

DIN EN ISO 50001 – Chancen für die Schmiedeindustrie

von **Dirk M. Schibisch, Loïc de Vathaire**

Die vielzitierte „Energiewende“ hat anspruchsvolle Ziele: Neben einer Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen um 80 % gegenüber 1990 soll bis ins Jahr 2050 Deutschlands Strom zu mehr als 80 % aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Zur Finanzierung der Energiewende wurde u.a. das Erneuerbare-Energiengesetz (EEG) erlassen, welches die Verteilung der Kosten, die aus der Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen entstehen, auf die Stromendverbraucher über die EEG-Umlage regelt. Unternehmen des produzierenden Gewerbes mit hohem Stromverbrauch, die nach DIN EN ISO 50001 zertifiziert sind, haben die Möglichkeit, zum Erhalt der internationalen Wettbewerbsfähigkeit, ihre Stromkosten zu senken. Zur Zertifizierung und Senkung des Energieverbrauchs sind Maßnahmen zur nachhaltigen Steigerung der Energieeffizienz von entscheidender Bedeutung. Dieses Potential, insbesondere für die energieintensiven Betriebe der Schmiedeindustrie interessant, soll in diesem Artikel beispielhaft beschrieben werden.

DIN EN ISO 50001 – Chances for the forging industry

The often-quoted „Energiewende“ targets ambitious goals: next to the emission reduction of greenhouse gases by 80 % compared to 1990, also 80 % of Germany's electrical power shall come from renewable energy sources in 2050. The EEG (Renewable Energy law) has been legislated for financing this energy turnaround. Therein the allocation of costs arising from the promotion of power generation from renewables onto the end-consumers is regulated. Production companies with a high energy consumption, which have been certified according to DIN EN ISO 50001, can reduce their power cost, thus maintaining international competitiveness. For the certification incl. the reduction of energy consumption measures for a sustainable boost of energy efficiency are required. This potential, especially interesting for Forge shops, shall be exemplified in this article.

Das Erneuerbare-Energiengesetz (EEG) ermöglicht mit der Novelle 2012 und den dazugehörigen Merkblättern des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) besondere Ausgleichsregelungen für energieintensive Betriebe. Auf Antrag kann demnach die Höhe der EEG-Abgabe von produzierenden Unternehmen mit einem Stromverbrauch von mehr als 1 GWh/a und jährlichen Stromkosten von mindestens 14 % der Bruttowertschöpfung auf 90 % des Stromanteils der EEG-Umlage oder mehr begrenzt werden. Voraussetzung dafür ist ab einem Stromverbrauch von mehr als 10 GWh/a eine Zertifizierung nach EN ISO 50001. [1]

Die DIN EN ISO 50001 beschreibt Managementsystem-Normen mit dem Ziel einer kontinuierlichen Verbesserung

und stellt dabei die Prozesse in der Organisation in den Mittelpunkt. Das Ziel ist die Reduzierung von Treibhausgasemissionen und anderer Umweltauswirkungen sowie die Verringerung von Energiekosten. Übergeordnet trägt die weltweite Anwendung dieser Norm zudem zur effizienteren Nutzung der verfügbaren Energiequellen und zu einer besseren Wettbewerbsfähigkeit bei. [2, S. 54ff]

Im Mittelpunkt der Norm steht im Wesentlichen eine Verbesserung der Energieeffizienz, welche die DIN EN ISO 50001 als das Verhältnis zwischen einer erzielten Leistung und der eingesetzten Energie, dem Energieverbrauch, definiert. [2, S. 57] Zusammenfassend beschreibt die DIN EN ISO 50001 Energiemanagementsysteme, um das Thema Energieeffizienz als Wahrnehmung der gesellschaftlichen

Verantwortung zu steigern, die Energiekosten zu senken und durch Erfüllung gesetzlicher Vorschriften finanzielle Vorteile zu erlangen.

Die DIN EN ISO 50001 behandelt sämtliche Energieformen, u. a. auch Erdgas, Wasser oder Druckluft. In diesem Artikel liegt der Fokus aber ausschließlich auf der elektrischen Energie, da diese vorrangig in der Induktionstechnik eingesetzt wird.

Es gilt zunächst einige Begriffe zu klären und anschließend die Möglichkeiten aufzuzeigen, wie man durch optimale Auslegung von Induktionsanlagen, eine nachhaltige Verbesserung der Energieeffizienz und damit Verringerung der Stromkosten sowie Reduzierung von Emissionen bewirkt.

