

# 4 SUR *faces*

Nr. 1

Das Lasertechnik-Magazin von 4JET

**RANDENTSCHICHTUNG**  
*für Dünnschicht-Solarzellen*

**KEEPING TRACK**  
*4JET-Anlagen zur  
Reifenbeschriftung*

LASER | SYSTEME | SERVICES

**4JET**

## Editorial

Als Anbieter integrierter Lösungen für die Laserbearbeitung von Oberflächen kommen wir viel herum. Irgendwie – im Nachhinein nennt man es wohl Strategie – sind wir an Reifen und Dünnschicht-Solarzellen hängen geblieben.



Was haben Reifen mit Solarzellen zu tun? Fast nichts. Die Reifenindustrie gibt es seit mehr als 100 Jahren, die Produktion ist extrem ausgereift und die Entwicklungsschritte sind kleiner geworden. Dünnschicht-Solarzellen gibt es erst wenige Jahre und die Entwicklungsdynamik ist hoch. Eine Dünnschicht-Fab Baujahr 2006 gilt heute zu großen Teilen als veraltet, ein Reifenwerk aus 2006 zählt zum letzten Schrei.

Trotzdem – vergleicht man einige Größenordnungen wie die Durchlaufzeiten durch die Fabrik (einige Stunden), den Preis pro Bauteil (50 - 150 EUR), das Gewicht (Pkw-Reifen und Solarzelle jeweils um die 15 kg) und die Stückzahlen in modernen Fertigungen (Tagesleistung jeweils einige 1000 Teile) – sind die beiden Welten doch nicht so weit voneinander entfernt. Es werden eben keine Pfennigartikel hergestellt, sondern kleine Wunder der Technik, die jahrelang unter Extrembedingungen funktionieren müssen.

Was die beiden Industrien voneinander lernen können? Ein Reifenhersteller mit der technologischen Dynamik eines Dünnschichtlers oder ein Dünnschichtler mit dem „Yield“ eines Reifenherstellers würden in ihren Branchen vermutlich Furore machen.

Was beide nicht besonders gut gelöst haben? Die Komplexität der Produkte zu vermitteln und Marken zu bilden. Wenige Menschen kennen das Fabrikat ihres Reifens und kaum ein Branchenfremder kennt die Namen der Hersteller von Solarzellen.

Was die beiden Industrien verbindet? Lasertechnik spielt in beiden Fertigungen eine zunehmend wichtige Rolle. Das freut uns. Eine Reihe von Beispielen stellen wir in unserer Erstausgabe von 4SURfaces vor.

Viel Spaß beim Lesen wünscht

**JÖRG JETTER**  
Geschäftsführer

**HERAUSGEBER** 4JET Sales+Service GmbH, ViSdP Jörg Jetter  
**FOTOS** Kira von Gradowski  
Dresden: © Sandro Götze / fotolia.com  
Autorenbilder: privat  
**GESTALTUNG** www.scribble-werbeagentur.de  
**PAPIER** chlorfrei – Maxi Gloss FSC zertifiziert  
(Holzfaser aus nachhaltiger Forstwirtschaft –  
garantiert regenwaldfrei)

Impressum

# 4SURfaces



## GRUSSwort

### SOLARtechnology

S. 04 - 07  
**RANDENTSCHICHTUNG**  
für Dünnschicht-Solarzellen

S. 08 - 09  
**PRODUKTnews**

S. 10 - 11  
**AUF AUGENHÖHE**  
Gerold und 4JET

S. 12 - 13  
**DÜNNSCHICHT, QUO VADIS?**  
Ein Blick nach vorn

### TIREtechnology

S. 14 - 15  
**KEEPING TRACK**  
4JET-Anlagen zur Reifenbeschriftung

S. 16 - 17  
**NEUES T-MARK COMPACT SYSTEM**  
für die Reifenmarkierung

S. 18  
**REIFENBESCHRIFTUNG MIT LASER**  
Praxisreport Continental Matador

S. 19  
**DIE LUFT RAUSLASSEN**  
(K)eine haarige Angelegenheit

S. 20 - 21  
**GUT IN FORM**  
Laserreinigung in der Reifenindustrie

### MIXEDzone

S. 22 - 23  
**KURZmeldungen**

S. 24 - 26  
**REINIGUNG MIT LASERTECHNIK**  
Ein Überblick

S. 27  
**RITA LÄSST TECHNIKERZEN  
HÖHER SCHLAGEN**

# RAINBOW

## ENTSCHICHTUNG

### für Dünnschicht-Solarzellen

Trotz der einen oder anderen Wolke am Himmel: Der Ausbau der weltweiten Photovoltaik-Industrie geht weiter. Einen wachsenden Anteil nehmen dabei Dünnschicht-Solarzellen ein, die eine interessante Alternative zu den konventionellen kristallinen Solarzellen und Solarthermie-Anlagen darstellen. In der Herstellung durchlaufen die Glassubstrate eine Reihe von Prozessen, bei denen feinste Schichten leitfähiges transparentes Oxid (sog. TCO), halbleitendes Material (z. B. amorphes Silizium, Kupfer-Indium-Selen oder Cadmium-Tellurit) und ein metallischer Kontakt (in der Regel Molybdän) auf das Glas aufgetragen werden. Zwischen den einzelnen Beschichtungsschritten



Entscheidendes Kriterium für die Randentschichtung ist eine Isolationsprüfung

werden die aufgetragenen Schichten mit Laserstrukturierungsanlagen elektrisch getrennt. Einer der letzten Bearbeitungsprozesse in der Herstellung ist die sogenannte Randentschichtung. Dazu muss der Schichtaufbau in einem Bereich von

10-15 mm am äußersten Glasrand entfernt werden, bevor die Module in einem Laminationsprozess verkapselt werden. 4JET hat als Pionier den Einsatz von Lasern in der Randentschichtung eingeführt und in den vergangenen Jahren zahlreiche Systeme installiert. Zeit für eine Bestandsaufnahme und den Blick nach vorn.

#### Die Aufgabe

Randentschichtungssysteme müssen heute sowohl die Anforderungen der gängigen Prüfnormen, wie die der IEC 61646 und 61730, sowie die Bedingungen der Serienproduktion erfüllen.

Dabei sind wesentliche Merkmale:

- eine elektrisch isolierende Oberfläche

der Substrate (Schnelltest: > 2 GOhm bei 1 kV zwischen 2 Messspitzen mit 5 mm Abstand)

- eine optisch reine, möglichst unveränderte Glasoberfläche ohne Kratzer und Stäube, die sich ohne Nachbehandlung laminieren lässt
- ein Glassubstrat, das möglichst frei von Mikrorissen ist, die Feuchtigkeit transportieren oder zu Schäden wachsen können
- reproduzierbare Bearbeitungszonen und scharfe Übergänge zwischen Rand und Schichtsystem
- und natürlich produktionsstaugliche Lösungen mit geringen Cost of Ownership, hoher Uptime und geringem Wartungsaufwand

#### Warum Laser?

Der Einsatz von Lasersystemen zur Randentschichtung verspricht die obigen Anforderungen besser zu erfüllen als konventionelle Strahl- oder Schleifverfahren: Der Isolationswiderstand liegt typischerweise deutlich höher als bei Strahlverfahren. Die Gründe hierfür sind insbesondere in der inhomogenen Bearbeitung der mechanischen Lösungen begründet. Je nach Strahldruck und Körngröße des Strahlgutes bleiben Bereiche unbearbeitet, auf denen Rückstände von TCO (bzw. Molybdän im Fall von CIGS-Modulen) verbleiben. Die Rauigkeit der Glassubstrate verändert sich durch die Laserbearbeitung nur in



Roboterbasierte Randentschichtungssysteme eignen sich insbesondere für kleinere Substrate und die beidseitige Bearbeitung

einem Bereich von wenigen Nanometern und damit um Faktoren geringer als beim Sandstrahlen. Bei optimierten Prozessen lässt sich die Bildung von Mikrorissen eliminieren bzw. die Ausdehnung örtlich so begrenzen, dass keine Langzeiteffekte im Glas auftreten können. Demgegenüber entstehen bei der mechanischen Bearbeitung erhebliche Beeinträchtigungen der Glassubstrate. Die Präzision und Reproduzierbarkeit der Lasertechnik ist den mechanischen Verfahren deutlich überlegen. Moderne Festkörperlaser arbeiten über Tausende von Betriebsstunden ohne Wartung. Die Lebensdauer der Pumpdioden liegt typischerweise bei 20.000 h und darüber, sonstige Wartungen beschränken sich in der Regel auf Kühlkreislauf und Absauganlagen. Demgegenüber stehen sehr wartungsintensive konventionelle Strahl- oder Schleifverfahren, die aufgrund der hohen Drücke und Schmutzbildung stark verschleifen. In puncto Flexibilität sind Laser Meister der Vielseitigkeit. Unterschiedliche Rahmenbreiten, Anpassung an Toleranzen der Glassubstrate, Freilegungen in der Mitte des Schichtpaketes oder sogenannte Isocuts können mit den von 4JET angebotenen Systemen realisiert werden.

hinaus überlegene Qualität sowie höheren „Yield“ und können Prozessmaschinen für den Isocut oder die Nachreinigung überflüssig machen. In solchen Fällen ersetzt der Laser dann zwei oder sogar drei andere Prozessmaschinen.

#### Prozessparameter

Die Einflussparameter auf die Randentschichtung sind auf Basis zahlreicher Projekte mittlerweile verstanden. Ohne Kenntnis der exakten Wirkungsmechanismen kann ein Laserprojekt aber schnell in ein Forschungsvorhaben abrutschen. Es gibt wesentliche Einflussgrößen auf die not-

den ökonomischen Einsatz der „teuren“ Laserleistung. Wenn möglich kommen rechteckige oder quadratische Strahlflecken zum Einsatz, um die Überlappbereiche zwischen den einzelnen Pulsen zu minimieren. Dabei sind Strahlprofile mit einer homogenen Energieverteilung bis in die Randzonen zwar von Vorteil, wenn diese jedoch auf Kosten der Tiefenschärfe erkaufte werden, wird eine aufwendigere Lageverfolgung und Regelung der teilweise erheblich verbogenen Substrate notwendig. Die Strategie mit der ablatiert wird, kann sich dabei

wechsel oder Justage in Losgröße 1 per Software ändern. Schnittstellenstandards wie SECS/GEM, umfangreiche Betriebsdatenerfassung und VPN-Teleservicepräsenz sind Voraussetzung für den Einsatz in modernen Produktionen. Die Anlagen beinhalten typischerweise automatische Leistungsmessung und -regelung an der Quelle und am Ort der Bearbeitung. 4JET liefert darüber

hinaus ein Modul zur Prozesskontrolle, das die Entschichtungsgebiete vollflächig und beidseitig mit einem Hochspannungstest auf Rückstände prüft. Die Kosten für die Anlagentechnik sind in den vergangenen Jahren leicht gesunken, gleichzeitig hat sich der Durchsatz der 4JET-Anlagen verdoppelt. Damit liegen die Prozesskosten heute bei nur noch 40 % im Vergleich zu den ersten installierten Maschinen.

