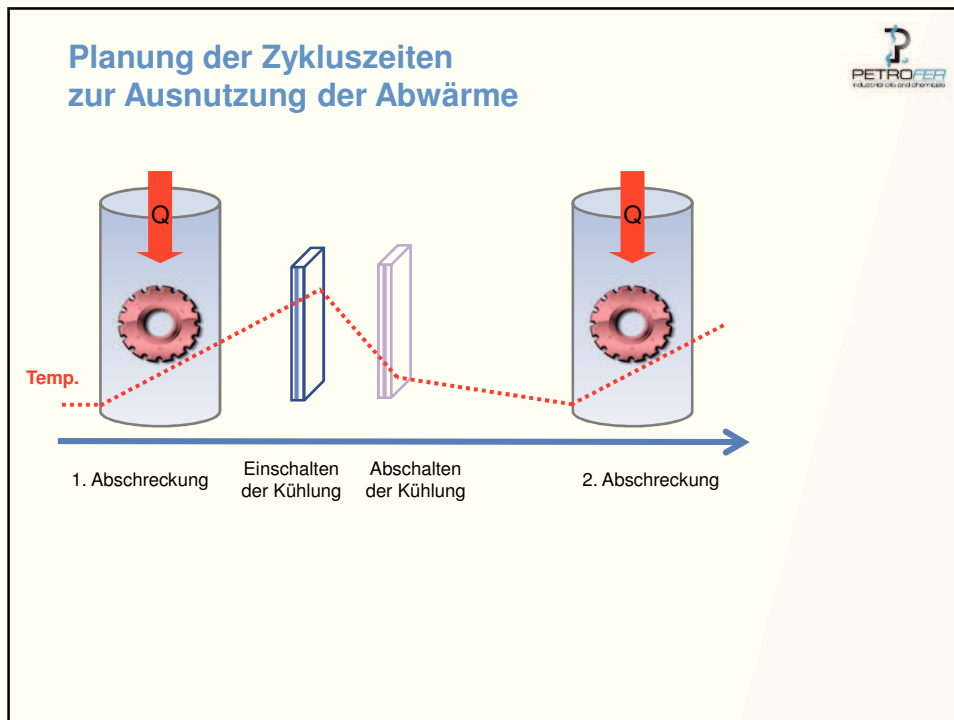


Energie für

z.B. 710 Heizlüfter mit 3000 W für 1 h

Möglichkeiten der Abwärme-Nutzung





Inhalt

- Abwärme beim Abschreckvorgang
Entstehung, Nutzung
- **Umwälzung**
Effektivität, Entwicklung
- Aufkohlungstiefe
Steigerung der CHD beim Einsatz von polymeren Abschreckmedien gegenüber Abschreckölen
- Induktivhärtung
Vorteile beim Einsatz eines wassergemischten polymeren Abschreckmediums
- Entsorgung

PETROFER
Industrielle und chemische

Bessere Umwälzung bei geringerem Stromverbrauch



Effiziente Durchmischung bei geringem Stromverbrauch

Optimale Strömung durch flexible Positionierung und Ausrichtung

dadurch wirksamer Flüssigkeitsstrahl über lange Distanz

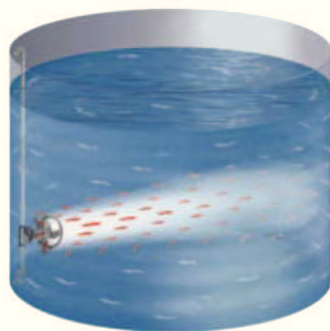


Quelle:



xylem
industrial

Bessere Umwälzung bei geringerem Stromverbrauch



Wenn sich der Rührwerksstrahl über eine größere Distanz entwickeln kann, ergibt sich eine starke, optimal wirksame Strömung und eine effiziente Durchmischung des gesamten Beckeninhalts.

Quelle:



xylem
industrial

Unterschiede Abschrecköl und wassermischbare Abschreckmittel



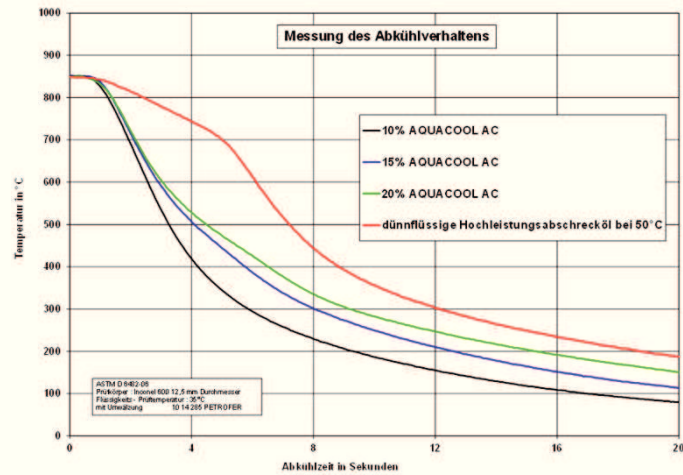
	Abschrecköl	wmb Abschreckmittel (Polymer)
Wärmeleitfähigkeit	2,0 KJ/kgK	3,8 KJ/kgK
Viskosität bei 40°C	ca. 14 mm ² /s (dünnflüssig)	ca. 4 mm ² /s (12%)
	ca. 25 mm ² /s (mittel-viskos)	ca. 5 mm ² /s (15%)
	ca. 80 mm ² /s (Warmbad)	ca. 8 mm ² /s (20%)

Inhalt



- Abwärme beim Abschreckvorgang
Entstehung, Nutzung
- Umwälzung
Effektivität, Entwicklung
- **Aufkohlungstiefe**
Steigerung der CHD beim Einsatz von polymeren Abschreckmedien gegenüber Abschreckölen
- Induktivhärtung
Vorteile beim Einsatz eines wassergemischten polymeren Abschreckmediums
- Entsorgung

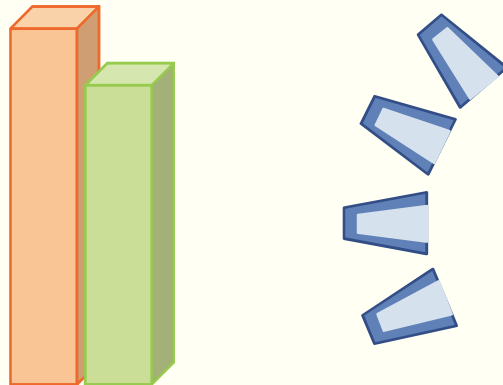
Bessere Ausnutzung der Aufkühlungstiefe Steigerung der Einhärtetiefe

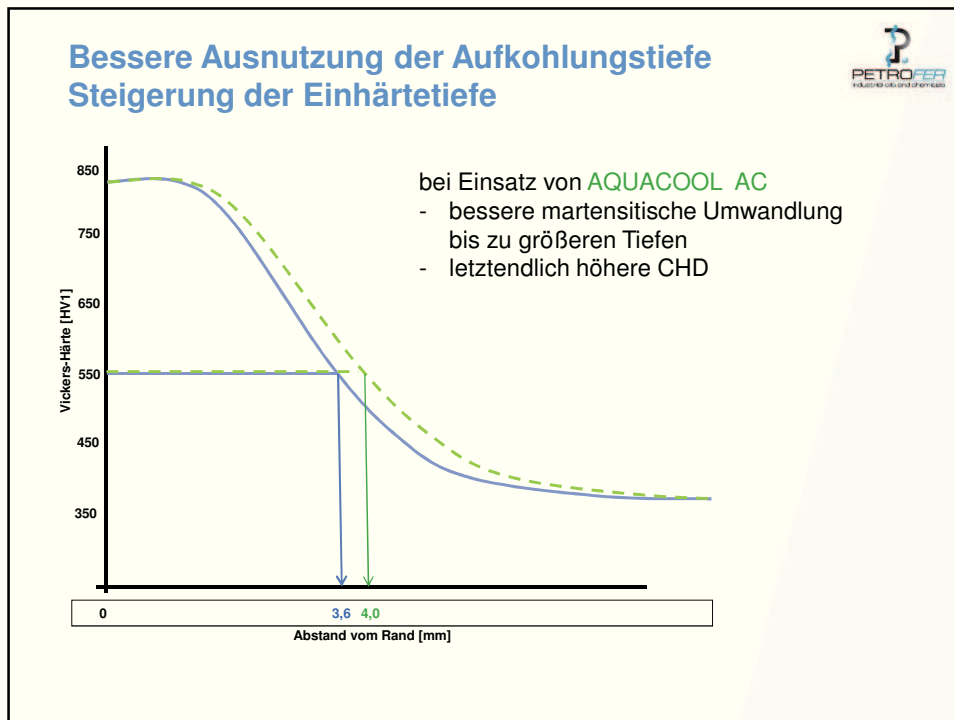


Steigerung der CHD großer verzahnter Bauteile (> 500 mm)



Durch Einsatz eines wassermischbaren polymeren Abschreckmediums (AQUACOOL AC) Erzielung der äquivalenten CHD bei nur 85% der C-Penetrationstiefe wie beim Einsatz von Abschrecköl.

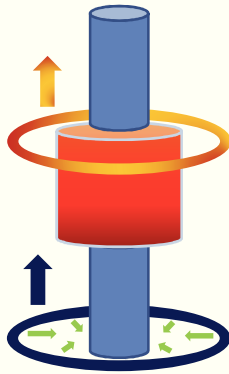




Inhalt

- Abwärme beim Abschreckvorgang
Entstehung, Nutzung
- Umwälzung
Effektivität, Entwicklung
- Aufkohlungstiefe
Steigerung der CHD beim Einsatz von polymeren Abschreckmedien gegenüber Abschreckölen
- **Induktivhärtung**
Vorteile beim Einsatz eines wassergemischten polymeren Abschreckmediums
- Entsorgung

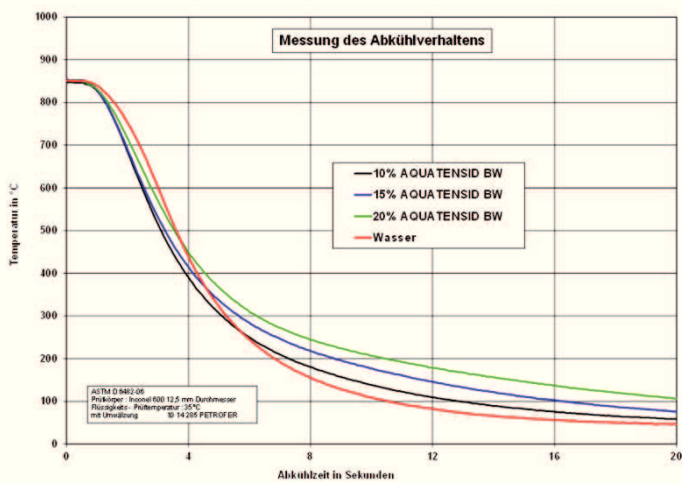
Energie-Einsparung beim Induktivhärten



durch Einsatz wassermischbarer Abschreckmedien

- Verhinderung von Dampfblasen-Bildung (Weichfleckigkeit)
- volle Ausnutzung der induktiv erwärmten Zone
- 100% Martensit

Abschreckmedium für die Induktivhärtung



Inhalt



- Abwärme beim Abschreckvorgang
Entstehung, Nutzung
- Umwälzung
Effektivität, Entwicklung
- Aufkohlungstiefe
Steigerung der CHD beim Einsatz von polymeren Abschreckmedien gegenüber Abschreckölen
- Induktivhärtung
Vorteile beim Einsatz eines wassergemischten polymeren Abschreckmediums
- **Entsorgung**

Entsorgung von Abschrecköl (Kreislaufwirtschaftsgesetz)



Thermische Verwertung



Ölaufbereitung



Quellen

- Leitfaden Energieeffizienz von Thermoprozessanlagen
Herausgeber: VDMA Thermoprozesstechnik



***Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit***



CFC und Graphit Anwendungen in der Wärmebehandlung - Wirtschaftlichkeit "leicht" gemacht -



Martin Barthelmie



GTD Graphit Technologie GmbH



GTD Graphit Technologie GmbH

Raiffeisenstraße 1

D-35428 Langgöns

Tel.: +49 (0) 6403 9514-0

Fax.: +49 (0) 6403 9514-25

E-Mail: info@gt-d-graphit.de

Internet: www.gt-d-graphit.de

A Toyo Tanso Group Company

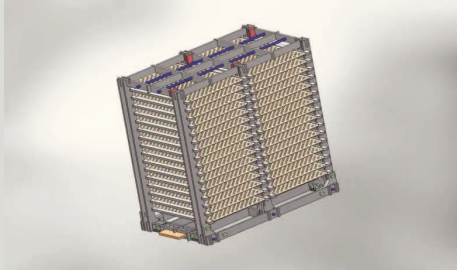
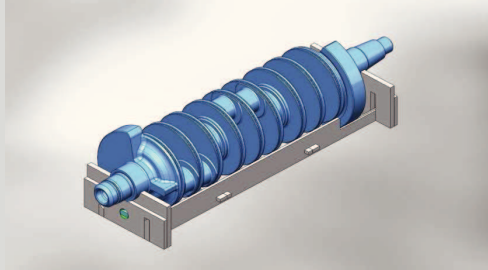
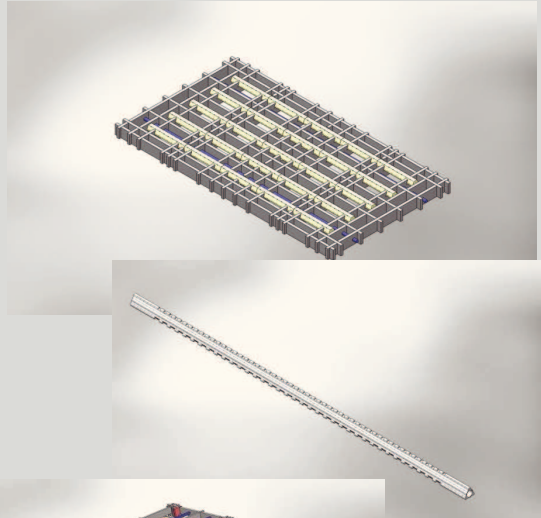
www.toyotanso.co.jp





Inhalt

- Vorstellung GTD
- Einsatzmöglichkeiten von CFC in der Wärmebehandlung
- Berechnung der Amortisation
- Anwendungsbeispiele
- Zusammenfassung



Historie

- 1991- Gründung
- 1997- eigene Bearbeitung
- 2000- neues Gebäude
- 2000- ISO 9001:1994
- 2003-ISO 9001:2000 & ISO 14001
- 2008- neues Gebäude
- 2011- Reinigungsanlage für Graphit und CFC



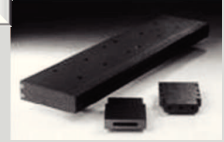


Produkt-Portfolio Graphite und CFC für:

EDM (Funkenerosion)

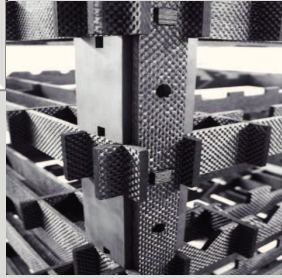


Strangguss



Wärmebehandlung

Vakuuöfen



Halbleiter- und
Fotovoltaik



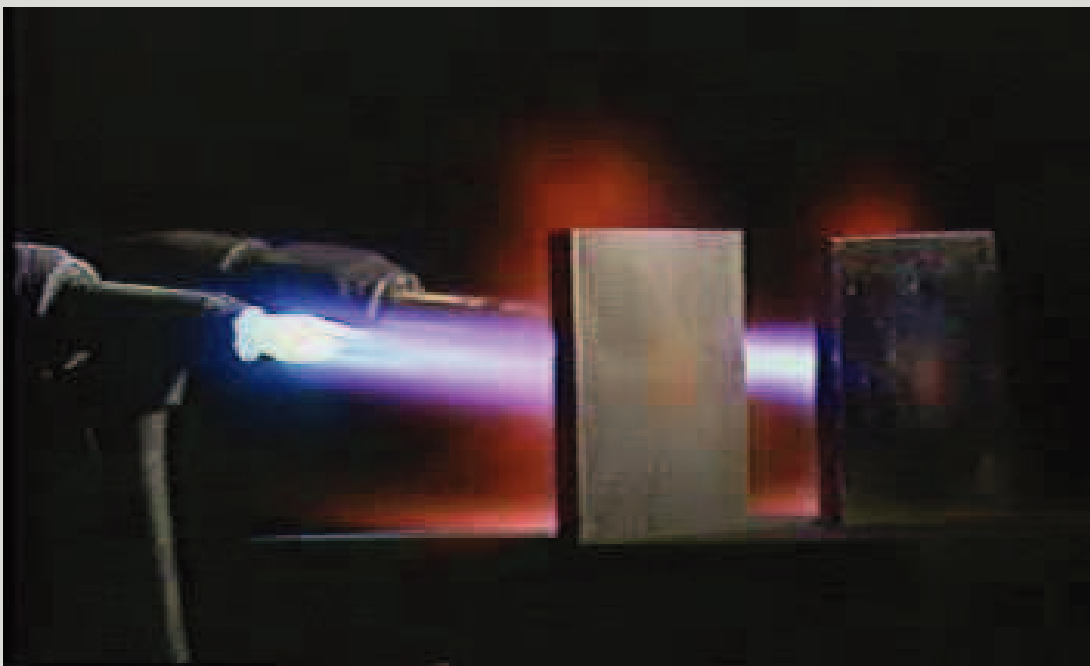
Mechanische Kohle



Graphitfolie



Spezielle Eigenschaften von
Graphit & CFC





Einsatzmöglichkeiten in der Wärmebehandlung



- Vakuüm
(Gasabschreckung)
- Ölabschreckung
 - 70% aller Prozesse in der Wärmebehandlung
- Löten
- Sintern

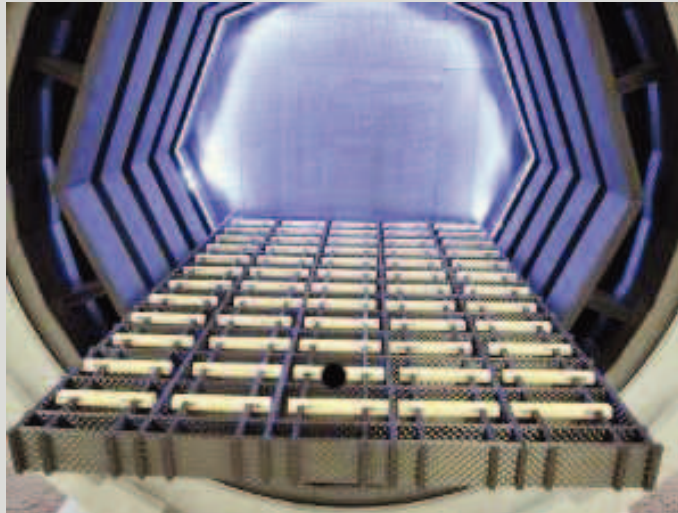


Einschränkungen

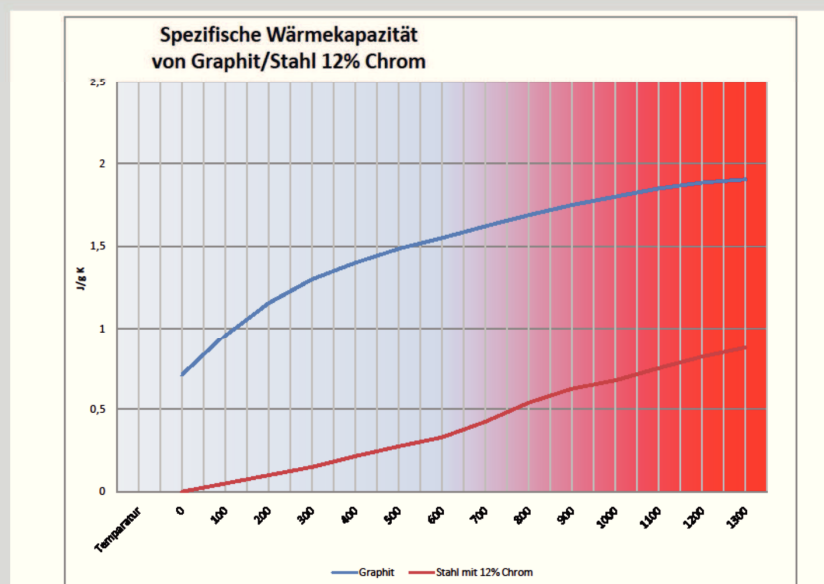
- Unbedingt beachten bei folgenden Anwendungen:
 - Wärmebehandlung von HSS, Cr/Ni/Co-Stählen
 - Temp ~1100°C → bei direktem Kontakt mit Kohlenstoff vermindert sich der Schmelzpunkt
 - Aufkohlungsschutz (Keramikteile zwischen Stahl und CFC und Graphit)
 - Löten
 - Lötpasten mit Nickel greifen Graphit und CFC an (Carbidbildung)
 - Bei Überschuß an Lötpasten muß die Unterlage gegen herabtropfendes Lot geschützt werden, z.B. durch Beschichtung mit Zirkoniumoxyd



Die Lösung für Anwendungen über 1.100°C im Vacuumofen :
– CFC-Rost mit integrierten Keramikteilen-



Vergleich der spezifischen Wärmekapazität zwischen Stahl und CFC
beträgt im Mittel Faktor 2,2





Berechnung der Amortisation

1kw/h	3.600.000 j	3,6 Megajoule	Faktor Stahl/CFC	$\Delta-t$ °C	Preis/Kw/h	Preis/KG CFC	Preis/KG Stahl	\emptyset CO ₂ /kWh*
Q= m x cP x Δ t (Masse x spez. Wärmekapaz. x Temp.-Diff.)								
	Gewicht	Energiebedarf						
spez. Wärmekapazität	Stahlgestell/Rost	in kWh	Energiekosten	Anschaffungs-				
Stahl	0,7	80	181,44	27,22 €	2.240,00 €			
CFC	1,7	16,0	88,128	13,22 €	10.400,00 €			
		Diff.	14,00 €	8.160,00 €				
Durchläufe/Tag	2	Ersparnis/Tag	27,99 €					
Arbeitstage/Jahr	250	Ersparnis/Jahr	6.998,40 €					
		Amortisation in	13,99 Monaten					

*Der derzeitige Durchschnitt in Deutschland liegt bei 514g CO₂ je erzeugter kWh.