Die Scheinleistung oder Anschlussleistung kennzeichnet die einem elektrischen Verbraucher zugeführte oder zuzuführende elektrische Leistung. Die Scheinleistung S ergibt sich aus den Effektivwerten von elektrischer Stromstärke I und elektrischer Spannung U und setzt sich zusammen aus der tatsächlich umgesetzten Wirkleistung P und einer zusätzlichen Blindleistung Q_{tot} . [3]

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q_{tot}^2}$$

Neben der elektrischen Wirkleistung sind vor allem energieintensive Betriebe wie Schmieden an der Blindleistung, die entsteht, wenn Strom und Spannung gegeneinander phasenverschoben sind, interessiert. Alternativ wird der Anteil an Wirkleistung über den Phasenwinkel bzw. dessen Cosinus angegeben ($\cos \varphi$), der auch Leistungsfaktor genannt wird. Als Faustformel gilt: ein Leistungsfaktor $\cos \varphi$ von 0,9 entspricht ungefähr der Aussage „Blindleistung = 50 % der Wirkleistung“ (Bild 1).

Eine Wirkleistung P wird über das Versorgungsnetz bezogen, wenn Spannung und Strom dasselbe Vorzeichen haben, und in Abhängigkeit vom Arbeitspunkt des elektr. Verbrauchers ganz oder teilweise als Blindleistung Q wieder

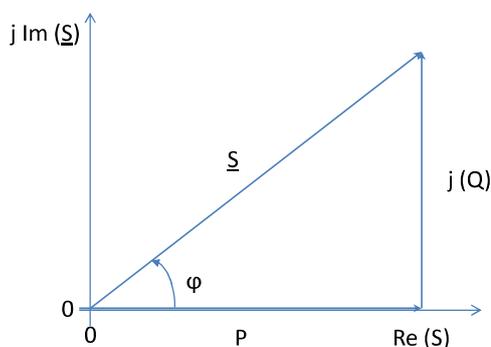


Bild 1: Zusammenhang zwischen Wirkleistung (P), Blindleistung (Q), Scheinleistung (S) und Phasenwinkel (φ).

zurückgespeist, wenn die Vorzeichen gegensätzlich sind. Um den blindleistungsbedingten Zusatzverlusten in der Netzversorgung entgegenzuwirken, werden größere Leiterquerschnitte in den Versorgungsleitungen sowie größere Generatoren und Transformatoren nötig. Elektrische Großverbraucher in der Industrie müssen neben der bezogenen Wirkenergie auch für ihren Blindenergiebezug bezahlen [4]. Es ist somit im Interesse der energieintensiven Betriebe, die Blindleistung stark zu begrenzen, wenn nicht komplett zu eliminieren. Zur Begrenzung werden sogenannte Blindleistungskompensationsanlagen eingesetzt, die allerdings ihrerseits die Energiebilanz wieder verschlechtern.

Besser ist eine arbeitspunktunabhängige Optimierung des Verbraucherleistungsfaktors $\cos \varphi$ auf einen konstanten Wert nahe 1 (kaum Blindleistung) durch Auswahl geeigneter Schaltungstopologien und damit nachhaltiger Erhöhung der Energieeffizienz, auf die auch im Folgenden näher eingegangen werden soll.

AUSWIRKUNGEN DER NORM DIN ISO 50001 AUF DIE SCHMIEDEINDUSTRIE

Die Schmiedeindustrie gehört zu den energieintensivsten Branchen der deutschen Industrie. Aus diesem Grund beobachtet sie mit großer Aufmerksamkeit die mit der Energiewende verbundenen Entwicklungen, die u. a. durch rasante Preissteigerungen, höhere Netzentgelte, steigende Umlagen und vor allem eine große Unsicherheit über die künftigen Rahmenbedingungen gekennzeichnet sind.

Trotz der Wettbewerbsvorteile moderner Schmiedebetriebe hinsichtlich Qualität, Innovation und Präzision, hat der Anteil der Energiekosten an der Wertschöpfung massiv an Bedeutung gewonnen. Um im heutigen Umfeld langfristig steigender Energiekosten zu bestehen, ist jeder Betreiber gut beraten, seine Energiekosten zu kontrollieren bzw. zu optimieren.

Obwohl induktive Erwärmungsanlagen im Vergleich zu anderen Technologien aufgrund des Verfahrensprinzips besonders energieeffizient arbeiten, verursachen sie nach wie vor den Großteil der Energiekosten. Die Betreiber wollen daher sicherstellen, dass die Anlagen die zugeführte Energie optimal nutzen. In der Praxis stellen sich häufig die folgenden Fragen:

- Welche Definition der Energieeffizienz gilt für die konkrete Produktionssituation?
- Wie und an welcher Stelle wird der Energieverbrauch gemessen?
- Welchen Einfluss auf den Energieverbrauch hat das Produktionsspektrum und welche Möglichkeiten bietet eine optimale Produktionsstrategie?

Auf die Definition der Energieeffizienz bzw. des Wirkungsgrades induktiver Erwärmungsanlagen in Schmiedebetrieben wird ausführlich im Folgenden eingegangen.

