



Licht bei der Arbeit

Licht als Werkzeug in der Fertigung und wie es Energie macht

11. Februar 2010

Zwei Dimensionen wichtig: Zum einen dient das Werkzeug Licht der modernen Fertigungstechnik für die Herstellung so unterschiedlicher Produkte wie Autos, Pipelines oder Chips. Zweitens wird der Rohstoff Licht für die Energieerzeugung wichtiger. Das Spektrum umfasst die Photovoltaik, die Nutzung der Solarthermie (z.B. im Rahmen von Desertec), aber auch den Laserreaktor, der einen gangbaren Energiepfad in eine sorgenfreie Energie- und Klimazukunft aufzeigt.

Schlüsseltechnologien für die Zukunft: Mit dem Laser schuf man ein Universalwerkzeug, das neue Nutzungshorizonte öffnet. Das Licht revolutioniert so heterogene Segmente wie die Medizin- und Messtechnik, die Konsumelektronik, Information und Kommunikation sowie Techniken zur Bearbeitung von Materialien wie Metalle oder Kunststoffe. Überdies ist Licht die Quelle aller solaren Energien.

Lichtbranchen auf Wachstumskurs: Spätestens ab 2011 wächst die Produktion in der Laser-Materialbearbeitung wieder zweistellig. Schon 2010 (2011) expandieren die Umsätze mit Lithographiesystemen um 50% (30%). Die Fertigung der optischen Bildverarbeitung und Messtechnik steigt bis 2020 um 5% p.a. Global erreicht das PV-Wachstum bis 2020 sogar über 20% p.a. Solarthermie bekommt bis 2050 Impulse von Desertec. Der Laserreaktor wird dann frühestens fertig.

Der deutsche Fertigungsanteil erreicht knapp 15% im Durchschnitt der weltweiten optischen Technologien (OT) Produktionstechnik, Bildverarbeitung und Messtechnik, Medizin-, Beleuchtungs- und Energietechnik. Damit ist Deutschland in der Breite und Summe dieser OT im engeren Sinne führend. Keine große Rolle spielt Deutschland dagegen (auch künftig) auf den globalen OT-Volumenmärkten Informationstechnik und Flachdisplays. Fertigungsnahe OT steigern als „Enabling Technologies“ die Wettbewerbsfähigkeiten großer heimischer Industriebranchen.

Licht ist wichtig für Wachstum: Bereits in der Hightech-Strategie der alten Bundesregierung waren die OT eines von 17 Innovationsfeldern. Für den Technologie- und Industriestandort Deutschland ist wichtig, dass Schwarz/Gelb den OT einen erneut hohen Stellenwert in einer weiterentwickelten Zukunftsstrategie einräumt.

www.
dbresearch.de

Autor

Josef Auer
+49 69 910-31878
josef.auer@db.com

Editor

Tobias Just

Publikationsassistenz

Sabine Berger

Deutsche Bank Research
Frankfurt am Main
Deutschland

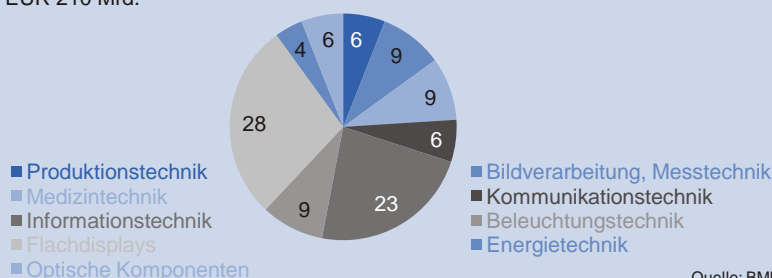
Internet: www.dbresearch.de
E-Mail: marketing.dbr@db.com
Fax: +49 69 910-31877

DB Research Management

Thomas Mayer

Weltmarkt OT ist breit gefächert

2005, EUR 210 Mrd.



Quelle: BMBF (2007)

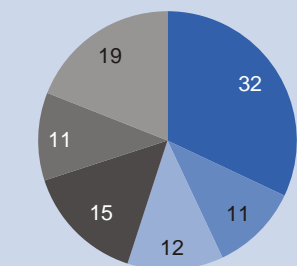
OT: Einsatzfelder & Produktbeispiele

- Industrielle Produktionstechnik**
Systeme zur Lasermaterialbearbeitung
Lithographiesysteme
Laserquellen für industr. Produktionstechnik
Optiken für Waferstepper
- Bildverarbeitung und Messtechnik**
Bildverarbeitungssysteme und Komponenten
Spektrometer und -module
Halbleitertesstechnik
Faseroptik-Messtechnik
- Medizintechnik und Life Science**
Brillengläser, Kontaktlinsen
Lasertherapiesysteme
Endoskopiesysteme
Mikroskope; Biotechnologie
- Kommunikationstechnik**
Systeme u. Komponenten für optische Netze
- Informationstechnik, Konsumelektronik**
Optische Datenspeicher
Laserquellen für Drucktechnik
Laserdrucker, -kopierer, Fax u.a.
Digitalkameras, Camcorder, Scanner
- Beleuchtungstechnik**
Lampen, LEDs, OLEDs
- Flachdisplays**
LCD-, OLED-Displays
Plasmadisplays, Displayglas, Flüssigkristalle
- Energietechnik**
Solarzellen, -module
- Optische Geräte und Komponenten**
Optische Komponenten, Glas und Systeme

Quelle: BMBF. Optische Technologien (2007)

OT-Weltmarkt: Asien stark bei IT und Flachdisplays

2005, in %



- JP
- TW
- KR
- Nordamerika
- Sonstige (inkl. CN)
- Europa

Quelle: Photonics in Europe (2007)

1

1. Vom Licht zur Lichttechnik

Für den frühen Homo Sapiens war das Licht zunächst die eine Seite des Tag-Nacht-Rhythmus. Er konnte das Wechselspiel des Lichtes zwar beobachten und interpretieren, aber nicht erklären. Kein Wunder deshalb, dass Lichtphänomene wie der Lauf von Sonne und Mond, Blitze oder auch Regenbögen zu mythologischen Deutungen inspirierten. Später nutzte der Mensch Feuersteine, Lagerfeuer, Kerzen und Öllampen zum Lichtmachen. Vor diesem Hintergrund war die Deutung des Lichts als Welle durch Christiaan Huygens (1678), also vor mehr als 330 Jahren, ein Quantensprung im Verständnis und für die spätere Nutzbarmachung als Werkzeug. Wissenschaftliche Arbeiten von Albert Einstein, der 1905 den Photoelektrischen Effekt entdeckte, Werner Heisenberg und Erwin Schrödinger ebneten den Weg und führten Theodore Maiman 1960 zum ersten Festkörperlaser.¹

50 Jahre später hat sich rund um die Basisinnovation Laser ein breites Anwendungsspektrum etabliert und immer neue Nutzungsmöglichkeiten kommen hinzu. Die Technologiepfade sind nach unserer Einschätzung noch keineswegs „ausgereizt“, sondern bergen noch viel Potenzial und Überraschungen.

In den letzten Jahren subsumiert die Fachwelt die vielfältigen und heterogenen Anwendungen der Lasertechnik immer öfter unter dem Begriff „Optische Technologien“ (OT). Folgt man der Gruppierung wie sie das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) oder das auf die Lasertechnologien spezialisierte Beratungsunternehmen Optech Consulting zugrunde legt, dann sind neun Anwendungsfelder zu differenzieren.

2. Deutschland glänzt in der Breite der OT

Der OT-Weltmarkt erreicht nach Berechnungen von Optech Consulting ein Volumen von EUR 210 Mrd. Dominiert wird er von den Einsatzfeldern Flachdisplays und Informationstechnik, deren Produktion zusammen für gut die Hälfte des Gesamtumsatzes steht. Mit einem Produktionsvolumen von EUR 16,3 Mrd. kommt Deutschland auf einen OT-Weltmarktanteil von 8%. Damit liegt es hinter Japan (32%), Nordamerika (15%), Korea (12%) und Taiwan (11%). Allerdings steuert Europa weltweit insgesamt nur 19% bei, so dass der Anteil Deutschlands in Europa fast 40% erreicht. Damit ist Deutschland in Europa führend vor Frankreich, Großbritannien, den Niederlanden und Italien.

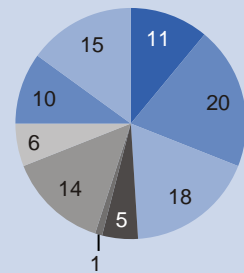
Diese Zahlen, die den OT-Weltmarkt in einer sehr weiten Abgrenzung abbilden, bedürfen allerdings einer genaueren Analyse. Dabei zeigt sich, dass die Präsenz der Deutschen auf den globalen Märkten der OT keineswegs gleichmäßig ist. Auffällig ist vor allem, dass Deutschland auf den beiden großen Volumenmärkten, den Flachdisplays und der Informationstechnik, mit Weltmarktanteilen von 6% und 1% keine große Rolle spielt. Hier dominieren die asiatischen Länder und Nordamerika. Im Gegensatz dazu sind deutsche Unternehmen in den anderen Segmenten stark vertreten.

Berücksichtigt man die Anwendungsbereiche Flachdisplays und Informationstechnik nicht, gewinnt ein anderes Bild Kontur: Hier

¹ Laser steht für Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.



Umsatz produzierender OT-Unternehmen in DE 2005, EUR 16,3 Mrd.



- Produktionstechnik
- Bildverarbeitung, Messtechnik
- Medizintechnik
- Kommunikationstechnik
- Informationstechnik
- Beleuchtungstechnik
- Flachdisplays
- Energietechnik
- Optische Komponenten

Quelle: BMBF (2007)

2

kommt Deutschland nämlich auf beachtliche weltweite Produktionsanteile von bis zu 15%, teilweise auch mehr. Namentlich sind dies die Segmente Produktionstechnik, Bildverarbeitung/Messtechnik, Medizin-, Beleuchtungs- und Energietechnik sowie die optischen Komponenten und Systeme. Im Durchschnitt dieser OT-Kernbereiche, dem OT-Weltmarkt im engeren Sinne, erreicht der Standort Deutschland einen Fertigungsanteil von 15%. Und damit ist Deutschland in der Summe dieser OT – anders als in der weiten Fassung – weltweit führend.