Nicht berücksichtigt ist der Verbrauch von Prozessgasen für die Kühlung/Abschreckung!!!

steuernde Zelle
blaue Schrift veränderbare Werte



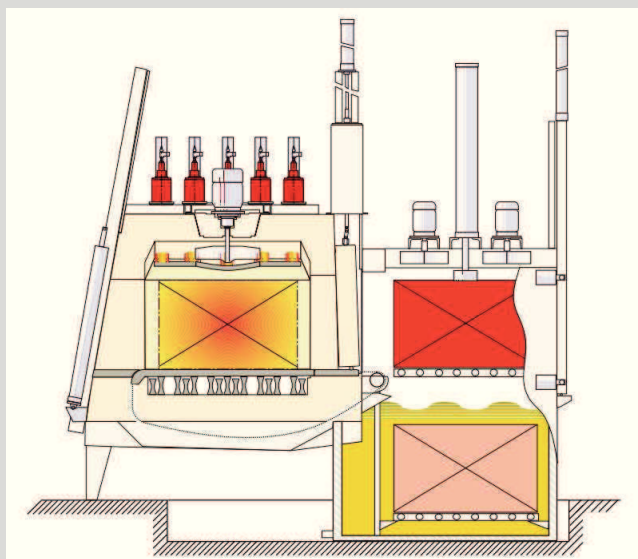
Abschreckung in Öl

• Prozesse

- vorwärmen @~400°C
- Heizen @ 880°C~930°C unter Aufkohlungsgas (H₂&N₂-Gemisch)
- Ölabschreckung
- Waschen
- Anlassen @~180°C-400°C

• Bitte beachten

- Grundrost sollte aus Stahl sein, wegen der hohen mechanischen Belastung beim Transport





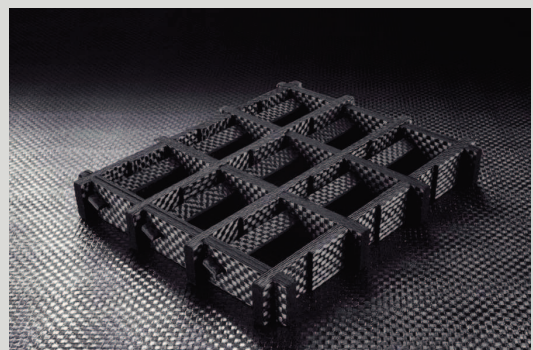
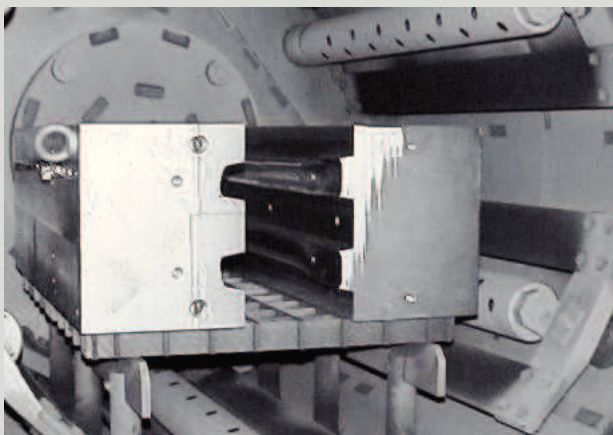
Anwendungen

- **Automobilindustrie**
 - Kugellagerkäfige (Ölabschreckung)
 - Getriebeteile (Ölabschreckung)
 - Stabilisatoren (Ölabschreckung)
 - Vorrichtungen für Abgassysteme (Löten mit Wasserstoffatmosphäre)
- **Transportsysteme**
 - Federn für Schienenbesfestigung (Ölabschreckung)
- **Werkzeuge**
 - Bohrer (Löten mit Wasserstoffatmosphäre)
 - Gestelle für CVD mit TiC
- **Luftfahrtindustrie**
 - Löten von Turbinenschaufeln - Raketenteile
- **Wärmetauscher für Automobile, Bahn und Industrie**

C/C & Graphite for Heat Treating Application



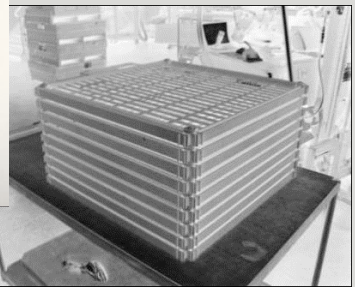
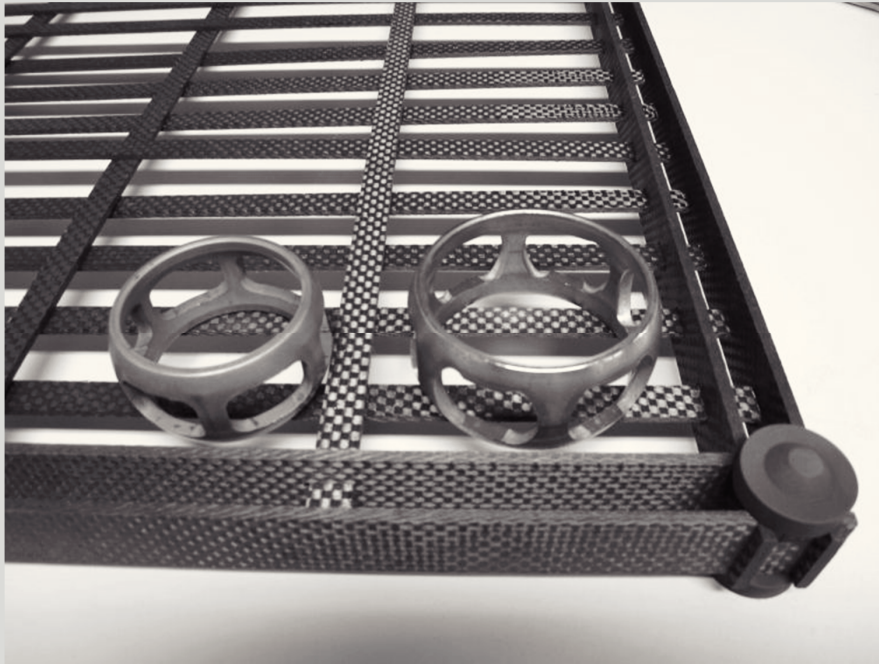
CFC Roste für Vakuumöfen



C/C & Graphite for Heat Treating Application



Kugellagerkäfige (Ölabschreckung)

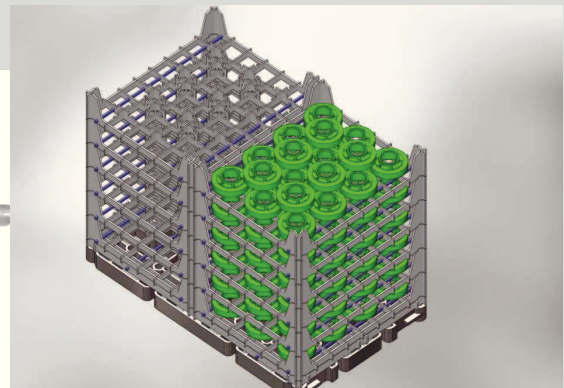
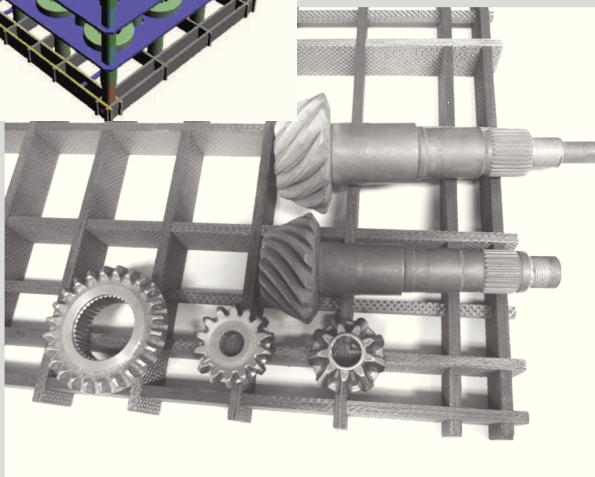
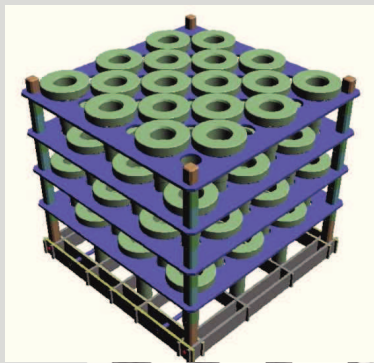


C/C & Graphite for Heat Treating Application



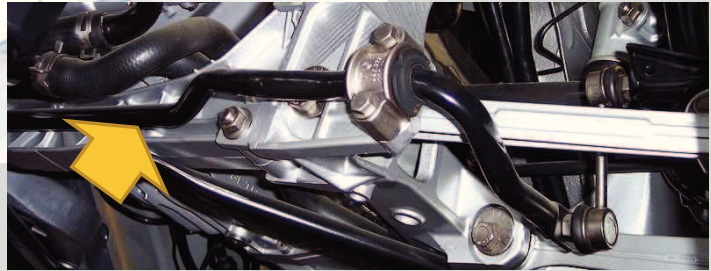
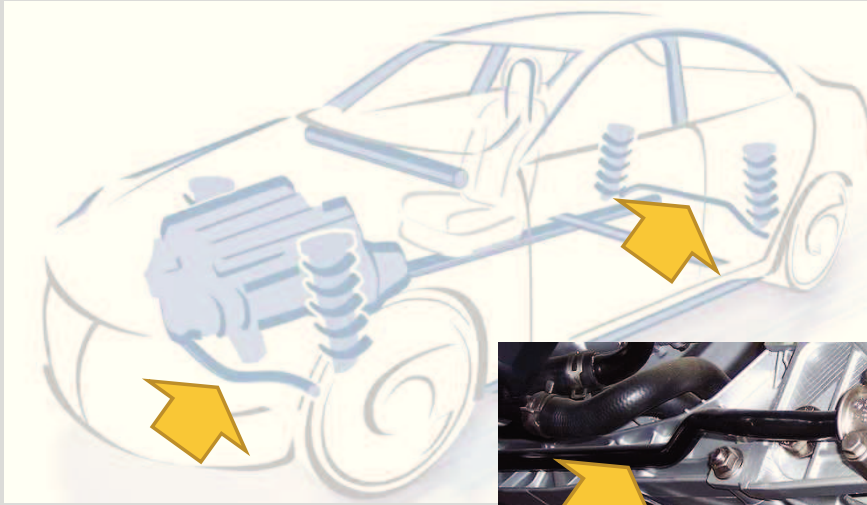
Automotive

Getriebeteile (Ölabschreckung)





Stabilisatoren (Ölabschreckung)

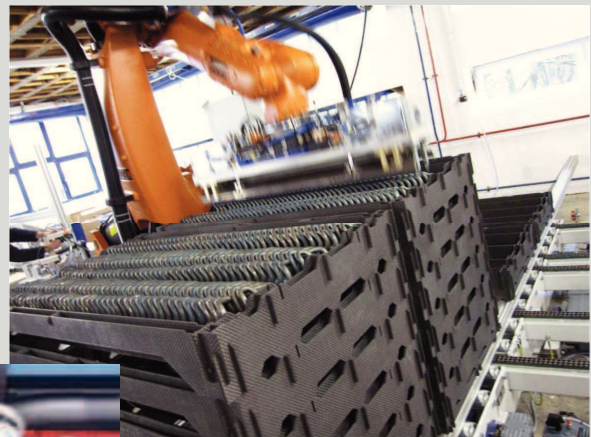


Die CFC-Gestelle dürfen wir leider nicht zeigen!

C/C & Graphite for Heat Treating Application



Beispiel für Handling mit Roboter (Ölabschreckung)



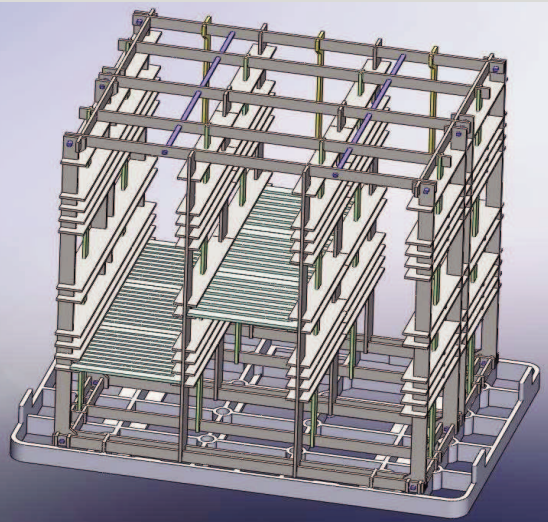
C/C & Graphite for Heat Treating Application



Beispiel für Wechsel von Stahl zu CFC (Ölabschreckung)



Stahlgestell Gewicht 485 KG;
Teile Gewicht 190 KG



CFC-Gestell Gewicht 52 KG, Stahlrost 160 KG;
Teile Gewicht 360 KG
Ergebnis: fast Verdoppelung der Ofenkapazität

C/C & Graphite for Heat Treating Application



Löten von Wärmetauschern



C/C & Graphite for Heat Treating Application

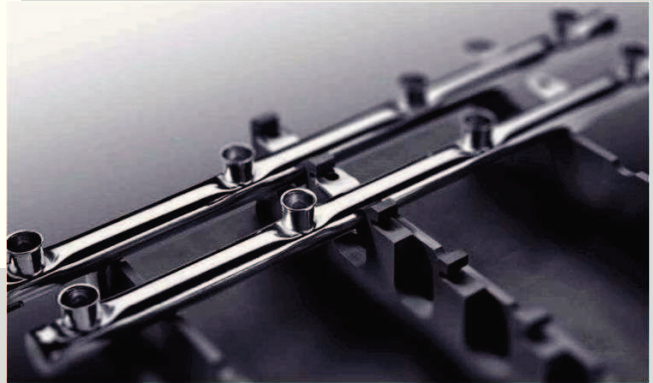


Graphitvorrichtungen

Abgassysteme



Kraftstoffleitungen



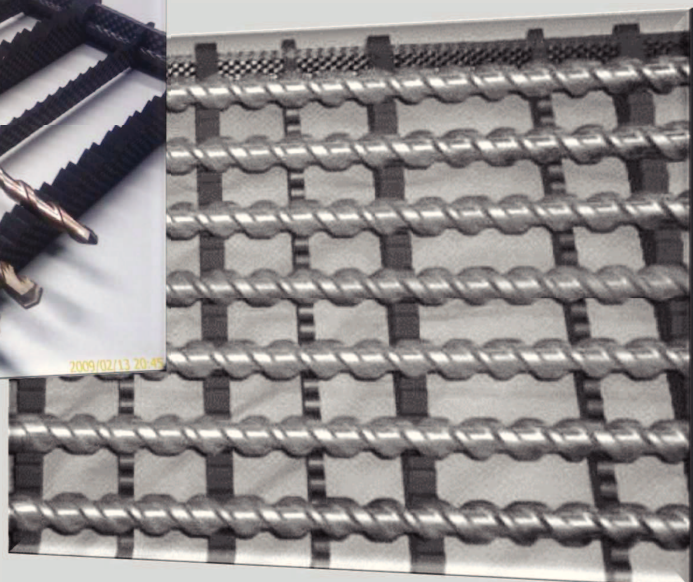
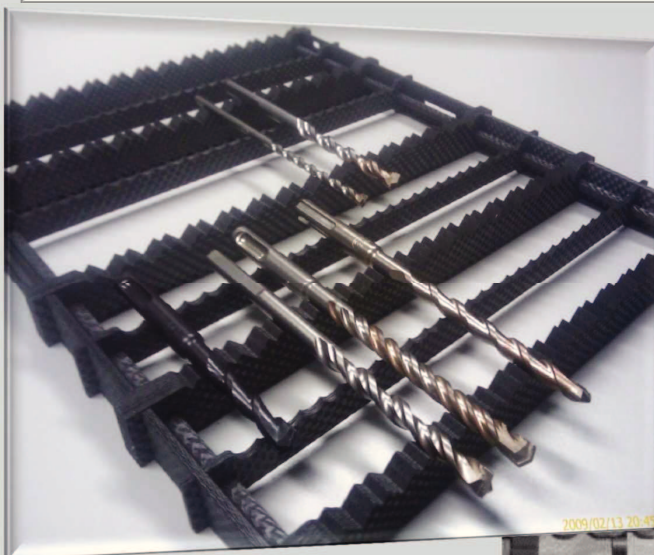
2009-02-19

C/C & Graphite for Heat Treating Application

21



CFC-Rost für Bohrer (Löten)

