

# Energieeffizienz in der Schweisstechnik!

Weltweit werden intensive Debatten um Lösungen unserer Energie- und Umweltprobleme geführt. Energieeffizienz in Bezug auf den Klimawandel gehört heute zu einer der wichtigsten Themen. Die Energieversorgung basiert heute zu 75% auf dem Konsum nicht erneuerbarer (atomarer und fossiler) Energien. Zunehmende Energieknappheit als auch Klimaprobleme verlangen eine deutliche Reduktion der Nutzung nicht nachhaltiger Energiequellen. Eine effiziente Energienutzung ist daher zwingend erforderlich, um unsere Lebensgrundlage zu erhalten.

*Peter Schmidt, 8964 Rudolfstetten*

Fügeprozesse verbrauchen wesentliche Energie- und Ressourcenanteile. Die Generierung von Energieeffizienzen stellt in diesem Bereich ein technologisch und wirtschaftlich komplexes Thema dar. Dabei sollten nicht ausschliesslich elektrische Leistungsdaten beurteilt werden, sondern eine ganzheitliche Betrachtung des Fertigungsprozesses fokussiert werden. Dazu zählt unter anderem die Arbeitsvorbereitung einschliesslich der Nahtvorbereitung und das Fixieren der zu verschweisenden Teile. Zudem sollte auch der Energieeintrag, Aufschmelzungsgrad, die Schweissgeschwindigkeit, und der Kosten-Wirkungsgrad beleuchtet werden. Neben Ausbesserungsschweissungen tragen dazu ausserdem die Korrektur von Schweissfehlern, das Entfernen von Spritzern und das Richten aufgrund von thermischen Verzügen bei. Diese Aufwendungen sind zeit-, material- und energieintensiv. Je nach Verfahren werden unterschiedlichste Hilfsstoffe wie Schutzgase, Schweisszusatzwerkstoffe usw. benötigt. Das Schmelzschweissen definiert sich im Anschmelzen und anschliessendem Zusammenfliessen der entstandenen Schmelzmasse. Dieser Vorgang findet ohne Anwendung von Kraft mit oder ohne einem Schweisszusatz statt. Selbst bei identischen Schweissergebnissen kann die Energieeffizienz des gesamten Prozesses sehr unterschiedlich sein. Intelligente Schweissverfahren haben einen wesentlichen Einfluss auf den Einsatz von Energien, Materialien und Manpower. Das liegt daran, dass das jeweilige Verfahren die vor- und nachgeschalteten Fertigungsschritte direkt beeinflusst oder bestenfalls eliminiert. Ein Bewertungssystem für alle Fügeverfahren mit einer entsprechenden Gegenüberstellung existiert nicht, wodurch Energieabschätzungen nur ein relatives Ergebnis liefern.

## Die Bewertungskriterien



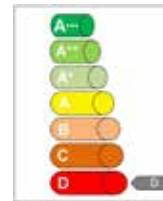
Das Thema Energieeffizienz steht im Zentrum einer Vielzahl bedeutender gesellschaftlicher, ökologischer, technologischer sowie wirtschaftlicher Diskussionen. Unternehmen versuchen ihre Prozesse nach dem Prinzip der Erreichung des gewünschten Output mit minimalem Aufwand zu verbessern. Dabei muss der richtige Output in hoher Qualität und schnell unter Berücksichtigung des Energieeintrags, der Schweissgeschwindigkeit und den Kostenwirkungsgrad erzielt werden. Auch wenn der Rückgang des Energieverbrauchs und das damit

zu generierende Potenzial im Grundsatz unbestritten ist, bestehen in der Praxis Hürden. Entsprechende Instrumente, um den Nutzen der Energieeffizienz transparent zu gestalten und Investitionsentscheidungen umweltfreundlicher zu treffen, existieren nicht.

Neben dem Kriterium des Stromverbrauchs wird die Einteilung der Energieeffizienz in diesem Beitrag in verschiedene Kategorien festgelegt. Dazu zählen Faktoren wie Zeit, Kosten, Qualität, Kapazität, Flexibilität, Integration und Komplexität. Im Bewertungsverlauf wurden für diese Kriterien sieben unterschiedliche Energieklassen definiert. Vom ungünstigen D bis zum Top - Wert A+++ wurde eine Abschätzung vorgenommen.