#### Ausblick

Die dynamische Entwicklung der letzten Jahre hat eine ausgereifte Technologie mit zuverlässigen Maschinen auf den Markt gebracht. Zukünftige Trends werden neben einer weiteren Reduzierung der Taktzeiten die Kombination mit anderen Prozessschritten, wie dem Isolationschnitt oder der Freilegung von Molybdän auf CIGS-Solarzellen sein, um die Gesamtinvestitionskosten zu reduzieren. Abzusehen ist auch ein Transfer in die Bearbeitung flexibler Substrate.

#### Zusammenfassung

Der Einsatz von 4JET-Anlagen ist heute bereits in der Produktion von a-Si-, µc-Si-, CIS-, CIGS- und CdTe-Dünnschicht-Solarzellen an der Tagesordnung. Die erheblichen Vorteile der Laser-Randentschichtung, insbesondere in puncto Qualität und Betriebskosten, amortisieren in kurzer Zeit den Mehrinvest gegenüber konventionellen Verfahren. Für alle gängigen Schichtsysteme gibt es ein ausreichend großes Prozessfenster, wenn die Einflussparameter von Glas, Schichtpaket und Laserprozess verstanden sind und sich in der Produktionsanlage abstimmen lassen. Voraussetzung hierfür ist eine integrierte Gesamtlösung aus Prozess und Maschinenbau.



Die INLINE-Plattform von 4JET ermöglicht die vollflächige Bearbeitung von Substraten jeder Baugröße

#### Kosten?

Lasieranlagen haben höhere Investitionskosten als konventionelle Verfahren. Ein bloßer Vergleich der Preisschilder springt dabei aber zu kurz: Allein die Erhöhung des Modulwirkungsgrades durch die Reduzierung der „Totfläche“ zwischen Isolationsrand und Absorber macht in vielen Fällen die Investition in die Lasertechnik bezahlt (siehe Infokasten). Auch die geringen Betriebskosten (Ersatz- und Verschleißteilkosten < 2 EUR/h) und der reduzierte Personalaufwand sorgen für insgesamt niedrigere „total Costs of Operation“ als bei den bisher eingesetzten Verfahren. Einsparungen bei den Entsorgungskosten für teilweise toxisches Strahlgut erhöhen den Kundennutzen. Laser liefern darüber

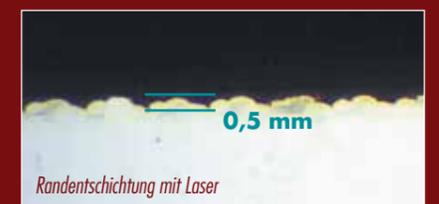
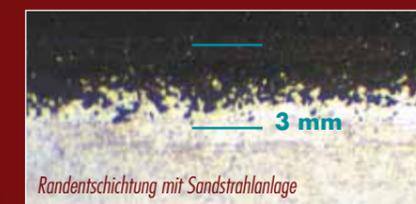
wendige Bearbeitungsstrategie. Dazu zählen neben vielem anderen die Dotierung der Frontkontakte (also freie Ladungsträger im TCO-Volumen), verwendete Barrierschichten auf dem Glas oder die Transmission der Substratgläser bei der gewählten Wellenlänge des Lasers. Hier ist also Prozessverständnis beim Anlagenhersteller gefordert. Die Stellschrauben beim Design und bei der Optimierung des Ablationsprozesses sind dabei vielfältig. Stand der Technik ist heute der Einsatz diodengepumpter Festkörperlaser, wobei entscheidendes Auswahlkriterium die verfügbare mittlere Leistung bei möglichst kurzen Pulslängen und idealerweise hoher Pulsenergie ist. Das Design des Strahlführungssystems erlaubt

von Schichtsystem zu Schichtsystem unterscheiden: Lassen sich manche Schichten am besten mit einem Puls hoher Leistungsdichte abtragen, eignet sich für andere Systeme die mehrfache Bearbeitung mit geringerer Pulsenergie.

#### Eckdaten

State-of-Art-Randentschichtungssysteme von 4JET liefern heute Flächenraten von 30-60 cm<sup>2</sup>/sund Isolationswiderstände von 2 GOhm/mm bei 1 kV. Größertoleranzen der Substrate lassen sich entweder auf das Schichtpaket oder im Randbereich verteilen. Die Glaswelligkeit wird durch dynamische Strahlführungssysteme kompensiert. Bearbeitungszonen und Strategien lassen sich ohne Werkzeug-

## EFFIZIENZ-STEIGERUNG DURCH LASER-ENTSCHICHTUNG



Randentschichtung mit Sandstrahlanlage: Deutlich erkennbar sind die Veränderungen im Glas und der unscharfe Bereich zwischen Isolationsrand und Absorber, der wertvollen Wirkungsgrad kostet: Ein Übergangsbereich von 3 mm dient weder der Isolierung noch der Absorption von Sonnenlicht und wird ver-

schwendet. Die Laserbearbeitung reduziert diesen „verlorenen Bereich“ auf unter 0,5 mm. Was nach einem Detail klingt, lässt sich in überzeugende Zahlen umrechnen: Die gewonnenen 2,5 mm entsprechen bei einem 1400 x 1100 mm Substrat einer Absorberfläche von 125 cm<sup>2</sup> bzw. 0,8 % der Gesamtmodulfläche. Die zusätzliche

Absorberfläche liefert bei einem 150-W-Modul daher etwa 1,5 Wp zusätzlichen Energieertrag, der erzielbare Preis für das Modul steigt um mehr als einen Euro und damit um ein Vielfaches der Gesamtprozesskosten der Laserentschichtung.

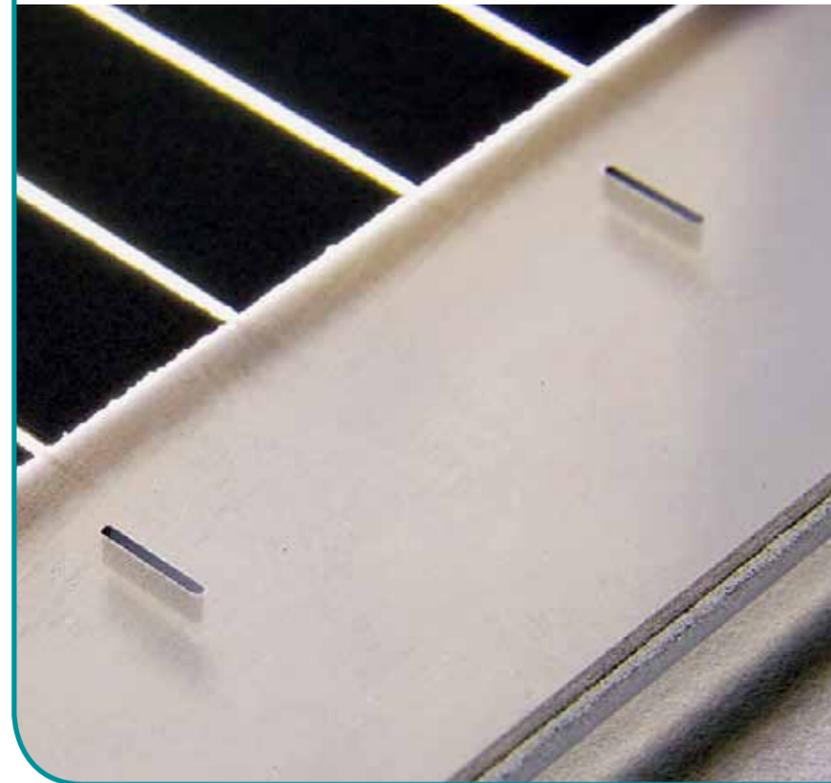
## QVS-SYSTEME für Dünnschicht-Solarzellen



Die Anforderungen an Randentschichtungsverfahren können aus der IEC 61646 und 61730 abgeleitet werden. Demnach muss ein definierter Übergangswiderstand auf der freigelegten Randfläche hergestellt werden. Das QVS-Tool von 4JET erlaubt die vollflächige Isolationsmessung der entschichteten Bereiche mit Hochspannung. Das System erkennt dabei auch leitende Rückstände auf der unbeschichteten Glasseite und dem C-Schliff der Substrate.

Die kompakte Station kann optional auch mit zusätzlicher Prüfsensorik bestückt werden und kann stand-alone oder als verkettete Anlage im Backend installiert werden.