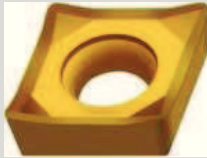


C/C & Graphite for Heat Treating Application



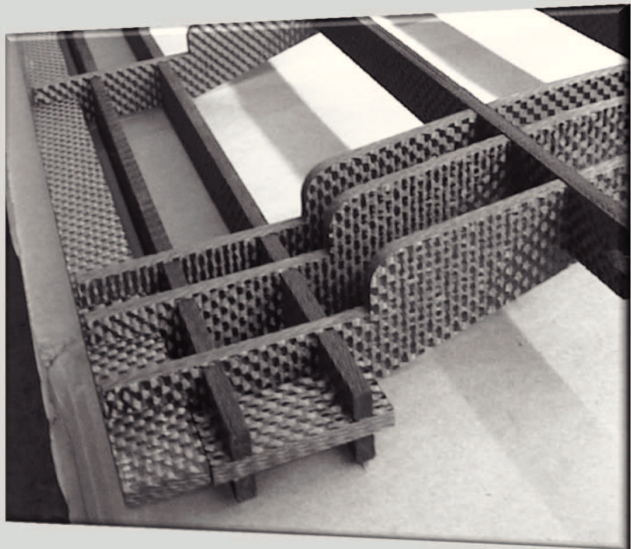
Tools

CVD Verfahren



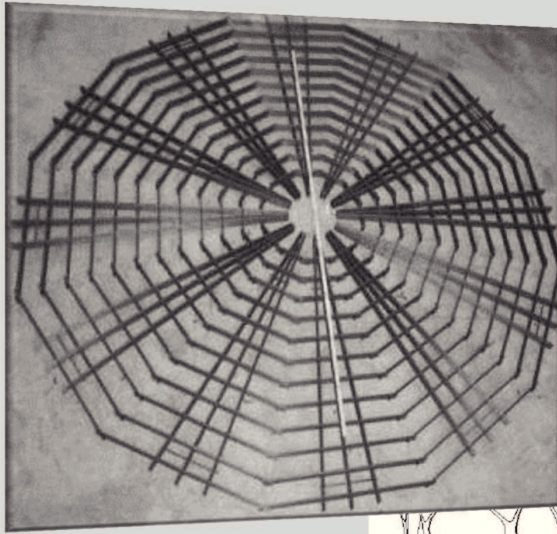
Aerospace

Rost für Löten von Turbinenflügeln für Airbus A380 Triebwerk

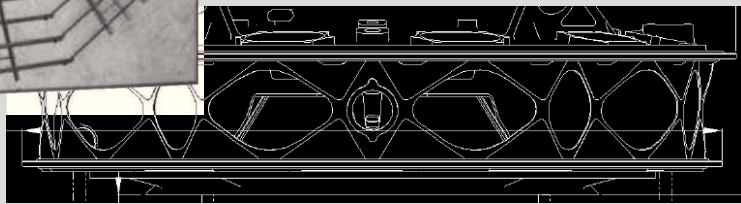




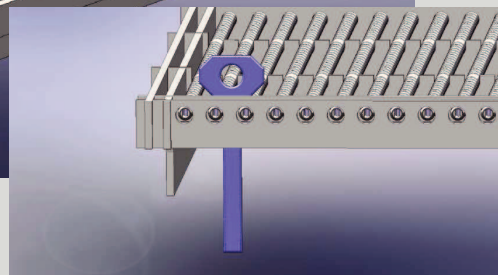
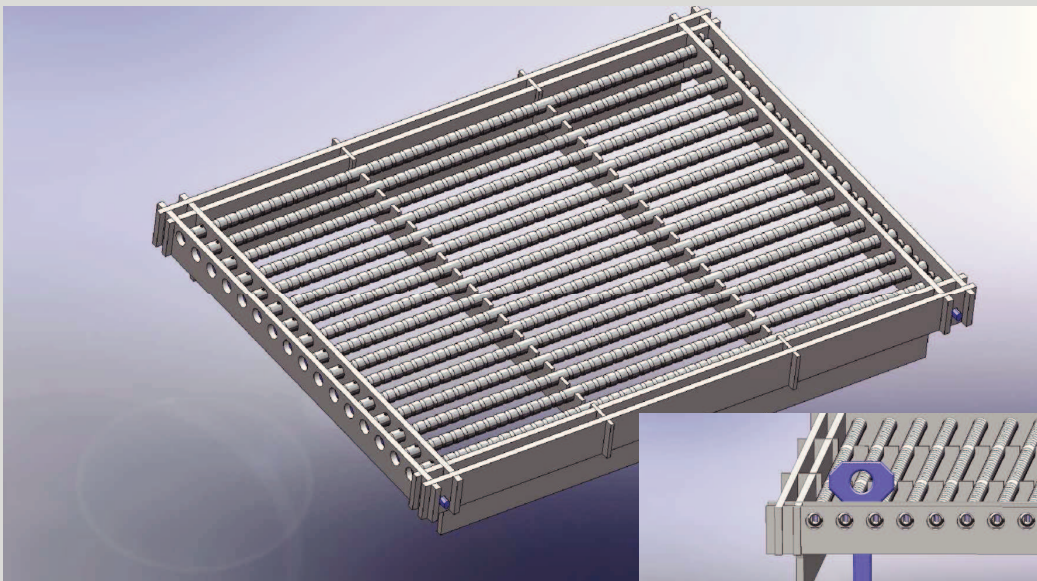
Aerospace



“Spinnen”-rost für Lötverfahren für
Triebwerksteile



CFC Rost mit Metallstäben mit CFC-Seele





Zusammenfassung

Nachteile

- Anschaffungspreis
4-5 x höher als Stahl
- Nicht anwendbar bei oxidierender
Atmosphäre >450°C
- Kontaktreaktionen >1.100C°
- Mögliche Ölaufnahme bei
Ölabschreckung

Vorteile

- Automation
- Kein Verzug über die Lebensdauer
- Sehr leichte Bauweise
- Geringe Ausdehnung
- Sehr lange Lebensdauer
- Fixierung von Bauteilen
- Flexibles Design (Stecksystem)
- Konstruktion nach Kundenanforderung
- Geringer Energiebedarf
- Kürzere Prozesszeiten
- Weniger CO2 Emission

Energiemanagementsysteme in der Wärmebehandlung

Florian Elwart, 14.06.2012

Einleitung



- Warum Energieeffizienz?
- Welche Rolle spielt dabei ein Energiemanagementsystem?
- Energiemanagement nach DIN EN 50001
- Energiemanagementsysteme im praktischen Einsatz
 - Eingesetzte Datensammler
 - Unterschiedliche Betrachtung von Neu- und Altanlagen
- Beispiele aus der Praxis:
 - Brenneffizienz
 - Auswirkung von Prozessen auf Verbräuche
 - Druckluftoptimierung
 - Kühlwasseroptimierung
 - Ofenumrüstungen (Energie- und Prozessgaseinsparung, Wärmerückgewinnung)

Warum Energieeffizienz?

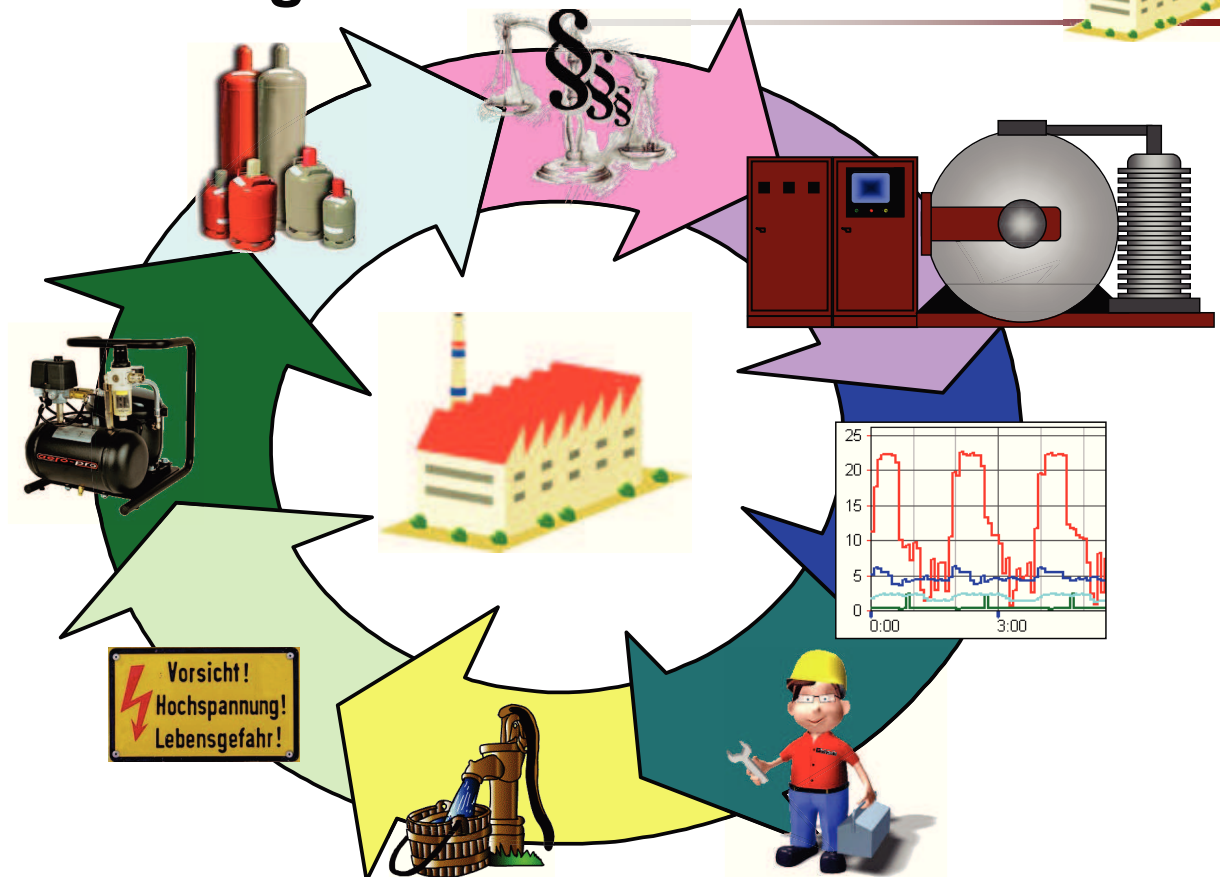


- **Klimaschutzprogramm der Bundesregierung vom 23.08.2007**
 - Bis 2020 Reduktion des Treibhausgasausstoßes um 40% unter den Stand von 1990
- **Umsetzung der EU-Richtlinie über „Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen“ (2006/32/EG)**
 - 9% höhere Energieeffizienz gegenüber dem Referenzzeitraum 2001-2005: 833 PJ in Deutschland bis 2016
- **Koalitionsvertrag der aktuellen Bundesregierung**
 - „Wir gehen den Weg in das Zeitalter der regenerativen Energien“
 - Der Industriestandort Deutschland benötigt „sichere, umweltverträgliche, wettbewerbsfähige und bezahlbare Energie. Dafür braucht unser Land ein energiepolitisches Gesamtkonzept, das diese Ziele miteinander verbindet“
- **Bundesumweltministerium (2012):**
“Energieeffizienz ist die tragende Säule der Energiewende“

1: http://www.bmu.de/pressemitteilungen/aktuelle_pressemitteilungen/pm/48735.php

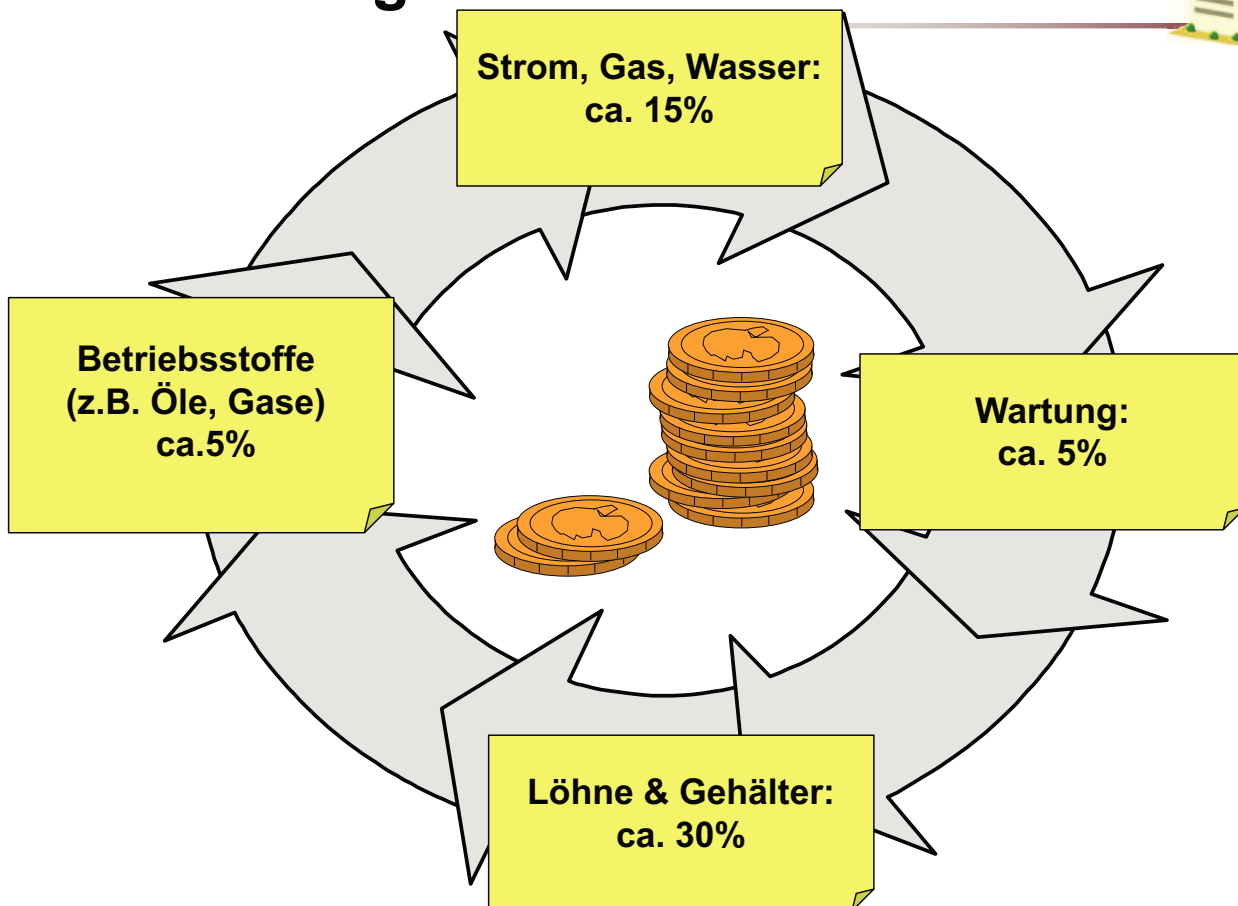
3

Warum Energieeffizienz?



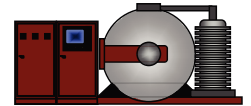
4

Warum Energieeffizienz?



5

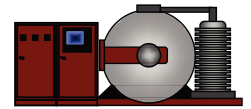
Warum Energiemanagement?



- Zur Verbesserung der Energieeffizienz ist eine Kenntnis des Ist-Zustandes notwendig.
 - Messwerte der vorhandenen Anlagentechnik
 - Analyse möglicher Alternativsysteme (technische & wirtschaftliche Machbarkeit)
- Ein Energiemanagement-System schafft eine Grundlage für Entscheidungen zum Bereich Energieeffizienz
- Energieeffizienz und Energiemanagement sind daher Bestandteile der generellen Bodycote Unternehmensstrategie
- Als Konsequenz daraus:
 - Zertifizierung nach DIN EN 50001 (Nachfolger zu DIN EN 16001)
 - Auf- und Ausbau mobiler und stationärer Messtechnik

6

Forderungen der DIN EN 50001

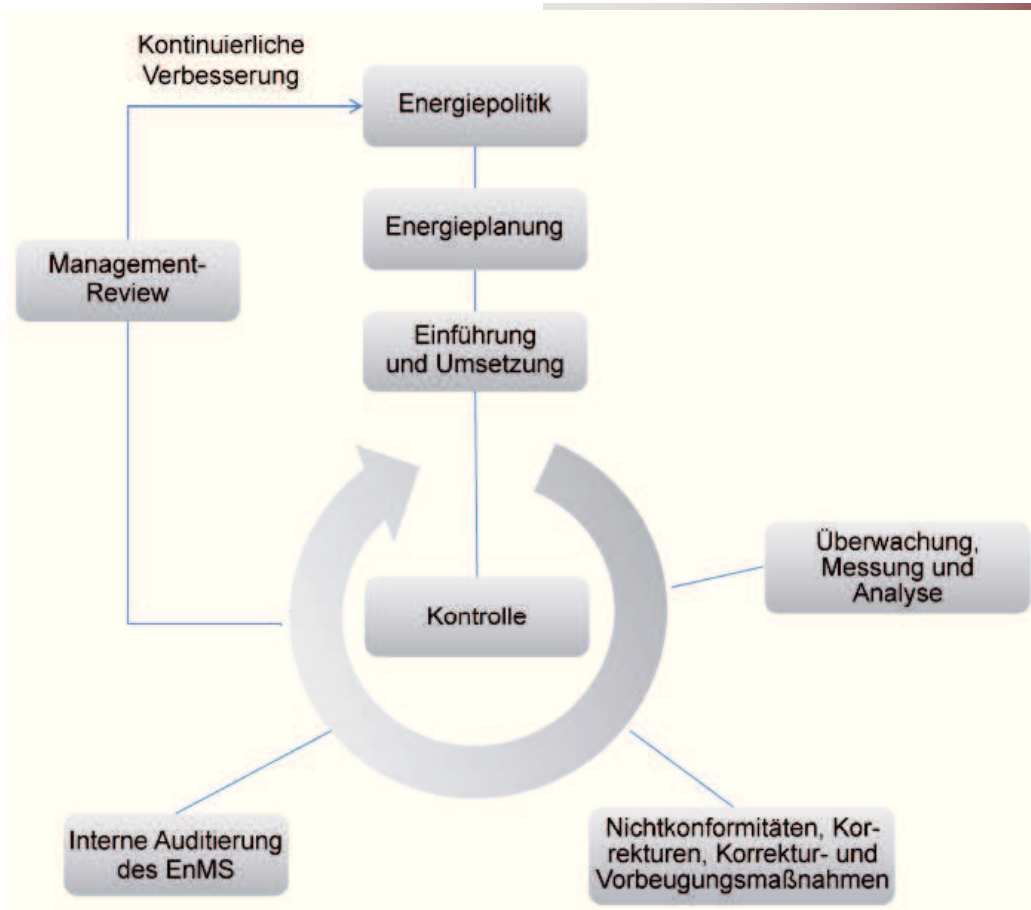
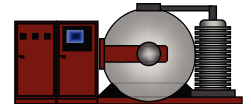


