

**Zeitschrift:** Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES

**Band:** 98 (2007)

**Heft:** 13

**Artikel:** Who's perfect?

**Autor:** Petry, Renate

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-857456>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

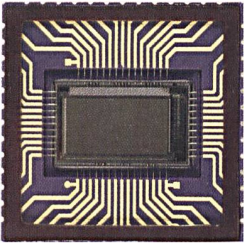
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Who's perfect?

## CCD- und CMOS-Bildsensoren in der Gegenüberstellung



Die Entscheidungskriterien bei der Wahl des geeigneten Bildsensors – CCD oder CMOS? – für die industrielle Bildverarbeitung führen wiederholt zu kontroversen, technikgetriebenen Diskussionen. Welcher der beiden Technologien der Vorzug gegeben wird, darf nicht vom subjektiven Bildeindruck diktiert werden. Vielmehr muss sich die Sensorbeurteilung an den zu bewältigenden Aufgaben der Anwendung orientieren, weil es keinen «idealen» Sensor gibt.

Beide Detektoren, sowohl CCD (Charge Coupled Device) als auch CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), sind auf Silizium basierende Halbleiterbauelemente, die den inneren fotoelektrischen Effekt nutzen. In jedem Bildelement (Pixel) wird einfallendes Licht in ein dazu proportionales elektrisches Signal umgewandelt

*Renate Petry*

und gesammelt. Das Auslesen der Bildinformation geschieht in CCD-Sensoren durch Verschiebung der Ladungspakete zum Ausleseverstärker. Dort werden die Ladungen in eine Spannung konvertiert, sodass das Bildsignal für die weitere Verarbeitung zur Verfügung steht.

Die Bildelemente in CMOS-Sensoren sind heute meist als aktive Pixel (APS) realisiert und beinhalten neben den Fotodioden mehrere elektronische Komponenten, wie Transistoren und Kondensatoren, die Steuerungsfunktionen übernehmen. Anders als bei CCD-Sensoren werden die bei der Belichtung erzeugten Elektronen nicht ladungsverschoben, sondern jeweils im Pixel gesammelt und in eine Spannung umgewandelt. Die Elektronik auf dem CMOS-Sensor ermöglicht es, das Spannungssignal jedes einzelnen Bildpunktes anzusprechen und zusätzliche Funktionen, wie etwa elektronischen Verschluss oder selektive Pixelauslesung, zu übernehmen.

### Füllfaktor

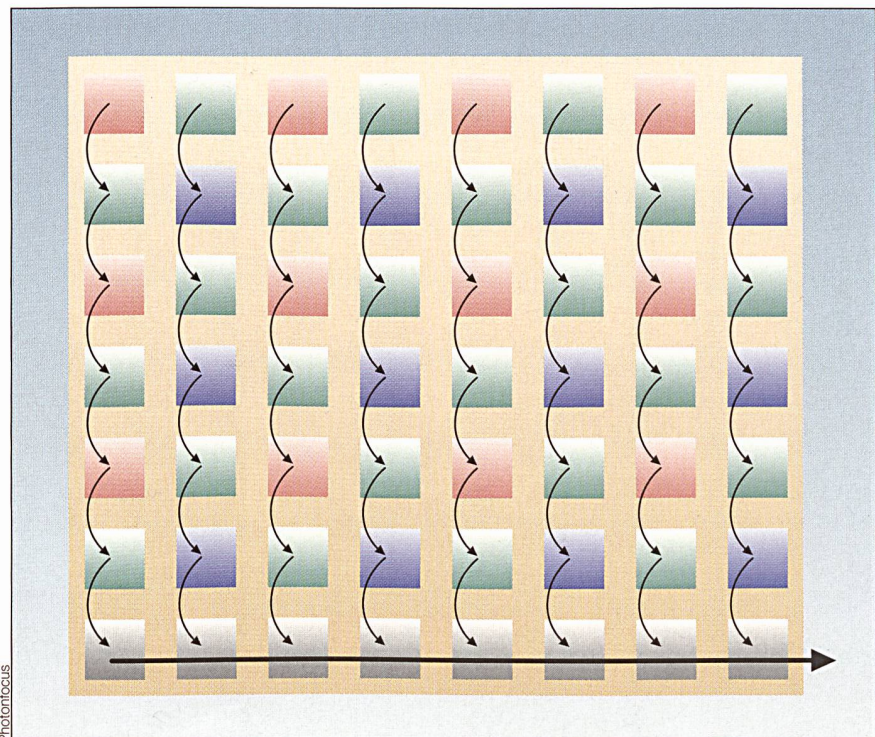
Beim Vergleich des Füllfaktors, dem prozentualen Anteil der Fotodiodenfläche im Pixel, gehen die CCD-Chips, die mit Full-Frame- oder mit Frame-Transfer-Auslesetechnik ausgestattet sind, klar in Führung.