Von diesem Hintergrund betrachtet der Autor das Gesamtergebnis eines Schmelzschweissverfahrens, wohl aber muss bei der Interpretation der Ergebnisse immer die Qualität der verwendeten Datenbasis miteinbezogen werden.

## Zu den bekanntesten Schmelzschweissverfahren zählen: Gasschmelzschweissen



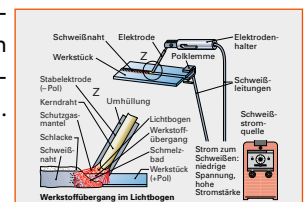
Gasschmelzschweissen (auch als Autogenschweissen bekannt) ist eine alte, aber immer noch genutzte Methode. Das Metall wird mit einer Brennerflamme bis zum Schmelzpunkt erhitzt. Die benötigte Ausrüstung besteht aus einer Acetylen- und einer Sauerstoffflasche mit einem Mischerventil am Brenner. Die Temperatur der Flamme beträgt ca. 3200°C. In den meisten Fällen wird bei diesem Verfahren ein Schweißdraht als Zusatzwerkstoff verwendet. Aufgrund einer gemächlichen Schweissgeschwindigkeit und einer beachtlichen Werkstück-Verformung durch hohe Hitzeeinwirkungen verliert dieses Verfahren zunehmend aus Kosten- und Effizienzgründen an Bedeutung.

## Lichtbogenhandschweissen



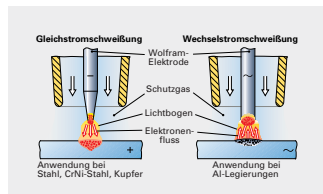
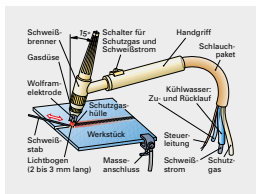
Das Lichtbogenhandschweissen (auch als Elektroden - Handschweissen bezeichnet) ist eines der ältesten elektrischen Schweissverfahren für metallische Werkstoffe und funktioniert mithilfe eines elektrischen Stromflusses. Der Schweisslichtbogen ist mehrere tausend Grad heiss und dient als Wärmequelle zum Aufschmelzen des Werkstoffs an der Fügezone. Je nach Verfahren gibt es abschmelzende und nicht abschmelzende Elektroden, sowie frei brennende und eingeschnürte Lichtbögen. Die Temperatur des Lichtbogens wird ausschliesslich von der Spannung und dem Strom bestimmt. Daher können Lichtbogenschweissprozesse über die Spannung gut geregelt werden. In der Ökobilanz verursacht das Elektroden-Handschweissen jedoch die grössten Umweltschäden, aufgrund der freigesetzten Gase. Schweissgeräte zum E-Handschweissen sind verhältnismässig klein und preisgünstig.

© *Fachkunde Metall, 58. Auflage 2017, Verlag Europa-Lehrmittel*



**Wolfram-Inertgas-Schweissen (WIG)**

Beim WIG-Schweissen brennt ein elektrischer Lichtbogen zwischen Werkstück und einer Wolframelektrode. Es braucht eine nicht abschmelzende Elektrode aus Wolfram und ein Gas (meist Helium oder Argon), welches die Oxidation verhindert. Oftmals wird ein Zusatzwerkstoff in Form eines Schweißdrahtes zum Verbinden hinzugegeben. Die Wolframelektroden sind in verschiedenen Durchmessern und Längen erhältlich und müssen je nach Stromart geschliffen werden. Beim Gleichstromschweissen werden die Elektroden wie Bleistifte zugespitzt, wohingegen für das Wechselstromschweissen eine abgerundete Form der Elektroden notwendig ist. Das WIG-Schweissen ist ein Verfahren, mit welchem nahezu jedes schmelzschweißfähige Material bearbeitet werden kann. Der Einsatz kann für fast alle Schweissungen in Wurzel- und Zwangslage stattfinden. Das WIG-Schweissen ist im Vergleich zu anderen Verfahren deutlich langsamer, doch es entstehen hervorragende Schweissnähte und es ermöglicht eine einfache Schweissbadkontrolle. Damit kommt dieses Verfahren besonders bei kleineren und kürzeren Schweissstellen bevorzugt zur Anwendung. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass beim WIG Schweissen ein beachtenswerter Verzug am Bauteil entsteht. Ausserdem liegt die Anfangsinvestition im Vergleich zum MIG/MAG-Schweissen höher, was sich jedoch in der erreichten Qualität widerspiegelt. WIG-Schweissen gilt als „sauberes“ Schweissverfahren, bei dem nur wenig Schweissrauch entsteht, weshalb es oftmals unterschätzt wird. Das Verfahren birgt nicht zu unterschätzende Gesundheitsgefahren: Schweisser sind einem hohen Grad an Stickstoffoxiden und Ozon ausgesetzt.