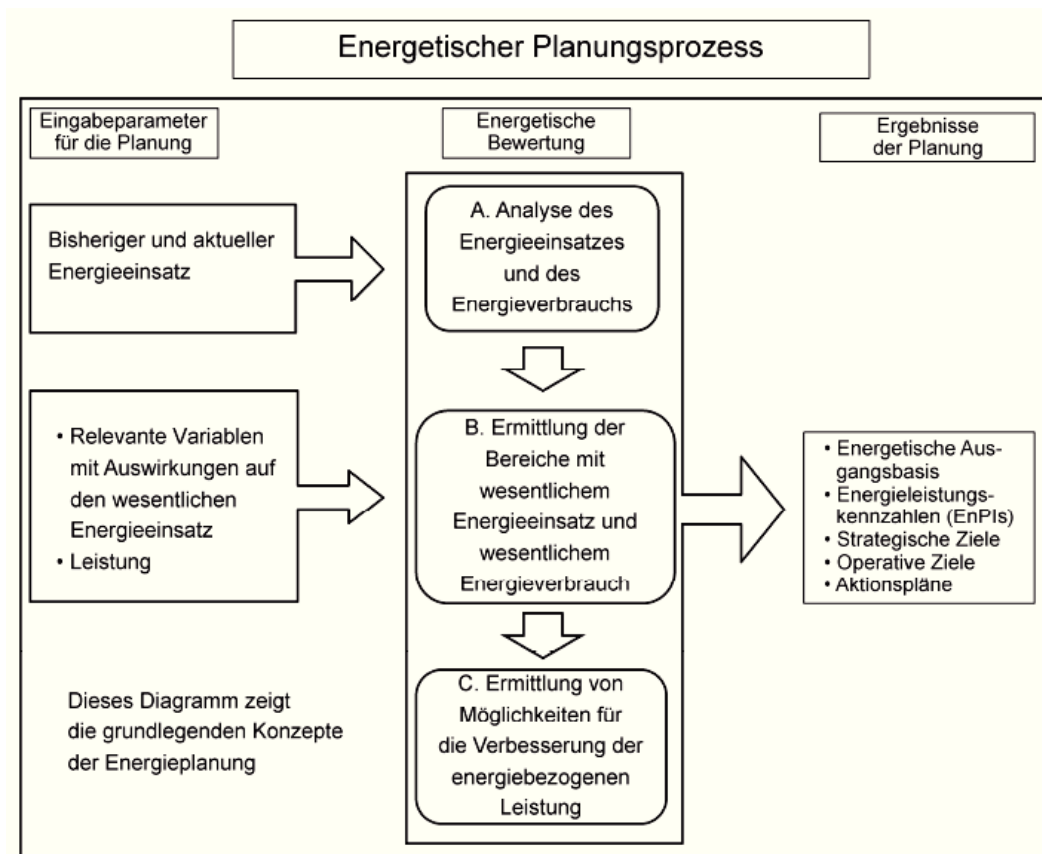
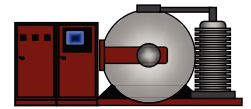
- **PLAN:**
 - Durchführung einer energetischen Bewertung
 - Festlegung der energetischen Ausgangsbasis und Energiekennzahlen
 - Festlegung der Energieziele der Unternehmung und notwendiger Aktionspläne zur Erreichung dieser Ziele
- **DO:**
Umsetzung der Aktionspläne
- **CHECK:**
Prozessüberwachung und – messung
- **ACT:**
Ergreifung von Maßnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung

**ENERGIEMANAGEMENT IST IN DIESEM ZUSAMMENHANG
„NUR“ EIN WEITERES MANAGEMENTSYSTEM!**

7

EnMS nach DIN EN 50001





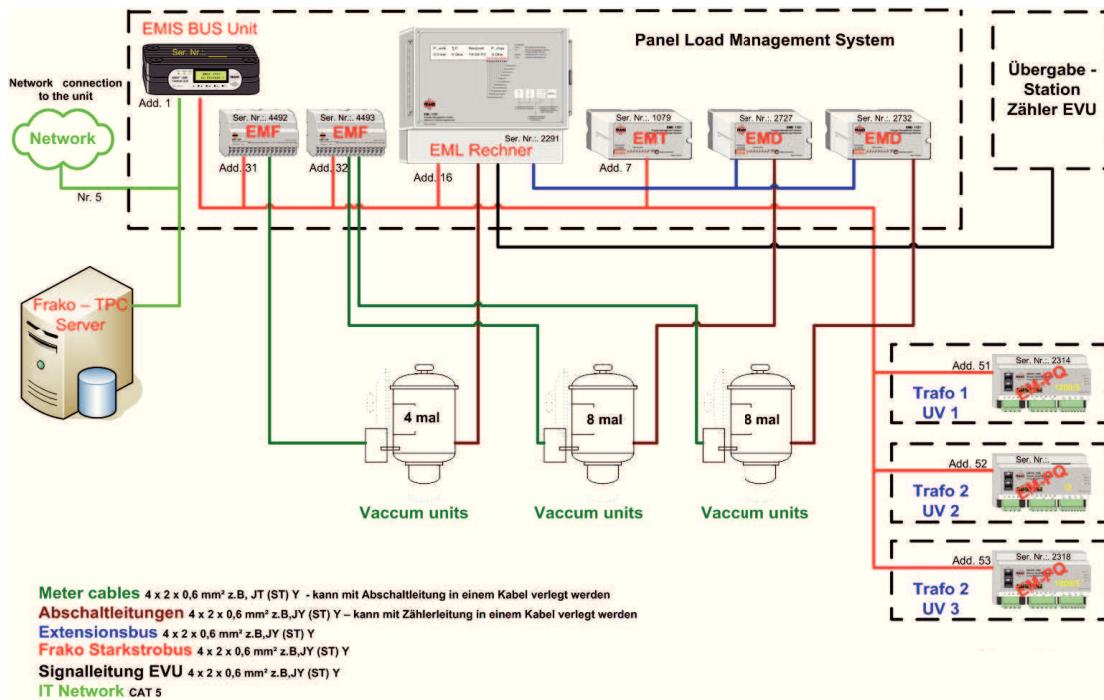
Aus: DIN EN 50001 9

EnMS: Hard- und Software



- Automatische Erfassung der Energie- und Stoffströme
 - Zur Kostenkontrolle
 - Verbrauch pro Stunde
 - Tank- und Lagerbestandsveränderungen
 - Für steuerliche Zwecke
 - Zum Vergleich von Anlagen verschiedener Hersteller
 - Zur Optimierung
- Optimierung des Energieverbrauchs
 - Daten zur optimalen Einstellung der Anlagen
 - Automatisches Energiemanagement
 - Last Management & Lastspitzenvermeidung
 - Blindlastkompensation
 - Netzqualitätsanalyse

EnMS: Stationärer Aufbau



11

EnMS: Halbstationärer Aufbau



- Halb-Stationäres System für nicht fest angeschlossene Standorte
 - „Weltweit“ einsetzbar
 - Anbindung an Energiemanagement-Server über GSM (Handynetz)
 - 5 Impulseingänge (i.d.R. für Stromzähler → Ofenheizung, Pumpenstand usw.)
 - 1 kalimetrischer Eingang (Druckluft, Stickstoff, Erdgas)

- Pro Einheit ca. 2000 EUR (inkl. Zählern, Wandlern, Sensoren)
- Aktuell 10 Stück im Umlauf



12

EnMS: Mobiler Datensammler

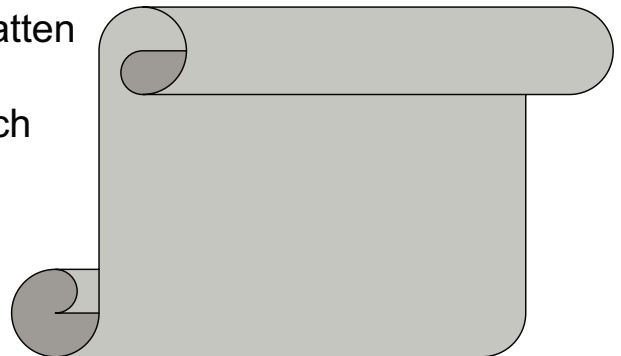
- Mobile Messung für nicht am System angeschlossene Standorte
 - Weltweit einsetzbar
 - 30 Tage ereignisabhängige Aufzeichnung
 - Netzwerkfähig, Anbindung an Energiemanagement-Server
 - Strom, Spannung,
 - Leistung, Blindleistung, Oberwellen
 - 8 Impulseingänge
 - 3.900 EUR / Koffer (incl. Zubehör, zzgl. Zähler)



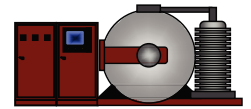
13

EnMS in der Praxis: Neuanlagen

- Anlagen sind mit Zählern auszustatten
- Eine Auswertung muss automatisch erfolgen können
- Anlagen sind mit Funktionen zur „Leistungsbegrenzung“ und „-optimierung“ auszustatten
- Alle verwendeten Komponenten sind in der höchsten Energieeffizienzklasse mit dem geringsten spezifischen Energieverbrauch zu wählen
- Maßnahmen z.B. zur Energierückgewinnung sollen berücksichtigt und eingesetzt werden wenn dies wirtschaftlich sinnvoll ist



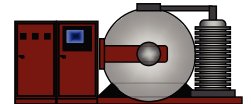
14



- Nicht jede Nachrüstung ist technisch möglich.
- Anlagen befinden sich im aktiven Einsatz und stehen daher nicht unbegrenzt für Umbaumaßnahmen zur Verfügung
- Umrüstungen sind zum Teil erheblich kostspieliger als die Auswahl vergleichbarer Technologie bei der Beschaffung von Neuanlagen.
- Umrüstungen, die tief in die Prozessführung eingreifen sind von der Genehmigung des Kunden abhängig bzw. erzwingen ein erneutes „Freifahren“ der Anlagen
- „Finanzaspekte“:
 - Aktivierung von Auf- und Umrüstungen erhöht z.T. den Buchwert alter Anlagen
 - Rentabilität von Auf- und Umrüstungen ist oft niedriger als gewünscht

15

Konsequenz



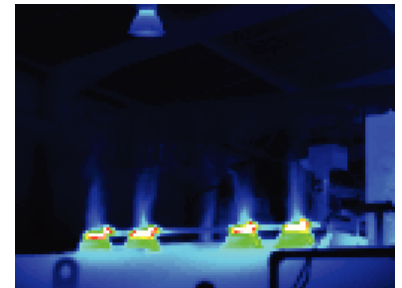
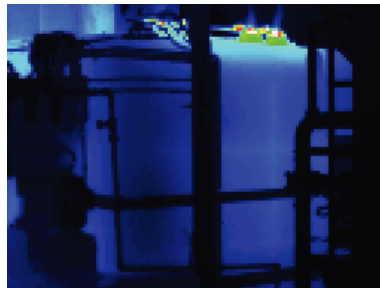
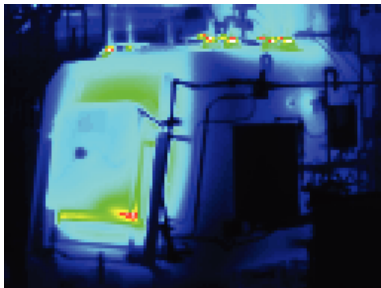
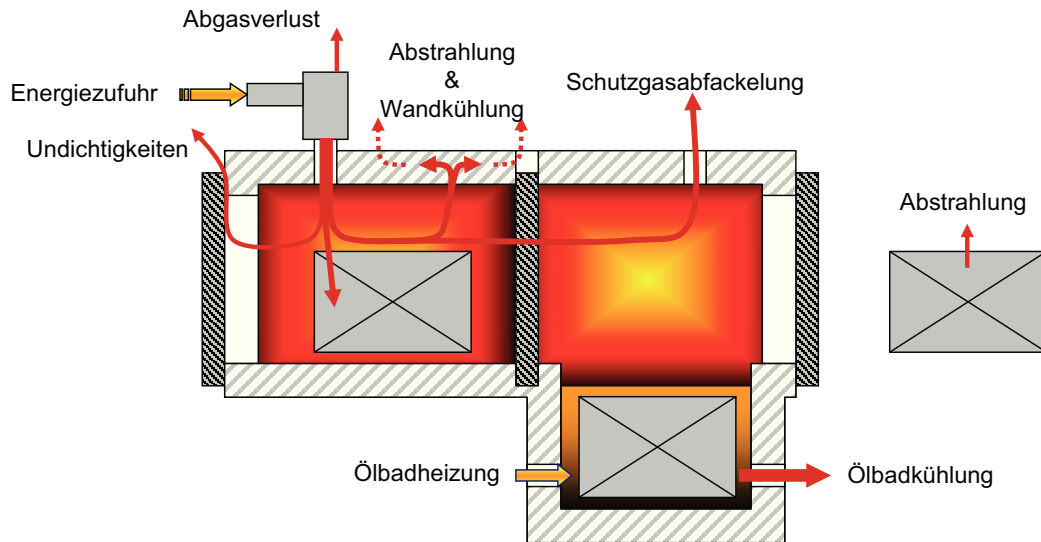
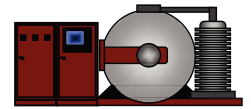
- Bei Neuanlagen kann eine hohe energetische Effizienz bei der Anschaffung berücksichtigt werden.
- Bei Altanlagen verhindern wirtschaftliche Gründe teilweise die technisch mögliche Effizienzsteigerung.



Für einen bestehenden Betrieb hat der möglichst effiziente Umgang mit der zur Verfügung stehenden Anlagentechnik oft Vorrang vor Umrüstung

16

Wärmeflussdiagramm

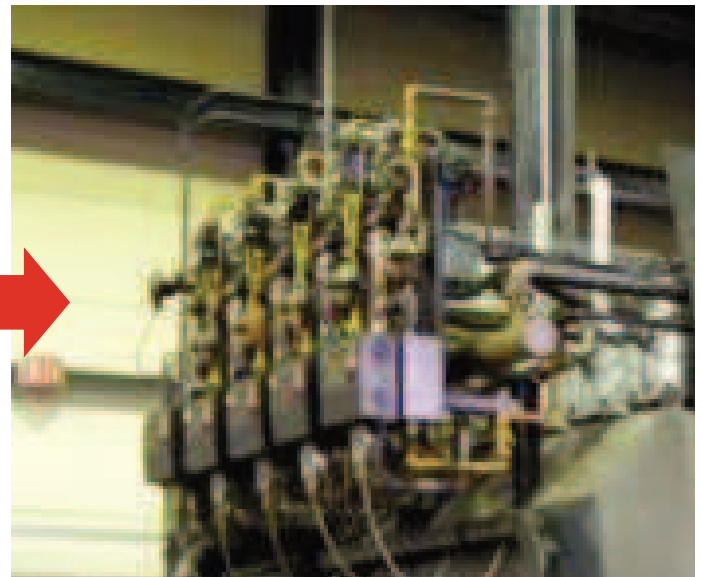


17

Beispiel: Brenneffizienz



- Lohnt sich der Umbau eines ca. 10 Jahre alten Mehrzweckkammerofens auf neuere Brenner- und Steuerungstechnik?

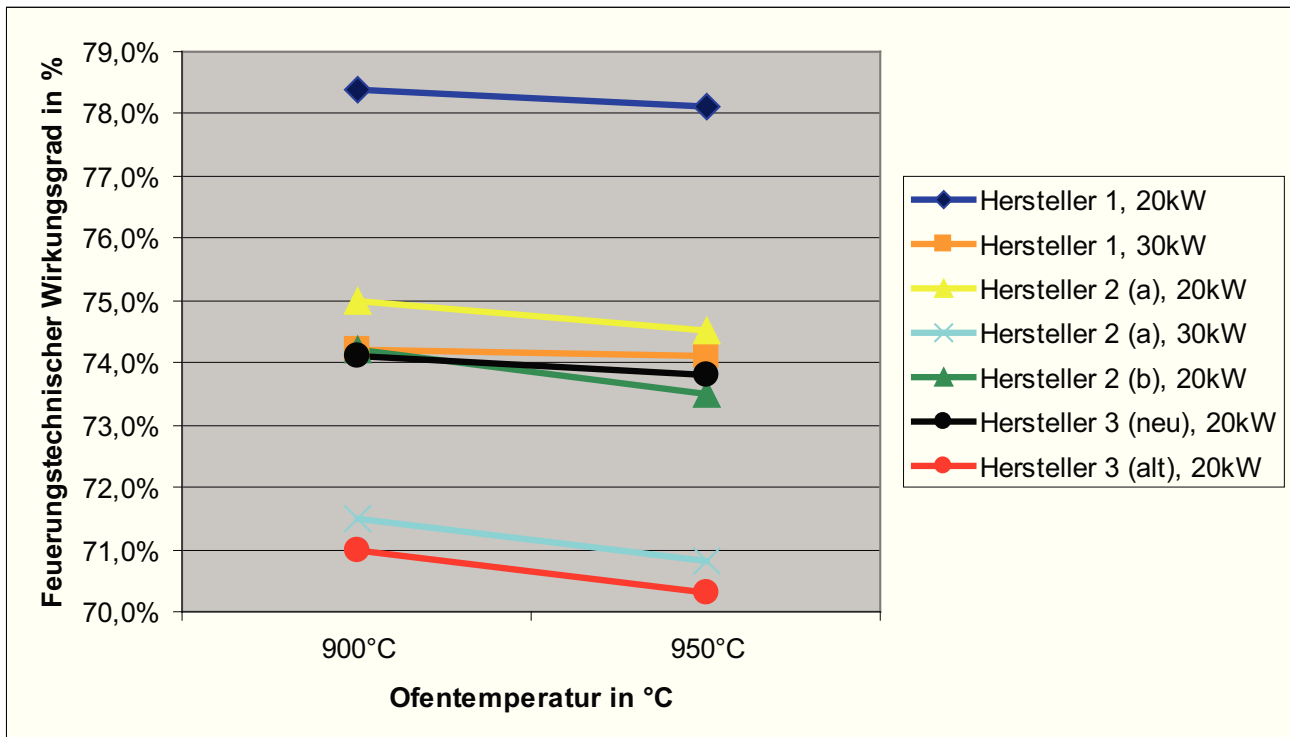


18



Beispiel: Brennereffizienz

- Lohnt sich der Umbau von „rot“ nach „schwarz“?
(Wirkungsgrade in standardisiertem Laborversuch ermittelt)



19

Beispiel: Brennereffizienz

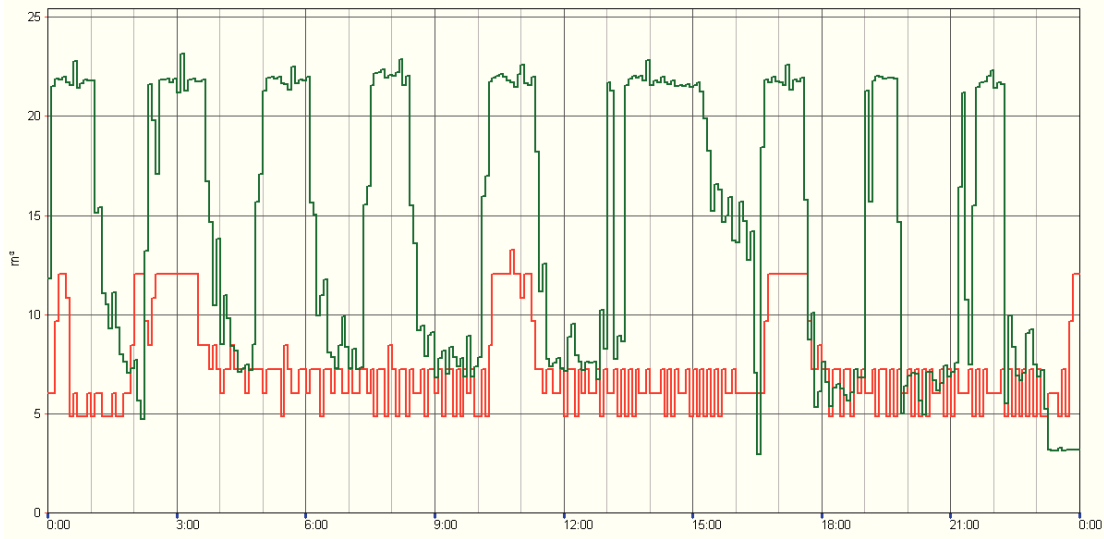


- Es ergibt sich folgende vereinfachte Berechnung:
 - **8m³/h** Verbrauch des Ofens x **71,0%** -> 5,7 m³/h bei Wirkungsgrad 100%
 - 5,7 / **74,1%** -> **7,7 m³/h** mit dem alternativen Brennersystem
 - Energieeinsparung: 0,3 m³/h (ca. 4%)
 - Angenommener Preis: 0,65 EUR/m³ -> Ersparnis: 0,195 EUR/h
 - Angenommene Ofenlaufzeit: **6570h/Jahr** (75%) -> Ersparnis: **1281,15 EUR/Jahr**
 - Angenommene Kosten für Umrüstung
(Strahlrohre, Brenner, Steuerung, Ausmauerung): 80.000 EUR
 - Payback: 62 Jahre...

