Test & Messtechnik Magazin der

YOKOGAWA 15

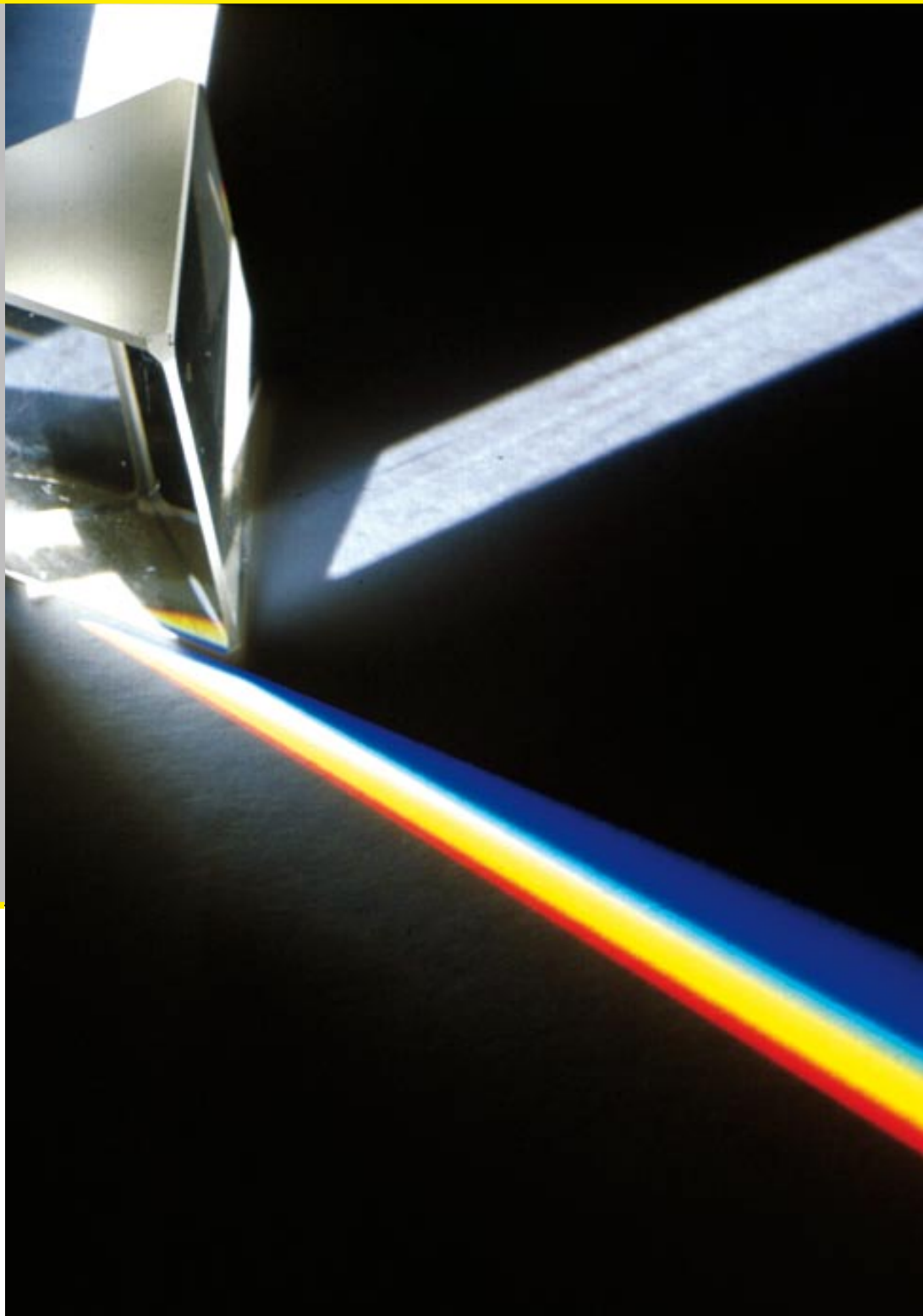
Measurement Technologies GmbH

QUALITY ■ INNOVATION ■ FORESIGHT

REPORTAGE
Spektrale Reinheit: eagleyard Photonics beschleunigt Test von High-Power Laserdioden
Seite 4

APPLIKATION
HTW Berlin entwickelt Übertragungsverfahren für Low-Rate Wireless Personal Area Networks
Seite 6

HINTERGRUND
Farbempfinden lässt sich messen – die Bestimmung des Farborts
Seite 7



YOKOGAWA

DL/DLM6000 mit bis zu 1,5 GHz Bandbreite und Speicherung von 6,25 Millionen Messpunkten pro Kanal.