Ebenso betrachten wir den Gesamtwirkungsgrad einer Erwärmungsanlage und der Hilfsaggregate um darzustellen, wie wichtig die Wahl des richtigen Messpunktes ist. In **Bild 2** wird deutlich, dass unterschiedliche Messpunkte zur Ermittlung völlig unterschiedlicher Energieverbräuche führen müssen. Die eigentliche Messung erfolgt dabei mit Standard-Energiezählern, die entweder bereits in die Induktionsanlage vom Hersteller eingebaut wurden oder einfach nachzurüsten sind.

Ein induktionsbezogenes Energieaudit betrachtet die gesamte Produktionssituation, ermittelt die optimale Ausrüstung der Maschine und gibt Hinweise für eine energetisch gesehen optimale Produktionsreihenfolge der verschiedenen Materialabmessungen. Dabei werden als Basis die Werte des eingebauten Energiezählers ausgewertet. Das induktionsbezogene Energieaudit untersucht auch die Ausführung der Induktionsanlage und deren Komponenten, die nachhaltig Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Im nächsten Kapitel wird detailliert auf einige dieser Einflussfaktoren eingegangen.

INDUKTIVES ERWÄRMEN VON SCHMIEDEROHLINGEN

Allgemein gesprochen geht es bei der Umsetzung der Norm DIN EN ISO 50001 in der industriellen Praxis vor allem um die Reduzierung des Energieverbrauchs insgesamt, die Reduzierung der Blindleistung und die Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades einer Produktionsanlage, z. B. einer Anlage zum induktiven Erwärmen von Blöcken oder Stangen vor Umformaggregaten.

Um im Nachgang die einzelnen Energietreiber bzw. Energieeffizientreiber besser einschätzen zu können, sei an dieser Stelle noch einmal kurz auf die Grundlagen hingewiesen.

Bei der induktiven Erwärmung vor Umformaggregaten wird der metallene Rohling (Stange, Block oder Blöckchen) mittels einer Spule berührungslos einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt. Die Arbeitsfrequenz bestimmt die Eindringtiefe des Stroms. Im Material werden dadurch Wirbelströme erzeugt und es entsteht Wärme. Und zwar unmittelbar im Rohling selbst – es muss also nicht wie in einem konventionellen Ofen durch Wärmeübertragung aufgeheizt werden. Somit sind die Erwärmungszeiten sehr kurz und die Temperatur kann genau eingestellt werden.

Der Gesamtwirkungsgrad einer Induktionserwärmungsanlage ist das Produkt der Einzelwirkungsgrade der unterschiedlichen Einzelkomponenten, nämlich des Mittelspannungstransformators, des Frequenzumrichters, der Stromschienen und des Induktors sowie des thermischen Wirkungsgrades.

Dabei sind die Einzelwirkungsgrade nicht gleich, sondern es gibt Komponenten, bei denen eine Verbesserung

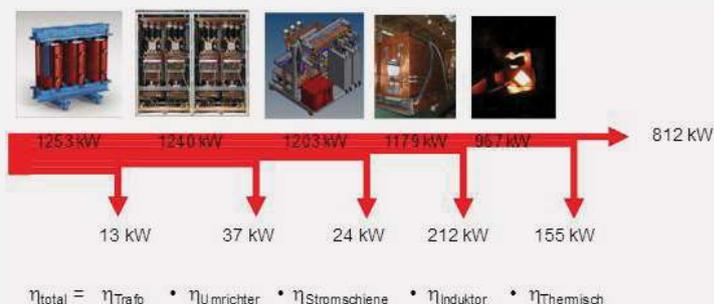


Bild 2: Energieverbrauch am Netz Beispiel: Durchsatz: 3.500 kg/h, Netzverbrauch: 358 kWh/t, Werkstücktemperatur: 1.250 °C

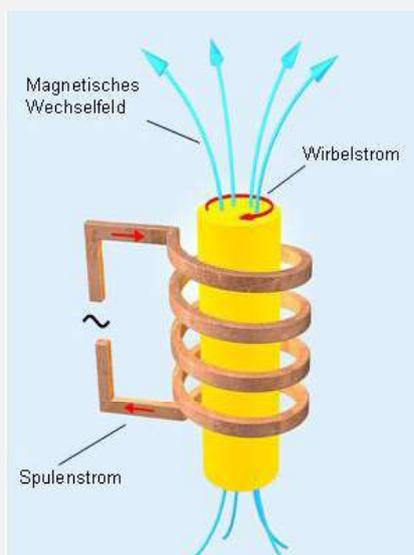


Bild 3: Induktive Erwärmung von Schmiederohlingen mittels einer Kupferspule

einen deutlich positiven Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad hat. Während z. B. der Mittelspannungstransformator einen sehr hohen Wirkungsgrad von rund 99 % besitzt, hat die Induktionsspule mit knapp 75 % Einzelwirkungsgrad einen starken Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad. Das Beispiel in **Bild 3** zeigt eine reale Situation in einem Schmiedebetriebe: Von 1.253 kW Energieverbrauch am Netz stehen zur Erwärmung eines Werkstücks auf 1.250 °C nur 812 kW zur Verfügung, was einem Gesamtwirkungsgrad von knapp 65 % entspricht. Die energetischen Verluste der einzelnen Komponenten der Erwärmungsanlagen summieren sich zu 441 kW, wovon alleine der Induktor gute 200 kW Verlustleistung produziert. Hier lohnt sich eine intensive Betrachtung, um Einflussfaktoren zu identifizieren, die sich positiv auf das Gesamtergebnis auswirken.