3. Im deutschen Branchenranking Nr. 1

Die OT (inklusive Medizin-, Mess-, Steuer- und Regeltechnik) sind Deutschlands Zukunftsbranche Nummer eins vor der Pharmaindustrie. Das ist das Ergebnis des Mitte 2009 vom Institut der deutschen Wirtschaft (IW) veröffentlichten Branchenranking „Deutschlands Zukunftsbranchen“.² Hierzu hat das IW einen Zukunftsindex aus 27 Einzelindikatoren konzipiert, der die Zukunftsfähigkeit der Wirtschaftsbranchen vergleichbar macht. Grundsätzlich werden folgende quantitative und qualitative Faktoren jeweils mit 50% gewichtet.

- Bei den beiden quantitativen Einzelkomponenten „Makroökonomische Performance“ (gemessen an der Entwicklung der Bruttowertschöpfung und der Beschäftigung) und „Wachstumstreiber“ (Nachfrage, Investitionen, Produktivität, Technologie und Marktumfeld) belegt die OT-Branche zwar nur jeweils Platz sechs. Aber diese Einzelkomponenten gehen lediglich zu je 25% in die Berechnung ein.
- Den Erfolg verdankt die Licht-Branche der Expertenbefragung zu den Zukunftstrends, der technologischen Bedeutung sowie dem Marktumfeld. Dieses Urteil wird nämlich mit einem Gewicht von 50% berücksichtigt und hier schnitten die OT besonders gut ab.³

Das sehr gute Abschneiden der OT überrascht auf den ersten Blick, sind andere Branchen wie die chemische Industrie, die Elektrotechnik oder die Automobilindustrie doch in der medialen Öffentlichkeit wesentlich präsenter. Bei genauerem Hinsehen wird aber deutlich, dass gerade die Licht-Branche in den letzten Jahren aus der Nische getreten ist. Ursächlich dafür sind zwei Hauptgründe:⁴

- Grundlegend sind erstens Technologiesprünge und neue Anwendungsfelder. Die Branche dürfte hier auch künftig punkten. Die OT haben nämlich, akzentuiert die IW-Analyse, im Untersuchungsbereich Wachstumstreiber besondere Stärken in den Kategorien Technologie und Innovation. Dank der Spitzenwerte bei den Innovationsausgaben (Platz 1 unter den Branchen) und der Anzahl der Patente (Platz 2) dürfte es der Branche auch in Zukunft gelingen, die vergleichsweise geringe Dynamik der Inlandsnachfrage mittels international sehr wettbewerbsfähigen Produkten auf dem Weltmarkt mehr als zu kompensieren.
- Zweitens resultiert der Spitzenplatz der OT aus der frühen und weitsichtigen Förderung innovativer Projekte und dem damit verbundenen Aufbau notwendiger Netzwerkstrukturen am Produktions- und Forschungsstandort Deutschland. Gerade die guten

OT sind Nr. 1 im Ranking Zukunftsbranchen

Deutschland 2009, Gesamtindex

	Rang
OT*	1
Pharma	2
Maschinenbau	3
Sonstige Fahrzeuge	4
Automobilindustrie	5
NRF-Technik**	6
Chemie	7
Elektroindustrie	8
Unternehmensdienste	9
Versorgung	10
Logistik	11
Gummi/Kunststoff	12
Grundstückswesen/Wohnung	13
Gesundheits-/Sozialdienste	14
Büromaschinen	15

* inkl. Medizin-, Mess-, Steuer- u. Regeltechnik

** Nachrichten-, Rundfunk-, Fernsehtechnik

Quelle: IW Consult (2009)

3

² Vgl. IW (2009). Deutschlands Zukunftsbranchen. Branchenranking. Summary des Berichts. Köln. Juni.

³ Freilich gibt es bei der Wahl der Gewichtung kein richtig oder falsch. Aber selbst bei einer anderen Gewichtung hätten die OT einen recht guten Platz erzielt.

⁴ Vgl. IW (2009). S. 23.

Rahmenbedingungen in Deutschland, so die befragten Experten, ermöglichen es der Branche von den globalen Trends, der weltweiten Verflechtung⁵ und Wissensintensivierung zu profitieren und die Wettbewerbsposition weiter auszubauen.

Bereits in der Hightech-Strategie der alten Bundesregierung von 2006 wurden die OT als eines von 17 Innovationsfeldern hervorgehoben.⁶ Es spricht aus unserer Sicht viel dafür, dass die optischen Zukunftstechnologien auch von Schwarz/Gelb einen ähnlichen Stellenwert in einer weiterentwickelten Strategie eingeräumt bekommen sollten. Die personelle Kontinuität in der Leitung des BMBF deutet darauf hin.

4. Licht ist wichtig für Wachstum

Die OT sind Schlüsseltechnologien für die Zukunft. Mit dem Laser wird ein universelles technisches Werkzeug geschaffen, das völlig neue Nutzungshorizonte öffnet. Das Universalwerkzeug Licht revolutioniert so unterschiedliche Segmente wie die Medizin- oder Messtechnik, die Konsumelektronik, Informations- und Kommunikationstechnologien oder herkömmliche Formen der Materialbearbeitung. Dank seiner Vielseitigkeit ist das Werkzeug Licht, die Lasertechnologie, eine Querschnittstechnologie par excellence.

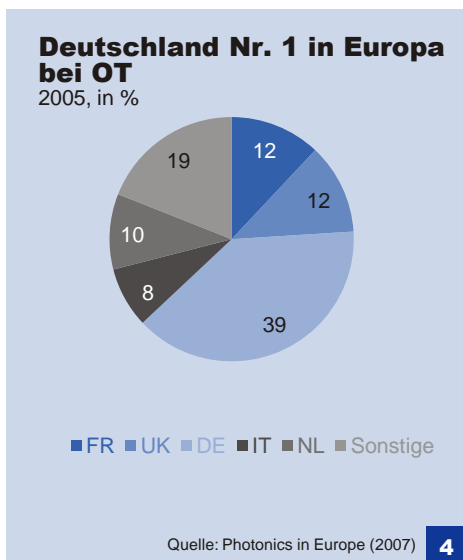
Licht ermöglicht künftiges Wachstum in vielen Wirtschaftsbereichen, denn die Lasertechnik bringt technischen Fortschritt in zahlreiche Abnehmerbranchen. Das kreative Werkzeug stellt angestammte Branchenlösungen immer wieder auf den Prüfstand, optimiert diese oder hilft, völlig neue Geschäftsfelder zu entwickeln und zu erschließen. Insofern ist es gerechtfertigt, die OT als „Enabling Technologies“ zu bezeichnen. Die volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Schlüsseltechnologien reicht weit über die direkten Effekte hinaus (z.B. die Umsatz- oder Arbeitsplatzstatistik der Laserindustrie). Der Erfolg großer deutscher Industriebranchen wie die Automobilindustrie oder der Maschinenbau, die sich im internationalen Wettbewerb seit Jahren gut behaupten, wäre ohne die Hilfe moderner Lasergeräte und -systeme so nicht möglich gewesen.

Eingrenzung des Themas auf ausgewählte Licht-Segmente

Das Thema „Licht bei der Arbeit“ akzentuiert zwei Dimensionen, denen die Branchenauswahl folgt: Zum einen das Werkzeug Licht, das als Laser die moderne industrielle Fertigung verbessert. Zum anderen dient Licht als Rohstoff der Energieerzeugung. Die Segmente Informationstechnik, Flachdisplays, Medizin- und Beleuchtungstechnik werden nicht behandelt, da sie nicht zum Thema passen.⁷

Unsere Auswahl reflektiert zudem einzigartige Stärken der deutschen OT:

- Auf der einen Seite ist dies die Reputation Deutschlands als Werkstatt der Welt. Fraglich ist hier letztlich, ob der Standort Deutschland im künftig noch härteren Wettbewerb trotz bekannt-



⁵ Zu den Trends der Globalisierung vgl. auch Auer, Josef u.a. (2009). Wohlstand durch Handel: Groß- und Außenhandel in Zeiten der Globalisierung. Deutsche Bank Research. Aktuelle Themen 448. Frankfurt am Main.

⁶ Zu Details der Strategie vgl. BMBF (2009). Hightech-Strategie. Forschung und Innovation für Deutschland. Bilanz und Perspektiven. Berlin.

⁷ Überdies bleiben Informationstechnik und Flachdisplays in absehbarer Zeit eine Domäne vor allem asiatischer Länder. Eine Rolle spielen dabei Kostenvorteile, u.a. bei den Löhnen. Auch die Kommunikationstechnik wird wohl keine Spielwiese der Deutschen oder Europäer.

ter Kostennachteile als global dominierende Technologiewerkstatt überleben kann. Damit verlangt „Licht als Werkzeug in der Fertigung“ eine besondere Analyse. Zwei Bereiche sind zu unterscheiden: Erstens die Produktionstechnik; hier werden Laser für die Materialbearbeitung sowie für die Lithographie genutzt. Zweitens zählt dazu die Bildverarbeitung und Messtechnik.

Auf der anderen Seite gilt Deutschland als führend bei innovativen und insbesondere bei neuen, grünen Energietechnologien. Da Deutschland rund um Photovoltaik und Solarthermie weltweit Beachtung findet und zudem Licht ein Kernbestandteil gerade der solaren Energien ist, drängt es sich auf, die Thematik „Licht wie es Energie erzeugt“ in einem separaten Teil zu betrachten. Den Höhepunkt der „green photonics“ bildet ein extrem spannendes Zukunftsprojekt, das für die gesamte Menschheit (überlebens-) wichtig werden könnte. Der Laser als Schlüsseltechnologie für eine künftige Kernfusion zeigt exemplarisch, dass die OT noch viele Überraschungen bergen.

5. Licht als Werkzeug der Produktionstechnik

Als Werkzeug wird die Lasertechnologie sowohl in der Materialbearbeitung als auch der Lithographie eingesetzt. Zusammen bilden die beiden recht unterschiedlichen Segmente die Produktionstechnik. Grundsätzlich ist bei quantitativen Aussagen zur Lasertechnologie zwischen Laserquellen, darunter versteht man die „nackten Laser“, und Lasersystemen zu unterscheiden. Letztere beinhalten auch die mit dem „eigentlichen Laser“ verbundenen Laseranlagen, -maschinen oder -geräte.