© Fachkunde Metall, 58. Auflage 2017, Verlag Europa-Lehrmittel

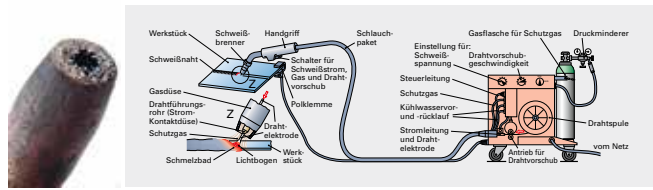
**Metallschutzgasschweissen(MIG/MAG)**

Beim Metallschutzgasschweissen, (auch als Schutzgasschweissen bezeichnet) handelt es sich um ein Lichtbogenschweißverfahren, welches sich in die Verfahren MIG-Schweissen und MAG-Schweissen einteilt. Bei beiden Verfahren wird ein abschmelzender Schweißdraht mit veränderbarer Geschwindigkeit kontinuierlich nachgeführt. Um die Werkstoffe vor Oxidation zu schützen, wird zusätzlich ein Gas zugeführt.

- Beim MIG-Schweissen (Metallschweissen mit inerten Gasen) wird meistens Argon oder Helium Gas verwendet. Das Verfahren wird für Nichteisenmetalle eingesetzt.
- Beim MAG-Schweissen (Metallschweissen mit aktiven Gasen) wird entweder ein Gemisch aus Argon und Stickstoff oder Stickstoff genutzt. Es eignet sich für alle eisenhaltige Metalle.



Beide Verfahren erlauben sehr lange und regelmässige Schweissnähte und stehen nicht nur zur manuellen Anwendung zur Verfügung. Spritzer und verstopfte Schweißdüsen sorgen beim Roboterschweissen für instabile Prozesse, schlechte Schweissergebnisse und häufig muss der Produktionsprozess unterbrochen werden, um die Düsen von Schweisserspritzern reinigen zu können. Die Energieeffizienz verlangt hier weniger Spritzer, eine deutlich höhere Schweissgeschwindigkeit, sowie eine signifikant verbesserte Spaltüberbrückung.



© Fachkunde Metall, 58. Auflage 2017, Verlag Europa-Lehrmittel

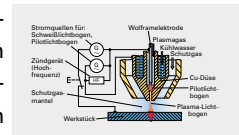
**Orbitalschweissen**

Ist ein automatisiertes Schutzgasschweißverfahren WIG oder MSG, bei dem der Lichtbogen maschinell ohne Unterbrechung, ausschliesslich 360 Grad um einen Rundkörper herumgeführt wird. Das Orbital-schweißverfahren kommt vorzugsweise im Rohrleitungsbau zur Anwendung. Der Vorteil des WIG-Orbitalschweissens ist die einfache Reproduzierbarkeit. Alle Schweisssequenzen lassen sich abspeichern und beliebig oft wiederholen. Schweissfehler, die sich bei einem manuellen Schweissprozess einschleichen können, sind daher auszuschliessen. Neben der Berücksichtigung der richtigen Schutzgase müssen eine Vielzahl von Prozessparametern beachtet werden, um unzulässige Porenbildungen zu vermeiden. Beim Einsatz des WIG-Orbitalschweissens verändert sich die Schweissposition kontinuierlich und das Schmelzbad ist permanent dem Einfluss der Schwerkraft ausgesetzt. Von besonderer Wichtigkeit ist hier die Nahtvorbereitung.