## BOHREN VON SOLARGLAS

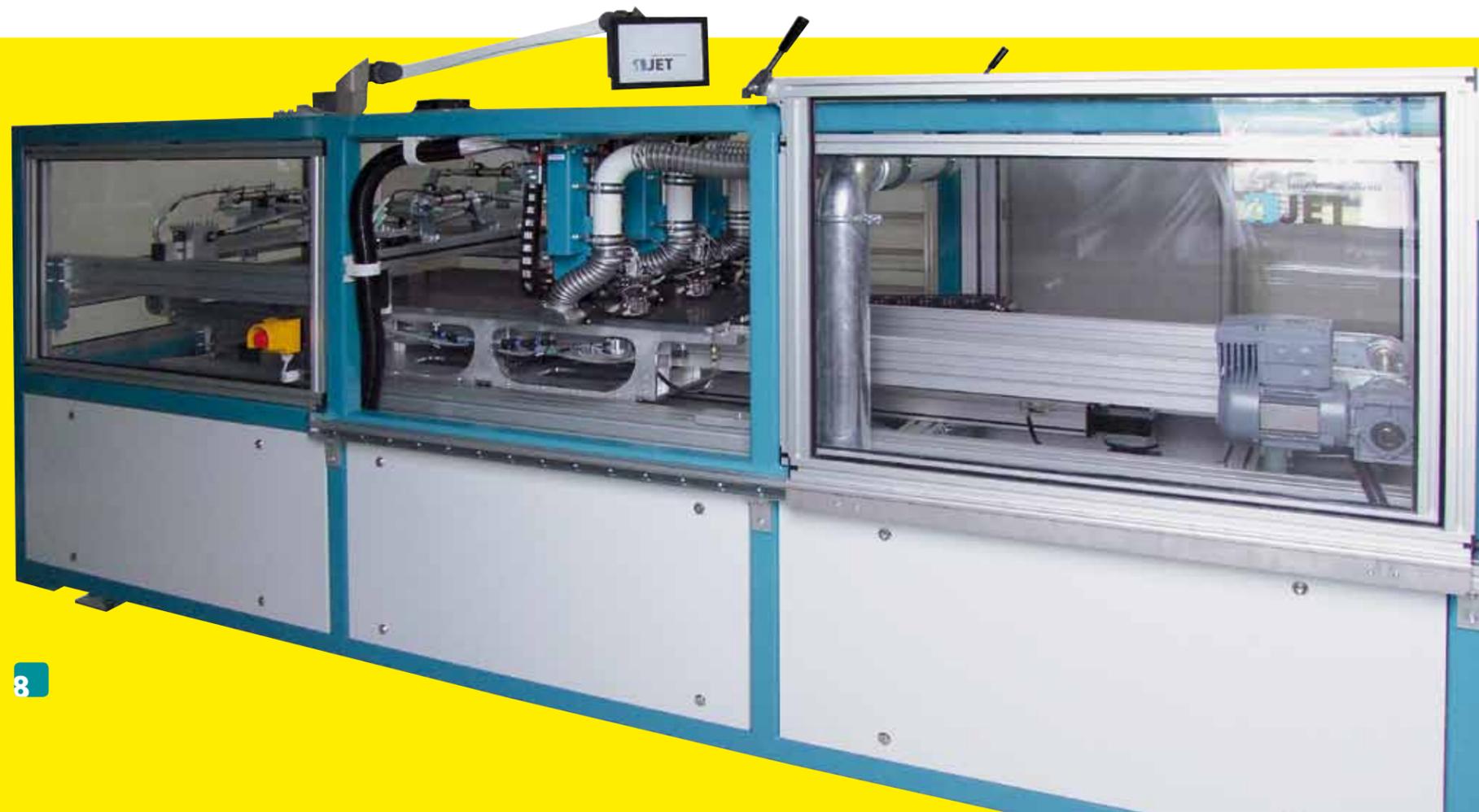


Abhängig von der Modularchitektur einer Dünnschicht-Solarzelle sind im Randbereich Durchgangsbohrungen für die Durchführung der Kontaktbänder erforderlich. Klassische mechanische Bohrverfahren verursachen Mikrorisse, die insbesondere im Randbereich als problematisch betrachtet werden.

4JET liefert Lasermodule zum schonenden Bohren von Glas mit gepulster Laserstrahlung. Dazu wird das Laserlicht im Glas fokussiert und mit einem 3-D-Scanner durch die gesamte Dicke der Glasscheibe geführt.

Die resultierenden Bohrungen verändern die mechanische Festigkeit der Gläser nicht und zeichnen sich durch glatte Ränder aus.

Freiformen, wie zum Beispiel Kegellöcher oder Ellipsen, lassen sich in der Software einstellen. Das Aspektverhältnis (Durchmesser zu Tiefe) der Bohrungen ist für Solarglasanwendungen nahezu unbegrenzt.



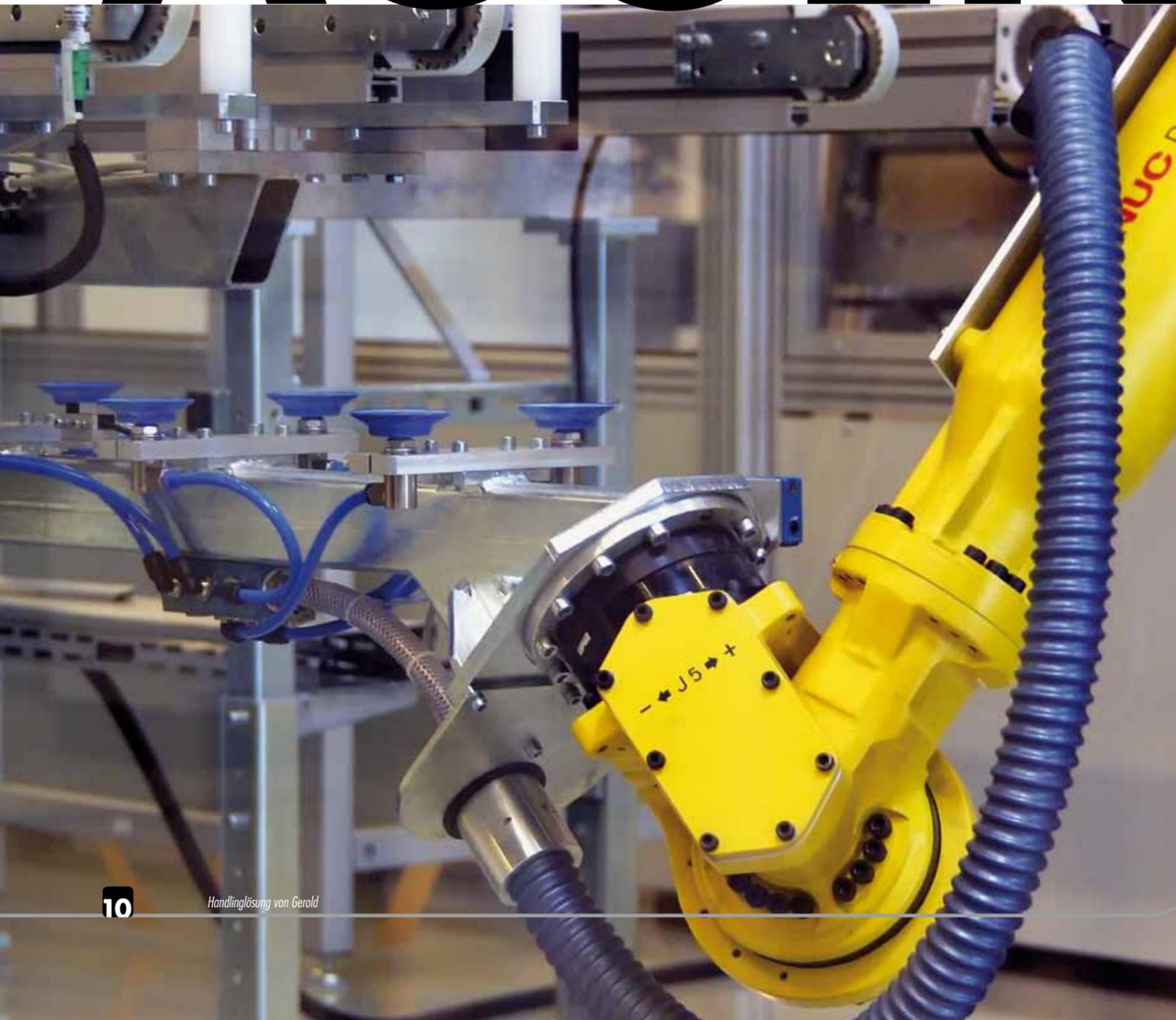
## MEX-SYSTEME zur Freilegung von Molybdän auf CIGS-Solarzellen

Ein Prozessschritt bei der Verarbeitung von CIGS-Solarzellen legt die auf das Glas aufgebrachte Molybdänschicht frei, in dem das Halbleitermaterial und die TCO-Deckschicht entfernt werden. Für die nachfolgende Kontaktierung mit Klebverfahren oder Ultraschallschweißen ist dabei eine möglichst reine Oberfläche gefordert. Die typischerweise einige Millimeter

breiten Streifen liegen entlang der kurzen oder der langen Substratseiten. Die von 4JET entwickelten MEX-Systeme erlauben eine präzise Freilegung. Durch die Verwendung eines oder mehrerer Bearbeitungsköpfe mit einem präzisen und verschleißarmen Werkzeug lassen sich die Taktzeiten moderner CIGS-Fertigungsstraßen problemlos einhalten.



# Auf AUGEN



# HÖHLE

Das dynamische Wachstum von 4JET wäre ohne leistungsfähige Partner in dieser Geschwindigkeit nicht darzustellen gewesen. Eine besonders intensive Kooperation wird mit der Maschinenbau GEROLD GmbH & Co. KG in Nettetal gepflegt. Was Anfang 2007 mit einem Ideenaustausch für ein Sondermaschinenprojekt begann, hat sich mittlerweile zu Projekten bei einem Dutzend verschiedener Hersteller von Dünnschicht-Solarzellen entwickelt. Jürgen Weiss, kaufmännischer Leiter von GEROLD, berichtet:

Die Maschinenbau GEROLD GmbH & Co. KG mit Sitz in Nettetal/Deutschland ist ein global agierender Automationsspezialist. Das 1968 gegründete Unternehmen tritt heute insbesondere als Hersteller von Robotik- und Automationslösungen für Frontend- und Backendproduktionslinien in der Photovoltaik auf.

Die Zusammenarbeit beider Unternehmen reicht zurück bis Anfang 2007. Bei der Suche nach einem qualifizierten Lieferanten für eine Laseranwendung in der Photovoltaik-Industrie wandte sich GEROLD an 4JET. In einem ersten Kooperationsprojekt realisierte 4JET in Verbindung mit GEROLD Lösungen für die Laser-Randentschichtung von Dünnschicht-

solarzellen auf Glas. Schnell ergaben sich diverse weitere Ansätze für gegenseitiges Projektgeschäft. Die Zusammenarbeit hat seither stetig an Dynamik gewonnen.

GEROLD und 4JET haben mittlerweile zahlreiche Projekte in der Photovoltaik-Industrie realisiert. 4JET-Anlagen werden hier unter anderem zur Randentschichtung von Dünnschicht-Solarzellen auf Glas, dem Freilegen der Molybdän-Schicht auf CIS/CIGS-Substraten, der Reinigung von Werkzeugträgern sowie dem Bohren von Solarglas eingesetzt. Für alle Projekte bringt GEROLD Lösungen für das Glashandling und die Automation ein.