Am Standort Deutschland erreichte der Umsatz mit OT in der Produktionstechnik nach unseren Berechnungen 2008 EUR 2,6 Mrd., nachdem er 2005 noch bei EUR 1,9 Mrd. lag. Zu dem Umsatzwachstum trugen beide Einsatzgebiete bei: Im Segment Lasersysteme und Laserquellen zur Materialbearbeitung stieg der Umsatz im Betrachtungszeitraum von EUR 1,2 Mrd. auf EUR 1,5 Mrd. Und der Umsatz mit Lithographiesystemen und Laserquellen für die Lithographie legte von EUR 0,7 Mrd. auf 1,1 Mrd. zu; somit war hier das relative Wachstum merklich stärker.

Laser-Materialbearbeitung und Lithographie mit Unterschieden

Hinter dem gleichgerichteten Anstieg verbergen sich allerdings doch recht unterschiedliche Entwicklungen und Einflussfaktoren.

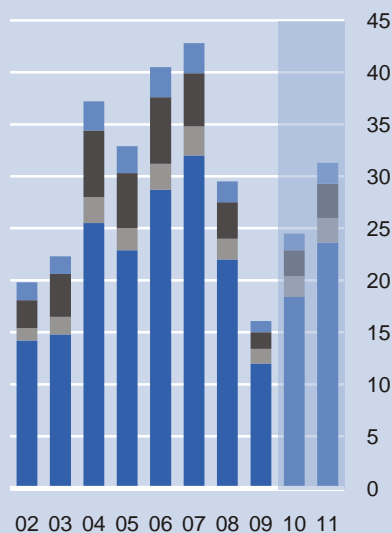
- Dies ist unmittelbar einsichtig, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Umsatz mit Lithographie zumindest zu 95% in die Halbleiterindustrie geht.⁸ Lithographiesysteme beinhalten nämlich die Waferstepper für die Halbleiterproduktion. Berücksichtigt sind zudem die Maskenschreiber und Scanner für die Flachdisplayproduktion sowie Laser-Direct-Imaging-Systeme für die Leiterplattenproduktion. Die Halbleiterfertigung ist bekanntlich eine sehr zyklische Branche. Und da die Halbleiterindustrie den Löwenanteil der Lithographiesysteme nachfragt, folgt für die Lithographie als Ausrüster der zyklischen Branche eine zumindest ähnliche Zyklizität. Tatsächlich fallen die Schwankungen der Ausrüs-



⁸ Lithographie im Maschinenbau bezeichnet optische Reproduktionsverfahren, bei denen mittels Belichtung Muster auf Materialien aufgebracht werden. In der Halbleitertechnologie werden mit dem Laser Masken belichtet, um elektronische Feinstrukturen auf lichtempfindliche Trägermaterialien wie Leiterplatten zu übertragen.

Ausrüster der globalen Halbleiterindustrie im Aufschwung

Mrd. USD



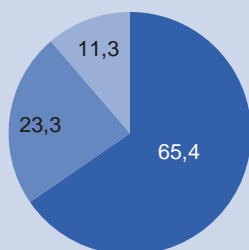
- Sonstige Maschinen
- Testverfahren
- Zusammenbau/Verpackung
- Wafer Process

Quelle: SEMI (2009)

7

Drei Produzenten teilen sich den Stepper-Weltmarkt

2008, in %



- ASML
- Nikon
- Canon

Stepper-Umsatz 2008: USD 5,4 Mrd.

Quelle: Gartner, 6/09

8

terbranchen infolge des nur wenig stetigen Investitionsverhaltens der Abnehmer in der Regel sogar noch heftiger aus.⁹

- Im Unterschied zur Lithographie, die praktisch nur eine große Abnehmerbranche hat, werden die Lasersysteme und Laserquellen zur Materialbearbeitung in sehr vielen unterschiedlichen Industriebranchen eingesetzt. Hierzu zählen die Automobilindustrie, der Maschinenbau und die Nahrungsmittelindustrie.

Im Betrachtungszeitraum bis 2008 lagen die Wachstumsraten im Segment Materialbearbeitung etwas niedriger als in der Lithographie. Treiber in der Lithographie war die Halbleiterindustrie. Diese begann bereits Ende 2007 ihre Investitionen zurückzufahren. Da die Lithographie aber die hohen Auftragspolster noch bis in die ersten Monate 2008 abarbeitete, fiel der Umsatzrückgang 2008 mit -2% noch recht niedrig aus. Die Laser für die Materialbearbeitung, die Impulse von der weltweit günstigen Industriekonjunktur erhielt, spürten dagegen 2008 das drohende Ende des globalen Investitionszyklus schon sehr viel stärker (Umsatz: -8%).

2009 dürften die Umsätze mit *Lithographiesystemen* infolge der Weltrezession und der damit einhergehenden Investitionsschwäche um etwa 40% kollabiert sein. Der Nachfrageausfall in der Halbleiterbranche hat damit voll auf die Ausrüster durchgeschlagen. Zumindest bis Ende 2011 wird dieses Lichtsegment allerdings vom Anspringen des Investitionszyklus in der Halbleiterindustrie begünstigt. 2010 und 2011 dürften Umsatzzuwächse von 50% bzw. 30% die Rückgänge der beiden Vorjahre wieder in etwa kompensieren.¹⁰

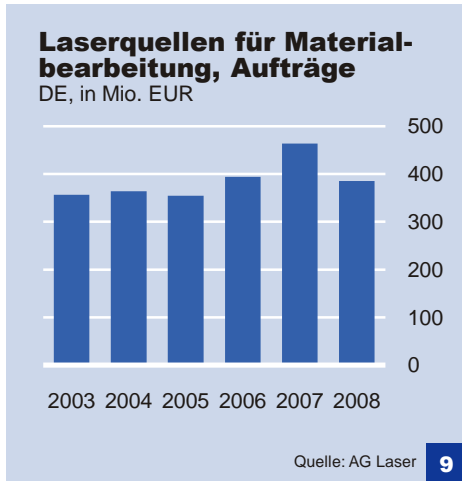
Die Nachfrage nach Laser für die *Materialbearbeitung* wird sich ebenfalls im Zuge der zyklischen Erholung der Weltwirtschaft erholen. Allerdings rechnen wir hier mit einem etwas späteren und nicht ganz so dynamischen Anspringen der Nachfrage und Umsätze. Hauptgrund für diese vorsichtige Prognose ist der tiefe Einbruch der Industriekonjunktur, der immer noch weltweit für eine geringe Auslastung der Kapazitäten in den meisten Abnehmerbranchen sorgt. Wir erwarten allerdings, dass die Nachfrage im Jahre 2010 allmählich wieder Fahrt aufnimmt. Denn wenn wichtige Abnehmerbranchen wie die Automobilindustrie oder auch der Maschinenbau neue und innovative Produkte herstellen wollen, ist dies in vielen Fällen nicht ohne moderne Lasertechnik möglich. Wir erwarten hier deshalb spätestens ab 2011 wieder positive Wachstumsraten der Fertigung im zweistelligen Bereich.

Wichtige Einsatzgebiete Schneiden, Schweißen und Markieren

Der Erfolg der Lasertechnik in der Materialbearbeitung beruht im Kern auf der Kombination mehrerer Vorteile: Dazu zählen eine überaus hohe Präzision, schnelle Bearbeitungsgeschwindigkeiten (oft 10 m pro Minute), hohe Prozessflexibilität (im Unterschied zum

⁹ Die Analyse der globalen „Halbleiter-Nahrungskette“ über fast 50 Jahre zeigt: Die Ausrüster der Halbleiterindustrie haben größere Fertigungsschwankungen als die Halbleiterproduzenten, und diese wiederum fertigen zyklischer als die Elektronikindustrie (Konsumelektronik etc.). Gleichwohl zählen alle drei Segmente zu den weltweit expansivsten Industriezweigen. Mit durchschnittlichen Wachstumsraten seit 1960 von 16% p.a. liegen die Halbleiter-Ausrüster vor den Halbleiterherstellern (12% p.a.) und der Elektronikindustrie (10% p.a.). Zu Details vgl. Maiser, Eric u.a. (2007). *Electronics Production Equipment*. Frankfurt am Main. S. 10.

¹⁰ Unsere Einschätzung fußt auf Prognosen des Verbands führender Halbleiterhersteller SEMI (12/2009) zum Markt für Halbleiternausrüstungen nach Segmenten bis 2011. Dabei wurden Angaben von Gartner (06/09) zum weltweiten Umsatz mit Lithographiemaschinen (so genannte Stepper) berücksichtigt (Weltmarkt 2008: USD 5,4 Mrd.). Der Stepper-Anteil am Segment Wafer Process (Wafer sind Halbleiter- bzw. Siliziumscheiben) beträgt etwa ein Viertel. Der Stepper ist der wichtigste Schritt des Wafer Process bzw. das Herzstück der Chipfertigung.



Stanzen sind auch kleine Losgrößen wirtschaftlich) sowie die Tatsache, dass der Laser als Werkzeug quasi keiner Abnutzung unterliegt und damit sehr leistungsfähig ist. All dies ermöglicht der Licht-Technologie in bisher angestammte, mechanisch orientierte Fertigungsprozesse vorzudringen. Auf diesem Wege verdrängt der Laser immer öfter herkömmliche Techniken der Materialbearbeitung wie das Elektro- oder Plasmaschweißen sowie das Bohren mit Spiralbohrer.

Das Laserschneiden zählt heute zu den wichtigsten Trennverfahren neben Stanzen, Nibbeln, Plasma- oder Wasserstrahlschneiden. Dabei erreichten die Verkaufszahlen solcher Laseranlagen Mitte der 1980er Jahre erst zweistellige Werte. Ende der 1990er Jahre aber verkauften die führenden Produzenten bereits jährlich mehrere Hundert solcher Anlagen.¹¹ Allein von deutschen Herstellern wurden 2008 knapp 1.400 2D- und 3D-Schneideanlagen verkauft. Dies markiert einen Weltmarktanteil von einem Viertel.

Das Laserschneiden, bei dem der Laserstrahl auf einen Punkt (Durchmesser oft weniger als ein halber Millimeter) fokussiert wird, bündelt eine Reihe von Vorteilen: So schneidet der Laser unterschiedliche Materialien (von Metallen bis Kunststoffen) in beliebiger Form, und dies berührungslos und kräftefrei. Überdies können unterschiedliche Blechdicken (von 0,5 bis 30 Millimeter) mit kleinen Schnittpalten bei hoher Schneidgeschwindigkeit präzise bearbeitet werden. Ein Vorteil ist hierbei, dass das Material neben der Schnittstelle kalt bleibt, so dass die Teile sich nicht verziehen. Hinzu kommt, dass die Präzision des Lasers eine Nachbearbeitung spart.