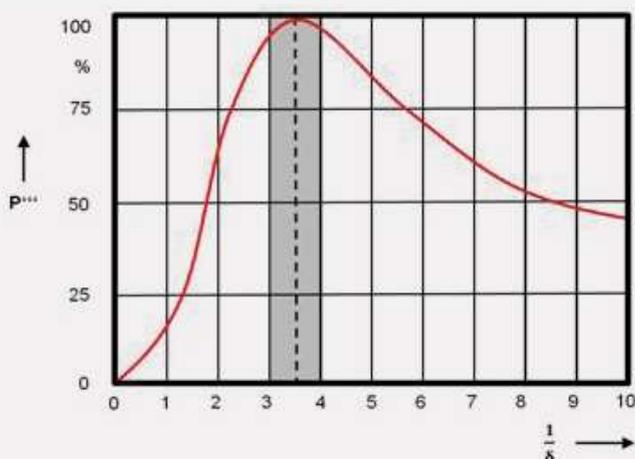


Bild 4: Induzierte Volumenleistungsdichte P''' in Abhängigkeit vom Verhältnis $1/\delta$ bei konstanter Frequenz und Variation des Werkstückdurchmessers [6]



Bild 5: Unterschiedliche Erwärmung/Durchwärmung bei konstanter Frequenz und konstanten Werkstoffparametern in Abhängigkeit von der Werkstückgeometrie [7]

Die Induktionsspule

Im Folgenden wird deshalb insbesondere die Induktionsspule aus Kupfer näher betrachtet.

Die folgende Formel für den elektrischen Wirkungsgrad $\eta_{elektrisch}$ zeigt klar den Zusammenhang zwischen dem Innendurchmesser der Spule D und dem Wärmgutdurchmesser d . Je geringer der Unterschied zwischen Spulendurchmesser und Wärmgutdurchmesser d , desto größer wird der elektrische Wirkungsgrad.

$$\eta_{elektrisch} = \frac{P_i}{P_i + P_{Cu}} = \frac{1}{1 + \frac{D}{d} \cdot \frac{l}{h} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{Cu}}{\phi_r \cdot Q \cdot f_{Cu}}}} \cdot \frac{1}{m}$$

P_i	im Werkstück induzierte Leistung
P_{Cu}	Stromwärmeverluste der Spule
d	Werkstückdurchmesser
D	Innendurchmesser der Spule ($D \ll l$)
l	Länge der Spule
h	Höhe des zyl. Einsatzes
f_{Cu}	Kupferfüllfaktor der Spule
ρ_{Cu}	Spez. elek. Widerstand des Induktors
ρ	Spez. elek. Widerstand des Werkstoffs
μ_r	Permeabilitätszahl

Interessant ist nun der Einfluss der elektromagnetischen Eindringtiefe. Gemäß der Lenz'schen Regel baut der Wirbelstrom ein dem Induktorstrom entgegengesetztes Feld auf. Durch die Überlagerung beider Felder kommt es in radialer Richtung nach innen zu einem Abbau des magnetischen Feldes. Die damit verknüpfte Stromdichte nimmt ebenfalls ab. Die Tiefe, bei der die Stromdichte auf 37 %

ihres Maximalwertes abgesunken ist, wird als Eindringtiefe δ bezeichnet.[5]

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \cdot f \cdot \mu_r}}$$

ρ	Spez. elek. Widerstand des Werkstoffs
μ_r	Permeabilitätszahl
f	Frequenz

Aus der Formel wird ersichtlich, dass die Eindringtiefe maßgeblich von der Frequenz des induzierten Stromes abhängt. Mit zunehmender Frequenz nimmt die Stromeindringtiefe ab. Für Erwärmungsaufgaben, bei denen es auf eine optimale Durchwärmung des gesamten Materialquerschnitts ankommt, ist also eine niedrige Frequenz zu wählen. Wie in Bild 3 dargestellt, erhält man über den Querschnitt dann eine sehr schnelle und homogene Temperaturverteilung, wenn der zylindrische Werkstückdurchmesser etwa 3,5 mal größer als das Eindringmaß ist. Diese Verhältnisse ergeben sich aus einem Kompromiss zwischen direkter gleichmäßiger Erwärmung über den Querschnitt bei entsprechend niedriger Frequenz und zunehmendem elektrischen Wirkungsgrad bei hoher Frequenz. [6]