Anfang 2009 stellten die beiden Partner erstmals eine Komplettlösung für die Randentschichtung und Kontaktierung von Dünnschicht-Solarzellen vor. Dabei zeichnet 4JET für die Prozesse Randentschichtung mit Lasertechnik sowie die teilweise notwendige mechanische Freilegung von Molybdän-Kontaktstellen auf Modulen der "CIS-Familie" verantwortlich, während GEROLD vollautomatische Kontaktierungslösungen einbringt. Letztere arbeiten wahlweise auf der Basis der Verbindungsverfahren Kleben, Schweißen oder Lötten. Das Eliminieren einer prozesskritischen Schnittstelle und insbesondere das

Verbindungsverfahren Ultraschallschweißen bieten dabei einzigartige Vorteile; das Interesse der PV-Industrie ist entsprechend hoch.

Der partnerschaftliche Umgang beider Unternehmen wird durch eine ähnliche Struktur und Positionierung begünstigt. Eine hoch motivierte Belegschaft und ein hohes Maß an Kundenorientierung und Flexibilität zeichnen beide Unternehmen aus. Die geographische Nähe der Unternehmensstandorte begünstigt die Abwicklung auch komplexer gemeinsamer Projekte.

[Der Autor Jürgen Weiss trat 1998 in die Firma Maschinenbau GEROLD GmbH & Co. KG ein. Der staatl. geprüfte Betriebswirt ist seit 2002 kaufmännischer Leiter und Prokurist des Unternehmens. Neben dieser Funktion verantwortet er das Ressort Marketing und begleitet die vertrieblichen Aktivitäten.]



@ [www.gerold-mb.de](http://www.gerold-mb.de)

## Neu von GEROLD

### AUTOMATISCHE RAHMUNG VON PV-MODULEN

Seit Kurzem bietet GEROLD eine effiziente Produktionszelle für die automatisierte Rahmung von PV-Modulen an. Diese wird in Partnerschaft mit dem niederländischen Unternehmen RIMAS realisiert. Die Produktionszelle besteht aus einer RIMAS-Rahmenpresse, die mittels Roboter beladen wird. Dazu werden vorbereitete Rahmenteile aus

einem Magazin entnommen und in die Rahmenpresse eingesetzt. Daran schließen sich je nach Rahmendesign eine Kerbstation und ggf. eine abschließende Eckbearbeitung an. Das Zellkonzept eignet sich für Dünnschichtmodule und c-Si-Module.



# DÜNNNSCHICHT, QUO VADIS?

→ *Ein Blick nach vorn*



*Nach den dramatischen Veränderungen im gesamten Solarmarkt – vom Ende des spanischen Solarbooms bis hin zu Chinas Golden-Sun-Programm – steht die Photovoltaik-Industrie vor neuen Herausforderungen. Dabei dominieren in der Analyse oft kurz- und mittelfristige Faktoren, wie der Siliziumpreis, Förderquoten oder die gesamtwirtschaftliche Lage. Unser Autor nähert sich dem Thema grundsätzlicher und identifiziert drei wesentliche Parameter, die zukünftig zu berücksichtigen sind.*

*[Meinolf Heptner ist selbstständiger Analyst und Investor im Bereich der erneuerbaren Energien. Nach seinem Abschluss als Wirtschaftsingenieur und Stationen bei einer Unternehmensberatung und zwei Medizintechnikunternehmen berät er heute Unternehmen in der Photovoltaik-Industrie.]*

Das Geschäftsmodell vieler Dünnschicht-Start-ups, Module für mehr als 2 EUR/Wp in „unbegrenzte“ Märkte hineinzuverkaufen und so sagenhafte Reichtümer zu erlangen, ist – angesichts inzwischen erreichter Preise von ca. 2 US\$ für kristalline Module – tot. Das wird sich auch nach menschlichem Ermessen nicht mehr ändern, da die bereits aufgebauten Produktionskapazitäten (ca. 15-20 GWp/a) das Aufnahmevermögen subventionierter Märkte übersteigen dürften. Es stellt sich daher die Frage, wie viel ein Dünnschichtmodul im unsubventionierten Markt der Zukunft denn noch kosten darf.

## Erlaubter Systempreis

Der Wert einer PV-Anlage bemisst sich nach dem von ihr erzeugten Strom (kWh). Einer großen Investition am Anfang und nur sehr geringen Betriebskosten über die Lebensdauer stehen geringfügig sinkende kWh-Erträge (mit wahrscheinlich steigendem nominalem Wert je kWh) über einen sehr langen Zeitraum gegenüber.

Wenn man dies sehr stark vereinfachend auf ein Watt-Peak normiert betrachtet und „Nebensächlichkeiten“ wie Steuern,

Leverage, Degradation und Betriebskosten weglässt, kann man ein Modell auf drei Input-Parameter reduzieren:

→ den Wert des erzeugten Stroms in der ersten Periode (erzeugte kWh x Preis für eine kWh)

→ die Veränderungsrate dieses Werts (prognostizierte Inflation)

→ den Diskontierungssatz, mit dem man den Wertstrom auf den Gegenwartswert transformiert

Für einen Zins von 8 % ergibt sich folgendes Beispiel:

**NPV-Matrix\*** (Annahme: 25 Jahre Lebensdauer)

8 %	1,0 %	2,0 %	3,0 %	4,0 %	5,0 %
0,10	1,16	1,27	1,39	1,53	1,69
0,12	1,39	1,52	1,67	1,83	2,02
0,14	1,63	1,77	1,94	2,14	2,36
0,16	1,86	2,03	2,22	2,44	2,70

\*Net Present Value

Man erkennt, wie stark sich Faktoren auswirken, die mit der PV-Anlage per se gar nichts zu tun haben.

Zur Verdeutlichung ein konkretes Beispiel: Der „Market Price Referent“ (MPR) in Kalifornien, den die dortigen Versorger als Benchmark für ihre Kaufentscheidungen verwenden müssen, beträgt für 2009 etwa 11,5 \$c/kWh. Bei einem Ertrag von z. B. 1.400 kWh/kWp könnte man den Parameter „Wert“ mit etwa 16c ansetzen. Da der MPR mit jährlichen Preissteigerungen von 3 % rechnet, dürfte eine PV-Anlage in etwa \$ 2,22/Wp kosten, wenn der Investor eine Verzinsung von 8 % auf das eingesetzte Kapital erwartet.

## Struktur des Systempreises

Grundsätzlich kann man die 3 Kategorien „Modulpreis“, „modulabhängige Balance-of-System(BoS)-Kosten“ und „nicht modulabhängige BoS-Kosten“ (Projektentwicklung, technische Planung, Marge ...) differenzieren. Je nach Größe und Wirkungsgrad eines Moduls ergeben sich die benötigte Anzahl von Modulen (mit dazu proportionalem Bedarf an Unterkonstruktion, Verkabelung und Montage) sowie die Gesamtfläche zur Realisierung eines Projekts.

Qualitativ ist festzustellen, dass geringerer

Wirkungsgrad und Abmessungen eines Moduls ceteris paribus die benötigte Anzahl für eine gegebene Gesamtleistung erhöhen und damit ein verbilligtes Modul erfordern, wenn derselbe kWp-Preis erreicht werden soll. Im Grunde handelt es sich um eine Art Skaleneffekt: Durch leistungsstärkere Module werden die Kosten einer gegebenen Anlageninfrastruktur auf mehr Wp verteilt und dadurch günstiger. Bezogen auf typische kristalline Module mit einem Wirkungsgrad von ca. 14 % und BoS-Gesamtkosten von etwa 1,30/Wp kann man (bei gleicher Modulgröße) diesen BoS-Malus auf etwa 12c/Wp bei 11 % Wirkungsgrad bis hin zu 47c/Wp bei 6,5 % Wirkungsgrad schätzen. Wenn die Module, wie bei vielen Dünnschichtanbietern üblich, kleiner sind, wird der Abschlag noch größer. Diese Werte sind modulpreisunabhängig und es kann Konstellationen geben, bei denen selbst ein geschenktes Modul nicht wettbewerbsfähig wäre!

## Schlussfolgerungen und Handlungsansätze

Ohne substanzielle Reduzierung der

BoS-Kosten werden PV-Systeme nur in besonders günstigen Situationen wettbewerbsfähig sein. Das begünstigt zum einen größere Anlagen und zum anderen reduziert es den absoluten Preis-Spread zwischen c-Si und Dünnschichtmodulen. Hersteller von Dünnschichtmodulen müssen insbesondere ihre Wirkungsgrade erhöhen, nicht nur, um die Wp-Kosten des Moduls zu senken, sondern mehr noch, um den BoS-Nachteil gegenüber effizienteren Modulen zu reduzieren. Weitere Ansatzpunkte wären größere Module, besonders effiziente – vorzugsweise proprietäre – Montagekonzepte oder ganz andere Modulformen, die zu geringeren BoS-Kosten führen, indem sie beispielsweise als Folien verklebt oder als Ersatz für Fenster oder Dachziegel verwendet werden können.

Noch ein anderer Ansatz ist, die Ausbeute von kWh pro kWp oder die Form des Ertragsprofils zu verbessern. Einige Quellen postulieren, aufgrund geringerer Temperaturkoeffizienten für den Wirkungsgradverlust bei Erwärmung sei bereits ein kWh-Ertragsvorteil gegenüber der kristallinen Technologie gegeben; die

Quellenlage dazu erscheint bisher aber nicht belastbar.

Auf lange Sicht könnte sich aber noch etwas anderes auswirken:

Dünnschichttechnologien scheinen gegenüber kristallinen Modulen Vorteile bei der Energierücklaufzeit auf Systemebene (etwa 0,8 Jahre vs. 1,5 Jahre bei Installation in Südeuropa) und interessanterweise auch bei der wirtschaftlichen Skalierung (Kapitalbedarf/Wp skaliert stärker, geringeres Working-Capital aufgrund geringerer Durchlaufzeiten) zu haben.

