

# Energy efficiency in welding technology!

There is an intense global debate about solutions to our energy and environmental problems. Energy efficiency in relation to climate change is one of the most important issues today. Currently, 75% of the energy supply is based on the consumption of non-renewable (nuclear and fossil) energy. Increasing energy shortages as well as climate problems demand a significant reduction in the use of non-sustainable energy sources. An efficient use of energy is therefore absolutely paramount to the preservation of our livelihood.

*Peter Schmidt, 8964 Rudolfstetten*

Joining processes consume significant amounts of energy and resources. The generation of energy efficiencies is a technologically and economically complex subject area. Not only electrical performance data should be evaluated, but a holistic view of the manufacturing process should be considered as well. Among other things, this includes work and weld seam preparation and the positioning of the parts being welded. In addition, the energy input, degree of melting, welding speed and cost efficiency should also be examined. Repairing welds, the correction of welding defects, the removal of spatter and straightening due to thermal distortion are also contributing factors. These efforts consume time, material and energy. Depending on the process, a wide variety of auxiliary materials such as inert gases, welding consumables, etc. are required. Fusion welding is defined as the melting and subsequent merging of the resulting molten mass. This process takes place without the application of force and with or without a filler metal. The energy efficiency of the entire process can vary greatly, even with identical welding results. Intelligent welding processes have a significant influence on the use of energy, materials and manpower. This is because each process directly influences the upstream and downstream production steps or at best eliminates them. A system for evaluating all joining processes with relevant comparison data does not exist, which means that energy estimations only provide a relative result.

### The evaluation criteria

The topic of energy efficiency is at the center of a large number of important social, ecological, technological and economic discussions. Companies are trying to improve their processes according to the principle of attaining the desired

output with minimal effort. The right output can be achieved in high quality and quickly while taking into account the energy input, welding speed and cost efficiency. Even though the reduction in energy consumption and the potential it offers is undisputed in principle, there are still some hurdles. Suitable tools that indicate the benefits and transparency of energy efficiency and make investment decisions more environmentally friendly do not exist. In addition to the criterion of electricity consumption, this paper breaks down and classifies energy efficiency into different categories. These include factors such

time, cost, quality, capacity, flexibility, integration and complexity. During the evaluation process, seven different energy classes were defined for these criteria. The estimates ranged from the unfavorable D to the top value A+++.

In this context, the author evaluates the overall result of a fusion welding process, but the quality of the database used must always be taken into account when interpreting the results.

### The most common fusion welding processes include:

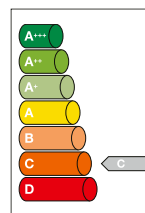
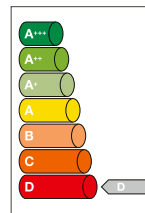
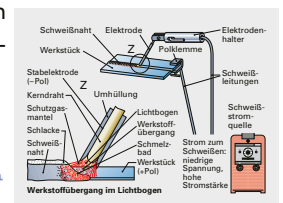
**Gas fusion welding**

Gas fusion welding (also known as autogenous welding) is an old method still in use today. The metal is heated to the melting point with a torch flame. The required equipment consists of an acetylene and an oxygen cylinder with a mixing valve on the torch. The temperature of the flame is approx. 3200 °C. In most cases, a welding wire is used as filler material in this process. Due to a slow welding speed and considerable workpiece deformation caused by high heat effects, this process is becoming less and less desirable for cost and efficiency reasons.

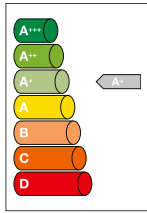
### Lichtbogenhandschweissen

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

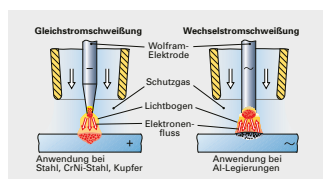
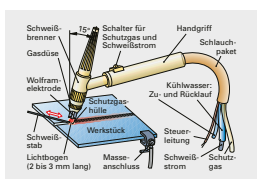


**Wolfram-Inertgas-Schweissen (WIG)**



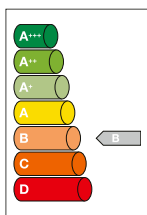
Beim WIG-Schweissen brennt ein elektrischer Lichtbogen zwischen Werkstück und einer Wolframelektrode. Es braucht eine nicht abschmelzende Elektrode aus Wolfram und ein Gas (meist Helium oder Argon), welches die Oxidation verhindert. Oftmals wird ein Zusatzwerkstoff in Form eines Schweißdrahtes zum Verbinden 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.