Jedoch sind diese hinsichtlich des Auslesevorgangs nicht mit CMOS-Sensoren mit zentralem Verschluss (Shutter) vergleichbar und sollten deshalb hier nicht in Betracht gezogen werden. Vielmehr kommt für eine direkte Gegenüberstellung nur der CCD-Chip mit Interline-Transfer-Auslesetechnik infrage, bei dem die Bildinformation vor dem Auslesen zeilenweise in einen abgedeckten, benachbarten Bereich verschoben wird. Bei diesen CCD-Sensoren wird ein Füllfaktor von 55 bis 65% erreicht. Der

Füllfaktor von (Active Pixel)-CMOS-Sensoren liegt wegen der 3 bis 5 erforderlichen Transistoren pro Pixel bei etwa 65%, dafür kann aber ein CMOS-Sensor die Datenmenge deutlich schneller auslesen als ein vergleichbarer CCD-Sensor [1].

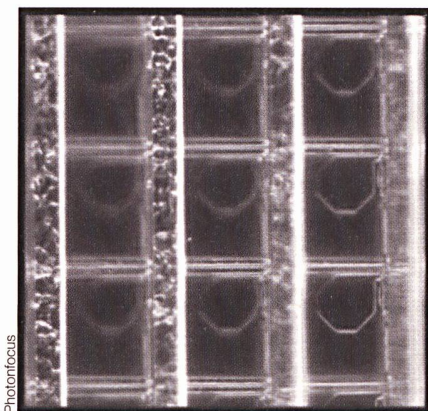
### Bildqualität

Die Bildqualität hängt entscheidend von der gleichförmigen Fotoempfindlichkeit eines Sensors ab und würde idealer-



**Bild 1** Auslesetechnik beim CCD-Farbsensor.

In jeder Spalte werden Ladungspakete von einer Fotodiode zur nächsten verschoben und anschließend zeilenweise über Schieberegister zum Ausgangsverstärker für die Analog-Digital-Wandlung weitergeleitet.



**Bild 2 Ausschnitt eines Monochrom-CMOS-Sensors.**

Unter dem Mikroskop mit 50-facher Vergrößerung zeigen sich die oktaedrisch geformten, optisch aktiven Bereiche, die je etwa 35% Fläche der 9 Pixel bedecken.



**Bild 3 Bildanalyse einer Fruchtfliege.**

Die Fruchtfliege (*Drosophila melanogaster*) dient Forschern wegen ihrer kurzen Generationsfolge als Modellorganismus zur Echtzeitanalyse der Flügelbewegung.

bei überbelichteten Szenen eingesetzt. Bei den CCD-Sensoren lässt sich die Neigung zum Blooming (Bildstörungen bei lokaler Überbelichtung) nur mit hohem Aufwand bei der Entwicklung von Sensoren unterdrücken.

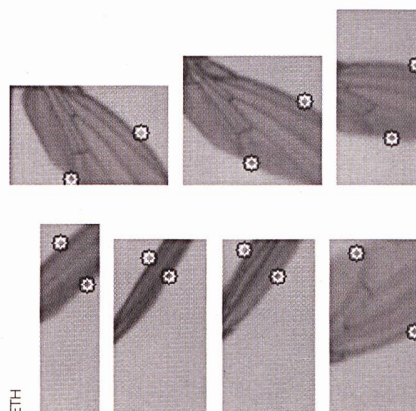
Eine Schwachstelle von CMOS-Sensoren liegt darin begründet, dass Störungen aus der Digitalelektronik ein höheres Bildrauschen als bei CCD-Sensoren hervorruft. Hinsichtlich des Energieverbrauchs liegen die Kontrahenten jedoch weit auseinander. Schätzungen zufolge kommt die CMOS-Technologie mit etwa 10% des Energieverbrauchs von CCD-Sensoren aus.