Ein zweiter wichtiger Einsatzbereich ist das Schweißen vor allem von Stahl und Aluminium. Das Laserschweißen punktet im Wettbewerb zu andern Metallbearbeitungsmethoden dank Schnelligkeit, hoher Festigkeit, geringer thermischer Materialbelastung sowie relativ einfacher Automatisierbarkeit.

Weitere Einsatzgebiete sind das Laserbohren, Lasermarkieren und Laserperforieren: Das Laserbohren ist attraktiv bei vergleichsweise harten Materialien und/oder kleinen Bohrungsdurchmessern. Das Lasermarkieren von Materialien wie Kunststoff, Stahl, Keramik und Holz ist längst zu einem Volumenmarkt herangewachsen. Vorteilhaft ist, dass die Markierung mit hoher Geschwindigkeit vorgenommen werden kann. Zudem ist der Markierprozess flexibel und einfach programmierbar. Und die eigentliche Markierung ist abriebfest und damit dauerhaft. Eine größere Rolle spielen Markierungen für die Qualitätssicherheit und damit die Möglichkeit einzelne Bauteile oder auch Konsumartikel zurückzuverfolgen. Impulse erhält der Laser in der Materialbearbeitung aber auch durch diverse Vorteile beim Perforieren (z.B. auch von Zigarettenmundstücken) oder den steigenden Qualitätsanforderungen vieler weiterer materialbearbeitender Branchen (von den Dentallaboren bis hin zur Schmuckindustrie).

Günstige Trends in der Laser-Materialbearbeitung

Die Einsatzmöglichkeiten des Lasers in vielen Bereichen wie der Automobilindustrie, dem Maschinenbau, der Elektrotechnik oder dem Schiffsbau nehmen stetig zu:

Den Herstellern und Zulieferern der Automobilindustrie ermöglicht der Laser völlig neue Produktionsverfahren. So hat sich der Lasereinsatz im Karosseriebau in der letzten Dekade massiv beschleunigt. Mittels des Lasers werden maßgeschneiderte Bleche verschie-



¹¹ Zu Details des Laserschneidens vgl. Buchfink, Gabriela (2005). Faszination Blech. S. 67-99.

dener Dicke zu so genannten Tailored Blanks verschweißst. Aus diesen Blechkonstruktionen werden sodann z.B. Autotüren gepresst. Tailored Blanks ermöglichen Gewichts- und Kosteneinsparungen bei gleicher Stabilität; eine sehr positive Entwicklung in Zeiten von Klimawandel und steigender Energiepreise.

Die Lasertechnik profitiert vom Leichtbau, da sie Stahl mit leichten Materialien besonders zuverlässig verbinden kann. Laser werden zum Schweißen von Leichtbaukonstruktionen wie Aluminium-Spaceframe-Strukturen genutzt. Der Laser hat mittlerweile die Fahrzeugfertigung revolutioniert. Das Spektrum umfasst das Highspeed-Schweißen (remote welding) von Autotüren, die Fertigung von Benzinfiltern, Katalysatoren, Airbag-Sprengkapseln, Verkleidungen, Elektronikkomponenten sowie Autozubehör. Klassiker der Laseranwendung sind mittlerweile das Schweißen von Motor- und Getriebeteilen sowie die Fertigung von Auspuffanlagen.

Der Laser gewinnt auch im Schiffbau an Bedeutung. Die Meyer Werft hat in Papenburg eines der größten Laserzentren Europas aufgebaut. Für ein tauffertiges, typisches Kreuzfahrtschiff werden 850 km Schweißnähte gezogen, 600 km davon mittels Laser.¹²

In der Metallbearbeitung und im Maschinenbau sind Lasergeräte nicht mehr wegzudenken. Marktpotenziale haben nach wie vor die Oberflächenreinigung oder die Behandlung titanharter Oberflächen mit Laser. Mittels Laser lassen sich Ölbohrstränge mit einer ultraharten Schutzschicht versehen (also weniger Verschleiß).

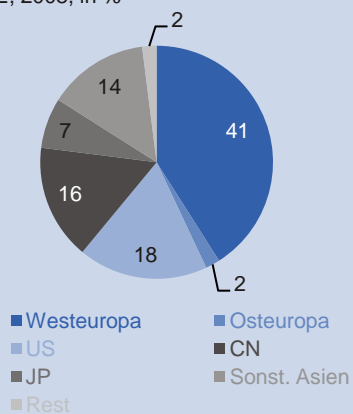
Chancen bestehen auch bei der Produktion und Bearbeitung dreidimensionaler Blechelemente, u.a. von Profilen und Rohren mittels Längsnahtschweißen. Hierzu zählen die Stahlmäntel für landverlegte Glasfaserkabel. Kostengünstig verschweißen Laser auch Pipeline-Rohre; für Europa ist der Pipelinebau (z.B. Erdgas, CO₂) in den kommenden Jahren ein wichtiges Zukunftsthema. Für die Halbzeugherstellung interessant sind maßgeschneiderte Profile (Tailored Profiles). Zukunft haben auch grobe Aufgaben wie das Schneiden fingerdicker Stähle. So genannte CO₂-Laser (hier erzeugt ein Gasgemisch den Lichtstrahl) zerschneiden Aluminium, Stahl, Keramik oder Holz schneller als jedes andere Werkzeug. Die Präzision des CO₂-Lasers zeigt sich am Beispiel Quarzgläser. Dank des Lasers lassen sich kleinste Bauteile ohne Mikrorisse im Glas schneiden.

Dass das Anwendungsspektrum der Lasertechnik noch keineswegs ausgeschöpft ist, zeigt das Beispiel Luftfahrt. Hier lassen sich die Flugzeugturbinen, die so genannten Blinks, die aus einem Stück gefertigt werden, kostengünstig reparieren. Bis dato mussten beschädigte Blinks (Kosten mehr als EUR 100.000) komplett ausgetauscht werden. Dank neuer Laserschweißtechnik können neuerdings die Bauteile für wenige tausend Euro repariert werden.

Für die Zukunft rechnen wir mit einem fortgesetzten Trend zu höheren Laserleistungen und Innovationen bis hin zur Entwicklung völlig neuer Maschinenkonzepte. Dem Thema Integration dürfte ein noch höherer Stellenwert zukommen. Im Endeffekt wird die Lasertechnik der Zukunft durch höhere Anteile von Automation, Sensorik, Prozessüberwachung und Teleservice gekennzeichnet sein. Diese Entwicklung ist zu begrüßen, da damit letztlich bessere Produkte, eine höhere Produktivität, aber auch mehr Prozessstabilität sowie eine bessere Servicequalität realisierbar werden.

Laserquellen für Materialbearbeitung, Exportstruktur

DE, 2008, in %

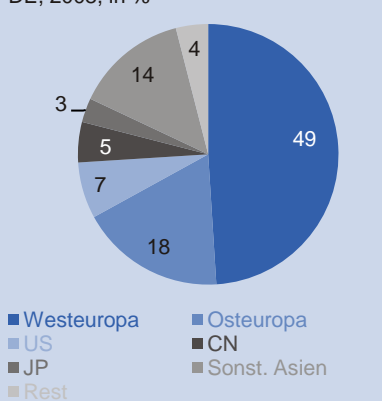


Quelle: AG Laser

11

Laseranlagen für Materialbearbeitung, Exportstruktur

DE, 2008, in %



Quelle: AG Laser

12

¹² Vgl. Handelsblatt (2009). Feine Laser erledigen auch grobe Aufgaben. 8. Juni.



Von globaler Krise getroffen – aber mittelfristig weiter aufwärts

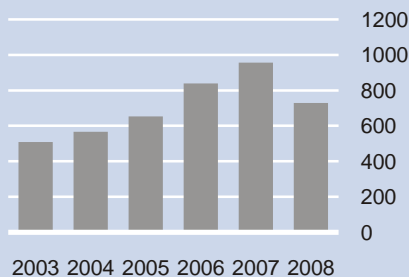
In Deutschland wuchs die Produktion von CO₂- und Festkörperlaser, also die Fertigung der eigentlichen Laserstrahlquellen, von 2003 bis 2007 um durchschnittlich 5% p.a. Dagegen expandierte die Produktion der Laseranlagen um jährlich 17%. Der massive Auftragseinbruch sowohl der Inlands- als auch der Auslandsorders, insbesondere ab dem zweiten Halbjahr 2008 in beiden Bereichen, fand in der Fertigungsstatistik für das Gesamtjahr 2008 bereits seinen Niederschlag, wobei der Anlagenbau (-9%) etwas stärker als die Strahlquellen (-6%) getroffen wurden.

2009 dürfte die Branche, die zu einem wesentlichen Teil dem Werkzeugmaschinenbau zuzurechnen ist, ein nicht wesentlich besseres Ergebnis erzielt haben. Dank der Erholung der Weltkonjunktur ist aber spätestens im zweiten Halbjahr 2010 – unterstützt von der zu erwartenden Erholung der Aufträge und später auch der Fertigung im Werkzeugmaschinenbau – wieder mit einer günstigen Produktionsentwicklung zu rechnen.

Bis 2020 halten wir Wachstumsraten der wertmäßigen Fertigung bei den Laserstrahlquellen von jährlich 4% für möglich. Die Laseranlagen dürften, wie bereits in den letzten beiden Dekaden, dynamischer zulegen. Jährliche Wachstumsraten um gut 10% sind erzielbar. Dies sind günstige Aussichten, vergleicht man sie mit dem längerfristigen Trendwachstum z.B. des Maschinenbaus, das bei preisbereinigt etwa 2% p.a. liegt, oder auch des Werkzeugmaschinenbaus, der faktisch stagniert.