20



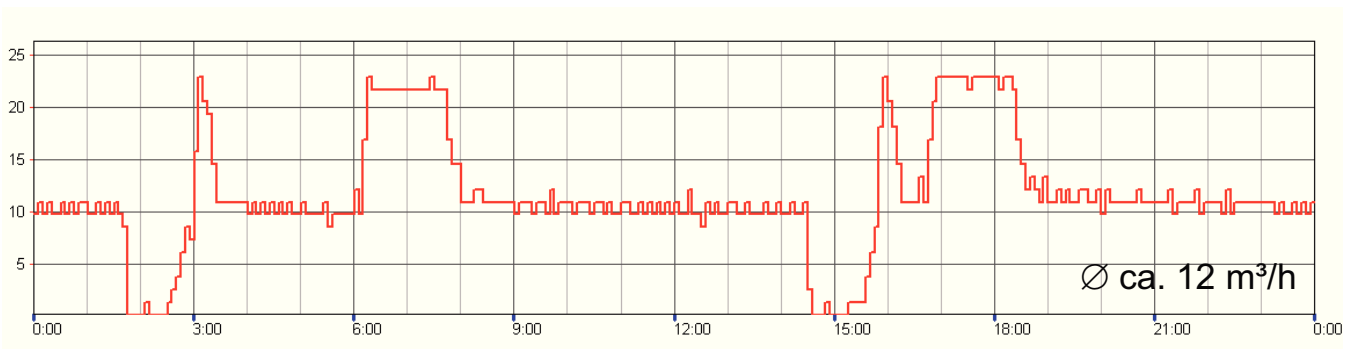
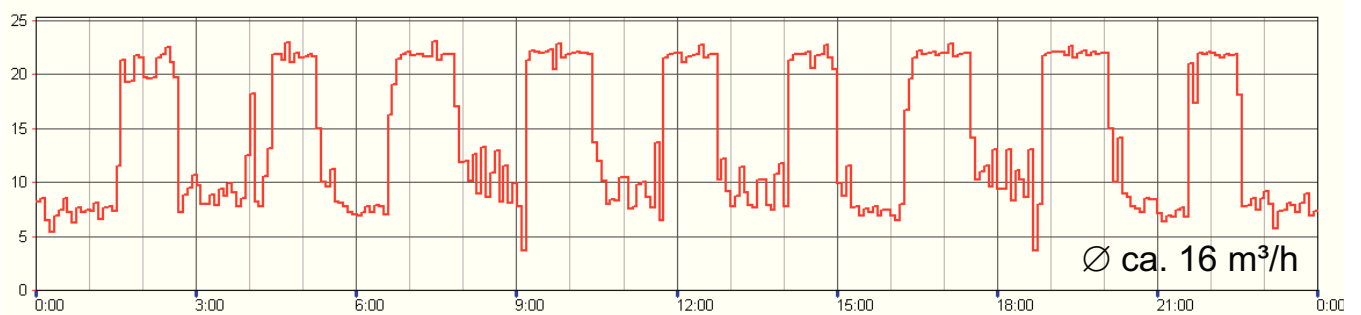
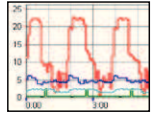
Beispiel: Brennereffizienz



- „Alt gegen Neu“ & „Groß gegen Klein“
 - Offene Strahlrohre im Vergleich zu Rekuperatorbrennern
 - 350kg-Ofen im Vergleich zu 1.000kg-Ofen
- Energieverbrauch in Haltephase fast identisch!
 - Energieeinsatz/kg im alten Ofen fast 3 mal so hoch wie in der modernen Anlage!

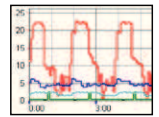
21

Beispiel: Prozesse

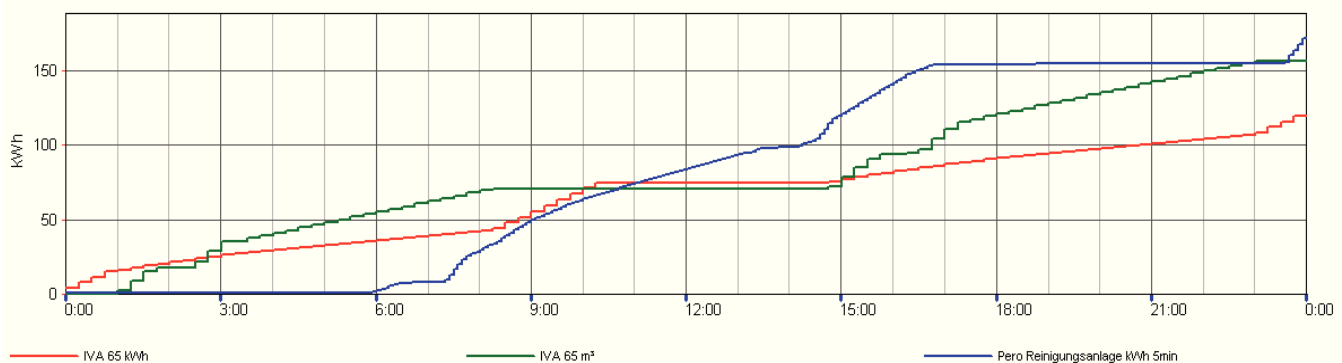
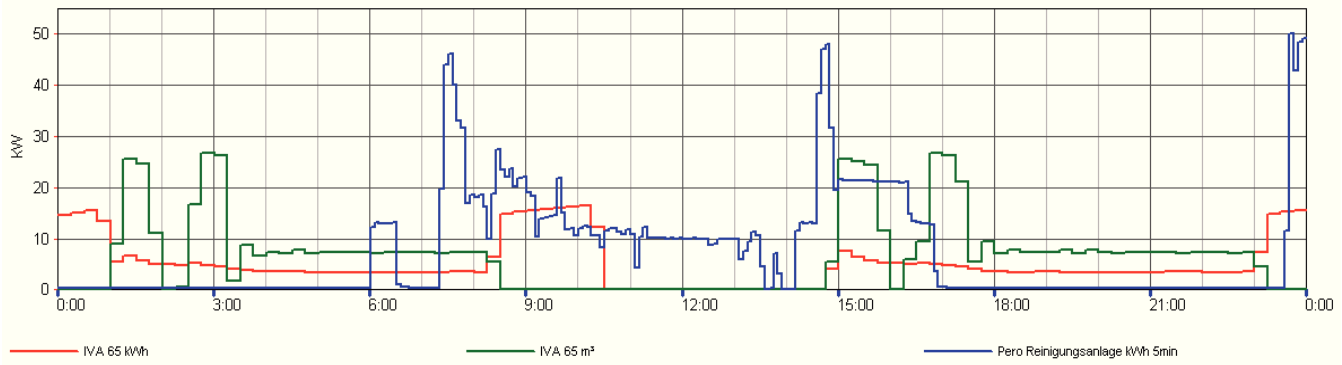


- Unterschied Prozesskosten/Jahr: 17.000 EUR (nur Gaskosten)

22



Beispiel: Prozesse



- Scheinbare „Nebenanlagen“ dürfen bei Energie- und Effizienzbetrachtungen nicht vergessen werden!



Beispiel: Druckluft



- Kompressor: 20 kW
- Laufzeit: 7.500 h/Jahr
- Energiekosten: 19.500 EUR/Jahr
- Motorverluste: 1.950 EUR/Jahr
- Kompressorverluste: 4.875 EUR/Jahr
- Anlaufverluste: 3.900 EUR/Jahr
- Aufbereitung: 975 EUR/Jahr
- Druckverluste: 3.900 EUR/Jahr
- Leckverluste: 975 EUR/Jahr
- Umwandlungsverluste: 975 EUR/Jahr

In vielen Betrieben sind die Leckverluste deutlich höher!



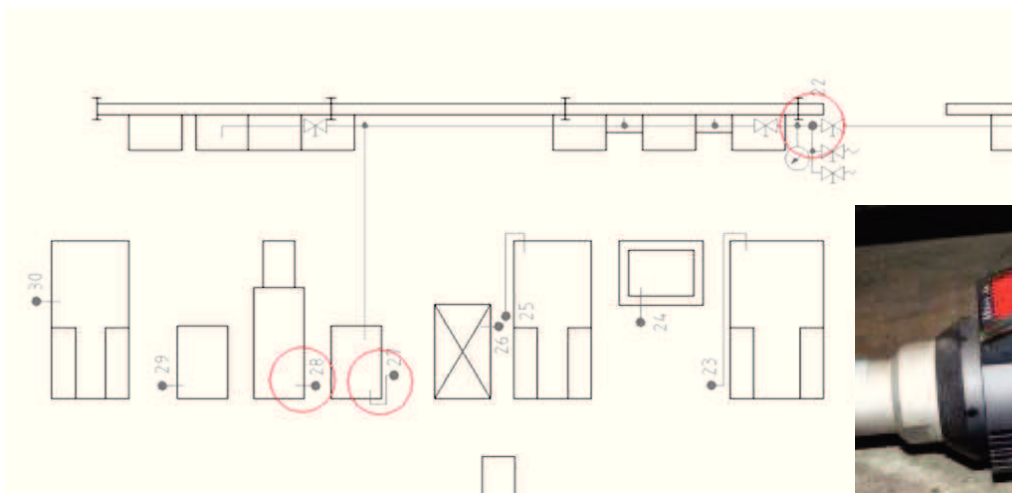
Beispiel: Druckluft

- Anforderung an die Druckluftleitung: Geringst mögliche Reduktion
 - des Fließdruckes (Druckabfall durch Leitungsempunkte),
 - der Luftmenge (Leckagen) und
 - der Luftqualität (Rost, Schweißzunder, Wasser etc.)
- Häufig anzufinden sind jedoch:
 - Hocheffiziente Kompressoren in
 - Veralteten und ungepflegten Druckluftnetzen
 - Unnötiger Energieeinsatz ist die Folge!
 - Überverdichtungen z.B. an Werkzeugen haben die gleiche energetische Wirkung wie Leckagen: Energie wird verschwendet!



Beispiel: Druckluft

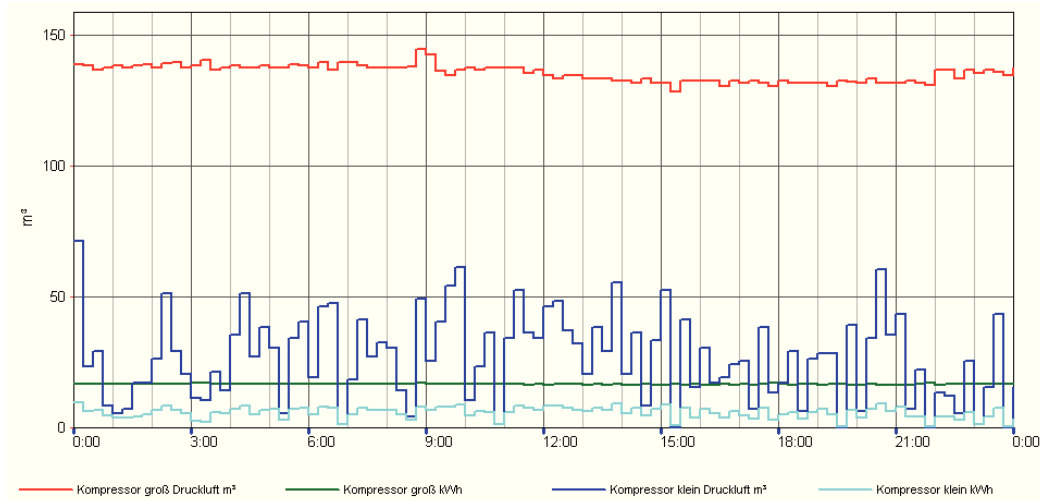
- Techniker Projekt 2007 in Zusammenarbeit mit der Technikerschule Bochum
- Analyse des Ist-Zustands der Druckluftversorgung
 - Leckagensuche und -dokumentation
 - Messung des Verbrauchs der einzelnen Anlagen in Echtzeit
- Optimierung
 - Beseitigung von Leckagen
 - Neueinstellung der Kompressorsteuerung (Laufzeiten und Betriebsdruck)





Beispiel: Druckluft

- Zustand vor der Optimierung
 - Hauptkompressor 100% ausgelastet
 - Zusatzkompressor im Dauerbetrieb

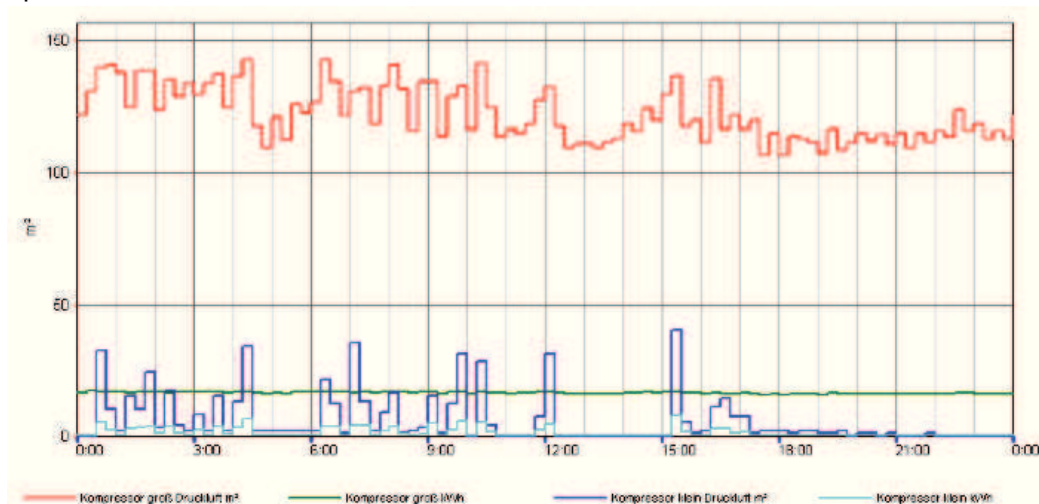


27

Beispiel: Druckluft



- Zustand nach der Optimierung
 - Hauptkompressor im Dauerbetrieb
 - Zusatzkompressor nur zur Spitzenabdeckung
 - Anpassung des oberen Schaltpunkts (Druck) der Anlage
 - Ersparnis: 8.500 EUR/Jahr



28

Beispiel: Druckluft



- Weitere Möglichkeiten:
 - **Wartungsplan Ansaugfilter Kompressor:** Leistung des Verdichters ist abhängig vom Verhältnis Ausgangsdruck zu Eingangsdruck. Entsteht am Filter ein Druckabfall, verschlechtert sich der Wirkungsgrad -> Regelmäßige Überprüfung!
 - **Druckeinstellung:** Jede Druckdifferenz zwischen Kompressor und Anwendung ist ein Verlust. Wenn Druck durch Reduzierventile geregelt werden muss, sollte eine Reduzierung des Nenndrucks geprüft werden.
 - **Ansaugluft:** Je kälter die Ansaugluft des Kompressors, desto besser ist der Wirkungsgrad! In einem geschlossenen Kompressorraum staut sich die Wärme. Es ist daher auf eine ausreichende Frischluftzufuhr und Abwärmeabfuhr zu achten. Evt. kann Abwärme sinnvoll genutzt werden.

Forschungsbericht (Projektnummer 33 564) aus dem [Programm Elektrizität](#) im Auftrag des [Bundesamtes für Energie](#) ausgearbeitet durch Rolf [Gloor](#) aus [Sufers](#) im Juli 2000.

29

Beispiel: Wassersystem



- Einsparpotentiale laut Herstellerangaben:

– Drehzahlregelung:	60%
– Angepasste Laufräder:	10%
– Motoren der Effizienzklasse 1:	3,5%

Beispiel: Wassersystem



- Techniker-Projekt 2008
- Soll- / Ist-Vergleich des eingestellten Wasserverbrauchs
 - gemessen wurde an allen wassergekühlten Öfen
 - berücksichtigt wurde:
 - Dauerkühlung (für Peripheriegeräte)
 - Schnellkühlung (zur Chargenkühlung)
- Ultraschall-Durchflussmessgerät „Panametrics PT 868“
- Abweichungsanalyse und Neueinstellung
- Erarbeitung von weiteren Optimierungsmöglichkeiten



31

Beispiel: Wassersystem



- Zustand vor der Optimierung

Ofen		52	53	54/55	58	59
Typ		VKU 70/65/110	VKU 70/65/110	HRA 50 SK	VKUQ	VKSQ
Dauerkühlung	Soll	4,0m³/h	5,0m³/h	5,0m³/h	6,0m³/h	8,0m³/h
	Ist	7,0m³/h	8,5m³/h	0,5m³/h	15,5m³/h	15,5m³/h
Schnellkühlung	Soll	10,0m³/h	15,0m³/h	15,0m³/h	25,0m³/h	15,0m³/h
	Ist	12,6m³/h	13,2m³/h	17,5m³/h	40,0m³/h	92.5m³/h

32

Beispiel: Wassersystem



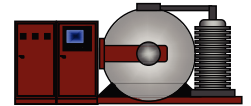
Zeitpunkt der Optimierung



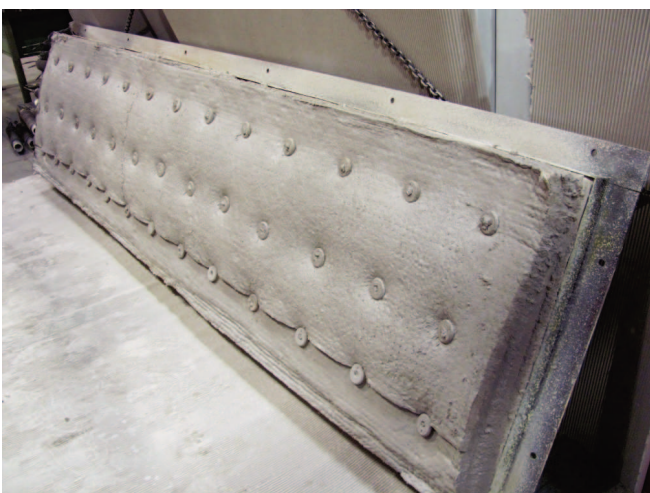
- **Resultate:**
 - 10% Energieeinsparung durch Senkung der Pumpenauslastung (ca. 5.000 EUR / Jahr)
 - Weitere Einsparungen durch Einsatz automatischer Abgleichventile technisch möglich

33

Aktuelle Projekte: Durchlauföfen

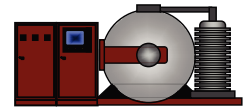


- Reduktion der Abstrahlverluste der Bandöfen
- Verbesserung der Ofenisolation durch keramische Zusatzbeschichtung
- Status: Durchgeführt, Einsparung von ca. 500 EUR pro Monat Energiekosten

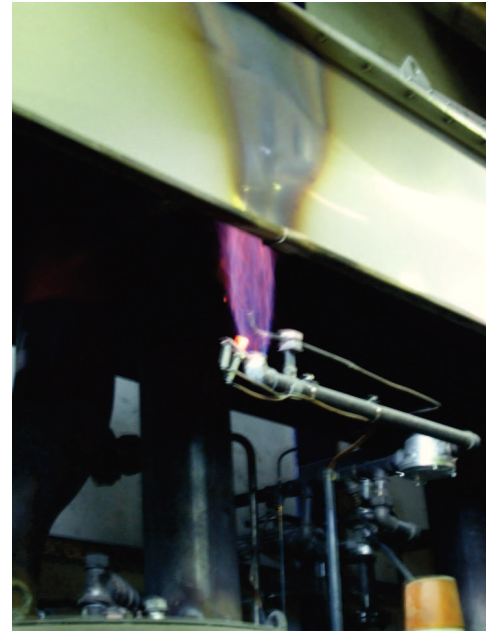


34

Aktuelle Projekte: Endogaserzeuger

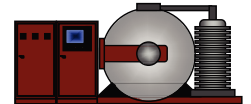


- Minimierung der abgefackelten Gasmengen durch Umrüstung der Steuerungen
- Ziel: Einsparung Erdgas (als Prozessmedium) ohne Einbußen bei der Qualität des erzeugten Endogases
- Status: Durchgeführt, Optimierung läuft