**Geschwindigkeit**

Im Hinblick auf die Geschwindigkeit ist die CMOS-Technologie generell im Vorteil gegenüber den CCDs, da sich einzelne Pixel oder ausgewählte Bildbereiche, sogenannte Regions of Interest, selektiv adressieren lassen, wodurch die Auslesegeschwindigkeit (Bildrate) ansteigt. Jüngere Entwicklungen ermöglichen es, dass ein CMOS-Sensor gleichzeitig belichtet und ausgelesen werden kann – ein weiteres Plus in der industriellen Bildverarbeitung, wo hohe Bildraten zur Prozessbeobachtung gefragt sind.

**Dynamik**

Je höher die Anzahl elektrischer Ladungen, die auf einem Pixel gehalten werden können, umso höher die Dynamik, die man wiederholt mit dem Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) verwechselt sieht. Das SNR ist definiert als das Verhältnis von maximalem Ausgangssignal und Gesamtrauschen, das vom System (Sensor und Elektronik) beigetragen wird. Die ausschlaggebende Grösse für die Dynamik ist mit der Full-Well-Kapazität, der Sättigungsladung, gegeben. Sie umfasst die Ladung, die sich maximal im Potenzialtopf der Fotodiode jedes Pixels sammeln lässt. Legt man die Quantennatur des Lichts und die poissonverteilte Statistik der Photonen zugrunde, dann errechnet man in guter Näherung die Sensordynamik aus der Quadratwurzel der Full-Well-Kapazität. Bei CCD-Sensoren mit Interline-Transfer-Auslesetechnik sind Full-Well-Kapazitäten von 20000 bis 65000 Elektronen verfügbar. Dagegen kann die CMOS-Technologie



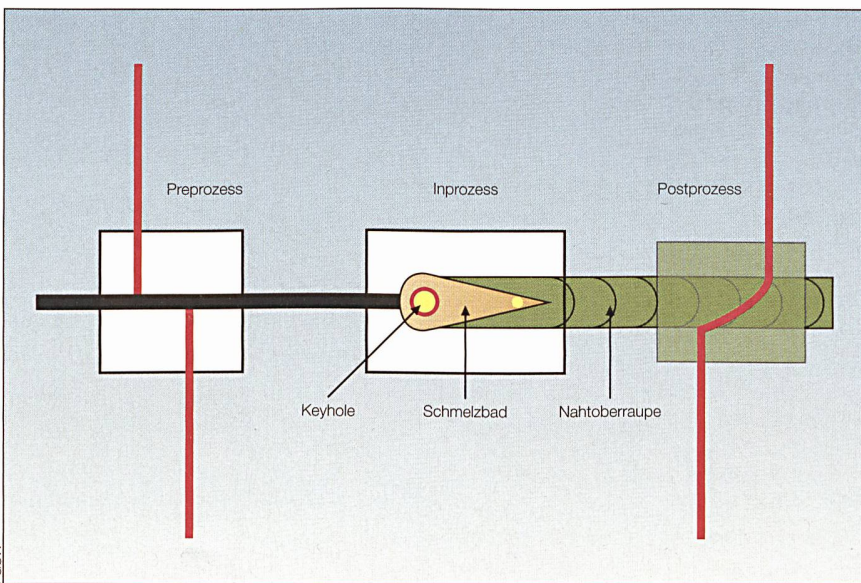
**Bild 4 Regions of Interest.**

Die TrackCam liest verschieden grosse Regions of Interest aus dem Gesamtbild aus und folgt einzelnen Flügelpositionen nach.

weise bei gleichen Belichtungsverhältnissen auf jedem Pixel eine identische Empfindlichkeit aufweisen. Wegen der Auslestrukturen und bedingt durch den Herstellungsprozess der elektronischen Bauelemente (Transistoren, Kondensatoren) weisen CMOS-Sensoren jedoch Variationen auf, die sich in einem Störmuster, dem Fixed Pattern Noise, bemerkbar machen. Die Abweichungen in der Gleichförmigkeit lassen sich durch zusätzlichen Schaltungsaufwand in CMOS-Sensoren, etwa mit Double-Sampling-Verfahren, mit Gain-Offset-Korrektur und Pixeldefekt-Korrektur, beheben.