Sehr eindrucksvoll ist dieser elementare Zusammenhang bereits vor Jahrzehnten im Versuchsfeld nachgewiesen worden. Dabei wurden in eine Spule bei einer festen Frequenz unterschiedlich große Zylinder eingebracht. Anhand der unterschiedlichen Farbgebung ist leicht zu erkennen, dass sowohl zu kleine als auch zu große Durchmesser nicht zu optimaler Durchwärmung führen. Interessanterweise ist dieser Effekt dem Einfluss der Positionierung des Wärm-

Tabelle 1: Vergleich von Cu-DHP und Cu-HCP [7]

	Cu-DHP	Cu-HCP
Vollständige Bezeichnung	Deoxidized High Residual Phosphorus	High Conductivity Phosphorus
Werkstoff-Nr.	CW024A	CW021A
Kupferanteil	> 99,9 %	> 99,95 %
Schweiß- und Lötbarkeit	Sehr gut	Gut
Mechanische Bearbeitbarkeit	Sehr gut	Gut
Energieeffizienz	Gut	Sehr gut

guts innerhalb der Spule deutlich übergeordnet. Das heißt: obwohl der optimale Durchmesser, unten links in Bild 2, nicht zentrisch in der Spulenmitte angeordnet ist, so ist bei diesem doch das beste Durchwärmungsergebnis zu verzeichnen (Bild 4 und 5).

Im Idealfall gäbe es somit für jeden Materialdurchmesser eine optimal angepasste Induktionsspule. Da dies jedoch für die meisten Anwendungsfälle nicht praktikabel und wirtschaftlich ist, gilt es, das Produktspektrum des Schmiedebetriebs genau zu analysieren und zu sinnvollen Durchmesserbereichen zusammenzufassen. Die Auslegung der Spule stellt daher stets einen Kompromiss aus optimaler Anpassung und hoher Flexibilität dar [8].

Das Kupfermaterial

Ein weiterer Effizienztreiber neben der bereits beschriebenen Arbeitsfrequenz und dem Koppelabstand, bzw. dem Verhältnis von Spulen- und Werkstückdurchmesser ist die Materialqualität der Spule.

Wie in der Formel für den elektrischen Wirkungsgrad $\eta_{\text{elektrisch}}$ deutlich erkennbar, hängt dieser auch von den Werkstoffeigenschaften des Induktors ab. Der spezifische elektrische Widerstand des Induktors ρ_{Cu} aus Kupfermaterial ist je nach Güte des hochreinen Elektrolytkupfers unterschiedlich.

Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Unterschiede für die zwei in elektrotechnischen Komponenten regelmäßig eingesetzten Kupfergüten. Im Wesentlichen unterscheiden sich beide Qualitäten im Kupferanteil und in der Bearbeitbarkeit, die für die Herstellung von Spulen aus diesem Material von besonderer Bedeutung ist.

Rein äußerlich lassen sich Spulen aus Cu-DHP und Cu-HCP nicht voneinander unterscheiden. Cu-DHP lässt sich aber insgesamt besser bearbeiten, sowohl mechanisch als auch schweißen oder löten, sodass einige Hersteller von Spulen diese Materialgüte mit etwas geringerem Kupferanteil wählen.

Vergleicht man aber den spezifischen elektrischen

Widerstand ρ_{Cu} dieser beiden Kupfergüten so stellt man fest, dass das Cu-HCP-Material mit dem höheren Kupferanteil von > 99,95 % einen geringeren Wert aufweist. Auch über einen Temperaturverlauf, der für Kupferspulen im Einsatz als Induktionswerkzeug sehr interessant ist, liegt der spezifische elektrische Widerstand ρ_{Cu} von Cu-HCP zu jedem Temperaturpunkt rund 30 % unter dem des Cu-DHP. Ergo entstehen beim Einsatz der höherwertigen Güte weniger Verluste, sodass der elektrische Wirkungsgrad entsprechend höher ist. Für den Hersteller der Induktionsspulen bedeutet zwar der Einsatz des Cu-HCP-Materials einerseits höhere Materialkosten, andererseits eine aufwendigere Bearbeitung aufgrund der etwas schlechteren Materialeigenschaften, für den Anwender im Schmiedebetrieb stellen aber die energieeffizienteren Eigenschaften des höherwertigen Cu-HCP durch den deutlich geringeren spezifischen Widerstand eine interessante Möglichkeit dar, Energie zu sparen (Bild 6).

Die Umrichtertechnologie

Im Beispiel in Bild 2 stellt der Umrichterwirkungsgrad den drittgrößten Einflussfaktor neben dem Induktor- und dem thermischen Wirkungsgrad dar, der maßgeblich durch die Erwärmungsdauer und somit von der Länge der Erwärmungstrecke beeinflusst wird.