Laseranlagen für Materialbearbeitung, Aufträge

DE, in Mio. EUR

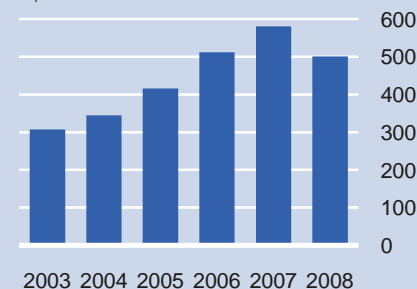


Quelle: AG Laser

13

Laseranlagen für Materialbearbeitung, Exporte

DE, in Mio. EUR



Quelle: AG Laser

14

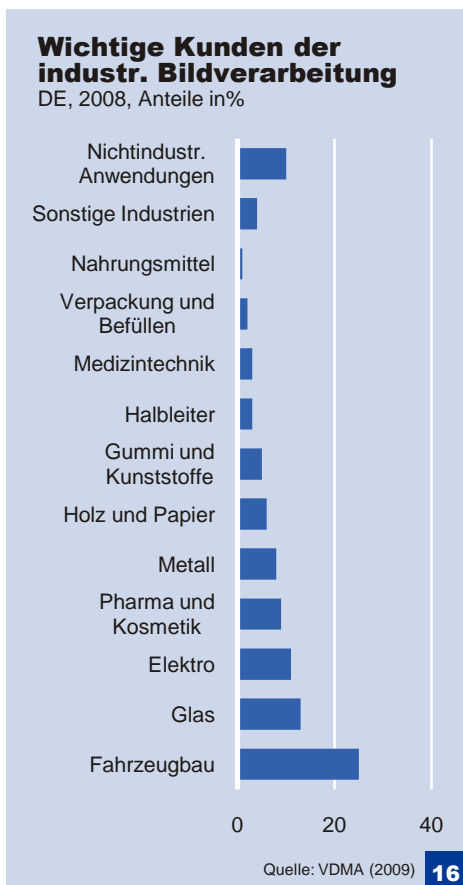
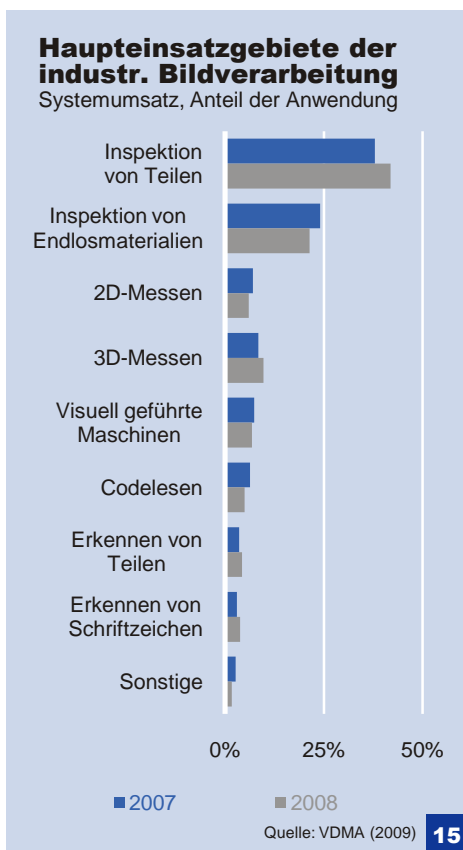
Wachstumsdifferenzen bedürfen der Interpretation

Bei der Interpretation der Wachstumsraten der beiden Lasersegmente sind einige Punkte zu beachten: So dürften die Impulse für Laseranlagen auf den ersten Blick zu einem großen Teil vom Ausland kommen, denn der Exportanteil (am Produktionswert) im Anlagengeschäft liegt bei 70%. Bei den Laser-Strahlquellen hingegen liegt der Exportanteil dagegen nur bei 40%, so dass die Vermutung nahe liegt, dass das Auslandsgeschäft hier nicht so bedeutsam ist.

Diese Interpretation ist allerdings viel zu einfach. Tatsächlich ist nämlich für die gesamte deutsche Laserindustrie das Ausland von sehr hoher Relevanz. Dies gilt nicht zuletzt auch für die Strahlquellen. Gleich drei Einflussfaktoren unterzeichnen nämlich die Bedeutung des Auslands für das Strahlquellengeschäft: Erstens werden in Deutschland produzierte Strahlquellen oft am heimischen Standort in Laseranlagen integriert, die dann exportiert werden und damit auch in der Statistik nur als Anlagenexport stattfinden. Zweitens wirkt sich die Verlagerung der Strahlquellenfertigung ins benachbarte Ausland (z.B. die Schweiz oder Osteuropa) aus. Drittens schmälert die Übernahme früherer ausländischer Konkurrenten die Exportnotwendigkeit deutscher Hersteller.

Als Exportdestinationen für die deutschen Hersteller von Strahlquellen bleiben auch künftig die großen Industrieregionen und -länder, d.h. Westeuropa, Nordamerika sowie China wichtig. Bei den Laseranlagen ist zusätzlich Osteuropa mengenmäßig von erheblicher Relevanz. Dagegen bleiben im Anlagengeschäft Nordamerika und China anteilmäßig etwas weniger entscheidend.

Dank der hohen Innovationskraft, der Schnelligkeit und dem engen Forschungs- und Anwendungsverbund dürfte es Deutschland auch in Zukunft gelingen, in der Laser-Materialbearbeitung eine führende Rolle zu übernehmen. Den überwiegend mittelständischen Unternehmen der deutschen Laserbranche ermöglicht eine relativ, zu



anderen Industriebranchen, hohe Wertschöpfung trotz vergleichsweise geringer Losgrößen gewinnbringend zu arbeiten und zu „überleben“. Laut der vom VDMA koordinierten Arbeitsgemeinschaft „Laser und Lasersysteme für die Materialbearbeitung“ ist die größte Stärke der heimischen Laserproduzenten ihr breites Strahlquellensortiment. Die kontinuierliche Weiterentwicklung dieser Technologien sowie der Energieeffizienz stimmen für die Zukunft optimistisch.

6. Bildverarbeitung und Messtechnik sind das Auge der industriellen Produktion

Am Weltmarkt für Bildverarbeitung und Messtechnik (Umsatz 2005: EUR 19 Mrd.) hat Deutschland einen Anteil von einem Sechstel. Ein Drittel des Umsatzes in Deutschland entfällt auf die Bildverarbeitung, zwei Drittel auf die Messtechnik. Sowohl die optische Bildverarbeitung als auch die Messtechnik werden überwiegend in der industriellen Fertigung und Überwachung (z.B. von Produktionsprozessen) eingesetzt.¹³

Hauptkunden der Bildverarbeitung sind im Ausland die Halbleiter-, Elektronik- und Flachbildschirmindustrien. Zukunftsträchtige nichtindustrielle Einsatzfelder sind zudem die Sicherheits- sowie die Medizintechnik. In Deutschland dominiert die Automobilindustrie (rd. 25%) als Kunde, gefolgt von der Glasherstellung, der Elektronik-, Pharma- und Metallindustrie. Haupteinsatzgebiete der industriellen Bildverarbeitung sind die Inspektion von Teilen und Endlosmaterialien, das 2D- und 3D-Messen sowie visuell geführte Maschinen (Roboter) und das Codelesen.

Der wichtigste Anwendungsbereich, die Qualitätskontrolle, gliedert sich in die drei Einsatzfelder Oberflächeninspektion, Vollständigkeitskontrolle und Messtechnik. Gegenüber taktilen Verfahren ist optisches Messen oft vorteilhaft, da es berührungslos bei extrem hoher Geschwindigkeit erfolgen kann. Stichproben entfallen, da Visionsysteme quasi inline messen können. Praktisch jede Prüfgröße ist darstellbar. Die Spanne reicht vom Mikrometerbereich der Elektronikbauteile bis zu ganzen Automobilen, deren Karosserie, die Schweißnähte, Spaltmaße und Blechteile dreidimensional erfasst und geprüft werden können. Die optischen Verfahren erreichen die Qualität der tastenden, und sind bei Geschwindigkeit und Flexibilität überlegen.¹⁴

Optische Bildverarbeitung und Messtechniken haben günstige Perspektiven. Treiber sind z.B. immer bessere Sensor- und Kamertechnologien. Sie spielen eine wichtige Rolle in der fortgesetzten Automatisierung der Fertigung in vielen Industriebranchen. Impulse kommen künftig vom steigenden Bedarf nach mehr Sicherheit, Miniaturisierung, Qualität oder Individualität der Erzeugnisse. Wachsende Absatzfelder im nichtindustriellen Bereich sind ebenfalls Sicherheit (Produkte von der Feindaufklärung bis hin zu Körperscannern im öffentlichen Raum), Medizin, Verkehr, Sport, Kriminologie, Umweltschutz, Recycling und Landwirtschaft.

Bis 2020 dürfte das Wachstum der Fertigung im Bereich der optischen Bildverarbeitung und Messtechnik in Deutschland durchschnittlich etwa 5% p.a. erreichen. Die konjunkturelle und strukturelle Schwäche der globalen Automobilindustrie bremst die Entwick-

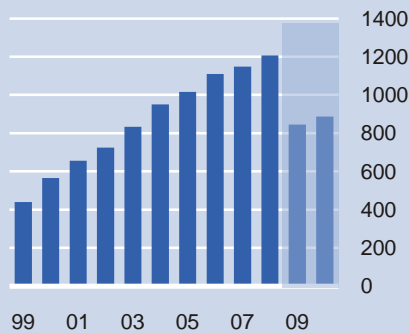
¹³ Vgl. BMBF (2007). Optische Technologien. Berlin. S. 22-26.

¹⁴ Zu Details vgl. VDMA (2008). Industrielle Bildverarbeitung 2009/10. Schlüsseltechnologie für die wirtschaftliche Automatisierung. Frankfurt am Main. S. 5-25.



Rückkehr zum Wachstum 2010

Industr. Bildverarbeitung, Umsatz, Mio. EUR



Quelle: VDMA (2009)

17

lung. Das Wachstumstempo ist jedoch etwas mehr als doppelt so stark wie im gesamten Maschinenbau. Freilich waren die Wachstumsraten bis Mitte der vorigen Dekade oft noch zweistellig. Damals standen die optischen Verfahren noch sehr am Anfang, so dass Basiseffekte auftraten. In Zukunft sollten die innovativen optischen Querschnittstechnologien weiteren industriellen Fortschritt am heimischen Standort ermöglichen. Konsumenten profitieren schon heute weltweit von optischen Einparkhilfen, Spurwechselassistenten und medizinischen Diagnoseverfahren bis hin zu Hautscannern.¹⁵

7. Licht wie es Energie macht

Die OT rund um die Energieerzeugung lassen sich einteilen in drei Bereiche: erstens die Photovoltaik, zweitens die Solarthermie und drittens die „Laser-Fusion“.