35

Aktuelle Projekte: Endogaserzeuger



ALTE REGELUNG

2 Generatoren parallel
Steuerungen voneinander
unabhängig

NEUE REGELUNG

2 Generatoren
Steuerungen voneinander
abhängig



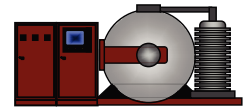
— MWV Erdgas für Endogasspaltung Generator 1

— MWV Erdgas für Endogasspaltung Generator 2

— MWV Erdgas für Endogasspaltung Generator 3

36

Aktuelle Projekte: Nitrierabteilung

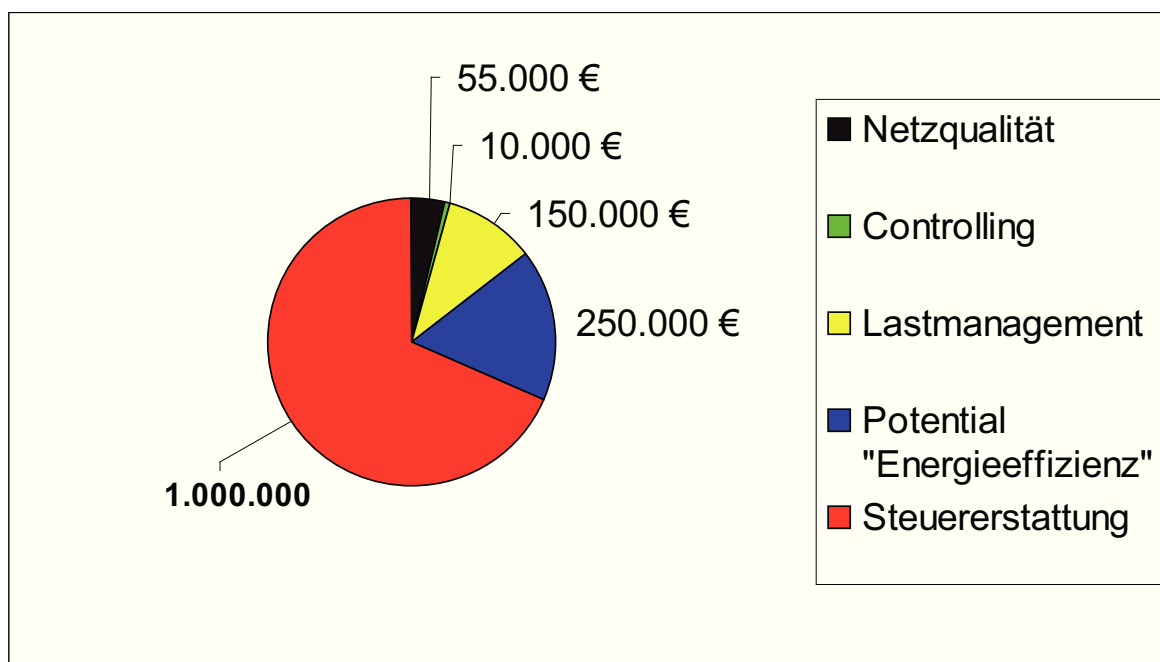


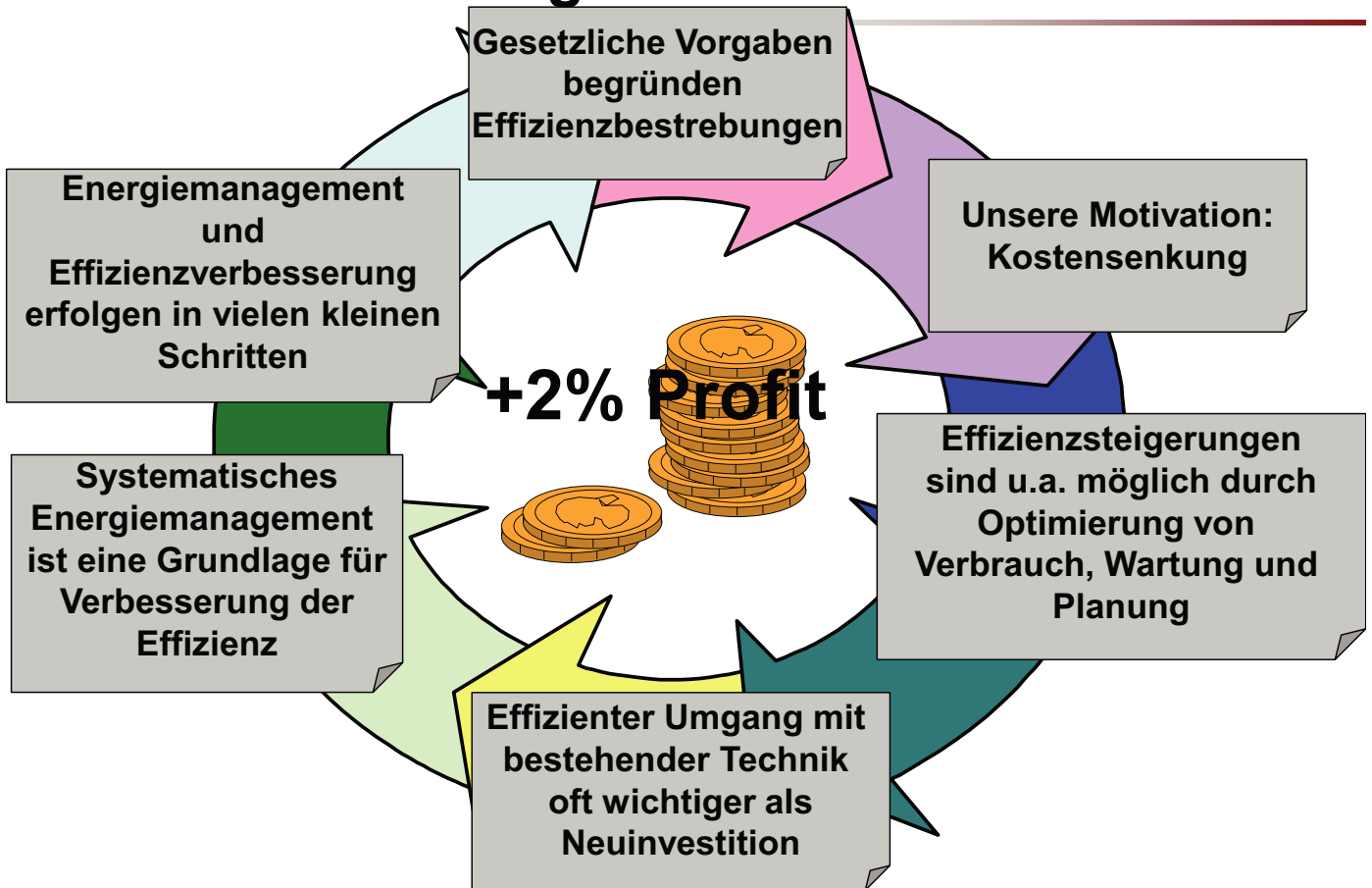
- Nutzung der Wärmeenergie der Abfacklung zur Beheizung einer Waschmaschine (je Ofen ca. 15 kW, Beheizung von 6.500 Liter Waschwasser)
- Einsatz eines Wärmetauschers im gemeinsamen Abgasstrom der 4 Nitrieröfen (53k EUR Investition)
- Status: Umsetzung wird vorbereitet.



37

Finanzielle Vorteile



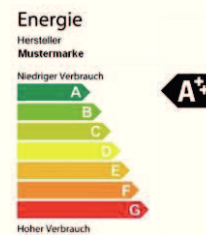


Praxisnahe Empfehlungen zur Energieeffizienzsteigerung an Thermoprozessanlagen

Dipl.-Ing. Peter Haase, Technischer Leiter

IVA Industriefeintechnik GmbH, Zum Lonnenhohl 23, D-44319 Dortmund

Telefon: 0231-92-178-26; email: phaase@iva-online.com



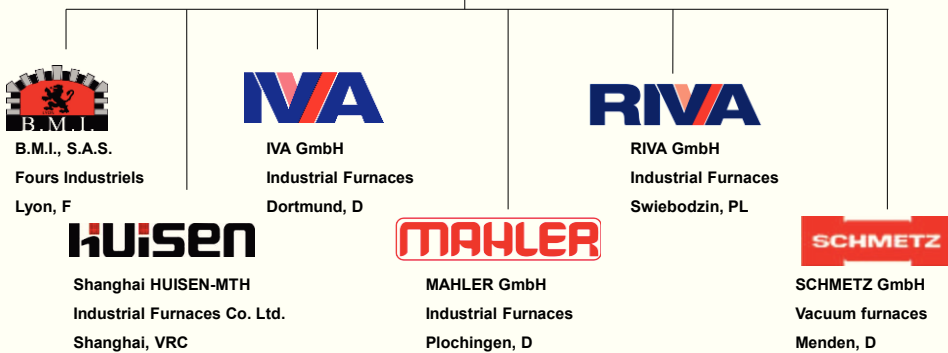
Inhalt

- Vorstellung IVA / IVA Produktfamilie
- Was ist Energieeffizienz?
- Praxisempfehlungen:
 - Moderne Brennertechnik (*Effizienz Beheizung*)
 - Moderne Sensorik (*Effizienz Prozessmedien*)
 - Effiziente Ofentechnik + Chargenaufbau (*Effizienz Prozesszeit*)
- Zusammenfassung

Vorstellung IVA

Metall Technologie Holding

Menden, Germany



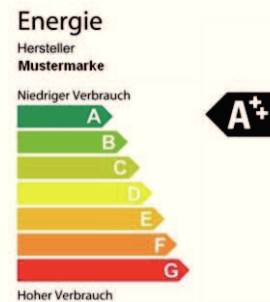
Produktfamilie IVA

Produktfamilie

- (Evakuierbare) Retortenöfen
- Mehrzweckkammeröfen
- Schachtöfen
- Anlassöfen/Vorwärmöfen
- Drehherdöfen
- Schutzgaserzeuger
- Waschmaschinen



Was ist überhaupt Energieeffizienz?

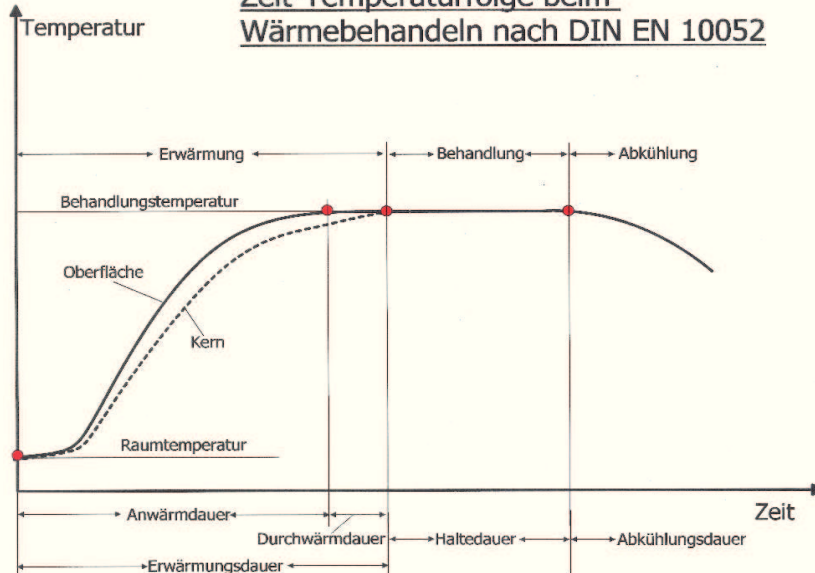


Was ist überhaupt Energieeffizienz?

Die Energieeffizienz ist ein Maß für den Energieaufwand zur Erreichung eines festgelegten Nutzens. Im Gegensatz zum Wirkungsgrad bedarf der Nutzen hier keiner energetischen Definition. Ein Vorgang ist dann effizient, wenn ein bestimmter Nutzen mit minimalem Energieaufwand erreicht wird.

Quelle: Wikipedia

Zeit-Temperaturfolge beim Wärmebehandeln nach DIN EN 10052



Welche Parameter sind bei einer
thermischen/thermochemischen Behandlung relevant?

Temperatur

Zeit

Medieneinsatz (Heizung und Prozess)

Die Kombination aus Prozesssicherheit, Anlagenproduktivität und Temperatur, Zeit und Medienverbrauch definiert die Energieeffizienz. Eine hohe Energieeffizienz ist nicht automatisch gegeben, wenn Temperatur, Zeit und Medieneinsatz minimal sind.

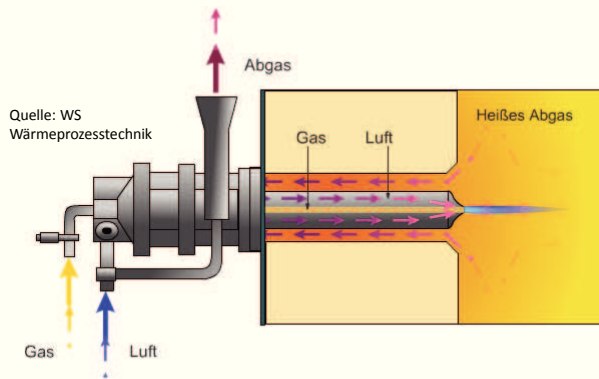
TEMPERATUR - Moderne Brennertechnik

Moderne Gasbeheizung



Gasbeheizter
Retortenofen
mit neuen
Rekuperator-
brennern

Rekuperatorbrenner



Rekuperatorprinzip:
Verbrennungsluftvor-
wärmung zur
Steigerung des
Wirkungsgrades

$$\eta_F = \frac{P_A + \dot{Q}_V - P_E}{P_A}$$

d.h. der zugeführte Enthalpiestrom erhöht sich durch den Vorwärmestrom und dadurch erhöht sich wiederum der feuerungstechnische Wirkungsgrad (z.B. von 0,6 auf 0,85 im Betriebsbereich = Einsparung um 30%)

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad

$$\eta_F = \frac{P_A + \dot{Q}_V - P_E}{P_A}$$

\dot{Q}_V Vorwärmestrom

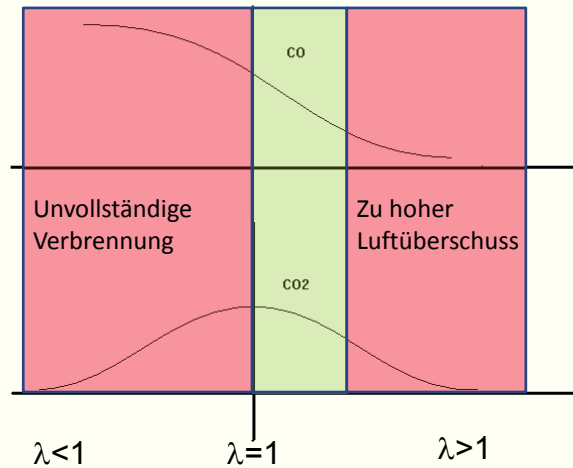
P_A Anlieferungsleistung

P_E Abgasverlustleistung

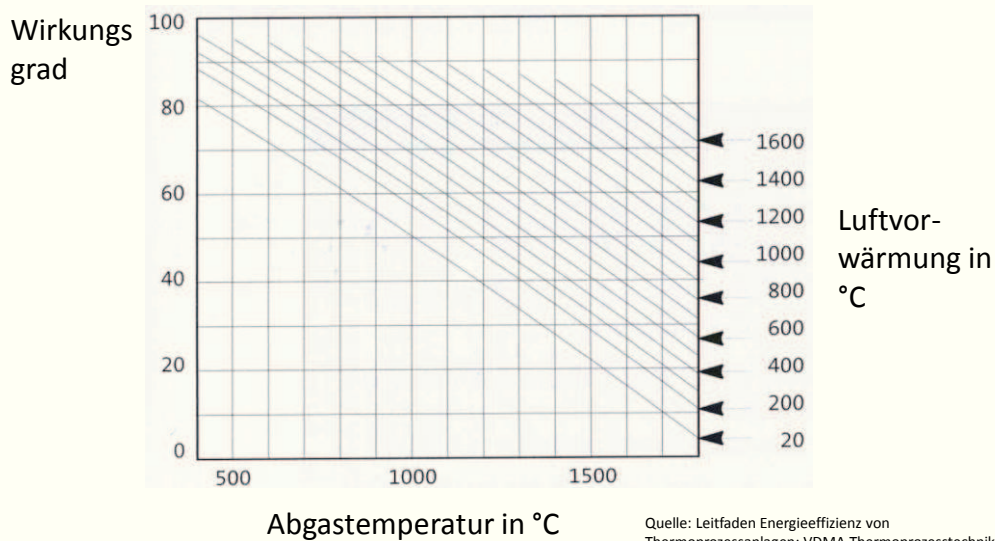
Brennereinstellung

$$\lambda = \frac{\text{Luftmenge}_{ist}}{\text{Luftmenge}_{soll}}$$

Um den angegebenen Wirkungsgrad zu erreichen, ist die richtige Brennereinstellung notwendig.