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

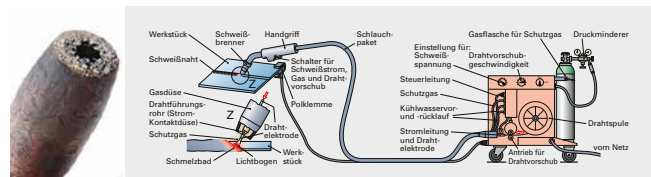
**Metallschutzgasschweissen(MIG/MAG)**



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.

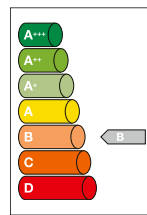
- Beim MIG-Schweissen (Metallschweissen mit inerten Gasen) wird meistens Argon oder Helium Gas verwendet. Das Verfahren wird für Nichteisenmetalle eingesetzt.
- Beim MAG-Schweissen (Metallschweissen mit aktiven Gasen) wird entweder ein Gemisch aus Argon und Stickstoff oder Stickstoff genutzt. Es eignet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

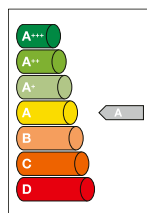
**Orbitalschweissen**



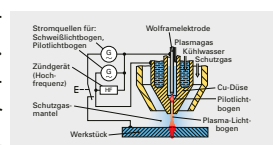
Ist ein automatisiertes Schutzgasschweissverfahren WIG oder MSG, bei dem der Lichtbogen maschinell ohne Unterbrechung, ausschliesslich 360 Grad um einen Rundkörper herumgeführt wird. Das Orbitalschweissverfahren kommt vorzugsweise im Rohrleitungsbau zur Anwendung. Der Vorteil des WIG-Orbitalschweissens 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.

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-Konstruktion mittels einer wassergekühlten Kupferdüse eingeschnürt, was eine vergleichsweise höhere



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

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:

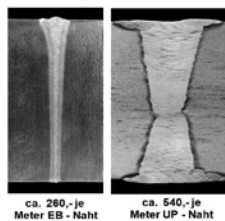
- Mikroplasma-Schweißen für dünnste Blechdicken ab 0,01 mm
- Plasmaschweißen für Blechdicken von 1–3 mm
- Plasma-Stichloch-Schweißen bis ca. 8 mm in einer Lage Stichloch (Keyhole) benötigt eine teure Vorbereitung und aufwendige Technik. Fast alle Metalle und deren Legierungen sind schweisbar, wobei die 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 >8mm 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,-
Maschinennebenzeit:	20 min.	0 min.
Nebenzeit für Auf- und Abspannen (geschätzt):	30 min.	30 min.
Zusatzwerkstoff pro Meter:	entfällt	32 Kg



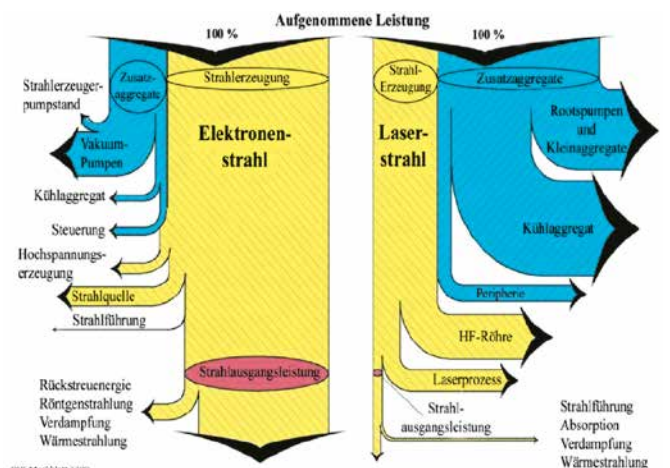
**Laserschweißen**

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 1µm 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**