Wenn man sich klarmacht, dass bei einem aktuellen Weltenergiebedarf von größenordnungsmäßig 16 TW = 1,6 x 10<sup>13</sup> W und einer geschätzten bis heute kumuliert installierten Gesamtleistung von 10 GW rechnerisch weniger als 0,01 % durch PV gedeckt werden, dann ist offensichtlich, dass – wenn man einen signifikanten Anteil der PV an der Gesamtversorgung erreichen will – die realisierbare Wachstumsgeschwindigkeit entscheidend sein wird.

# 4JET-Anlagen zur Reifenbeschriftung



**KEEPING TRACK**



Wiederholgenauigkeit der vollautomatischen T-Mark | Querschnitt einer Lasergravur mit 0,2 mm Gravurtiefe | Reifenbeschriftung mit T-Mark compact | T-Mark compact System | Vollautomatische T-Mark-Anlage

Die Rückverfolgbarkeit – oder „traceability“ – von Waren und Teilen ist in allen Industriebereichen gefordert. Egal, ob Kabel im Flugzeug, Bremsbeläge im Automobil, Kopfschmerztabletten oder Bioeier: Individuelle Chargen- oder Seriennummern finden sich auf immer mehr produzierten Gütern. Je lückenloser sich die Produktions- und Lieferkette zurückverfolgen lässt, desto sicherer können Schwachstellen aufgespürt und eliminiert werden. Gleichzeitig lässt sich Ware im „worst case“ eines Produktrückrufs eindeutig identifizieren und kann gezielt aus dem Verkehr genommen werden.

Wer sich schon einmal die Seitenwand eines handelsüblichen Reifens genauer angesehen hat, kennt die Vielzahl an Logos, Zahlen und Codes, die sich dort finden lassen. Viele dieser Informationen, wie z. B. die Hersteller-Logos oder Größenangaben sind unveränderlich und werden daher in die Vulkanisierformen eingraviert, mit denen die Reifen geheizt werden.

Darüber hinaus gibt es aber auch veränderliche Informationen, die auf Reifen gleicher Größe trotzdem nicht gesetzt sind, insbesondere Informationen zum Produktionszeitpunkt, der Herkunft, der Länderzulassung, dem OEM-Kunden, des Lärmindex und anderer Informationen, die sich durch-

aus im Produktlebenszyklus verändern können. In der Runderneuerung von Lkw-Reifen wird sogar die gesamte Historie des Reifens auf die neuen Seitenwände aufgebracht.

Solche Informationen werden durch Prägestempel, die in die Formen montiert werden, auf den Reifen gebracht. Bei jeder Veränderung einer Information ist der Austausch der entsprechenden Stempel in der Form notwendig. Dazu müssen diese produziert und auf teilweise bis zu 1000 gleichzeitig im Einsatz befindliche Werkzeuge verteilt werden. In modernen Reifenwerken mit bis zu 70.000 Reifen Tagesproduktion ist dies ein logistischer Albtraum, der zahlreiche Fehler und hohe Kosten verursacht.

Die Kennzeichnung mit Lasern ermöglicht dagegen eine schnelle, optisch ansprechende, fälschungssichere und haltbare Beschriftung der Reifen nach der Produktion. Dabei können ASCII-Codes und Logos direkt per Software verändert und aufgebracht werden. Der Laserstrahl verdampft durch lokalen Energieeintrag das Reifengummi und hinterlässt einen feinen Graben in der Seitenwand. Die Beschriftung liegt dadurch im Reifen versenkt und ist vor Abrieb geschützt.

Die heute bereits realisierten Anwendungen zeigen das vielfältige Potenzial der Laserbeschriftung in der Reifenindustrie auf:

- individuelle Seriennummern auf Lkw-Reifen
- kundenspezifische

	Formeinleger	Papierbarcodes	RFID	Laser
Individuelle Info	Nein	Ja	Ja	Ja
Dauerhaft	Ja	Nein	Ja	Ja
Maschinenlesbar	Bedingt	Ja	Ja	Bedingt
Menschlesbar	Ja	Bedingt	Nein	Ja

## Technologien zur Reifenbeschriftung im Überblick

Logos auf Lkw- und Pkw-Reifen  
 -DOT-Wochencodes auf Pkw-Reifen  
 - E-Nummern und Lautstärke-Index auf Pkw-Reifen  
 - ECE-109-Informationen auf rund-erneuerten Lkw-Reifen

4JET hat für diesen Prozess zwei Anlagenkonzepte entwickelt. Die vollautomatischen T-Mark-Systeme erlauben die automatische Positionierung, Lagererkennung und Beschriftung von Reifen-seitenwänden in „Losgröße eins“. Dazu werden die Reifen zentriert, optisch gemessen und die Beschriftung genau an die hinterlegte Sollposition graviert. T-Mark-Anlagen haben sich im Dreischichtbetrieb bewährt. Weltweit sind heute schon über 10 Millionen Reifen mit einer T-Mark-Beschriftung auf der Straße.

Seit Kurzem hat 4JET das Angebot um die T-Mark compact ergänzt, ein handgeführtes Beschriftungsgerät, das insbesondere für den Einsatz in der Runderneuerung oder zur Beschriftung von Testreifen im Reifenlager entwickelt wurde. Die Anlage kann kraftlos an der Seitenwand positioniert werden und beschriftet „auf Knopfdruck“ mit den eingegebenen Informationen.

# NEUES T-MARK COMPACT SYSTEM

Für die Laserbeschriftung von Reifen hat 4JET neben den vollautomatischen T-Mark-Anlagen nun auch eine kostengünstige handgeführte Lösung im Programm.

Die neue T-Mark compact ist eine manuelle Laseranlage zur Beschriftung von Reifenseitenwänden mit Seriennummern, Produktspezifikationen oder Logos. Die Anlage erlaubt dabei die Bearbeitung sowohl stehender als auch liegender Reifen jeder beliebigen Größe – von Pkw- über Lkw-/Bus-Reifen bis hin zu OTR-Größen.

Die zu gravierenden Informationen kann der Bediener entweder durch Einlesen eines Barcodes aus einer Datenbank abrufen oder manuell über ein Touchpad eingeben.

Mögliche Anwendungen für die T-Mark compact sind zum Beispiel die dauerhafte Beschriftung von Versuchsreifen beim Hersteller oder im Lager sowie länder- oder kundenspezifische Gravuren von Reifen nach der Produktion. Ein anderes Anwendungsgebiet ist die Gravur von Informationen gemäß ECE 109 auf runderneuertem Reifen. Lasergravuren ersetzen dabei die Beschaffung und Vorbereitung von Alustempeln und haben ein besseres Erscheinungsbild.

Die mobile Basiseinheit enthält die Steuerung und eine Absaugung

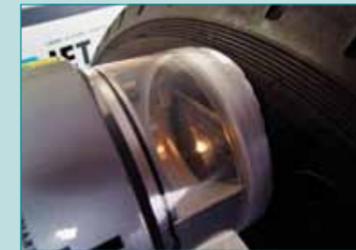
Das handgeführte System wird kraftlos mit einem Balancer positioniert



Schritt 1 - Auswahl eines Jobs oder Dateneingabe



Schritt 2 - Positionierung



Schritt 3 - Gravur!

## FLEXIBLER, SCHÄRFER GÜNSTIGER:

Speziell für Runderneuerungsbetriebe rechnet sich ein Leasingangebot von 4JET – für monatlich 1.710,- EUR kann eine T-Mark compact inklusive Ersatzteilen und Serviceplan eingesetzt werden.<sup>1</sup>

Für einen Runderneuerungsbetrieb mit einem Produktionsvolumen von 150 Reifen pro Tag sieht die Kalkulation wie folgt aus:

### Konventionelle Markierung

Lohnkosten/Reifen <sup>2</sup>	1,17 €
Materialkosten/Reifen <sup>3</sup>	0,22 €
Gesamtkosten/Reifen	1,39 €
Gesamtkosten/Monat	4.992,00 €

### Laserbeschriftung mit T-Mark compact

Lohnkosten/Reifen	0,29 €
Umlage Leasingkosten	0,47 €
Gesamtkosten/Reifen	0,76 €
Gesamtkosten/Monat	2.751,00 €

Neben der höheren Flexibilität gegenüber dem Einsatz von Aluplaketten oder Vulkanisierlabels und den Vorteilen eines optisch ansprechenderen Schriftbildes spart die Lasertechnik damit über 2.000,- EUR pro Monat!

<sup>1</sup> Kalkulationsbeispiel für Unternehmen in Deutschland, vorbehaltlich Bonitätsprüfung, Anzahlung 0,- EUR, 36 Monate Laufzeit, Schlusszahlung 6.000,- EUR

<sup>2</sup> Stundensatz 35,- EUR

<sup>3</sup> Für Aluplaketten oder Vulkanisierlabels

# REIFENBESCHRIFTUNG MIT LASER

## bei Continental Matador

Continental Matador Puchov (Slowakei) ist ein führender Hersteller von Lkw-Reifen und beliefert OEM-Hersteller und den Ersatzteilmarkt in ganz Europa.

Andrej Jancik, verantwortlich für Qualitätskontrolle und Tire Uniformity in Puchov, erläutert die Bedeutung der Produktkennzeichnung bei Continental Matador.

„Wie die meisten Produkte müssen auch Lkw-Reifen mit einer individuellen Seriennummer gekennzeichnet werden. Aus diesem Grund wurden ursprünglich Aluminiumplaketten manuell in die Formen eingelegt, bevor der Reifenrohling geheizt wurde.“

In Puchov haben wir bereits vor einigen Jahren die Reifenheizung weitgehend automatisiert und nahezu alle manuellen Prozesse ersetzt. Aus diesem Grund wurden 2005 auch zwei T-Mark-Laserbeschriftungssysteme beschafft.

Die Anlagen stehen in der Endkontrolle und bearbeiten die Reifen, bevor diese ins Lager gehen. Jeder Reifen trägt ein Bar-

code-Label. Die Barcode-Nummer erlaubt das Tracking wichtiger Informationen über jeden Produktionsschritt des Reifens, wie zum Beispiel über die Bediener, verwendeten Halbprodukte, Aufbaumaschinen, Heizpressen und Prüfergebnisse. Diese Daten sind außerordentlich wichtig, um Kundenreklamationen nachvollziehen zu können. Aus diesem Grund haben wir uns entschieden, die Seriennummer auch dauerhaft in den Reifen zu gravieren. Die Laserbeschriftung ist haltbarer als ein Barcode-Label und kann auch noch lange Zeit nach der Auslieferung des Reifens ausgelesen werden.