Wirkungsgrad eines Rekuperator-Brenners



Quelle: Leitfaden Energieeffizienz von Thermoprosessanlagen; VDMA Thermoprosesstechnik

Empfehlungen:

- Regelmäßige Kontrolle der Brenneinstellung durch Messung der Abgaszusammensetzung mit einem geeigneten Gasanalysator
- Messung der Abgastemperatur am Brenner
- Regelmäßiger Kontakt mit dem Gaslieferanten, um Änderungen in der Gasqualität und –zusammensetzung rechtzeitig berücksichtigen zu können.
- Schulung von Wartungsmitarbeitern

Technische Beratung Erdgas-Durchschnittswerte 2001

Chemische Zusammensetzung sowie physikalische und brennchemische Kennwerte von Erdgasen der Gruppen L und H

ruhrgas

Benennung	Nieder-		Mittel-		Hoch-	
	Erdgas H	Erdgas H	Erdgas H	Erdgas L	Erdgas L	Erdgas L
CO₂ Kohlendioxid	Vol.-% 1,24	1,31	0,07	1,67	1,68	1,72
N₂ Stickstoff	Vol.-% 11,3	1,66	0,87	9,69	9,69	9,08
O₂ Sauerstoff	Vol.-% <0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CH₄ Methan	Vol.-% 87,89	88,05	98,14	83,97	83,97	83,34
C₂H₆ Ethan	Vol.-% 7,29	7,40	0,61	3,60	3,07	3,07
C₃H₈ Propan	Vol.-% 1,82	1,21	0,21	0,68	0,53	0,53
C₄H₁₀ Butane	Vol.-% 0,50	0,28	0,07	0,24	0,18	0,18
C₅H₁₂ Pentane	Vol.-% 0,08	0,05	0,02	0,07	0,05	0,05
C₆+ Hexan + höhere KW	Vol.-% 0,05	0,04	0,01	0,08	0,05	0,05
Brennwert	H_u kWh/m ³ 11,996	11,670	11,074	10,343	10,320	10,320
	H_o kWh/m ³ 10,547	10,265	9,683	9,338	9,290	9,290
Wärmeverhältnis	H_u/H_o 1,133	1,133	1,133	1,108	1,108	1,108
Nennwärme	W₁ kWh/m ³ 0,9042	0,9038	0,9015	0,8028	0,8026	0,8026
Dotierverhältnis (Luft = 1)	d kg/m ³ 0,8224	0,8133	0,7316	0,8008	0,8200	0,8200
Wobbenindex **	W₁₀ kWh/m ³ 0,636	0,629	0,566	0,642	0,654	0,654
Wobbenindex **	W₅₀ kWh/m ³ 14,929	14,715	14,720	12,909	12,940	12,940
Methanzahl (1/2)	MZ 75	78	84	86	89	89
Luftbedarf min.	L₀ m ³ /m ³ 10,27	10,06	9,55	8,82	8,88	8,88
Sauerstoffbedarf min.	O₂ m ³ /m ³ 2,157	2,113	2,006	1,873	1,865	1,865
spez. Luftb. mit bez. auf H_u	l₀ m ³ /kWh 0,954	0,954	0,857	0,955	0,955	0,955
Abgaszusammensetzung	h₀ kWh/m ³ 1,071	1,070	1,070	1,009	1,009	1,009
Abgasvolumen trocken	m³/m³ 9,15	8,97	8,47	8,03	7,99	7,99
CO₂ Kohlendioxid	Vol.-% 12,2	12,2	11,8	12,0	12,0	12,0
N₂ Stickstoff	Vol.-% 87,8	87,8	88,2	88,0	88,0	88,0
Zündtemperatur (mit Luft) DIN 51794	°C 587	587	619	602	605	605
Flammtemperatur (ohne Dias.)	°C 2043	2041	2036	2022	2022	2022
Flammringgeschwindigkeit	ms 0,43	0,43	0,43	0,41	0,41	0,41
Zündgrenzen (DIN 51649)	Z_u Vol.-% 4,0	4,1	4,3	4,6	4,6	4,6
(Gas in Luft)	Z_o Vol.-% 17,4	18,7	18,8	18,6	18,9	18,9

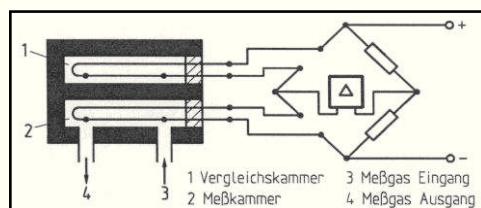
Erstmalig Durchschnittswerte angegeben, die sich auf stochiometrische Verbrennung beziehen. Eine Fertigung von Stickstoff ist bei Erdgasen der Gruppe L nicht erforderlich.

** Wobbenindex: W = H₁₀ / H₅₀

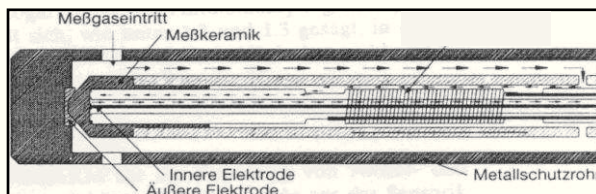
Quelle: ruhrgas AMAD Daten-Center

MEDIENVERBRAUCH - Moderne Sensorik

Verwendung von moderner Sensorik z.B. für die Regelung der Nitrierkennzahl

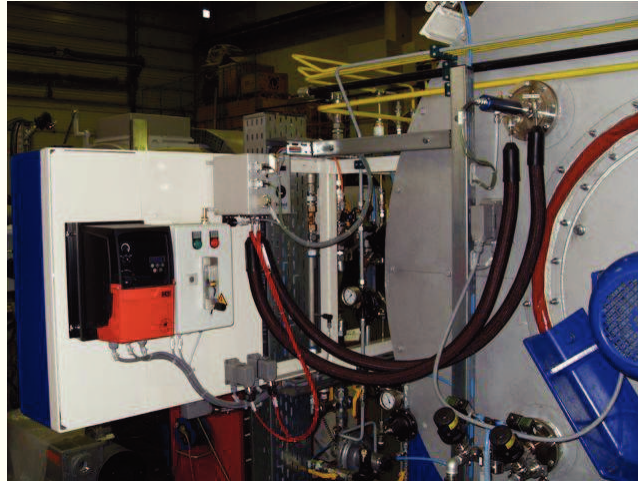


H₂-Analysator;
Prinzip
Wärmeleitfähig-
keitsmessung



O₂-Sonde mit Meßkeramik
aus Zirkondioxid

Wasserstoffanalytik mit beheizten Messgasleitungen



Wasserstoffsensorik und Referenzluftversorgung für die Sauerstoffsonde



Sensorik zur Nitrierkennzahlregelung und Oxidationspotentialregelung (mV)



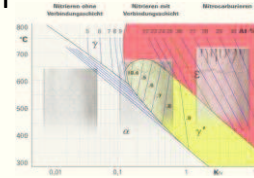
Sauerstoffsonde mit
Referenzluftanschluss
und Signalleitung

Sensorik zur Nitrierkennzahlregelung



Aufbau der Begasung mit
Massendurchflussreglern
zur kontrollierten
Einspeisung einer
chargenangepassten
Prozessmedienmenge

Vorteile bei Verwendung von moderner Sensorik:



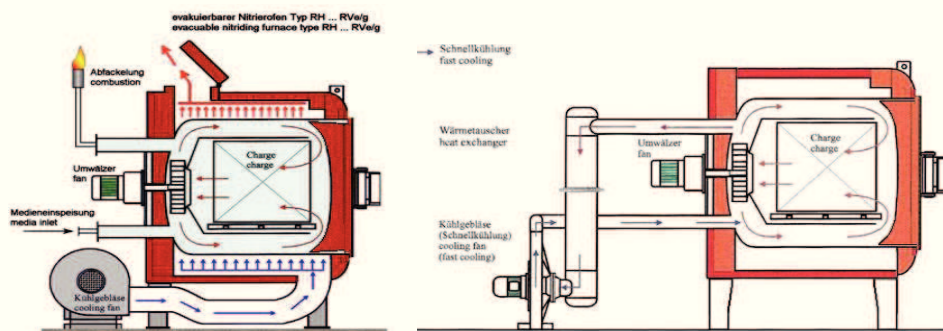
- Gezielte Erzeugung des gewünschten Wärmebehandlungsergebnisses (Schichtaufbau)
- Reproduzierbarkeit auch bei variierenden Chargenaufbauten und Werkstoffen
- Minimierung von Prozesszeiten --> höhere Ofenproduktivität
- Energieeffizienter Einsatz von notwendigen Prozessmedien (Ressourceneffizienz)
- Vermeidung von hoher Begasungsmenge minimiert auch den kontinuierlichen Wärmeaustrag durch die Spülbegasung
- Adaptive Zufuhr von Prozessgasen in den Behandlungsraum (*So viel wie nötig und so wenig wie möglich!*)

Empfehlungen:

- Einsatz von Sensorik zur geregelten Prozessführung
- Regelmäßige Überprüfung des Prozesses mit geeigneten Messinstrumenten wie z.B. Schüttelflasche zur Messung der Ammoniakkonzentration
- Einsatz von Massendurchflussreglern zur minimalen Medieneinspeisung
- Schulung von Ofenbedienern

ZEIT - Effiziente Ofentechnik + Chargenaufbau

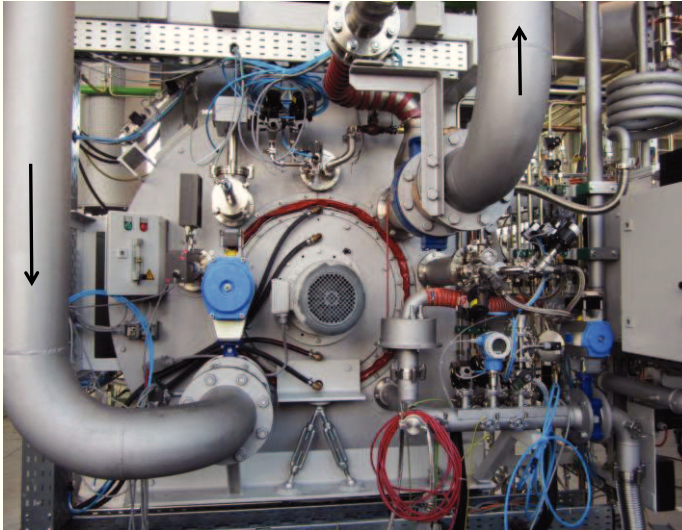
Vergleich direkte-indirekte Kühlung an Retortenöfen



Indirekte Kühlung

Direkte Schnellkühlung zur deutlichen
Steigerung von Energieeffizienz und
Anlagenproduktivität.

Direktkühlung



Vorteile:

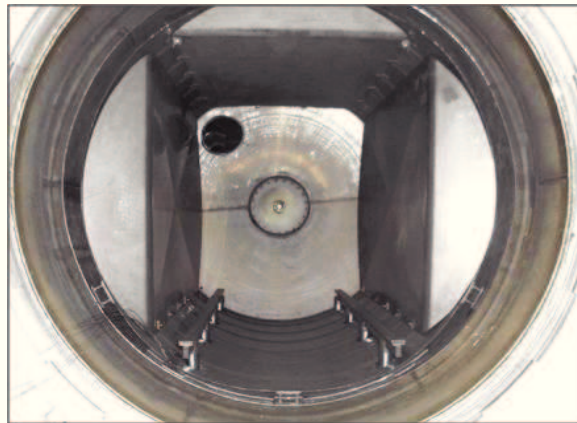
- Schnellere Abkühlzeiten
- Höhere Ofennutzung
- Geringere Prozesskosten
- Geringere Aufheizzeit durch bessere Restwärmennutzung des Ofens

Direktkühlung

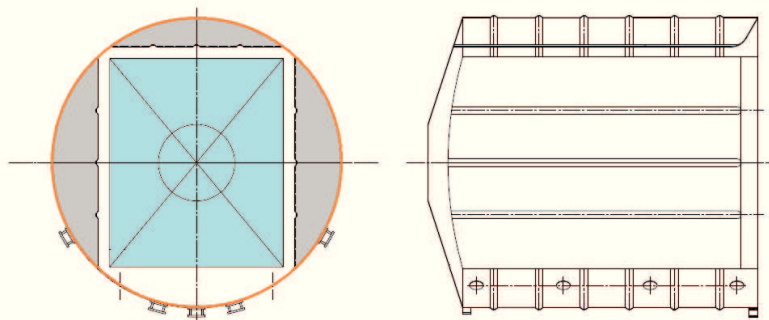


- Hoher Wirkungsgrad durch geringe Druckverluste aufgrund großer Strömungsquerschnitte
- Platzsparende Anordnung von Gebläse und Wärmetauscher
- In Verbindung mit Kammerblechen sind sehr kurze Kühlzeiten möglich.

Kammerbleche zur Strömungsoptimierung



Kammerbleche zur Strömungsoptimierung



Leitzylinder RH 18 12 10 RVg
mit Leitblechen rechts, links, oberhalb der Charge

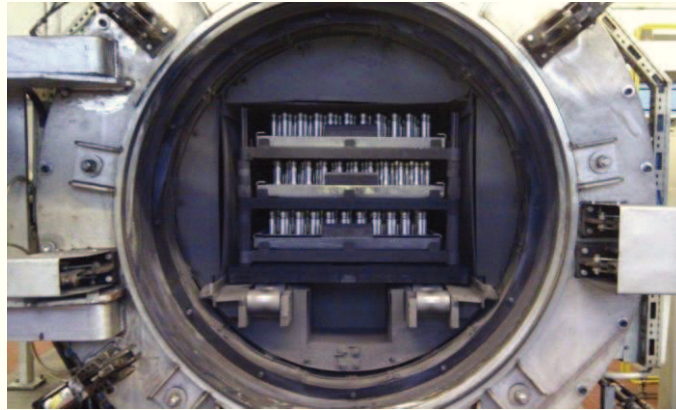
Intelligenter Chargenaufbau

- Vermeidung von Taramasse, d.h. Minimierung der Masse des Chargiergestells und Erhöhung der Nettomasse
- Je höher die Gesamtmasse umso höher ist die Aufheizzeit und damit der Energieeinsatz
- Daher: Verwendung von Leichtbauchargiergestellen kann sinnvoll sein
- Aber immer: Sicherstellung einer ausreichenden Durchströmbarkeit
- Wichtig: Die Charge ist immer auch ein Wärmetauscher. Dies muss beim Aufbau berücksichtigt werden.
- Denn: Je schlechter die Durchströmbarkeit, umso länger die Kühlzeit und dies kann je nach Ofentyp die Produktivität vermindern.

Chargenaufbau

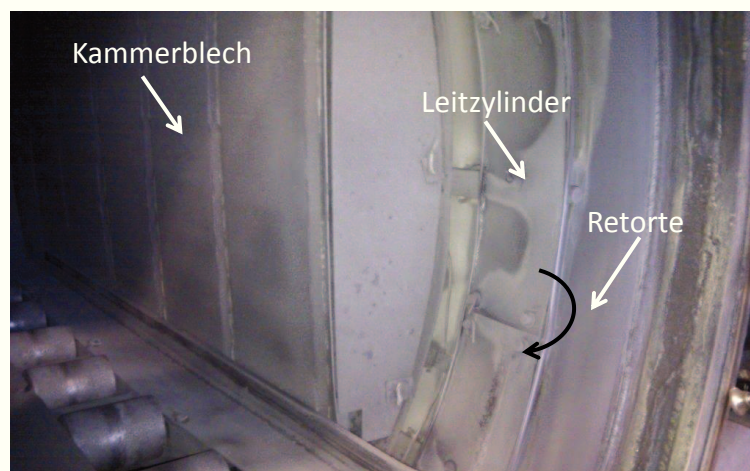


Kammerbleche zur Strömungsoptimierung

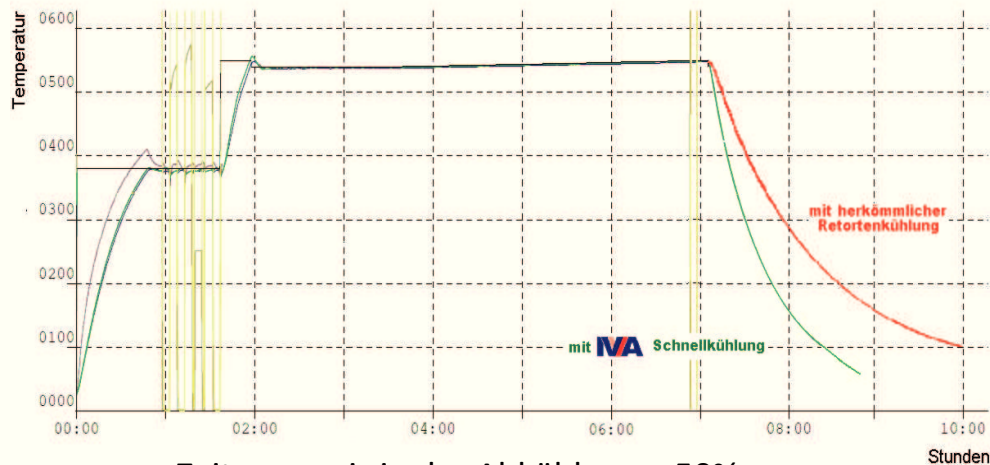


Die Charge ist immer ein Wärmetauscher! Je höher der Wärmeübergang, umso besser.

Kammerbleche zur Strömungsoptimierung



Nitrocarburierprozess einer 800kg Charge



Zeitersparnis in der Abkühlung = 50%
oder Reduzierung von 3 h auf 1,5 h

Empfehlungen:

- Durch direkte Chargenkühlung lässt sich die Produktivität des Ofens durch Prozesszeitverkürzung deutlich steigern.
- In Verbindung mit Strömungsleitvorrichtungen ist eine effiziente Kühlung durch Vermeidung von Kurzschlussströmungen realisierbar.
- Kombiniert mit einem gut durchströmbaren Chargenaufbau lassen sich kurze Kühlzeiten erreichen.
- Im Ofen verbleibt ein höherer Restwärmeanteil, der für den nächsten Prozess nutzbar ist.
- Schulung von Ofenbedienern

Zusammenfassung

Bei thermischen/thermochemischen Prozessen sind Temperatur, Prozesszeit und Medienverbrauch die entscheidenden Faktoren zur Beurteilung der Energie- und Ressourceneffizienz.

Durch geeignete, moderne Maßnahmen wie beispielhaft Direktkühlung, Gasbeheizung mit Luftvorwärmung oder Einsatz von geeigneten Prozessregelsystemen lässt sich die Effizienz des Energie- und Ressourceneinsatzes wirksam steigern.

Darüber hinaus ist das Verständnis für den Prozess und die Anlage eine wichtige Grundlage zur energie- und ressourceneffizienten Durchführung des Wärmebehandlungsprozesses

-----> SCHULUNG von Mitarbeitern

Ausblick

Die Prämisse für energie und ressourceneffiziente Wärmebehandlung in der Zukunft ist immer zunächst die Vermeidung von überflüssiger Primärenergienutzung.

Unvermeidbarer Medien- und Energieeinsatz wird zukünftig durch entsprechende Technologien wiederverwendet werden, wie z.B. durch Abwärmenutzung oder Rückgewinnung von Schutzgas.

Mit steigenden Energiekosten wird die Wirtschaftlichkeit solcher Energieeffizienzmaßnahmen immer mehr gegeben sein.

Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit!





Stand und Entwicklung der nationalen und europäischen Gesetzgebung

ErP – Richtlinie

Energieeffizienz-Anforderungen an Industrieöfen in Europa

Seite 1 • März 2012

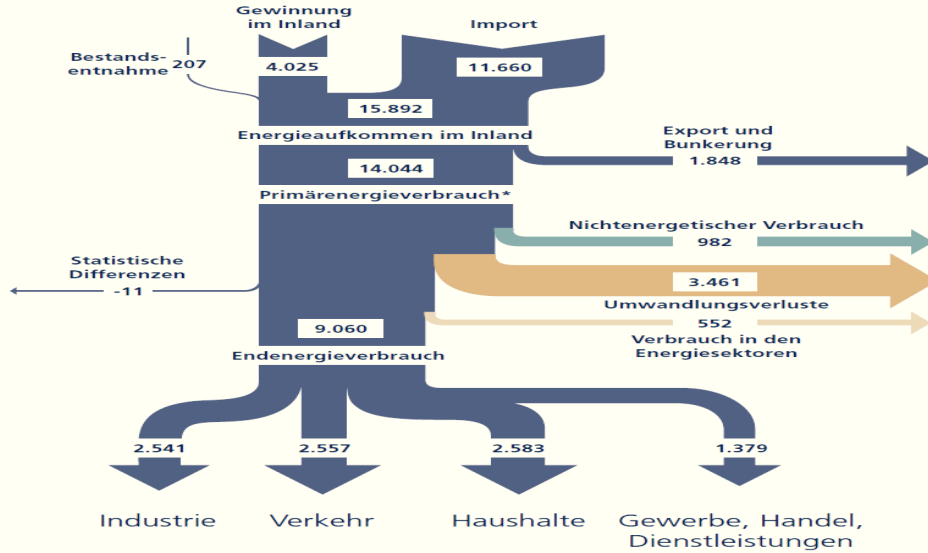
Warum soll man (Prozess -) Energie einsparen ?