**Plasmaschweissen**

Beim Plasmaschweissen wird ein hocherhitztes Gasmisch aus Helium und Argon oder Argon und Wasserstoff benutzt, welches die Schmelze vor Oxidation schützt und den Lichtbogen stabilisiert. Dabei brennt der Lichtbogen zwischen einer nicht abschmelzenden Elektrode und dem Werkstoff. Der als Wärmequelle genutzte Plasmastrahl entsteht durch die hohe Energiezufuhr, die das Schutzgas in einen elektrisch leitenden Zustand bringt. Ähnlich wie beim WIG-Schweissen bildet sich der Lichtbogen auch beim Plasmaschweissen zwischen einer nicht abschmelzenden Wolframelektrode und dem Grundwerkstoff. Im Gegensatz zum WIG-Schweissen wird der Lichtbogen hier durch die Schweißbrenner-Konstruk-



© Fachkunde Metall, 58. Auflage 2017, Verlag Europa-Lehrmittel

tion mittels einer wassergekühlten Kupferdüse eingeschnürt, was eine vergleichsweise höhere Leistungsdichte bewirkt. Plasmaschweißen eignet sich für alle elektrisch leitenden Werkstoffe. Es wird weit verbreitet eingesetzt und umfasst beispielsweise Einsatzbereiche in der Mikroschweißtechnik und dem Rohrleitungsbau.

Das Verbindungsschweißen mit Plasma wird in drei Verfahrensvarianten aufgeteilt:

- Mikroplasma-Schweißen für dünnste Blechdicken ab 0,01 mm
- Plasmaschweißen für Blechdicken von 1 -3 mm
- Plasma-Stichloch-Schweißen bis ca. 8 mm in einer Lage Stichloch (Keyhole) benötigt eine teure Vorbereitung und aufwendige Technik. Fast alle Metalle und deren Legierungen sind schweisbar, wobei die Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe möglich ist.

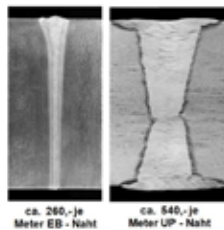
### Unterpulverschweißen



Das Unterpulverschweißen (UP-Schweißen) ist ein Lichtbogenschweißverfahren mit abschmelzender Draht- oder Bandlektrode. Der Lichtbogen und das Schmelzbad sind durch ein körniges Pulver abgedeckt. Dieses Pulver bildet Schlacke, was der Schweißzone einen Schutz vor dem Einfluss der Atmosphäre bietet. Ein hoher thermischer Wirkungsgrad durch die Pulverabdeckung führt zu einer hohen Abschmelzleistung und somit zu einem sehr hochwertigen Ergebnis. Das Verfahren wird vor allem zum Schweißen langer Nähte und grossen Blechdicken > 8 mm eingesetzt, wobei es vorwiegend industriell genutzt wird. Nachteile liegen in der aufwendigen Nahtvorbereitung, Bedarf an Zusatzwerkstoffen, der grossen Schweißzeit, sowie der grossen benötigten Energiemenge. Als Alternative bietet sich das Elektronenstrahlschweißverfahren (EB-Verfahren) an.

Kostengegenüberstellung des Elektronenstrahlschweißens (EB) gegenüber dem Unterpulverschweißen (UP) wird der Vorteil besonders deutlich.....

	EB	UP
Anzahl der Lagen:	1	157
Schweißzeit pro Meter:	8.3 min.	314 min.
Maschinenstundensatz:	350,-	150,-
Maschinenebenzeit:	20 min.	0 min.
Nebenzeit für Auf- und Abspannen (geschätzt):	30 min.	30 min.
Zusatzwerkstoff pro Meter:	entfällt	32 Kg



### Laserschweißen



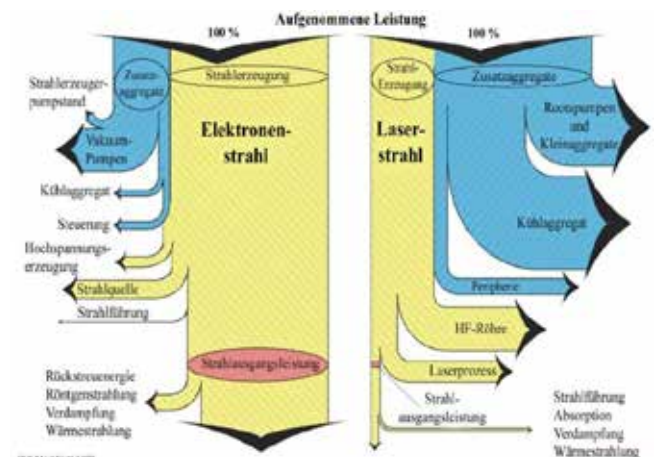
Dieses Verfahren wird vor allem zum Verschweißen von Bauteilen mit geringen Schweißstiefen eingesetzt. Der Laserstrahl wird mittels einer Optik auf dem Werkstück fokussiert. Beim Schweißen von glänzenden Werkstoffen können Schwierigkeiten auftreten, da z.B. Kupfer stark lichtreflektierend reagiert, was das Aufschmelzen der Oberfläche äusserst problematisch gestaltet. Ein Grossteil der Laserleistung wird von der glänzenden Oberfläche absorbiert, was eine Erhöhung der