Zur Identifizierung der Markierungsposition auf der Seitenwand des Reifens setzen die 4JET-Maschinen einen Lasersensor ein. Nach der Installation wurde dieses System Schritt für Schritt optimiert. Heute erreichen wir mit Leseraten von 99,5 % ein perfektes Ergebnis.

Da jeder Reifen beschriftet werden muss, sind die Lasersysteme Schlüsselanlagen



Andrej Jancik von Continental Matador Puchov

für die Produktion. Jeder Stillstand während der Vollproduktion würde erhebliche Probleme im Arbeitsablauf der Reifenheizung und der Endkontrolle verursachen. Ich kann bestätigen, dass die 4JET-Anlagen störungsfrei arbeiten und die Zusammenarbeit mit dem Lieferanten auf einer sehr professionellen Basis stattfindet.“

Zwei T-Mark-Systeme bei Continental Matador Puchov



# RAUS LASSEN

## DIE LUFT

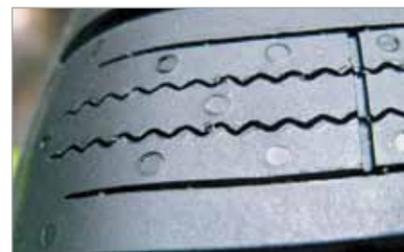
### (K)eine haarige Angelegenheit

Mag der klassische Dreitagebart manchem Produkt mit seiner herb-männlichen Ausstrahlung erst zum marktgerechten Auftritt verhelfen, so ist eine derart ausgeprägte „Haarigkeit“ im modernen Reifendesign absolut verpönt. Leider entstehen diese lästigen Gummirückstände prinzipbedingt bei jeder Reifenproduktion an den Stellen, wo die Luft aus der Form entweicht.



#### Schöner durch Rasur

Sicher die naheliegendste Methode die unschönen Stoppeln loszuwerden: Man schneidet die Gummireste nach dem Reifenheizen einfach ab. Eine ziemlich teure Angelegenheit – widersetzen sich die kleinen flexiblen Gummipfropfen doch hartnäckig der Rasur. Und dazu kommt noch der Abfall: Jeder so rasierte Reifen erzeugt durchschnittlich ca. 40 g Gummibabfall, was bei einer fabriküblichen jährlichen Produktion von 10 Mio. Reifen zu 400 t dieser kleinen schwarzen Stifte führen würde.



#### Das Geheimnis glatter Haut

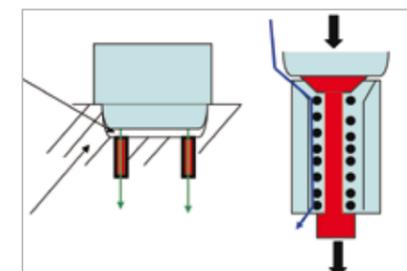
Wie kann man also das Entstehen dieser Gummistifte verhindern? Da wäre zum einen der Einsatz sogenannter „Puzzle“-

Formen, welche einen Großteil der Luft durch zahlreiche Spalten zwischen kleinen Formsegmenten (den Puzzle-Teilen) loswerden. Aber zusätzlich nötige Luftkanäle lassen bei dieser Methode immer noch einige Stoppeln übrig. Ganz abgesehen davon, dass Puzzle-Formen sehr aufwendig und somit teuer sind.

Ein weiterer erfolgreicher und erprobter Weg ist der Einsatz von ausgeklügelter Federventiltechnik.

Sie stellt eine hervorragende und technisch anspruchsvolle Art dar, um eine glatte und einwandfreie Reifenoberfläche zu gewährleisten. Dabei kann sie in jeder Art von Reifenform zum Einsatz kommen, und das ganz egal, ob alte oder neue Form. Die Federventile gibt es natürlich nicht umsonst. Der Formenpreis steigt um 5-10 %, liegt damit aber noch gut unter der Hälfte des Preises für eine Puzzle-Form.

Der Einbau dieser Ventile erfordert einige Erfahrung, ist jedoch nach einiger Zeit

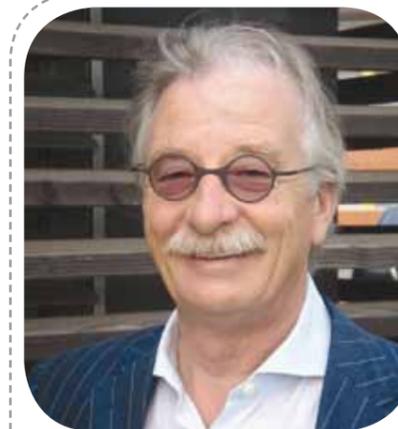


problemlos beherrschbar. Darüber hinaus steigern sie den Wartungsaufwand gegenüber einer Form ohne Ventiltechnik: Sandstrahlen der Form ist nicht mehr möglich, denn das Strahlgut würde die Ventile verstopfen. Die ebenfalls in der Formenreinigung eingesetzte Trockeneistechnologie kann aufgrund der hohen Arbeitsdrücke die Ventilkappen verbiegen. Laserverfahren zur Reinigung spielen gerade bei diesen neuen Ventiltechniken ihre Vorteile aus: Auf Strahlgut wird verzichtet und die Reinigung erfolgt

berührungslos ohne mechanische Beeinträchtigung.

Eine interessante Alternative stellen schließlich sogenannte Micro Vents dar. Mikrofeine Schlitz lassen bei dieser Methode die Luft entweichen und halten gleichzeitig den Gummi zurück. Im Gegensatz zu der Federventiltechnik kommt diese Technologie ohne bewegliche Teile in der Form aus, womit Einbau und Austausch dieser Stifte erheblich einfacher werden. Da diese Vents auch in der Herstellung weniger aufwendig sind, hat diese Methode das größte Kostensparpotenzial. Allerdings ist die junge Technik bisher wenig verbreitet und es liegen noch nicht für alle Anwendungsfälle ausreichende Erfahrungswerte vor.

@ [www.dahmen-gmbh.de](http://www.dahmen-gmbh.de)



Der Autor **Bernd Dahmen** ist Gründer und Geschäftsführer der Dahmen GmbH. Das Unternehmen produziert an den Standorten Alsdorf und Wunstorf mit rund 130 Mitarbeitern hochwertige gefräste Formen für Pkw-, Lkw- und Earthmover-Reifen.

# GUT IN FORM

## Laserreinigung in der Reifenindustrie

Die ENOTECH AG aus dem hessischen Dieburg ist ein mittelständischer Industriedienstleister mit rund 80 Mitarbeitern. Neben der Produktion und dem Vertrieb von Trockeneis und dem Bau von Trockeneispresen ist die Laserreinigung ein zentraler Geschäftsbereich für ENOTECH. Seit mehreren Jahren reinigt das Unternehmen als Dienstleister Vulkanisierformen für Reifenhersteller in Deutschland und anderen europäischen Ländern, darunter für führende Adressen wie Goodyear, Dunlop und Pirelli.

Reifenformen müssen nach typischerweise 1000 bis 3000 Heizvorgängen von Produktionsrückständen befreit werden. Klassische Reinigungsverfahren wie das Sandstrahlen erfordern den Ausbau der tonnenschweren Werkzeuge aus den Heizpressen. Die Reinigung mit Trockeneis geht dagegen mit hohen Betriebskosten und je nach Anlagenkonzept mit erheblicher Geräuschbelastung einher.

ENOTECH setzt daher bei der Reinigung von Reifenformen trotz eigener Trockeneisproduktion auf den Einsatz mobiler Laserreinigungssysteme, die den Prozess zur Form bringen und die Werkzeuge im eingebauten Zustand reinigen.

Als Industriedienstleister verkauft ENOTECH den Kunden einen Reinigungsservice, der teilweise auch die Bereitstellung und Wartung der Formen beinhaltet. Die Kunden müssen nicht in eigene Laseranlagen investieren, sondern bezahlen pro gereinigte Form. Mittlerweile setzen die Dieburger vier der von 4JET gelieferten mobilen TMCS-Laseranlagen im Schichtsystem ein.

@ [www.enotech.de](http://www.enotech.de)



Wir führten ein Interview mit Winfried Peschke, dem Gründer und Geschäftsführer von ENOTECH:



*Wie kommt man als Anbieter von Trockeneislösungen darauf, Laser einzusetzen?*

Als wir die Entscheidung getroffen haben, unseren Kunden zukünftig die Lasertechnologie für die Reinigung ihrer Reifenformen anzubieten, war der Einsatz der Trockeneistechnologie nur manuell möglich. Ein wichtiges Kriterium waren zunächst unsere eigenen Sicherheitsanforderungen und die unserer Kunden. Eine manuelle Reinigung mit Trockeneis in der Presse birgt erhebliches Gefahrenpotenzial. Ein weiterer wichtiger Grund, sich für die Lasertechnologie zu entscheiden, war die Flexibilität der Laseranlagen. Dem Laser ist es im Vergleich zum Trockeneis egal, ob die Form bei der Reinigung warm oder kalt ist. Selbst die mittlerweile automatisierte Trockeneisreinigung arbeitet nur effektiv an warmen Formen. Auch die Qualität der Laserreinigung ist, bedingt durch die Freiheitsgrade der eingesetzten 5-Achs-Optik, eindeutig besser. Unsere Kunden wissen dies zu schätzen und bleiben dem Laser meist lange Zeit treu.

*Wie viele Formen reinigen Sie an einem durchschnittlichen Tag?*

Natürlich sind wir als Dienstleistungsunternehmen immer dann zur Stelle, wenn unser Service benötigt wird. Demnach ist das Reinigungsaufkommen auch sehr unterschiedlich. Auf einen längeren Zeitraum betrachtet reinigen wir aber an einem durchschnittlichen Tag ca. 20 bis 30 Formen. Das dauert mit dem Laser etwa eine Stunde pro Form, für das Ausbauen und Reinigen mit einer Strahlanlage

würden dagegen mehrere Stunden notwendig.

*Wo sehen Sie die Vorteile der Laserreinigung im Vergleich zu den Wettbewerbstechnologien?*

Wenn wir von Wettbewerbstechnologien sprechen, die sowohl in der Presse als auch ausgebaute Formen reinigen, können wir eigentlich nur von der Trockeneistechnologie als Wettbewerbsverfahren reden.