- **Steigende Energiepreise**
- **Ressourcenschonung**
- **Klimaschutzpolitik**
- **Gesetzliche Anforderungen (Brüssel, Berlin, ...)**
- **Reduzierung der Importabhängigkeit**
- **Wachstum und Beschäftigung**
- **...**

Seite 2 • März 2012

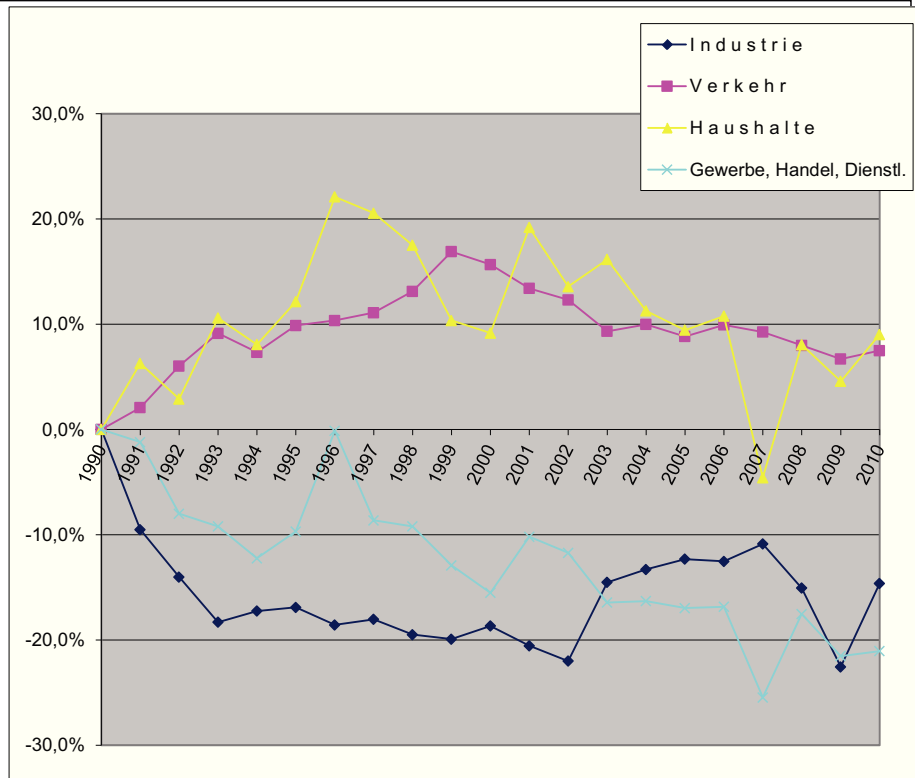
Bundesrepublik Deutschland

Energieflussbild 2010 für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoule

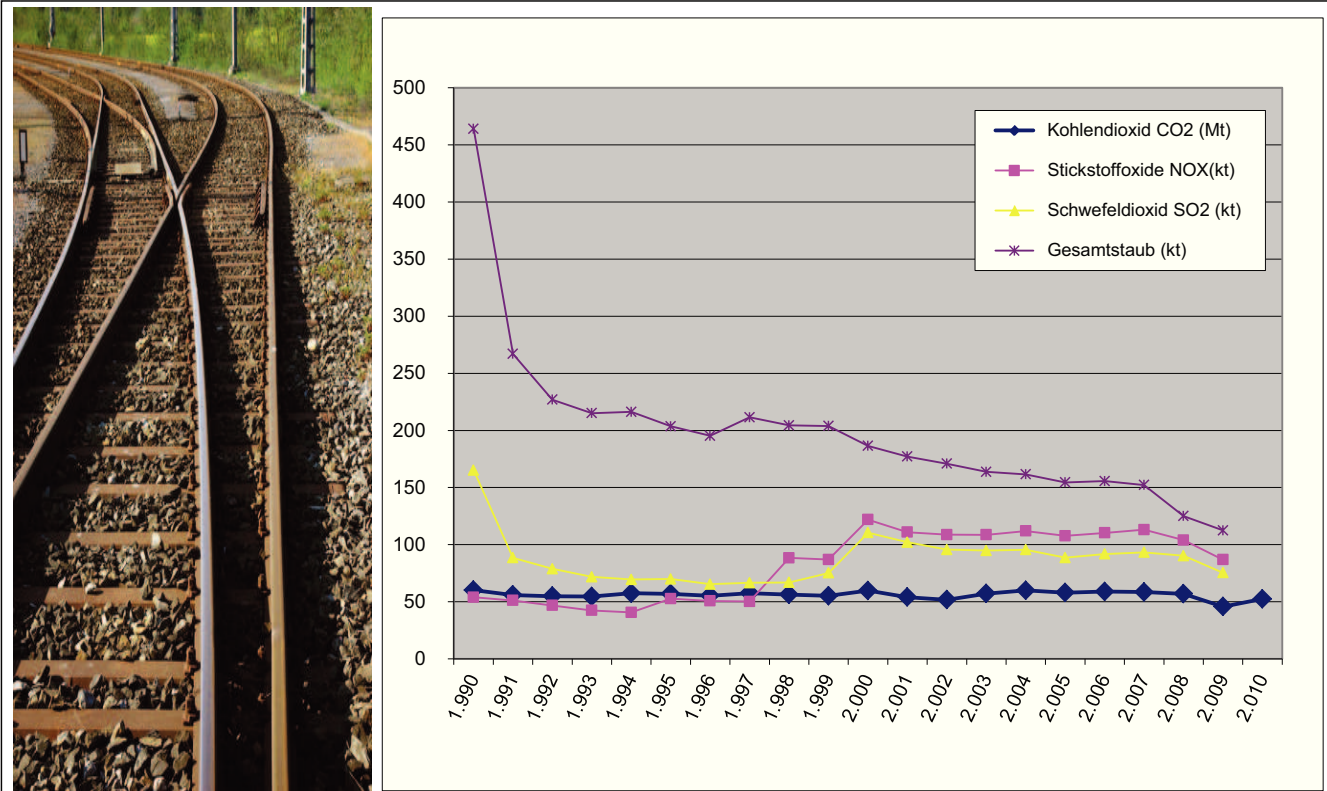


Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 9,4 %.
 * Alle Zahlen vorläufig/geschätzt.
 29,308 Petajoule (PJ) $\hat{=}$ 1 Mio. t SKE
 Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 07/2011

Entwicklung des Endenergieverbrauchs in der BRD



Veränderung der Emissionsbelastung in der BRD durch die Industrie



Seite 5 • März 2012

Auszüge aus dem Europäischen Regelwerk zur Energieeffizienzerhöhung

● Richtlinie 2005 / 32 / EG (alt)

- Richtlinie zur Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Ökodesign – Richtlinie)
- Directive on establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products (EuP – Directive)

● Richtlinie 2009 / 125 / EG (neu)

- Richtlinie für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte
- Directive on framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products (ErP – Directive)

Seite 6 • März 2012

ErP-Richtlinie

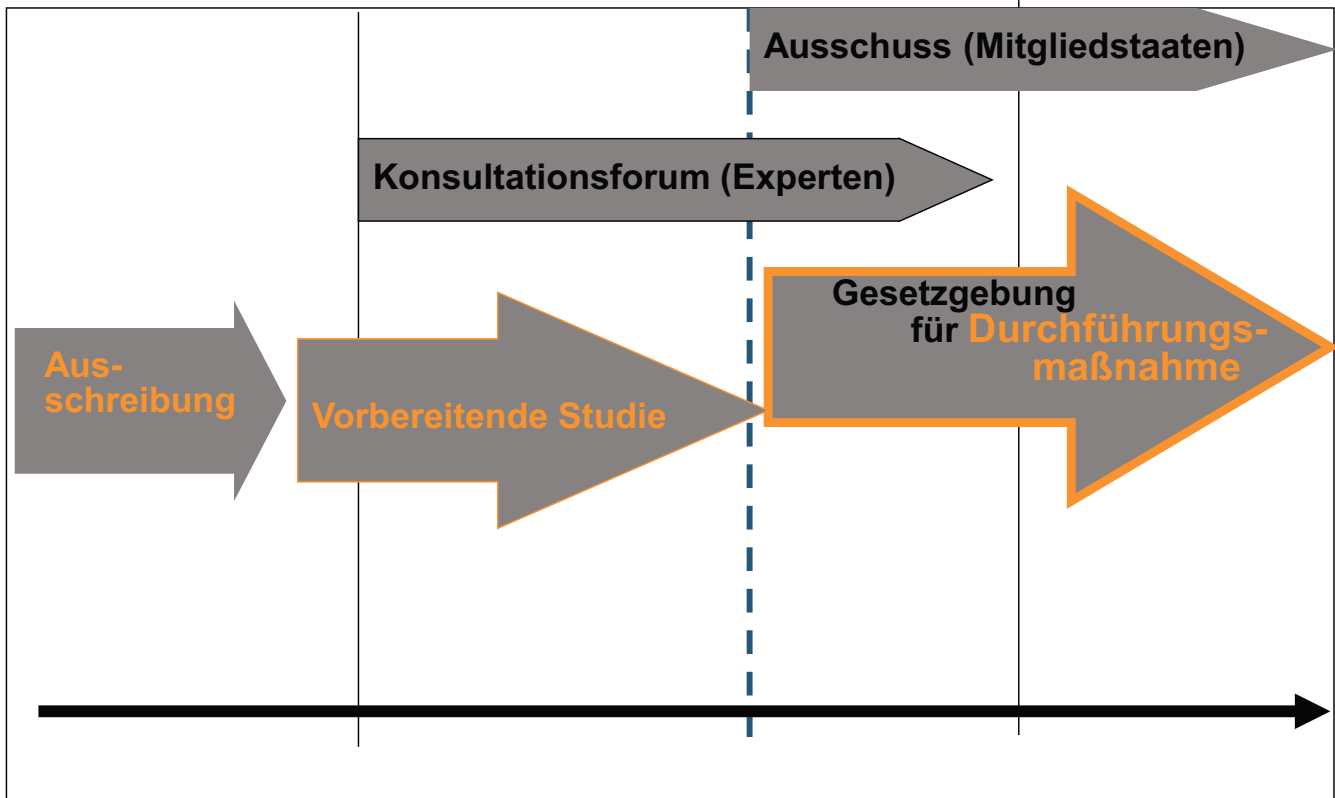
Eckdaten und politisches Umfeld



- **Ehrgeizige Ziele im EU-Energie- und Klimapaket**
 - Steigerung Energieeffizienz um 20%
 - Reduktion Treibhausgasemissionen um 20%
 - Förderung erneuerbare Energien
- **EuP bzw. ErP gilt als zentraler Baustein im EU-Klimapaket**
- **Zielgruppe der Richtlinie sind Hersteller, Zulieferer, Händler und Importeure von ErPs**
- **Rechtlich gesehen ist die Richtlinie eine Rahmenrichtlinie, zu der die Kommission Durchführungsmaßnahmen erlässt.**

ErP-Richtlinie

Der Weg zur Durchführungsmaßnahme



Seite 9 • März 2012

ErP-Richtlinie

DG Entr. Lot 4 Industrial Furnaces

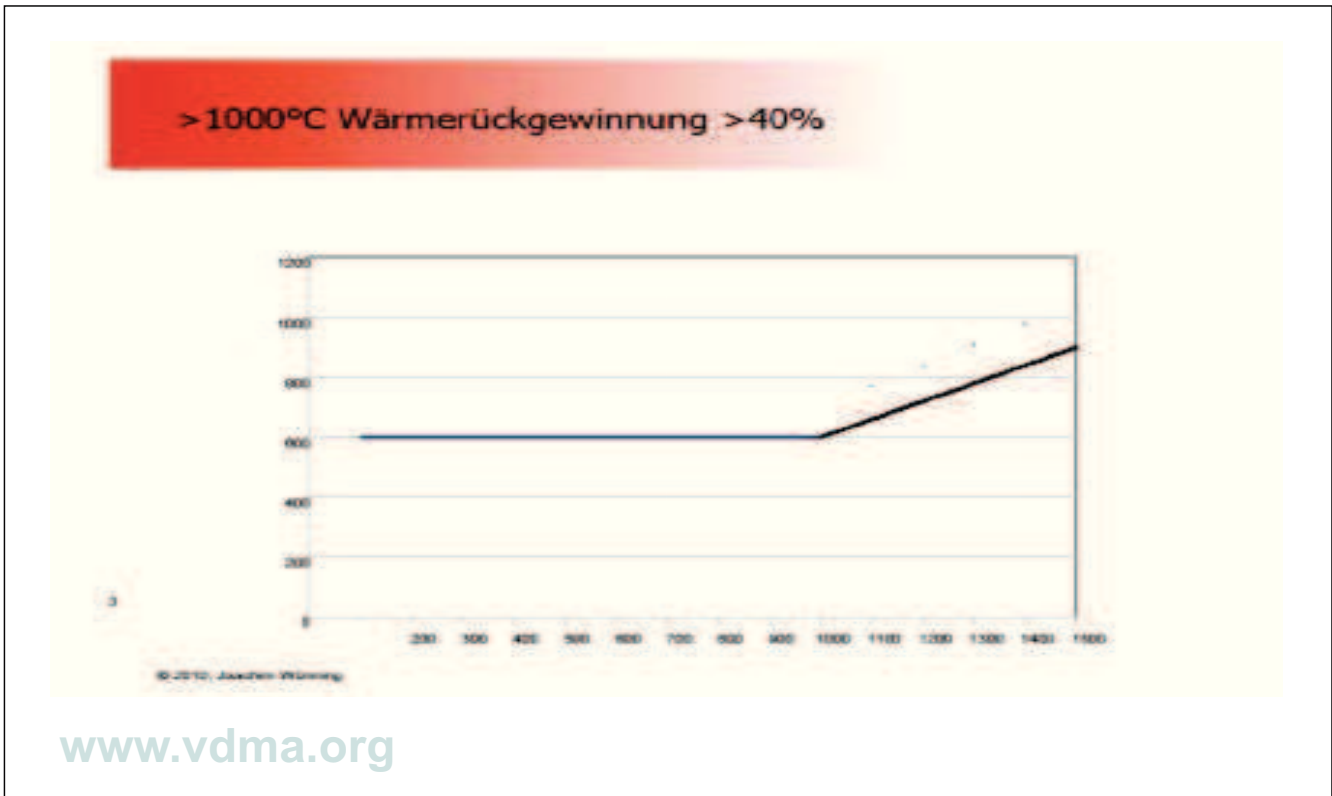
- Studie steht kurz vor dem Abschluss
- Letztes Stakeholder-Meeting: 26.03.2012 in Brüssel
- Entwurf des Berichts für die Teile 1 bis 7 liegt vor (~520 Seiten) (www.eco-furnaces.org)
- Vorstudien wird Ende Mai 2012 abgeschlossen

- Lösungsvorschläge für energetische Mindestanforderungen wurden von CECOF (VDMA basiert) vorgeschlagen und vom Studiennehmer „verbessert“.
- CECOF: Europ. Verband der Hersteller von Thermoprozessanlagen (Umgangssprachlich: Industrieöfen) (www.cecof.org)

www.vdma.org

Seite 10 • März 2012

**CECOF – Vorschlag:
max. Abgastemperatur / Wärmerückgewinnung**



**Resultierender Vorschlag des Consultant:
max. Abgastemperatur / Wärmerückgewinnung**

	Process temperature (furnace / kiln size)	ECO - design options		
		1 st . tier	2 nd . tier Based on average performance	3 rd . tier - BAT
1a	< 1000°C large		Flue gas 500°C at 3% O ₂ Minimum 35% of energy recovered and re-used	Flue gas 200°C at 3% O ₂ Minimum 50% of energy recovered and re-used
1b	> 1000°C large		Flue gas 500°C at 3% O ₂ Minimum 40% of energy recovered and re-used	Flue gas 250°C at 3% O ₂ Minimum 60% of energy recovered and re-used
2a	< 1000°C medium		Flue gas 600°C at 3% O ₂ Minimum 25% of energy recovered and re-used	Flue gas 350°C at 3% O ₂ Minimum 35% of energy recovered and re-used
2b	> 1000°C medium		Flue gas 550°C at 3% O ₂ Minimum 30% of energy recovered and re-used	Flue gas 400°C at 3% O ₂ Minimum 40% of energy recovered and re-used
3a	CECOF proposal: < 1000°C	Flue gas 600°C (measured at 3% O ₂)		
3b	CECOF proposal: > 1000°C	Minimum 40% Heat recovery (possibly limit to large - size)		



**Vorschlag des Consultant /CECOF
Gas / Luft - Verhältnis**

1st. tier based on CECOF proposal: Maximum = 1.25 (target =1.15 3% O2) except for safety or process reasons.

2nd. Tier based on BAT performance: The lowest value quoted as BAT by stakeholders was 1.1 using natural gas. This stakeholder also said that a BAT value of 1.25 would be BAT for LPG although technically 1.1 should be also be achievable but may be BNAT at present.

Single burner furnaces (such as cement kilns) can more easily control to 1.1 but maintaining this value with multi-burner processes is technically very difficult. 1.1 can be achieved but is very difficult to maintain within 1.05 and 1.1 range to avoid CO emissions. A maximum value of 1.15, as described above may be more realistic as a second tier (BAT) eco-design requirements.

www.vdma.org



**CECOF – Vorschlag:
max. Wandoberflächen - Temperatur**

Furnace temperature in °C	Furnace wall outer surface teperature in °C		
	Ceiling	Side wall	Bottom in contact with open air

< 900	90	80	100
900 - 1100	110	95	120
1100 - 1300	125	110	145
> 1300	140	120	180

adoption of Japan Energy Act

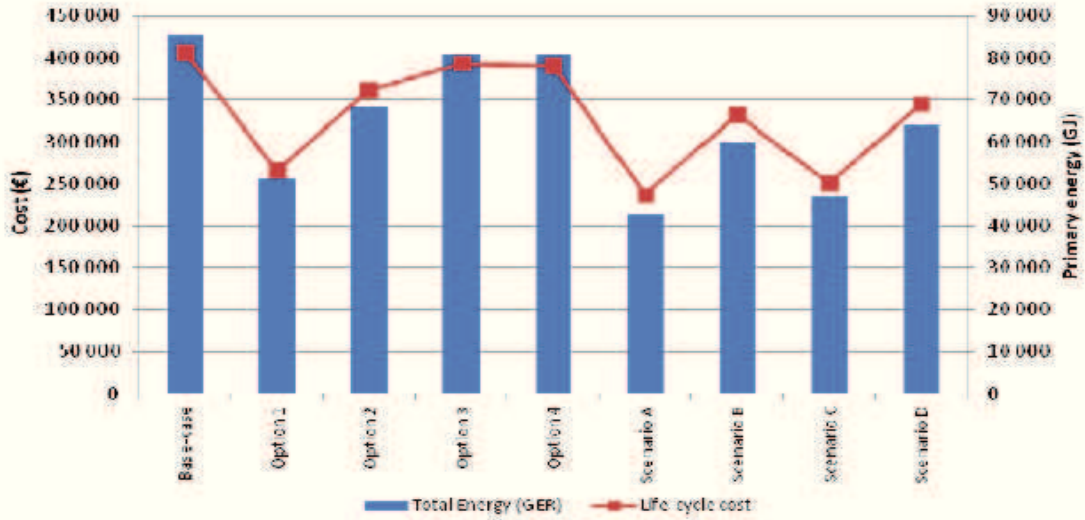
www.vdma.org



www.vdma.org

BC 4b Medium Industrial Batch Furnace - gas

Figure 41: Base-Case – TEC and LCC



www.vdma.org

www.eco-furnace.org

Normung ISO/TC 244

Industrial furnaces and associated processing equipment

- **ISO/FDIS 13579 Energy balance and efficiency**

- Projektleiter Morihiko Imada, Chugai Ro and JISC, Japan
- Scope: Methoden zur Energieeffizienzbestimmung und -Messung für Industrieöfen einschließlich der genutzten elektrischen Energie

- WD 13579 - 1 General methodology (74 pages)
- WD 13579 - 2 Reheating furnace for steel (29 pages)
- WD 13579 - 3 Batch type aluminum melting furnace (31 pages)
- WD 13579 - 4 Controlled atmosphere furnace (28 pages)