Die Photovoltaik ist per se eine optische Technologie

„Photo“ bedeutet übersetzt Licht, „Voltaik“ ist eine Hommage an Alessandro Volta, einem der Wegbereiter des Stromzeitalters. Photovoltaik bezeichnet letztlich die Transformation von Sonnenlicht in Elektrizität. Überdies wird auch in der Photovoltaik das Licht als Werkzeug eingesetzt.

Die Wissenschaft vom Licht ist eng verknüpft mit Koryphäen der modernen Grundlagenforschung wie Becquerel oder auch Einstein. Entscheidend für die Genese der Photovoltaik war freilich Wilhelm Ostwald. Der Nobelpreisträger erklärte schon 1911 die Grundlagen des „photoelektronischen Stroms“. Damit wurde die Vision, die Sonne als Energiequelle anzuzapfen, in den Fokus vieler anwendungsorientierter Ingenieure gerückt. Das Potenzial der Sonne als Energiespender ist schier unendlich: Die Sonne strahlt jährlich das 15.000-fache an Energie zur Erde wie alle Menschen zusammen verbrauchen.¹⁶

Startphase längst vorbei

Die Photovoltaik ist längst den Kinderschuhen entwachsen. In der Pionierphase in Deutschland waren noch Großunternehmen sowie universitäre und außeruniversitäre Institute prägend. Diese erzielten wichtige Fortschritte in der Grundlagenforschung. Aber erst ambitionierte Weichenstellungen seitens der Politik (v.a. das 100.000-Dächerprogramm und später die EEG-Novelle 2004) brachten den Durchbruch für einen Massenmarkt sowie die Neu- und Ausgründung vieler kleiner und mittlerer Unternehmen. Der innovative Ordnungsrahmen war die Voraussetzung für den Quantensprung in der PV-Produktion von der Manufaktur zur industriellen automatisierten Fertigung. Dies wiederum ermöglichte Skalenerträge auf allen Stufen der Wertschöpfungskette.

Dient polykristallines Silizium als Basis für die Zellenproduktion, ist für die Fertigung bis zum Solarmodul eine vierstufige Wertschöpfungskette prägend. Der Wertschöpfungsanteil für die Produktion des Poly Silizium beträgt etwa 24%. Auf die Wafer-Herstellung entfallen 26%, die Zellenproduktion erfordert 14% und die Modulfertigung 36%.¹⁷ Freilich schwanken die Anteile; so lag in Zeiten knap-

¹⁵ Für einen Überblick über die eher konsumnahe augenoptische, die medizinische und mechatronische Industrie in Deutschland vgl. Spectaris (2009). Branchenbericht 2009. Berlin.

¹⁶ Vgl. Solarpraxis (2009). Engineering the solar age. Berlin. S. 10.

¹⁷ Vgl. BMBF (2007). Optische Technologien. Berlin. S. 46.

pen Siliziums der Rohstoffanteil höher. Die Fertigungskette für monokristalline Solarzellen sieht ähnlich aus, dagegen weicht die Kette für Dünnschichtszellensolarzellen merklich ab.¹⁸

Erfolg im Massenmarkt erfordert Prozessinnovationen

Die PV-Branche verfügt längst über wichtige und zukunftssträchtige Produktinnovationen. Rund um diese Innovationen zeichnen sich drei Entwicklungspfade ab. Die Pfade weisen sehr unterschiedliche Kostenstrukturen auf:

- Für die Hersteller kristalliner Zellen sind die Verfügbarkeit und der Preis des Siliziums besonders wichtig. 69% der Kosten entfallen auf die Materialkosten (ohne Verbrauch). Also mehr als für Arbeit und Verbrauchsmaterial (15%) sowie die Fertigungstechnik (16%) zusammen.
- Für die Dünnschichttechnologie, ein mittlerweile auch schon etablierter PV-Zweig, spielt der Materialinput eine weniger wichtige Rolle. Der Maschineneinsatz schlägt dagegen mit 39% zu Buche.
- Noch entscheidender ist die Produktionstechnik für die jüngste, dritte PV-Generation (Gen3), die noch am Anfang der Entwicklung steht. Komplexe Verfahren ermöglichen die PV auf Basis gedruckter, halbleitender Kunststoffe, Tandem- oder Konzentratorzellen.

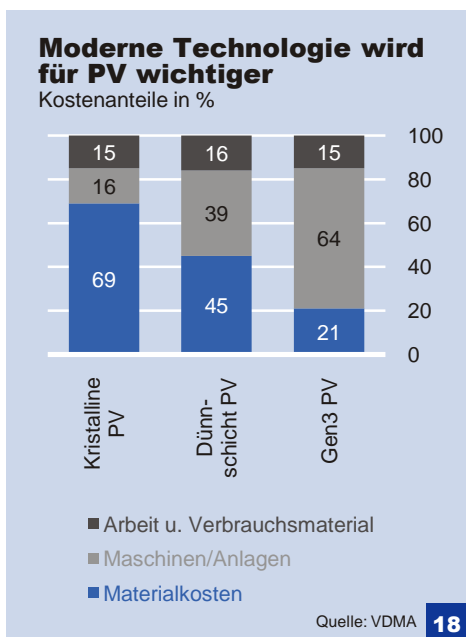
Nachdem damit wichtige Produktinnovationen bereits vorliegen, stellt sich die Frage des Markterfolgs. Hierfür sind Prozessinnovationen rund um die eingesetzten Fertigungstechnologien und Materialien besonders wichtig, da sie niedrigere Kosten ermöglichen.

Drei Stellschrauben für niedrigere PV-Kosten

Aus Sonnenlicht mittels PV Strom zu erzeugen, lohnt sich in manchen netzfernen Gegenden nicht nur in Äquatornähe schon heute. In den vernetzten Industrieländern sind die betriebswirtschaftlichen Kosten in der Regel noch zu hoch. Im Ongrid-Bereich entscheiden deshalb letztlich Subventionen über das Wohl und Wehe der PV-Hersteller. Wie erratisch diese freilich schwanken, zeigen die Beispiele Spanien, das die Förderung gegen Ende der vorigen Dekade drastisch reduzierte, und Deutschland, das 2010 einen spürbaren Einschnitt in die EEG-Förderung vornimmt.

Künftig wird für den Markterfolg der PV-Hersteller der Einsatz moderner Technik immer entscheidender. In der zweiten Hälfte der vorigen Dekade, in der die PV-Förderung (pro kWh) noch sehr üppig war, genügte es oft, bereits erprobte Produktionstechnologien einfach zu duplizieren, um den Gewinn zu steigern. Wegen der nun reduzierten Förderung und dem steigenden internationalen Wettbewerb reicht dies nicht mehr aus.

Freilich kann eine Strategie, die auf moderne Technologie setzt, nicht alle Standortnachteile (z.B. sehr hohe Lohnkosten) auffangen. Investition in moderne Maschinen und Anlagen können Kostennachteile in der PV-Kette dennoch auf zumindest drei Ebenen mindern: Erstens ermöglichen moderne Fertigungsverfahren bessere PV-Produkte. Die Kosten sinken dank vereinfachter Fertigungsverfahren, geringerem Materialeinsatz und höherer Wirkungsgrade der Zellen. Zweitens können die Kosten mittels Optimierung der Ferti-



¹⁸ In der Wertschöpfungskette von kristallinen Siliziumzellen kommt nach der Waferherstellung der Solarzellenprozess. Bei der Dünnschichtzellenproduktion finden diese beiden Produktionsschritte integriert statt, was Kosten spart. Zu Details vgl. Solarpraxis (2009). S. 27.



gungstechnologien gesenkt werden. Hebel sind hier eine stärkere Automatisierung, geringere Bruchrate der Siliziumscheiben, schnellerer Durchsatz, mehr Qualität und Effizienz, weniger Prozesskosten und – per Saldo – auch geringere Investitionskosten. Drittens erlaubt die Massenproduktion niedrigere Stückkosten, was die Wettbewerbsfähigkeit verbessert. Aufgrund des Volumenwachstums sind überdies günstigere Einkaufspreise erzielbar.¹⁹

Empirische Untersuchungen zeigen, dass eine Verdoppelung der Fertigung bzw. der installierten PV-Leistung die Kosten um 20% reduziert hat.²⁰ Kurz- und mittelfristig birgt die Wertschöpfungskette noch viel Einsparpotenzial. Längerfristig jedoch dürfte die Lernkurve flacher verlaufen. Dies bremst den technischen Fortschritt ebenso wie die Grenzen bei Material und Technologie.

Damit aus Licht noch mehr Energie gewonnen werden kann, sind Beiträge vieler Akteure nötig und erwünscht. Vor allem Maschinenbauzweige sind tangiert und gefordert. Dazu zählen die Elektronikfertigung (so genannte Productronic), die Glastechnik, organische Elektronik, Robotik und Automation, Oberflächentechnik, Vakuumtechnik und Displays. Die Lasertechnik (Photonik) dient z.B. zur Bearbeitung der Solarzellen. Sie hat den Vorteil, dass mit ihr sehr viele Prozessschritte verknüpft und Probleme gelöst werden können. Letztlich ist für die PV-Produktion mit ähnlich effizienten Fertigungsprozessen wie in der Halbleiterindustrie oder der Automobilindustrie zu rechnen.²¹

PV-Systemlieferanten wachsen mit ihren Kunden

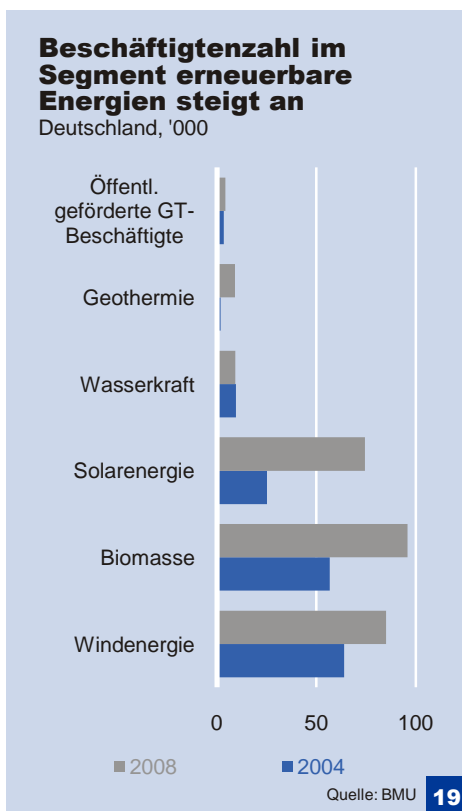
Bis vor wenigen Jahren mussten sich die PV-Hersteller die Fertigungsanlagen noch selbst zusammenstellen. Heute geht der Trend zu Systemlösungen. Eine Hand voll PV-Maschinenbauern hat sich als PV-Turnkey-Anbieter am Weltmarkt etabliert. Diese spezialisierten Maschinenbauer dürften kurz-, mittel- und langfristig vom Trend zu technologisch immer anspruchsvolleren Lösungen profitieren. Wenig überraschend ist, dass die meisten dieser Unternehmen ihren Standort in Deutschland haben. Hier zeigt sich die hohe Kompetenz deutscher Maschinen- und Anlagenbauer für Systemlösungen.