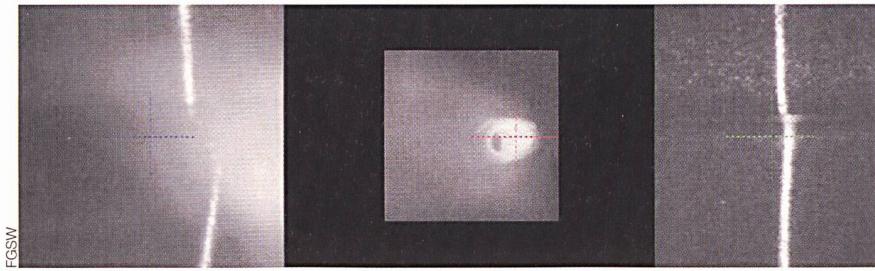
**Blendfestigkeit**

CMOS-Sensoren können Vorteile gegenüber CCD-Sensoren insbesondere bei der Blendfestigkeit und bei der hohen Dynamik für sich verbuchen. Daher werden sie seit Jahren erfolgreich bei kontrastreichen oder



**Bild 5 Laserschweißen überwachen.**

Prinzip des integrierten Überwachungssystems zur Beobachtung des Pre-, In- und Postprozessbereichs beim Laserstrahlschweißen.



**Bild 6 Simultane Bildaufzeichnung beim Laserschweißen.**

Simultane Bildaufzeichnung mit einer hochdynamischen CMOS-Kamera vor, während und nach dem Laserschweißen von Stahlbauteilen.

nologie mit hochdynamischen Sensoren mit bis zu 250 000 Elektronen Full-Well-Kapazität aufwarten.

### Sensorkennlinie

Die Kennlinie von Sensoren beschreibt den Zusammenhang von einfallender Lichtintensität und Sensorausgangssignal. Üblicherweise haben beide Sensortypen eine lineare Kennlinie. Schon früh in der Entwicklung der CMOS-Technologie wurden jedoch logarithmische Sensorkennlinien realisiert. Allerdings fehlte diesen die Shutter-Funktionalität. Photonfocus entwickelte Sensoren mit nicht linearer Kennlinie (LinLog), die zusätzlich über einen zentralen Verschluss (Global Shutter) verfügen. Die hochdynamischen Sensoren mit einer breiten Auswahl an Auslesemodi (Multiple Region of Interest, Decimation, Line Hopping) sind in robust gebauten Hochgeschwindigkeitskameras integriert und werden in zahlreichen Applikationen eingesetzt.

### Anwendungen in der Forschung

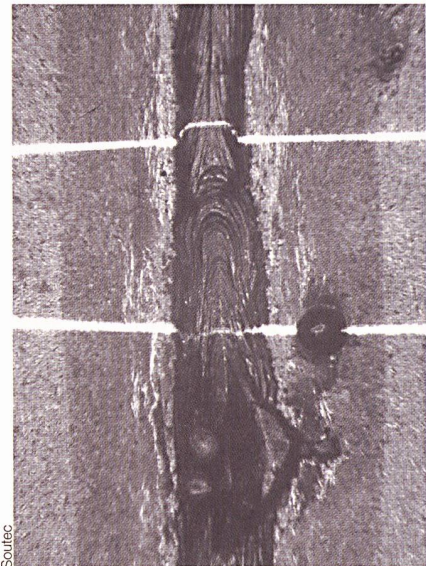
Hohe Bildraten bei kleinem Auslesefenster der CMOS-Kameras haben sich Forscher der ETH Zürich zunutze gemacht, um die Flügelbewegung der Fruchtfliege Dro-

sophila zu studieren. Sie benötigten dafür ein Kamerasystem mit kurzer Shutter-Zeit, das schnelle Bildaufzeichnung und gleichzeitige Bildweiterverarbeitung ermöglicht.

Aus der Gesamtinformation des Vollbildes wurde eine variable Folge von Beobachtungsfenstern (Regions of Interest) ausgelesen, die die relevante Information der Flügelbewegung enthält. Von der Erfassung dieser kinematischen Daten versprechen sich Neuroinformatiker vertiefte Erkenntnisse über die neurophysiologischen Steuerungsprozesse, die in das Design von Mikrorobotern einfließen können [2]. Für die Echtzeitanalyse der Flügelbewegung wurde die TrackCam eingesetzt, eine spezielle CMOS-Kamera mit einer schnellen Konfigurationsschnittstelle.