Bei einem Umrichterwirkungsgrad $\eta_{\text{Umrichter}}$ von 0,97 %, wie im Beispiel angegeben, ist bereits die neu entwickelte Umrichtergeneration mit L-LC-Schwingkreis im Einsatz. Herkömmliche Umrichtertopologien haben zum Teil deutlich geringere Wirkungsgrade. L-LC bezeichnet dabei die Beschaltung am Ausgang des Wechselrichters. Aufgebaut aus ungesteuertem Gleichrichter, Zwischenkreis-kondensator, IGBT-Wechselrichter und Ausgangsdrossel hat dieser Umrichter einen konstanten Leistungsfaktor $\cos \varphi$ von > 0,95 in allen Teillastbereichen. [9]

Die L-LC-Schaltung weist zwei Resonanzstellen auf: eine mit Parallel- und eine mit Serienresonanz. Beide können, abhängig von den angestrebten Eigenschaften der Schal-

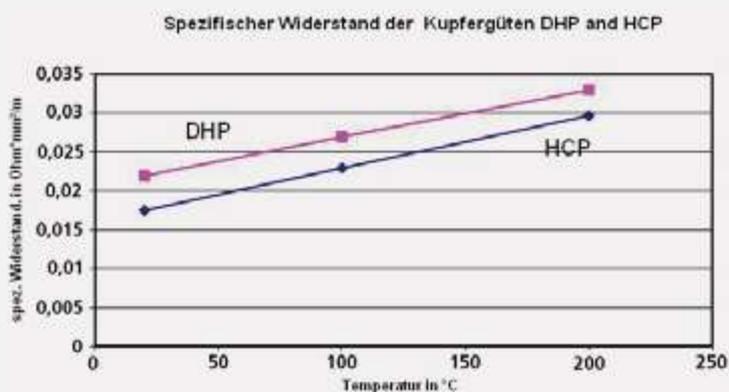


Bild 6: Spezifischer Widerstand von DHP- und HCP-Kupfer in Abhängigkeit von der Temperatur [7]

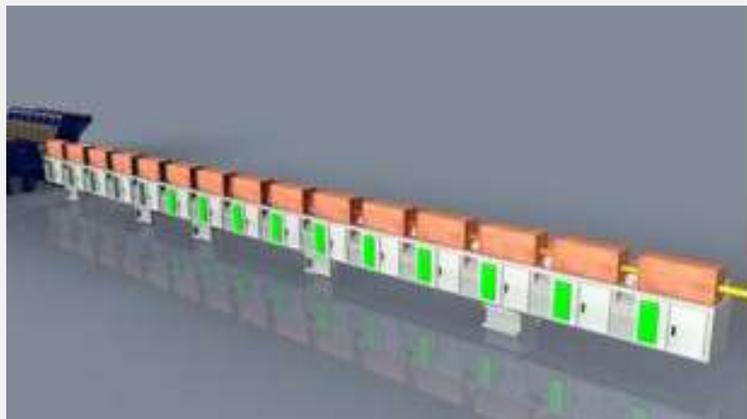


Bild 7 [9]: Teildurchsätze: Produktionsbetrieb, Stangendurchmesser 300 mm, gewählter Teildurchsatz: 6 t/h; Nenndurchsatz: 9 t/h Energieeinsparung mit iZone™ gegenüber einer konventionellen Lösung: ca. 20 %

tion und der Applikation, genutzt werden. Zur Steuerung des Wechselrichters müssen spezielle Algorithmen eingesetzt werden, um die gewünschte Resonanzstelle (parallel oder seriell) zu finden und den Arbeitspunkt eindeutig festzulegen. Dafür hat die L-LG-Schaltung den Vorteil, dass sich sowohl Frequenz, als auch Leistung über den Wechselrichter steuern lassen. [10] Mit der L-LG-Umrichtertopologie als Basis hat SMS Elotherm die intelligente Zonensteuerung iZone™ mit hohen Wirkungsgraden und verbesserter Energieeffizienz weiterentwickelt.

Durchsatzbezogene Anlagenauslegung

Hervorheben im Sinne der Erfüllung der Forderung aus der Norm DIN EN ISO 50001 ist die Möglichkeit der

flexiblen Anpassung der Erwärmungsanlage an unterschiedliche Teildurchsätze, die mit der innovativen L-LG-Umrichtertopologie und der iZone™-Technologie gegeben sind.

Mit den von dem Bediener eingegebenen Daten berechnet die iZone™-Steuerung direkt und online die optimale Erwärmungsstrategie mit ressourcenschonendem Energieverbrauch. Bei Stangen mit 300 mm Durchmesser und einem Teildurchsatz von 6 t/h werden Energieeinsparungen von rund 20 % gegenüber einer konventionellen Lösung realisiert (**Bild 7** [9]).

ERGEBNIS EINES INDUKTIONS-BEZOGENEN AUDITS

Im Folgenden soll ein konkretes Beispiel zeigen, wie über eine optimale Auslegung einer Induktionserwärmungsanlage nachhaltig der Netzverbrauch reduziert und damit die Energieeffizienz erhöht werden kann.