Neue High-Performance Oszilloskop-Familie mit Mixed-Signal-Ausführungen

Die neuen Digital- und Mixed-Signal-Oszilloskope der Serie DL/DLM6000 von Yokogawa zeichnen sich durch eine ergonomische physikalische und grafische Benutzeroberfläche aus, die auf der Basis umfassender Marktforschung und Anwender-Feedback entwickelt wurden. Hierzu gehören beispielsweise dedizierte Tasten mit Hintergrundbeleuchtung für die häufigsten Einstellungen sowie einzigartige Steuerfunktionen wie der Fünffach-Auswahlschalter und der für Yokogawa typische Drehknopf.

Die Oszilloskop-Familie bietet umfassende Möglichkeiten für die Signalcharakterisierung, leistungsfähige Tools zur Erkennung von Störspitzen und Anomalien, fortschrittliche Technologien zur Signalverbesserung und Störunterdrückung sowie eine Reihe von Optionen für die Analyse von seriellen Bussystemen und für Leistungsmessungen. Es stehen Modelle mit vier Kanälen plus 16- oder 32-Bit Logikeingänge und mit einer Bandbreite von 500 MHz, 1,0 GHz oder 1,5 GHz zur Auswahl.

Mehr unter http://tmi.yokogawa.com/de

Optischer Spektrumanalysator AQ6373 mit Freistrahleingang für Fasern mit bis zu 2 mm Ferrulen oder für direkte Einkopplung.

Hochauflösender Optischer Spektrumanalysator für den sichtbaren Wellenlängenbereich

Für den sichtbaren und nah-infraroten Wellenlängenbereich (350 – 1200 nm) bietet Yokogawa jetzt den einfach kalibrierbaren, schnell messenden Spektrumanalysator AQ6373 an. Mit einer Empfindlichkeit von -80 dBm, kombiniert mit einer Auflösung von 20 pm, ist der AQ6373 in seinem Messbereich führend. Der Analysator eignet sich zur Messung von aktiven und passiven Komponenten wie Lasern und Filtern sowie zur Beurteilung von Fluoreszenzen.

Gängige optische Spektrumanalysatoren erreichen ihre beste Auflösung im ‚Telekommunikations-Bereich' um etwa 1500 nm Wellenlänge. Im Bereich um 850 nm, der z. B. für kürzere Gigabit-Ethernet-Verbindungen benutzt wird, muss man meist Abstriche machen. Hier ist der AQ6373 mit seiner Empfindlichkeit und seiner Auflösung von 24 pm unschlagbar.

Der AQ6373 erlaubt neben der klassischen spektralen Messung auch die Bestimmung der dominanten Wellenlänge, welche eine klare Aussage über die Wirkung der Lichtquelle auf die menschliche Wahrnehmung erlaubt (Beitrag auf Seite 7). Eine weitere Stärke liegt in der Kombination von hoher Dynamik, Auflösung und Harmonischen-Unterdrückung. Sie ermöglicht die Messung von kürzesten Impulsen, wie sie zum Beispiel von Lidar-Systemen erzeugt werden. Lidar – Light Detection and Ranging – wird als ‚optisches Radar' zunehmend in Fahrerassistenzsystemen eingesetzt.

Präzisions-Leistungsanalysator für den Transformatorentest

Der neue WT3000T ist ein Präzisions-Leistungsmessgerät, das speziell auf die Anforderungen der Transformatorindustrie abgestimmt ist. Es bietet nicht nur exzellente Daten bei geringen Leistungsfaktoren, was für die genaue Verlustmessung entscheidend ist, sondern garantiert diese Spezifikationen auch durch ein Prüfzertifikat des akkreditierten Kalibrierlabors VSL (Teil des NMI, National Metrology Institute der Niederlande). Die Anforderungen gemäß IEC60076-8 werden erfüllt bzw. übertroffen.

Im Bereich der kommerziellen Wechselstromfrequenzen von 45 bis 66 Hz weist das WT3000T bei Leistungsfaktor 0,01 einen Fehler kleiner als 0,6 % auf (Eingang 100 V, 1 A). Die Auflösung ist 6-stellig, was durch den Einsatz von 32-Bit RISC Prozessoren und 16-Bit AD-Wandler ermöglicht wird. Die hohe Genauigkeit erweist sich auch sinnvoll bei der Dimensionierung von Kompensationskondensatoren, Netzfilter-Induktivitäten und Leistungsfaktor-Korrekturschaltungen (PFC) im Wechselstromnetz.