eingesetzten Energie erfordert. Dies ist je nach Werkstoff unterschiedlich und ist Winkel-, Temperatur-, Polarisations- und Wellenlängen abhängig. Im Wellenlängenbereich eines eingesetzten Festkörperlaser mit 1 µm Laserwellenlänge ist ein deutlich geringerer Absorptionsgrad von Kupfer im Vergleich zu Stahlwerkstoffen festzustellen. Darüber hinaus gibt es bei Schweißprozessbeginn eine kritische Bereichszone des Kupfers, welche zu starken Schwankungen in der Einschweißtiefe und einer geringen Reproduzierbarkeit des Schweißergebnisses führt. Eine Mehrstrahlbad - Technik bei einer Laseranwendung ist prinzipiell möglich, jedoch ist diese technisch aufwendig, diffizil und wartungsintensiv. Um die Schweißstelle vor Oxidation zu schützen, wird diese stetig mit hochreinem Argon umspült, welches schwerer als Luft ist und somit Sauerstoff verdrängt. Speziell beim Laserschweißen ist zusätzlich ein Strahlenschutz zu integrieren, welcher bei anderen Verfahren nicht nötig oder beim EB-Schweißverfahren bereits durch die Vakuumkammer gegeben ist.

### Elektronenstrahlschweißen



Beim Fügeverfahren Elektronenstrahlschweißen werden Elektronen in einem Triodensystem, bestehend aus Kathode, Steuerelektrode und Anode durch thermische Emission in einem hohen Vakuum (< 10<sup>-4</sup> mbar) freigesetzt und beschleunigt bzw. zu einem kleinen Fleck (Durchmesser 0.1 mm) auf die zu verschweißende Werkstückoberfläche fokussiert. Die Elektronen werden mit einer Geschwindigkeit von etwa 2/3 der Lichtgeschwindigkeit auf das Werkstück geschossen und dabei erfolgt eine Wärmeumwandlung, was den Werkstoff zum Schmelzen bringt. Der Elektronenstrahl hat eine deutlich höhere Energiedichte als ein Laserstrahl und ist zudem kleiner. Der Schweißvorgang erfolgt meistens im Vakuum, da der Elektronenstrahl von der Luft absorbiert wird. Dies hemmt den Fertigungsprozess beim Werkstückwechsel. Das Vakuum ist für den Schweißprozess bestens geeignet, da es keine Reaktionen zwischen der Werkstückschmelze und der Luft gibt. Durch das Vakuum können reaktive Materialien wie Titan ohne Oxidationsrisiko mit viel höherer Geschwindigkeit als z.B. beim Lichtbogenschweißen geschweisst werden. Bei der Beurteilung der Gesamtproduktivität muss der Zeitaufwand



für die Evakuierung der Vakuumkammer berücksichtigt werden. Mit einer hohen Schweissgeschwindigkeit (bis 120mm/sec.) können schmale und schlanke Verbindungsnahte mit einem sehr geringen thermischen Verzug eingebracht werden. Daraus folgen extrem geringe Schrumpfungen und Verzüge gegenüber dem Lichtbogenschweisverfahren und dem Laserstrahlschweissen.