Im Beispiel setzt ein Schmiedebetriebs eine induktive Erwärmungsanlage mit 1.500 kW Nennleistung vor einer horizontalen mehrstufigen Presse ein. Es werden Stangen mit dem Durchmesserbereich 25 bis 40 mm über eine Strecke von fünf Induktionsspulen auf 1.250 °C erwärmt. Die vorhandenen Induktoren werden für das ganze Produktprogramm verwendet.

Auf den ersten Blick erscheinen solche flexiblen Induktionsspulen besonders vorteilhaft, da kein Induktorwechsel notwendig ist.

Im induktionsbezogenen Energieaudit werden folgende Daten ermittelt: Der Stangendurchmesser im Verhältnis zur Tonnage pro Jahr (**Tabelle 2**) sowie der Stangendurchmesser in Relation zum Netzverbrauch (**Tabelle 3**).

Anhand dieser Daten wird deutlich, dass der Netzverbrauch sich stark erhöht, sobald Spulendurchmesser und Materialdurchmesser nicht mehr optimal aufeinander abgestimmt sind.

Aufgrund der Jahrestonnage ist vor allem eine optimierte Erwärmung der 28er Stange erstrebenswert. Die Berechnung einer für 28 mm bzw. für 32 mm ausgelegten Induktionsspule zeigt einen je nach Stangendurchmesser variablen Netzverbrauch (**Tabelle 4**). Daraus ergeben sich zwei Optimierungsstrategien: Die Produktion kann mit zwei oder drei Induktorsätzen optimiert werden (**Tabelle 5**), wobei die Energiekostensparnis und die Rüstkosten variieren. Als optimales Ergebnis des induktionsbezogenen Audits ergibt sich in diesem Beispiel Optimierungsstrategie 1.

Mit nur einem zusätzlichen Induktionsspulensatz lassen sich mehr als 40.000 €/a an Energiekosten einsparen. Die Zusatzinvestition in einen weiteren angepassten Spulensatz würde die Einsparung nur um rund 10 % erhöhen, steht also auch im Hinblick auf den zusätzlichen

Rüstaufwand und die durchschnittlichen Investitionskosten für einen Spulensatz in keinem wirtschaftlichen Verhältnis. Da die Stangen > 32 mm Durchmesser nur einen sehr kleinen Anteil im Jahr ausmachen (~ 3 %), sollte deren Produktion möglichst intelligent gefahren werden, um das Umrüsten von einem auf eine anderen Spulensatz auf das Mindestmaß zu reduzieren.

Im Sinne der Ziele der Norm DIN ISO 50001 bedeutet dieses Ergebnis ganz konkret die Einsparung von rund 166 t CO₂/a. Basis für diese Zahl ist der vom Umweltbundesamt für 2011 angegebene Umrechnungsfaktor von 1 kWh Strom auf 0,566 kg CO₂. [11]

FAZIT

Das Thema DIN ISO 50001 genießt aus verschiedenen Gründen aktuell eine hohe Aufmerksamkeit. Neben der Steigerung der Energieeffizienz als Wahrnehmung einer gesellschaftlichen Verantwortung sowie der Erfüllung gesetzlicher Vorschriften, gilt es in der Industrie vor allem durch Senkung der Energiekosten und Einhaltung bestimmter Eckwerte, finanzielle Vorteile zur Steigerung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit zu erlangen.

In diesem Artikel wurde vorrangig auf die ökonomisch interessanten Aspekte der Reduzierung des Energieverbrauchs bzw. der Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades

Tabelle 2: Stangendurchmesser / Tonnage

Stangendurchmesser (mm)	Tonnage/a
25	620
28	3.150
32	850
> 32	150
Summe	4.770

Tabelle 3: Stangendurchmesser / Netzverbrauch

Stangendurchmesser (mm)	Netzverbrauch (kWh/t)
25	515
28	430
32	370
36	361
40	353

Tabelle 4: Netzverbrauch je nach Stangendurchmesser

Stangendurchmesser (mm)	Netzverbrauch mit Induktor für Stangen-Ø 28 mm (kWh/t)	Netzverbrauch mit Induktor für Stangen-Ø 32 mm (kWh/t)
25	369	376
28	361	367
32	(nicht möglich)	358

Tabelle 5: Zwei Optimierungsstrategien für die Produktion

	Optimierungsstrategie 1: Produktion mit 2 Induktorsätzen	Optimierungsstrategie 2: Produktion mit 3 Induktorsätzen
Benötigte Induktionsspulensätze	Satz 1: Vorhandener Satz für Durchmesser > 32 mm Satz 2: neue Induktionsspulen für den Bereich 25 bis 32 mm	Satz 1: vorhandener Satz für Durchmesser > 32 mm Satz 2: neue Induktionsspulen für 32 mm Satz 3: neue Induktionsspulen für den Bereich 25 bis 28 mm
Potenzielle Energiekostensparnis	ca. 294 MWh/a	ca. 318 MWh/a
Ø-Industriestrompreis 2012/ kWh (inkl. Steuern)	0,14 €	0,14 €
Potenzielle Energiekostensparnis	41.160 €/a	44.520 €/a
Rüstkosten	Niedrig	Hoch

sowie des Leistungsfaktors einer induktiven Erwärmungsanlage eingegangen. Insbesondere für diese Elektrowärme-Anlagen bieten die Hersteller eine Vielzahl von Möglichkeiten an, durch eine intelligente Anlagenauslegung die Teilwirkungsgrade deutlich zu erhöhen.