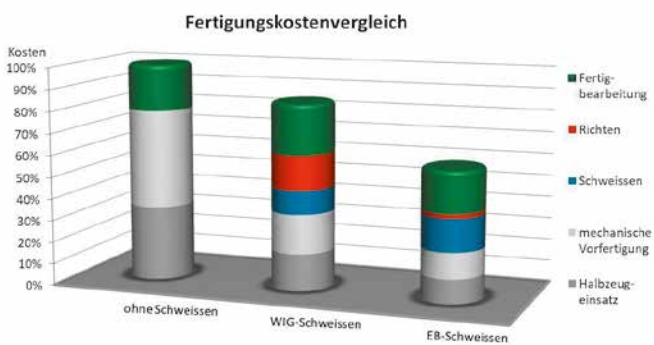
Beim Fügeverfahren Elektronenstrahlschweißen werden Elektronen in einem Triodensystem, bestehend aus Kathode, Steuerelektrode und Anode durch thermische Emission in einem hohen Vakuum (< 10<sup>-4</sup> mbar) freigesetzt und beschleunigt bzw. zu einem kleinen Fleck (Durchmesser 0.1 mm) auf die zu verschweißende 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 berück-





sichtigt werden. Mit einer hohen Schweissgeschwindigkeit (bis 120 mm/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 0.1 mm bis hin zu sehr dicken Materialien, wie beispielsweise Stahl mit 100 mm Schweisstiefe, in einem Arbeitsgang zu schweissen.

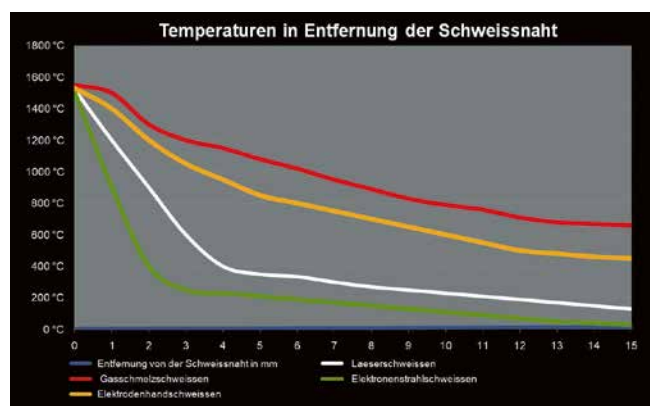
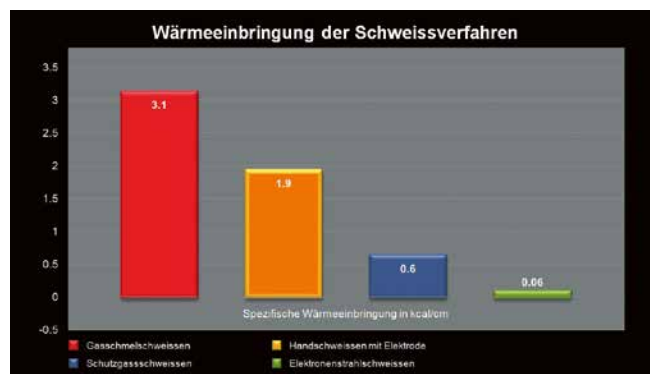


Zudem ist das Verfahren prädestiniert, um schwierige Materialien, hochschmelzende oder gasempfindliche Materialkombinationen zu schweissen. Magnetische Materialien müssen vor dem Schweißen entmagnetisiert werden, da das Magnetfeld sonst den Elektronenstrahl ablenken könnte. Der Gesamtwirkungsgrad des 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.

Aufgrund mehrerer Faktoren als eine der besten Schweissmethoden der Fertigung. Der erste Grund ist die absolut geringe Wärmebringung und die damit verbundene mi-



(Bildquellen: Steigerwald Strahltechnik GmbH und SwissBeam AG)

nimale 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 fügbaren 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 Kosteneinsparpotenzial liegt oftmals in den vor- und nachgelagerten 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.■