### Prozesskontrolle beim Laserstrahlschweißen

Neben den Auslesegeschwindigkeiten steht der hohe Dynamikbereich im Vordergrund, wenn CMOS-Kameras mit LinLog-Technologie in Prozessüberwachungssysteme während des Laserstrahlschweißens integriert werden. Die Entwicklung solcher Realtime-Kontrollsysteme wird wesentlich angetrieben durch die industriellen Fertigungsbereiche der Automobil- und Zulieferindustrie, die eine Überwachung und



**Bild 8 Texturanalyse an einer Schweißnaht.**

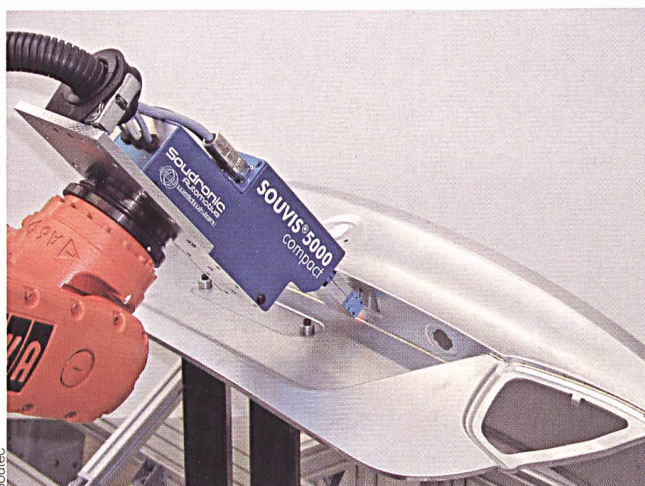
Graubild für die Texturanalyse an einer Überlappschweißnaht mit Austreibung und Spritzer. Die Lin-Log-Technologie erlaubt gleichzeitiges Aufzeichnen der beiden Laserlinien ohne Bildüberblendung.

Steuerung vor, während und nach dem Schweißprozess in einem einzigen System vereinen will. In kompakter Bauweise wurde eine CMOS-Kamera mit nicht linearer Kennlinie integriert, die alle drei Prozessschritte (Pre-, In- und Postprozess) gleichzeitig aufzeichnet. Die hohe Dynamik der Kamera erlaubt die Anwendung des Laserschnittverfahrens zur exakten Positionierung und gegebenenfalls Lagekorrektur des Werkstückes unmittelbar vor dem Schweißprozess. Während des Schweißens dienen die Bildaufzeichnungen zur Analyse von Keyhole und Schmelzbadgeometrie, die für die Steuerung der Prozessparameter verwendet werden. Darüber hinaus erfasst die CMOS-Kamera weitere charakteristische Kenngrößen während des Schweißprozesses, wie etwa Laser Eindringtiefe und -position, Intensitätsverteilung oder Schmelzbadspritzer. Bei geeigneter Wahl des Auslesefensters sind Bildaufzeichnungsraten von mehreren kHz möglich. Im letzten Schritt erfolgt mithilfe des Lichtschnittverfahrens die Inspektion der fertigen Schweißnaht [3].

### Kontrolle von Schweiß- und Löt Nähten

Von der Firma Soutec (Neftenbach) stammt ein Messsystem zur Inspektion von Schweiß- und Löt Nähten basierend auf Bildverarbeitungstechnologie. Darin werden CMOS-Kameras kombiniert mit applikationsspezifischen Beleuchtungssystemen eingesetzt [4].

In einem kompakten Sensorkopf sind Kamera, Diodenlaser und Blitzlicht inte-



**Bild 7 Löt nahtprüfung.** Sensorkopf des Qualitätssicherungssystems mit integrierter CMOS-Kamera im Einsatz bei der Löt nahtprüfung an einer Auto Heckklappe.

griert. Zur 100%-igen Kontrolle der Schweiß- oder Löt­nähte werden Lasertriangulation (3D) und Graubildanalyse (2D) herangezogen und in drei parallelen Verfahren eingesetzt: 3D-Profilanalyse, 2D-Nahttexturanalyse und 2D-Porenanalyse. Bei einer CCD-Kamera würde die eingese­tzte Laserlinie für die 3D-Messung eine

Bildüberblendung hervorrufen, sodass die gleichzeitige 2D-Nahtstruktur- und Poren­analyse unmöglich wäre. Mit dem Inspek­tionssystem steht ein leistungsfähiges In­strument zur Auswertung von fertigen Schweiß- und Löt­nähten zur Verfügung, das den hohen Qualitätsstandards der Au­tomobilindustrie gerecht wird.