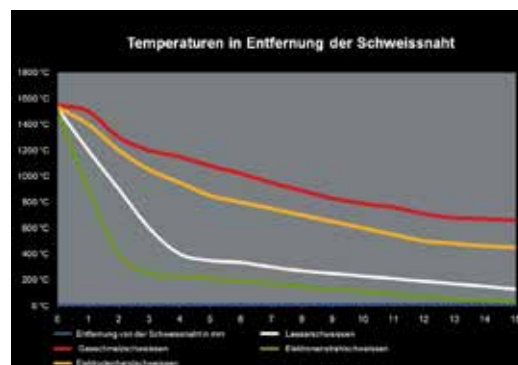
Das Elektronenstrahlschweissen wird in der Regel ohne Zuführung eines Zusatzwerkstoffes ausgeführt und kann sehr komfortabel mit einer Mehrstrahlbad -Technik betrieben werden. Die hohe Flexibilität dieses Verfahrens ermöglicht es von dünnen Folien mit 0.1mm bis hin zu sehr dicken Materialien, wie beispielsweise Stahl mit 100mm Schweisstiefe, in einem Arbeitsgang zu schweissen.



Zudem ist das Verfahren prädestiniert, um schwierige Materialien, hochschmelzende oder gasempfindliche Materialkombinationen zu schweissen. Magnetische Materialien müssen vor dem Schweißen entmagnetisiert werden, da das Magnetfeld sonst den Elektronenstrahl ablenken könnte. Der Gesamtwirkungsgrad des Energieumwandlungsprozesses von Eingangsstrom zu einer Ausgangsstrahlleistung ist gegenüber dem Laserschweissen deutlich höher und effizienter. Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit sind deutliche Zeichen die neuerdings in den EU-Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) geregelt werden. Die Ökobilanzierung ist eine Methode zur Abschätzung der Umweltwirkung eines Produktes oder Prozesses. Diese gesetzlichen Vorgaben werden mit Bravour beim Elektronenstrahlschweisverfahren erfüllt. Das Elektronenstrahlschweissen weist eine ausserordentlich hohe, reproduzierbare Qualität der Schweissresultate auf. Das zeigen auch unzählige Anlagen, die vor über 40 Jahren in Betrieb genommen wurden und heute noch zuverlässig ihren Dienst leisten.

### Fazit

Bei der Untersuchung von Energieeffizienz muss der komplette Herstellungsprozess betrachtet werden. Bei der Auswahl des optimalen Schweissverfahrens bietet das Elektronenstrahlschweis-Verfahren durch dessen Prozesseigenschaften viele Möglichkeiten, die Energieeffizienz sowie Herstellungskosten in den vor- und nachgelagerten Herstellungsprozessen zu senken.



Das EB-Verfahren gilt aufgrund mehrerer Faktoren als eine der besten Schweißmethoden der Fertigung. Der erste Grund ist die absolut geringe Wärmeeinbringung und die damit verbundene minimale Aufschmelzzone. Damit werden geringste Schrumpfungen und Verzugskonstante erreicht. Wenn weniger Metall geschmolzen wird, sind die Schrumpfungen und der Verzug sehr gering. Somit können präzisionsbearbeitete Komponenten mit geringem oder keinem sekundären Bearbeitungsaufwand miteinander verschweisst werden. Die Automobilindustrie fordert, dass Hartteile mittels Mehrstrahlbad – Technik zu verschweissen sind. Diese Technik lässt sich mit dem Elektronenstrahlverfahren sehr einfach und effizient realisieren. Weiterer Gründe sind im Vergleich zum Laserschweissen neben dem hohen Wirkungsgrad der Wärmenutzung, die geringe gehaltenen Betriebskosten. Der spezifische Verbrauch an Gasen, Energien und Kühlungen gestaltet sich beim Laserschweissen deutlich höher. Das Elektronenstrahlschweissen gilt als das Verfahren, welches den umfangreichsten Bereich der thermisch fügen Werkstoffe abdeckt und macht damit das Verfahren zum effizientesten Schmelzschweisverfahren. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die eigentlichen Schweißkosten nur bedingt betrachtet werden können. Daher kann nur über eine Beurteilung der kompletten Fertigungskette eine Aussage über mögliche Einsparpotentiale getroffen werden kann. Das Kosteneinsparpotential liegt oftmals in den vor- und nach- gelagerten Prozessen.

Dass bessere und schnellere Massnahmen in der Zukunft für den Klimaschutz nötig sind liegt auf der Hand. Effizienz ist eine umfassende Aufgabe und jeder kann zu jeder Zeit selbst etwas tun oder bewusst unterlassen. Auch die Wirtschaft kann durch ein hinreichend kluges Handeln in eine klimaschonendere Zukunft führen.■