Die Zukunft der PV-Branche in Deutschland dürfte zweigeteilt verlaufen. Auf der einen Seite kommen auf viele deutsche PV-Hersteller aufgrund des steigenden internationalen Wettbewerbs und der Förderkürzung Strukturfragen zu, die zu beantworten sind. Auf der anderen Seite dürften die mittelständischen PV-Maschinenbauer am Standort Deutschland eine günstige Zukunft haben. Die PV-Ausrüster erhalten Impulse vom fortgesetzten Kapazitätsausbau rund um den Globus, insbesondere in den großen asiatischen Ländern. Im PV-Segment am meisten unter Druck kommen werden wohl die Solarmodul-Hersteller. Schon heute findet die Produktion von Solarsilizium, Ingots, Wafern und Solarzellen weitgehend automatisiert statt. Dagegen findet sich in der Modulproduktion teilweise noch manuelle Fertigung. Auch wenn die Automatisierung hier schnell voranschreitet, bleiben Lohnkostendifferenzen doch auf absehbare Zeit relevant.

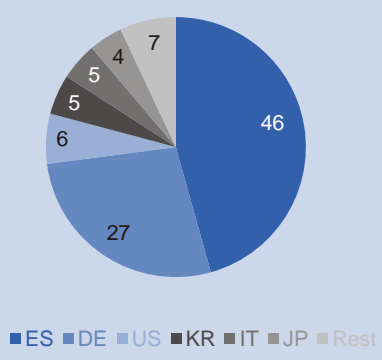
¹⁹ Vgl. Stryi-Hipp, Gerhard (2008). Die Solarindustrie in Deutschland. In: FVS. S. 18-23.

²⁰ Vgl. Brendel, Rolf (2008). Entwicklung neuer Produktionstechnologien für die Solarenergienutzung. In: FVS. S. 10-17.

²¹ Freilich bleiben Unterschiede. So sind für die PV-Produktion >10 Fertigungsschritte erforderlich und für Halbleiter sind es >100. Und die Kosten für eine PV-Produktionsstätte (Maschinenpark und Gebäude) betragen rd. EUR 40 Mio., in der Halbleiterindustrie sind es EUR 2-3 Mrd. Vgl. Binder, Harald (2008). Centrotherm. VDMA PV Launch Event.

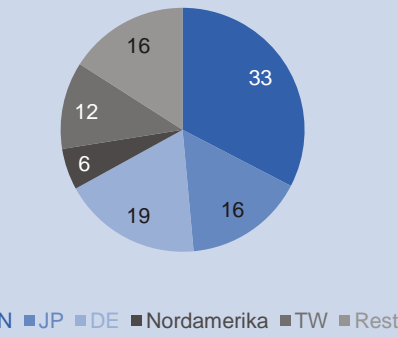


ES u. DE führend bei globalen PV-Neuinstallationen
2008, in %



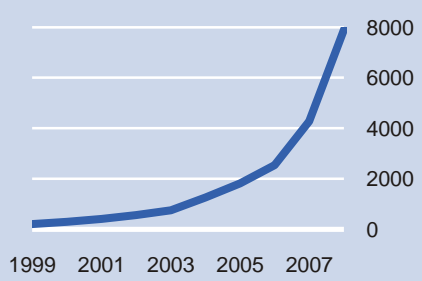
Quelle: European Photovoltaic Industry Association **20**

China weltweit führender Hersteller von Solarzellen
2008, in %



Quelle: Photon **21**

Globale Solarzellen-Fertigung wächst bis 2020 um mehr als 20% p.a.
In MW



Quelle: Photon **22**

Eine Alternative zur Fertigungsverlagerung (ähnlich der Chipindustrie) wäre die Investition in hochmoderne und innovative PV-Technologie. Allerdings liefern die deutschen PV-Ausrüster auch Hochtechnologie an die Konkurrenten z.B. in China. Dies ist wichtig, weil es einen prinzipiellen Unterschied zwischen einer PV-Fabrik und einer Elektronik-Fertigungsstätte gibt: Eine PV-Fabrik kann nämlich quasi aus dem Katalog schlüsselfertig bestellt, geliefert und aufgestellt werden. Auch wer technisch relativ unerfahren ist, kann mittels der neuesten Technologie Solarzellen und -module vergleichsweise einfach bauen. So spricht technologisch nichts dagegen, dass Länder wie Indien in etwa drei Jahren in der Lage sein werden, über nennenswerte Produktionskapazitäten zu verfügen. Ungleich komplizierter sind die Prozesse im Bereich Elektronik. Newcomer haben praktisch keine Chance, denn schlüsselfertige Fabriken für die Chipindustrie gibt es nicht. Zu vielfältig ist die Abstimmung und Optimierung von Prozessen, Maschinen und Technologien.

Hohes Wachstum – Deutschland ist PV-Nettoimporteur

Der PV-Weltmarkt hat sich in den letzten 20 Jahren sehr dynamisch entwickelt. In der letzten Dekade expandierte die Zahl der Neuinstallationen um über 40% p.a. Nach der EEG-Novelle 2004 wurde zunächst Deutschland das Hauptabsatzland. Starke Förderung machte Spanien 2008 zur Nr. 1., 2009 lag Deutschland wieder vorn.

Auf der Angebotsseite ist jedoch China führend. Günstige Produktionskosten gepaart mit politischer Unterstützung sprechen dafür, dass China auf absehbare Zeit den Platz behauptet. Deutschland importiert seit Jahren mehr PV als es exportiert. Große Netto-Exporteure sind China, Japan und Taiwan. Da etwa ab dem zweiten Halbjahr 2010 neue große Produktionskapazitäten in China fertiggestellt werden, ist zu erwarten, dass der Wettbewerb weltweit weiter steigt. Die geringere Förderung (nicht zuletzt in Deutschland) dürfte dann dafür sorgen, dass die PV-Anlagenpreise weiter fallen.

Schon 2009 kosteten PV-Anlagen etwa ein Viertel weniger als im Vorjahr. Die niedrigeren Anlagenpreise sorgten dafür, dass sich Solaranlagen weiter rechneten, obwohl die Förderung pro kWh reduziert wurde. Mittels 2009 in Deutschland neu installierten Solaranlagen waren Renditen von 10% und mehr p.a. über einen Zeitraum von 20 Jahren erzielbar. 2010 und 2011 bleiben Solaranlagen wirtschaftlich interessant, da zwar die Förderung spürbar sinkt, aber gleichzeitig wohl auch die Anlagenpreise unter Druck bleiben.

Der Weltmarkt könnte bis 2020 um über 20% p.a. wachsen. Das ist zwar weniger als in der Dekade davor. Im Vergleich zu traditionellen Industriebranchen ist dies jedoch nach wie vor enorm.

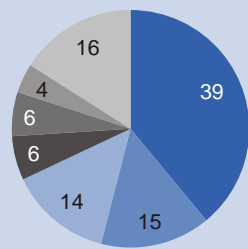
Netzparität wird in kommenden Jahren erreicht

Spätestens bis Mitte der Dekade wird die Netzparität erreicht. Dank technischem Fortschritt und sinkenden Anlagenpreisen rückt die Parität nun schnell näher. Grundsätzlich bedeutet Netzparität, dass der PV-Strom dann den Haushaltskunden zu den gleichen Preisen angeboten werden kann wie konventionelle Elektrizität aus dem Stromkabel. Wird viele Jahre später sogar der Punkt erreicht, ab dem PV-Strom mit Wind, Kohle und Kernenergie in der Stromerzeugung preislich konkurrieren kann, ist ein explosionsartiges Wachstum programmiert. Dafür sind freilich noch Techniksprünge in dieser wichtigen OT erforderlich.



Solarthermie in der EU

Instal. Leistung Ende 2008: 19.980 MWth



■ DE ■ AT ■ GR ■ FR ■ IT ■ SP ■ Rest

Quelle: BMU **23**

Viele Wüstenstrom-Technologien gibt es schon

	Globale Kapazitäten
Parabolrinnen	500 MW
Solar PV	15.200 MW
Windkraft	120.000 MW
Gleichstrom: Leitung im Kongo	1.700 km

Quelle: Desertec Industrial Initiative (2010) **24**

DESERTEC

Der Investitionsbedarf liegt bis 2050 bei etwa EUR 400 Mrd. Meilensteine des Desertec-Projekts sind die Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation (TREC) sowie drei Studien des Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Erörterte die Ausgangsstudie des DLR von 2005 noch CSP als alleinige Technologie*, so hat Desertec mittlerweile bereits eine größere Dimension. Neben CSP sollen nun auch schon PV und Windenergie einbezogen werden. Dies macht durchaus Sinn, denn wenn die Gleichstromleitungen erst liegen und Afrika mit Europa verbinden, sollte die verfügbare Transportkapazität auch ausgeschöpft werden.

Damit das Projekt fliegt, sind viele Techniken erforderlich. Dazu zählen Maschinen für das Nachführen der Parabolrinnen. Hier sind Automationslösungen gefragt und Fühler zur Messung des Sonnenstands nötig. Zudem entscheidet moderne Kraftwerkstechnik über den Erfolg des Megaprojekts. Stichworte sind hier effiziente und belastbare Turbinen, Pumpen, aber auch Beschichtungstechnik für die Parabolrinnen. Im Zusammenhang mit den Gleichstromleitungen sind die Kabelproduktion (u.a. Metallziehen, Ummantelung) und Kabelverlegemaschinerie erforderlich.