Wie bereits erwähnt, liegt ein entscheidender Vorteil der Lasertechnologie in der Temperaturunabhängigkeit der Reifenformen. Hierbei können erhebliche Energiekosten eingespart werden. Wir sehen auch einen eindeutigen Trend bei den Herstellern, immer kleinere Losgrößen zu produzieren und demnach die Formen immer öfter zu wechseln. Die Reinigungen in der Presse werden daher abnehmen. Dieser Trend bringt natürlich auch wieder die „anderen“ klassischen Verfahren, wie zum Beispiel Chemie, Sand oder auch Ultraschall in den Fokus einzelner Hersteller. Welche Richtung zukünftig eingeschlagen wird, ist aber auch sehr stark abhängig von der eingesetzten Produktionstechnologie. Zusammengefasst sehe ich aber nach wie vor die größten Vorteile bei der Lasertechnologie.

*Gibt es Reifenmischungen oder Formen, für die der Laser ungeeignet ist?*

Eine gänzlich ungeeignete Form habe ich bislang noch nicht vor den Laser bekommen. Es gibt aber Grenzfälle, bei denen die wirtschaftliche Betrachtung nicht schmeichelhaft ausfällt, insbesondere, wenn die Reinigung zu lange dauert. Ebenso verhält es sich bei bestimmten Reifenmischungen. Leider kann ich ihnen hierzu keine weiteren Auskünfte geben, ohne interne Details unserer Kunden preiszugeben.

*Sind die günstigere Umweltbilanz und der geringe Energieeinsatz der Laserreinigung ein Verkaufsargument oder eher ein „nice*

*to have“?*

In der heutigen Zeit, bei stetig steigenden Energiekosten, kann ich diese Frage eindeutig mit Ja beantworten! Im Vergleich zur Trockeneisreinigung fällt die Energiebilanz immer positiv für die Lasertechnologie aus. Alleine der Energieaufwand für die Druckluftversorgung bei einer Trockeneisreinigung ist ca. 30-mal höher im Vergleich zum gesamten Energieaufwand für eine komplette Laserreinigung. Kosten für das Aufheizen der Form bei einer Offline-Reinigung, der Energieaufwand bei der Herstellung von flüssigem CO<sub>2</sub> und der Energieverlust bei der Herstellung der Trockeneispellets wurden hierbei nicht einmal berücksichtigt. Bei der Gesamtenergiebilanz stehen 6 kW des Lasers ca. 150 kW für die Trockeneisreinigung gegenüber. Diese Zahlen sollten jeden zum Nachdenken anregen.

*Wo sehen Sie die Trends in der Reifenproduktion, speziell für die Formenreinigung?*

Ein eindeutiger Trend ist sicherlich die Fertigung in geringeren Losgrößen eines Reifentyps und der damit verbundene kürzere Aufenthalt einer Form in der Presse. Wenn die Formen aus diesem Grund sowieso ausgebaut werden, kann auch gleich eine Reinigung durchgeführt werden. Ein großer Vorteil sowohl der Laserreinigung als auch der Trockeneisreinigung, nämlich die Möglichkeit einer Reinigung innerhalb der Presse, wird somit weniger wichtig. Stattdessen wird zukünftig sicher noch stärker auf die Qualität, die Flexibilität und die Gesamtkosten des Reinigungsverfahrens abgestellt. Ebenso werden die Formen geometrisch komplexer werden und das bedeutet auch wieder neue Anforderungen an die Reinigungstechnologie. Ich denke das Verfahren der Zukunft muss nicht das schnellste sein, sondern sollte sich den veränderten Randbedingungen insgesamt am besten anpassen können.

# KURZmeldungen



## Neuer **SERVICE- STANDORT** in Dresden



Um der wachsenden Anzahl von Installationen in den östlichen Bundesländern gerecht zu werden, hat 4JET einen Stützpunkt für Wartung und Service in Dresden eröffnet. Unter der Regie von [Michael Krauß](#) werden insbesondere Produktionsanlagen in der Photovoltaik-Industrie betreut. In den Großräumen Leipzig und Berlin bietet 4JET den Kunden neben einer technischen 24-h-Hotline auch garantierte Serviceresponsezeiten für Arbeiten „on site“ von 12 Stunden oder kürzer.



## Neuer **FIRMENSITZ** in Alsdorf

Drei Jahre nach Gründung in Hückelhoven hat 4JET seinen Firmensitz nach Alsdorf bei Aachen verlegt. Im IGA-Park wurde eine 2200 m<sup>2</sup> große Immobilie mit modernen Verwaltungs-, Labor- und Montageflächen bezogen. Der Standort bietet eine gute Infrastruktur sowohl für die Entwicklung als auch für die Endmontage von Maschinen, dazu zählen neben befahrbaren Hallen und Deckenkran auch zwei großzügige Laborbereiche, moderne Büros und ausreichende Lagerflächen.

# BESONDERE EHRUNG



## für 4JET

4JET ist das innovativste Gründungsunternehmen Deutschlands. Im Rahmen einer Feierstunde im Bundeswirtschaftsministerium in Berlin wurde 4JET in der Kategorie „Technische Innovation“ mit dem Gründerchampionpreis 2009 für seine Lasersysteme ausgezeichnet. 4JET wurde aus einer Gruppe von über 200 Unternehmen zuvor als einer von 16 Landesiegern ausgezeichnet und in der Finalrunde auch als Bundessieger prämiert. Der KfW-Unternehmenspreis wurde 2009 bereits zum dritten Mal vergeben und ist insgesamt mit 18.000 Euro dotiert. Neben 4JET wurde auch die TASSA GmbH aus Niedersachsen für die „Nachhaltigkeit“

Jörg Jetter von 4JET mit den Preisträgern der anderen Kategorien

ihrer Produkte sowie die Hein & Oetting Feinwerktechnik GmbH in der Kategorie „Wachstum“ ausgezeichnet. Die Preise wurden durch den parlamentarischen Staatssekretär im Bundesministerium für Wirtschaft Hartmut Schauerte und den Direktor der KfW-Bankengruppe Stefan Breuer verliehen. Die Laudatio hielt Skateboard-Guru Titus Dittmann, Gründer des gleichnamigen Skateboard-Herstellers.



# Reinigung mit

# LASERTECHNIK

## Ein Überblick

4JET ist heute vor allem für seine Produkte im Bereich der Reifen- und Photovoltaik-Industrie bekannt, doch das Unternehmen entwickelt auch laserbasierte Systeme zur Oberflächenreinigung für andere Industriebereiche. Dabei profitiert 4JET bis heute von der Pionierarbeit von Dr. Heinz Jetter, der in den vergangenen 20 Jahren zahlreiche Innovationen in der Laserbearbeitung von Oberflächen initiierte. Für SURFACES hat Dr. Jetter einen Überblick gängiger Verfahren der Laserreinigung zusammengestellt.

Seit Anfang der 90er Jahre gibt es industrielle Anwendungen zum „Reinigen“ oder „Entschichten“ von Oberflächen mit Laserstrahlung. Hinter diesen Schlagworten verbirgt sich eine Vielzahl unterschiedlicher Prozesse, die durch das Einbringen von Laserstrahlung eine dünne Schicht von einer Oberfläche entfernen. Dabei variieren die Wirkprinzipien und Einsatzgebiete je nach eingesetztem Lasertyp. Zur Reinigung eignen sich insbesondere gepulste Laser verschiedener Wellenlängen, so z. B. gütegeschaltete Festkörper- oder Faserlaser, CO<sub>2</sub>-TEA- oder Excimerlaser. Daneben lassen sich auch mit kontinuierlichen CO<sub>2</sub>-Lasern manche Reinigungsaufgaben lösen. Die

verschiedenen Reinigungsverfahren unterscheiden sich dabei durch ihr Wirkprinzip.

### Reinigung mit gepulsten Festkörperlasern

Diodengepumpte gepulste Festkörperlaser wie der Nd:YAG- oder Nd:YFO-Laser emittieren Wellenlängen im Bereich von 1064 nm bis zu 266 nm, wobei zur großflächigen Reinigung ganz überwiegend 1064-nm-Laser im Infrarotbereich zum Einsatz kommen. Die Pulsdauer in heute typischen industriellen Reinigungsanwendungen liegen im Bereich von wenigen bis zu 100 Nanosekunden, wobei zunehmend auch Pikosekundenlaser industriellen Einsatz finden.

Festkörperlaser arbeiten mit hohen Wiederholraten im kHz-Bereich (das bedeutet einige 10.000 Pulse pro Sekunde) und liefern mittlere Leistungen von wenigen Watt bis zu etwa 1 kW.

Es lassen sich sowohl organische Deckschichten als auch Metalle entfernen. Aufgrund der vergleichsweise schlechten Absorption des kurzwelligen Lichts in organischen Deckschichten findet der Abtrag oft nicht durch das schichtweise Ablatieren „von oben nach unten“ statt, sondern indem die Laserstrahlung erst auf dem Trägerwerkstoff und damit unter der zu entfernenden Schicht absorbiert wird und diese „von unten“ abhebt.

Die wartungsarmen und kompakten Systeme sind heute für viele Reinigungsaufgaben die attraktivsten Strahlquellen. Die kurzen Wellenlängen erlauben die Übertragung des Laserlichts über flexible Lichtwellenleiter und vereinfachen dadurch die Integration in automatisierte oder handgeführte Anlagen.

### Reinigung mit CO<sub>2</sub>-TEA-Lasern

Ein Klassiker unter den Reinigungslasern ist der gepulste CO<sub>2</sub>-TEA-Laser. Dieser Laser emittiert kurze Pulse (µs) mit hoher Pulsenergie (einige Joule). Das gepulste Licht trifft mit Spitzenleistungen von bis zu 100 Mio. Watt auf die verschmutzte Oberfläche. Die schlagartig eingebrachte

Energie kann sich nicht ausbreiten und sprengt das zu entfernende Material in einem kleinen Bereich explosionsartig ab. Die Einwirkzone entspricht dabei der Größe des Laser-Strahlflecks auf der Oberfläche, die Eindringtiefe liegt je nach Anwendung bei etwa 10 µm pro Puls. Indem dieser Prozess vielfach pro Sekunde wiederholt wird, lässt sich eine Oberfläche Puls für Puls freilegen.