**Referenzen**

- [1] Schwider: CCD- und CMOS-Bildsensoren, LaserTechnik Journal 3, Heft 5, 2006.
- [2] Graetzel, Fry, Nelson: A 6000 Hz Computer Vision System for Real-Time Wing Beat Analysis of Drosophila, Biorob, 2006.
- [3] Müller-Borhanian, Deininger, Dausinger, Hügel: Spatially resolved on-line monitoring during laser beam welding of steel and aluminium, Proceedings of the 23<sup>rd</sup> International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, 2004.
- [4] Petry, Wildmann: Kombinierte 2D/3D-Bildverarbeitung für die Schweißnahtkontrolle, Leitfaden zur Inspektion von Oberflächen mit Bildverarbeitung, Fraunhofer-Allianz Vision, Band 9, 2006.

**Résumé**

**Who's perfect?**

*Les capteurs d'images CCD et CMOS en comparaison. Les critères de sélection dans le choix du capteur d'image adéquat – CCD ou CMOS? – pour le traitement d'images industriel entraînent constamment des controverses et discussions à motivation technique. On ne doit pas donner la préférence à l'une ou l'autre technologie en fonction de l'impression subjective que donne l'image. L'évaluation du capteur doit se faire en fonction des tâches à résoudre pour l'application donnée, car le capteur «idéal» n'existe pas.*

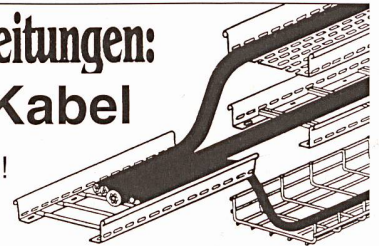
**Angaben zur Autorin**

Dr. **Renate Petry**, Dipl.-Phys., ist seit 2005 als Field Application Engineer bei der Photonfocus AG beschäftigt und für die Kundenbetreuung bei technischen Anfragen im Support zuständig.  
Photonfocus AG, 8853 Lachen,  
petry@photonfocus.com

fachbeiträge

Statt **Gitterbahnen** und **Kabelpools** und **Kabelbahnen** und **Steigleitungen**:  
**Lanz Multibahn – eine Bahn für alle Kabel**

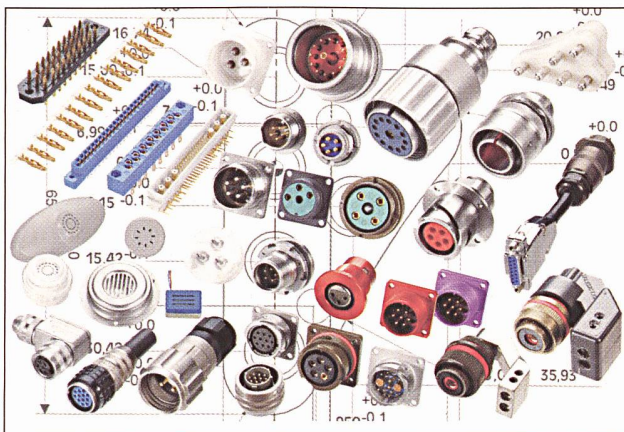
- Lanz Multibahnen vereinfachen Planung, Ausmass und Abrechnung!
- Sie verringern den Dispositions-, Lager- und Montageaufwand!
- Sie schaffen Kundennutzen: Beste Kabelbelüftung.
- Jederzeitige Umnutzung. Kostengünstig. CE- und SN SEV 1000/3-konform.



Verlangen Sie Beratung, Offerte und preisgünstige Lieferung vom Elektro-Grossisten und

**LANZ** lanz oensingen ag  
CH-4702 Oensingen • Tel. ++41 062 388 21 21

KT 01



**EMCT** Swiss-ConnTec SA

POSTFACH 241, GRUBENSTR. 7a  
CH-3322 Urtenen-Schönbühl / Bern  
E-MAIL: info@emct.ch

TELEFON + 41 (0)31 859 34 94  
TELEFAX + 41 (0)31 859 20 17

**Steckverbinder, MIL-C & Eigenfabrikation**

Alarm / Schallgeber Steckverbinder Relais  
Ringkerntransformatoren Kabel & Zubehör Elektromagnete

**Piezo-Schallgeber Electronic-Summer**

EMCT, Swiss made, high quality buzzers and access to worldwide connector technology.

24 HRS. Information & Service W3.emct.ch