Das konkrete Rechenbeispiel zeigt zudem, dass schon über die Optimierung eines Teilaspektes, hier dem angepassten Spulensatz, bereits nachhaltig Energiekosten eingespart werden und nennenswerte Erfolge im Sinne der Reduzierung der Emissionswerte erzielt werden können. Das alles unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Randparameter, um sicherzustellen, dass durch Umsetzung dieser Maßnahmen die Wettbewerbsfähigkeit verbessert wird.

Kurzfristig können somit durch Energieeffizienzaudits praktische Lösungen erarbeitet und umgesetzt werden, die direkt die Energieeffizienz einzelner Induktionserwärmungsanlagen vor Umformaggregaten verbessern und somit sofort zu einem reduzierten Energieverbrauch beitragen.

Langfristig rechnet sich der Aufwand zur Implementierung eines Energiemanagementsystems DIN ISO 50001 durch die kontinuierliche Steigerung der Energieeffizienz des Gesamtunternehmens.

LITERATUR

- [1] wikipedia/ Energiemanagement.
- [2] Reese, K.: **DIN EN ISO 50001 in der Praxis**, Vulkan-Verlag GmbH, 2012, S. 54ff.
- [3] wikipedia/Scheinleistung.
- [4] wikipedia/Blindleistung.
- [5] Merkblatt 236 „Wärmebehandlung von Stahl – Randschichthär-

ten“, Ausgabe 2009, Stahl- Informationszentrum Düsseldorf.

- [6] Taschenbuch **Industrielle Wärmetechnik**, Vulkan Verlag 2007, S. 356 ff.
- [7] Datenblätter des Deutschen Kupferinstituts.
- [8] Jürgens, R.; Scholles, M.: **Dynamisches Energiemanagement in modernen Induktionsanlagen zur Steigerung der Energieeffizienz**. *elektrowärme international* 2010 (Nr. 1), Vulkan Verlag Essen.
- [9] Gies, J.; Schibisch, D.: **Einsatz neuester Induktionstechnik zur nachhaltigen Steigerung der Ressourceneffizienz in der Massivumformung**. *elektrowärme international* 2011 (Nr. 2), Vulkan Verlag .Essen
- [10] Zok, E.; Schibisch, D.: **Energieeffiziente Leistungsversorgung induktiver Härte- und Erwärmungsprozesse**. *elektrowärme international* 2012 (Nr. 3), Vulkan Verlag Essen.
- [11] <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>.

AUTOREN



Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dirk M. Schibisch
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 02191 / 891-300
d.schibisch@sms-elotherm.com



Loïc de Vathaire
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 02191 / 891-324
l.vathaire@sms-elotherm.com

IZONE™ - INTELLIGENTE ZONENSTEUERUNG VON SCHMIEDEERWÄRMUNGSANLAGEN

Das Gesamtkonzept dieses Erwärmungssystems beruht auf der Weiterentwicklung der bereits seit den frühen 90er-Jahren eingesetzten Zonentechnik, die heute unter iZone™ bekannt ist. iZone™ wurde von SMS Elotherm für die Prozesssteuerung von modernen induktiven Erwärmungsanlagen entwickelt. In Verbindung mit einem integrierten Rechnersystem wird das Prozessergebnis nachhaltig optimiert. Durch das dynamische Energiemanagementsystem können einzelne oder Gruppen von Erwärmungsspulen individuell gesteuert werden, was zu erheblich reduzierten Verbrauchswerten führt und damit den aktuellen Forderungen nach nachhaltiger Energieeinsparung voll gerecht wird.

Vorteile dieser innovativen Technologie:

- Implementierte Erwärmungsstrategien
- Interaktive Prozessoptimierung

- Einstellung individueller Aufheizkurven
- Ansteuerung der einzelnen Wechselrichter
- Intuitive Bedienung
- Integriertes Expertensystem
- Warmhaltebetrieb mit identischen Spulen / Reversierbetrieb
- Schnelles Einfahren zum Anfahren
- Berechnung und Einstellung der optimalen Aufheizstrecke
- Programm zur Zunderminimierung
- Intelligentes Energiemanagement
- Iterative Auftragssteuerung
- automatische Abschaltung von Spulen
- optimierter Energieverbrauch
- umfangreiche Datenspeicherung
- Rezeptur- und Prozessdatenverwaltung