Das abgesprengte Material – in der Regel feiner Staub und Gas – wird lokal abgesaugt und einem Filter zugeführt. Das CO<sub>2</sub>-Laserlicht wird vom Trägerwerkstoff – beispielsweise einer Vulkanisierform aus Aluminium – in der kurzen Puls-

dauer kaum absorbiert. Dadurch kommt es zu keiner mechanischen, chemischen oder thermischen Beeinträchtigung des Trägermaterials. Insbesondere organische Materialien lassen sich mit dem gepulsten CO<sub>2</sub>-Laser gut von Oberflächen entfernen.

Darüber hinaus können auch mineralische Schichten wie Oxide und Keramiken bearbeitet werden. Als tragender Untergrund kommt beinahe jedes Material in Frage. Metalle eignen sich besonders gut, da sie die Laserstrahlung reflektieren und daher selbst nicht angegriffen werden. Es gelingt aber auch, Lackschichten von Papier zu entfernen, ohne das Papier zu beschädigen oder auch nur zu bräunen.

*Pulsweiser Abtrag mit dem TEA-Laser – nach 12 Pulsen ist eine 100 µm starke Nyloanschicht freigelegt. Der Prozess stoppt am Metallgrund.*

Aufgrund der Wellenlänge von 9-10 µm ist eine Strahlführung nur über starre Umlenkspiegel möglich.



400-Watt-TEA-CO<sub>2</sub>-Laser von 4JET

### Reinigung mit Excimerlasern

Obwohl Excimerlaser deutlich geringere mittlere Leistungen als CO<sub>2</sub>-Laser erreichen, sind diese Laser und ihr Reinigungsprinzip vergleichbar. Excimerlaser arbeiten bei deutlich kürzeren Wellenlängen (157 nm bis 355 nm) und werden auch noch von extrem dünnen Schichten absorbiert. Die vergleichsweise geringe Reinigungsleistung verbietet den Einsatz zur großflächigen Reinigung, doch sind Excimerlasersysteme zur Feinstreinigung beispielsweise im Halbleiter-Packaging geeignet.

Die hohen Wartungsanforderungen und vergleichsweise hohen Betriebskosten sind im Vergleich zu Festkörper- oder CO<sub>2</sub>-Lasern deutlich nachteilhaft.

### Reinigung mit „Dauerstrich“-Lasern

Ein dritter Reinigungsprozess wird durch den Einsatz von kontinuierlichen CO<sub>2</sub>-Lasern erzielt. Die sogenannte „CW“-Laserstrahlung (für „continuous wave“) wird in einem kleinen Strahlfleck (wenige 100 µm Durchmesser) gebündelt. Das beaufschlagte Material verdampft aufgrund der Wärmeeinwirkung. Die Reinigung mit

diesem „Dauerstrich“ ist nur für wenige Aufgaben geeignet. Für die Markierung organischer Materialien ist der CW-Laser jedoch aufgrund seiner hohen Wirtschaftlichkeit das Mittel der Wahl.

### Materialien und Prozesszeiten

Mit CO<sub>2</sub>, Festkörper- und Excimer-Laserverfahren lassen sich eine Vielzahl von Materialien bearbeiten und abtragen. Die Geschwindigkeit wird durch die eingesetzte Laserleistung und das Absorptionsverhalten der Deckschicht bestimmt. Beim für den CO<sub>2</sub> und Excimer typischen Volumenabtrag lassen sich pro 100 W auf die Deckschicht eingebrachte Laserleistung zwischen 10-20 mm<sup>3</sup>/s Material abtragen.

Bei Festkörperlasern werden teilweise aufgrund des unterschiedlichen Wirkprinzips („von unten“) höhere Abtragsraten erreicht.

Zu den bekannten Materialien, die sich mit einem der Laserverfahren entfernen lassen, zählen unter anderem:

- Prozessrückstände (z. B. in Formwerkzeugen) wie die Nebenprodukte der Vulkanisation von „Gummi“ (Ruße, Trennmittel, Kautschuk)
- Harzrückstände
- Produkte des Injection Moldings von Kunststoff
- Isolierschichten (z. B. auf CU-Leiterbahnen) wie PU, PVC, PTFE, PP, Capton, PUR, PET, PI
- Verschleiß- und Korrosionsschutz (z. B. auf Rohrleitungen) wie PA, PVF
- Beschichtungen (z. B. auf Walzen

- oder in Formen) wie Gummi und Teflon
- Lacke (auf Metall oder Verbundwerkstoffen)
- Pulverlacke, Wasserlacke
- Oxide
- Metalle



Der Autor **Dr. Heinz Jetter** hat nach Physikstudium und Promotion mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Lasertechnik gesammelt. Nach Stationen beim BATELLE Institut, der Max-Planck-Gesellschaft, der SIEMENS AG und Rofin Sinar gründete er 1993 die JET Lasersysteme GmbH. Das Unternehmen arbeitet heute als Beratungsdienstleister für 4JET.

# RITA LÄSST TECHNIKERHERZEN HÖHER SCHLAGEN

Die **FTE Automotive Möve GmbH** im thüringischen Mühlhausen verfügt über eine jahrzehntelange Tradition in der Fertigung von Komponenten für Kupplungs- und Bremssysteme für die Automobilindustrie. Knapp 300 Mitarbeiter produzieren für Kunden wie Audi, BMW, Daimler, Ford und VW. Besonders qualifizierte Mitarbeiter, hohes Qualitätsbewusstsein und flexible Fertigungseinrichtungen zeichnen das Unternehmen aus.

„plug and play“ auf der Transferstraße installiert und in kürzester Zeit mit der Leitsteuerung verheiratet. Dabei wird für den Funktionsablauf eine Siemens S7 mit Profibus eingesetzt.

Ob und wann Rita 5 noch eine Schwester bekommt, bleibt abzuwarten – der Durchsatz von über 2000 Teilen pro Stunde macht die Anlage zur vermutlich schnellsten Maschine für diese Anwendung.

@ [www.fte-automotive.de](http://www.fte-automotive.de)



**FTE Projektleiter Heiko Heim** erläutert die Entscheidung Laser einzusetzen:

„Beim Abtragen der dünnen PA- oder PVF-Schichten vom galvanisch beschichteten Grundrohr verursachen mechanische Verfahren eine Beschädigung der galvanischen Beschichtung oder es bleiben Kunststoffreste am Rohr, welche zu einer Verschmutzung im Hydrauliksystem führen können. Laser arbeiten berührungslos und tragen die Kunststoffschicht komplett bis auf das galvanisch beschichtete Grundrohr ab, ohne es zu beschädigen.“ Das erste 4JET-Modul wurde bei FTE bereits 2006 installiert und hat überzeugt: „Wir nutzen bereits seit einigen Jahren ein 4JET-Modul im Dauereinsatz, das sich durch hohe Zuverlässigkeit ausgezeichnet hat“, so Heiko Heim.

Der jüngste Neuzugang im hochmodernen Maschinenpark heißt Rita. Sie ist bereits die fünfte Schwester einer Gruppe voll-automatischer Transferanlagen zur Endenbearbeitung von Rohrleitungen. Auf der Rita (kurz für Rohrtrennanlage) werden die Rohre abgelängt, die Rohrenden per Laser von ihrer Kunststoffbeschichtung befreit und anschließend gebördelt und optisch überprüft.

Auf der Anlage arbeiten zwei 4JET-Lasermodule parallel und erreichen eine Taktzeit von unter einer Sekunde pro Bauteil. Zum Einsatz kommen dabei gepulste TEA-Laser mit jeweils 300 Watt Durchschnittsleistung, die parallel beidseitig die Bauteile entschichten.

4JET setzt für diese Anwendung TEA-Laser wegen der relativ kurzen Pulsängen bei hohen Pulsenergien von über 2 Joule ein. Durch Strahlformung lässt sich aus dem in etwa quadratischen Rohstrahl ein linienförmiger Fleck auf dem Rohrende abbilden, der der geforderten Abtragslänge auf dem Bauteil angepasst werden kann. Die bei der Bearbeitung entstehenden Rückstände werden unmittelbar am Ort der Bearbeitung abgesaugt und in einem Filtersystem aufgefangen. Verschleiß und Verschmutzung der eingesetzten Optiken werden durch ein ausgeklügeltes Spülluftsystem weitgehend eliminiert.

Die von 4JET gelieferten Module wurden



## SCHON GEWUSST?

Die bei FTE eingesetzten Laser wurden ursprünglich durch die GSI Lumonics Group in England gefertigt. 4JET hat diese Produktlinie 2008 übernommen und produziert seitdem die Laser für den Einbau in eigene Lasersysteme. TEA-CO<sub>2</sub>-Laser sind insbesondere für die Reinigung empfindlicher metallischer Oberflächen von organischem Material geeignet. Dazu zählen beispielsweise verchromte oder vernickelte Formwerkzeuge sowie verzinnete Leiterbahnen von Kabeln.

Durch den gepulsten Eintrag von Laserenergie wird die Wärmeleitung in den Trägerwerkstoff reduziert und die Schichten werden explosionsartig abgesprengt. Dabei lassen sich Deckschichten in Schritten von einigen µm auch selektiv abtragen. Die hohe Pulsenergie geht einher mit einer hohen Tiefenschärfe von einigen Zentimetern, ein für manch anderen Laser undenkbarer Wert. Dadurch eignet sich der TEA-Laser auch für die Bearbeitung welliger Oberflächen, wie zum Beispiel für die Reinigung zerklüfteter Formwerkzeuge.



Rückstandsfreie Laserentschichtung eines PA-Rohres

## Reinigungsverfahren im Überblick

	Gepulste Festkörper- und Faserlaser	Gepulste CO <sub>2</sub> -TEA-Laser	Excimerlaser	CW-CO <sub>2</sub>
Reinigungsprinzip	„lift off – von unten“	Volumenabtrag „von oben“	Volumenabtrag „von oben“	Verdampfen
Typische mittlere Laserleistung	Bis zu 1 kW	Bis zu 400 W	Bis zu 100 W	kW
Wellenlänge	266-1064 nm	9-10 µm	Bis zu 355 nm	9-10 µm
Strahlführung	Glasfaser/Spiegel	Spiegel	Spiegel	Spiegel