* Vgl. DLR (2005). Solarthermische Kraftwerke für den Mittelmeerraum. Stuttgart.

Solarthermie nutzt Solarkollektoren zur Energieernte

Die Nutzung des Sonnenlichtes für die Zwecke der Solarthermie ist schon länger bekannt und erprobt. Im Kern fangen Kollektoren die Wärme der Sonne auf. Diese wird dann mittels Rohrsystemen an den Ort der Verwendung transportiert. In den warmen Zonen der Erde sind oft einfache Systeme auf Hausdächern installiert, die das Warmwasser für traditionelle Zwecke in Küche und Bad liefern.

In Europa hält Deutschland in der Nutzung von Solarthermie einen vorderen Platz, obwohl die Bedingungen in vielen südeuropäischen Ländern günstiger sind. In den kommenden Jahren profitiert die Solarthermie in Deutschland nicht zuletzt von dem neuen Wärme-gesetz und ordnungspolitischen Vorgaben im Wohnungsbau.

CSP-Technik wächst dank Desertec in neue Dimension

Die PV ist nur eine Produktionsform für Solarstrom. Eine zweite Option ist die Concentrated Solar Power (CSP)-Technologie. Während PV in der Regel eher dezentral eingesetzt wird, handelt es sich bei CSP um eine zentrale Stromerzeugung.

Es gibt eine ganze Reihe von CSP-Verfahren. Besonders bewährt haben sich in einer mehr als 20-jährigen Praxis solarthermische Kraftwerke (Solarkraftwerke) mit Parabolrinnen-Technologie.²² Längst sind Anlagen in sonnigen Ländern wie Spanien aufgestellt und in Betrieb. Dennoch hat in den letzten Monaten CSP eine völlig neue Welle an Interesse ausgelöst. Der Grund heißt Desertec (siehe Box). Hierbei handelt es sich um eine Industrieinitiative, die sich zum Ziel gesetzt hat, Europa mit Energie aus den Wüsten Nordafrikas und des Nahen Ostens sicher, nachhaltig und klimafreundlich mit Energie zu versorgen. 2050 sollen so 15% des jährlichen europäischen Strombedarfs gedeckt werden.

Freilich wird sich Desertec auch gegenüber dem technischen Fortschritt in der dezentralen grünen Stromerzeugung behaupten müssen. Sollten sich aber die Preise für fossile Energien bis 2050, wie vielerorts erwartet, merklich verteuern, dürfte der Wüstenstrom gerade recht kommen, um den Energiedurst in Europa kostengünstig löschen zu können. Der Überschuss an Sonnenlicht über der nordafrikanischen Wüste bekommt damit eine völlig neue Bedeutung.

Der Laserreaktor – Hoffnungsträger für die Zukunft

Spätestens seit Carl Friedrich von Weizsäcker (1938) den theoretischen Nachweis führte, dass nur die Kernfusion (sehr leichter Atomkerne wie Wasserstoff) die Strahlkraft der Sonne und anderer Sterne erbringen kann, arbeitet die Wissenschaft daran, den genialen Trick der Sonne auf der Erde nachzuahmen. Heute werden im Kern zwei Ansätze verfolgt, die Erfolg versprechen (siehe Box, S. 16).

Bei Erfolg des Laserreaktors würde ein Menschheitstraum wahr, nämlich die Verfügbarkeit sauberer Energie im Überfluss. Mit der Praxisreife der Technik ist allerdings keineswegs vor Mitte des Jahrhunderts zu rechnen. Das Laserkonzept ist zwar theoretisch gelöst. Und die ersten Praxistests laufen, die zeigen sollen, dass es auch in der Praxis geht. Aber der Reifeprozess von „Laboranwendungen“ hin zu Kraftwerksdimensionen erfordert doch sehr viel Zeit. Mitte

²² „Mittels großer, parabolisch geformter und in langen Reihen angeordneter Spiegel wird die Sonnenstrahlung gebündelt und lokal bis zur 80-fachen Konzentration verstärkt und auf den so genannten Receiver geleitet. In ihm wird ein Wärmeträgeröl erhitzt, das über einen Wärmetauscher Dampf erzeugt, der wiederum herkömmliche Elektroturbinen antreibt. Thermische Speicher erlauben die zuverlässige Stromerzeugung sogar bei Nacht.“ Vgl. Schott Solar. Konzentrierte Sonnenenergie. Solarkraftwerke.

Zwei Ansätze für die Kernfusion

Erstens wird in einer großen weltweiten Anstrengung im internationalen Versuchsreaktor ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) in Cadarache, Frankreich, versucht, mittels eines extrem starken Magnetfeldes den Brennstoff, das Plasma, einzuschließen und schwebend zu halten. Wegen der Erhitzung auf mehrere hundert Millionen Grad Celsius treffen die Atomkerne im Plasma mit so einer Wucht aufeinander, dass sie die gegenseitigen Abstoßkräfte überwinden und verschmelzen. Per Saldo wird damit mehr Energie erzeugt als die Plasma-Erhitzung verbraucht.

Beim zweiten Ansatz, der so genannten Trägheitsfusion, spielt die OT Laser eine Hauptrolle. Erprobt wird die Technik derzeit in der National Ignition Facility (NIF) in Kalifornien.* Die Projektkosten werden auf USD 3,5 Mrd. taxiert. Der größte Laser der Welt sendet einen Nanosekunden langen Laserimpuls aus, der in 192 Laserstrahlen geteilt wird. In einem System optischer Schalter treffen die Strahlen dann von allen Seiten fokussiert auf ein 2 mm winziges Brennstoffkugelchen aus gefrorenen Wasserstoffisotopen (Tritium und Deuterium) und es kommt zur Implosion. Dabei werden die Wasserstoffatome auf die hundertfache Dichte von Blei komprimiert, wobei hundert Millionen Grad Celsius (also mehr als auf der Sonne) erreicht werden. Druck und Temperatur reichen, um das Deuterium-Tritium-Gemisch zu entzünden und damit die Kernfusionsreaktion zu starten.

*Zu NIF-Details vgl. Lawrence Livermore National Laboratory. National Ignition Facility & Photon Science. Bringing Star Power to Earth. (<https://lasers.llnl.gov/>)

des Jahrzehnts startet das europäische Projekt HIPER (High Power Laser Energy Research Facility), das sich mit dem Bau einer eigenen Anlage an NIF anlehnt. Dies ist ein Beleg dafür, dass es sich um mehr handelt als reines „Disneyland für Physiker“ (Vgl. Spiegel (2009). Disneyland für Physiker. 2. November. Stimmt es, wie hier zitiert, dass die Kernfusion ermögliche, letztlich mit einem Tropfen Wasser 100 km weit zu fahren, dann reicht im Fusionszeitalter ein Liter für die Erdumrundung). Die domestizierte „Sonne auf Erden“ wäre auch eine elegante technische Antwort auf viele Fragen des Klimawandels. Überdies bliebe wertvolles Erdöl z.B. für die chemische Industrie übrig. Und geopolitische Konflikte rund um fossile Quellen würden entspannt. Der Laserreaktor zeigt einen gangbaren und verheißungsvollen Energiepfad auf.

8. Fazit: Licht bei der Arbeit: nicht stören!

Die vorgestellten OT werden künftig wichtiger. Ihr Potenzial ist bei weitem noch nicht ausgereizt. Es gilt deshalb, die zum Teil noch zarten Pflanzen zu hegen und zu pflegen, damit sie weiter wachsen können. Gerade im Sinne einer intelligenten Hightech-Strategie erscheint es zielführend, neue innovative Projekte rund um das Phänomen Licht zu fördern. Wenn es uns gelingt, das Werkzeug Licht zu einem noch universelleren Querschnittsinstrument zu formen und das Sonnenlicht professionell als unerschöpfliche Energiequelle zu nutzen, dann sollten künftig alle Menschen davon profitieren. Freilich kann der erforderliche technische Fortschritt am ehesten dort gelingen, wo die Techniker, Ingenieure, Forscher und Facharbeiter geballt zuhause sind. Deutschland sollte deshalb ein guter OT-Standort bleiben.

Josef Auer (+49 69 910-31878, josef.auer@db.com)

© Copyright 2010. Deutsche Bank AG, DB Research, D-60262 Frankfurt am Main, Deutschland. Alle Rechte vorbehalten. Bei Zitaten wird um Quellenangabe „Deutsche Bank Research“ gebeten.

Die vorstehenden Angaben stellen keine Anlage-, Rechts- oder Steuerberatung dar. Alle Meinungsäußerungen geben die aktuelle Einschätzung des Verfassers wieder, die nicht notwendigerweise der Meinung der Deutsche Bank AG oder ihrer assoziierten Unternehmen entspricht. Alle Meinungen können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die Meinungen können von Einschätzungen abweichen, die in anderen von der Deutsche Bank veröffentlichten Dokumenten, einschließlich Research-Veröffentlichungen, vertreten werden. Die vorstehenden Angaben werden nur zu Informationszwecken und ohne vertragliche oder sonstige Verpflichtung zur Verfügung gestellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Angemessenheit der vorstehenden Angaben oder Einschätzungen wird keine Gewähr übernommen.

In Deutschland wird dieser Bericht von Deutsche Bank AG Frankfurt genehmigt und/oder verbreitet, die über eine Erlaubnis der Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht verfügt. Im Vereinigten Königreich wird dieser Bericht durch Deutsche Bank AG London, Mitglied der London Stock Exchange, genehmigt und/oder verbreitet, die in Bezug auf Anlagegeschäfte im Vereinigten Königreich der Aufsicht der Financial Services Authority unterliegt. In Hongkong wird dieser Bericht durch Deutsche Bank AG, Hong Kong Branch, in Korea durch Deutsche Securities Korea Co. und in Singapur durch Deutsche Bank AG, Singapore Branch, verbreitet. In Japan wird dieser Bericht durch Deutsche Securities Limited, Tokyo Branch, genehmigt und/oder verbreitet. In Australien sollten Privatkunden eine Kopie der betreffenden Produktinformation (Product Disclosure Statement oder PDS) zu jeglichem in diesem Bericht erwähnten Finanzinstrument beziehen und dieses PDS berücksichtigen, bevor sie eine Anlageentscheidung treffen.

Druck: HST Offsetdruck Schadt & Tetzlaff GbR, Dieburg

Print: ISSN 1430-7421 / Internet: ISSN 1435-0734 / E-Mail: ISSN 1616-5640