Mehr unter http://tmi.yokogawa.com/de

IMPRESSUM

Das Test & Messtechnik Magazin erscheint vierteljährlich.
Ausgabe 15: 1. Quartal 2010

Herausgeber:
YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH
Gewerbestraße 17
82211 Herrsching
Telefon 0 81 52 / 93 10-0
Telefax 0 81 52 / 93 10-60
eMail: info@yokogawa-mt.de
http://tmi.yokogawa.com/de

Verantwortlich für den Inhalt:
Johann Mathä
Marketing Manager
eMail: mathae@yokogawa-mt.de

Redaktion: Burkhard Braach
eMail: info@red-a-ktion.de

© 2010 YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH

Printed in Germany

Zur Kasse bitte

Wenn die Verkäuferin das Schuhputzmittel über den Scanner der Kasse zieht, weiß man: Hier werden nicht nur Ware und Preis optisch erkannt. Hier werden Daten für den gesamten Geld- und Warenfluss erfasst. Lagerhaltung, Lieferung, Liquidität und vieles mehr. Das ist Hightech. Dass auch das Schuhputzmittel Hightech ist, verrät der Aufdruck auf der Verpackung: Nanotechnologie. Kleinste Partikel machen es möglich, dass das Leder atmet, ohne Nässe eindringen zu lassen.

Optik und Nanotechnik sind modernste Schlüsseltechnologien, die in fast alle Bereiche des täglichen Lebens Einzug gehalten haben. Auf der optischen Seite sind es CD, DVD, Blu-ray, LED-Beleuchtungen, LED-Fernseher, Bilderkennung – um nur einige zu nennen. Auf der Nanotechnik-Seite sind es die Oberflächenphysik und Oberflächenchemie mit Anwendungen in der Halbleitertechnik, im Maschinenbau oder eben in alltäglichen Dingen wie Schuhputz- und Schmiermitteln. Dabei gelten die optischen Technologien als eine Art Geburtshelfer der Nanotechnologie. Optische Messverfahren sind zwingend notwendig, um die Entwicklung der Nanotechnologie voranzutreiben.

Yokogawa als japanischer Hersteller nicht nur optischer Messtechnik hat in Deutschland Anteil an den neuesten Entwicklungen. So arbeiten Ausrüster optischer Übertragungstechnik, aber auch zahlreiche Forschungsinstitute auf anderen Gebieten mit der Messtechnik aus unserem Hause.

Speziell im Bereich optischer Spektralanalyse ist Yokogawa Marktführer in Deutschland. Denn in Deutschland liegen die Anforderungen an die Qualität und Langlebigkeit der Messtechnik besonders hoch. Das Qualitätsdenken in Deutschland ist unser stärkster Erfolgsfaktor. Nicht umsonst konnte Yokogawa im Bereich der optischen Technologien gerade in Deutschland überdurchschnittliche Wachstumsraten erzielen.

Unser Kundenkontakt ist unser Kapital. Wir lernen von unseren Kunden. Umgekehrt geben wir gern unser über Jahre gesammeltes Wissen in der Messtechnik weiter, sei es in Form von Seminaren vor Ort oder in regelmäßigen Online-Seminaren. Besonders erfreulich sind die aktuell gestiegenen Zusammenarbeiten mit kleinen und mittleren Unternehmen, aber auch der neue Auftrieb in der Telekommunikationsbranche lässt alle Beteiligten profitieren.

In diesem Heft stellen wir Ihnen stellvertretend ein Unternehmen aus der Optik vor und greifen außerdem einen Aspekt des sichtbaren optischen Bereichs als Hintergrund-Thema heraus. Wir wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen. Und denken Sie an unsere Online-Seminare. Schneller können Sie Ihre Kenntnisse nicht erweitern. Übrigens – wir bitten Sie dafür nicht zur Kasse.

Jörg Latzel

Dipl. - Ing. (FH) Jörg Latzel leitet den Produktsupport Optische Messtechnik der YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH

Die aktuellen Seminar-Angebote finden Sie auf http://tmi.yokogawa.com/de

Unsere Broschüre ‚Hochgenaue Optische Messtechnik' steht als PDF zum Download auf http://tmi.yokogawa.com/de unter PRODUKTE » Optische Messtechnik

Yokogawa Events

embedded world 2010
2. – 4. März
Messezentrum Nürnberg

LASER OPTICS BERLIN 2010
22. – 24. März
Messe Berlin

PCIM Europe 2010
4. – 6. Mai
Messezentrum Nürnberg

Weitere Informationen auf
http://tmi.yokogawa.com/de

DLM2000 umweltfreundliches Produkt

Im Vergleich zu früheren Produkten verursacht der DLM2000 rund 62 Prozent weniger Kohlendioxid, Stickoxide und Schwefeloxide. Die Werte wurden nach dem LCA-Standardverfahren ermittelt. LCA steht für LifeCycle Assessment, berechnet also den Energieverbrauch und alle Emissionen über die gesamte Lebenszeit des Produkts.

Weiteres finden Sie im Annual Report 2009. Download von
http://www.yokogawa.com/pr/pdf/2009/2009annual-en.pdf

Spektrale Reinheit

eagleyard Photonics beschleunigt Test von High-Power Laserdioden mit dem Spektrumanalysator AQ6370 von Yokogawa

Die eagleyard Photonics GmbH entstand 2002 als Spin-Off des Ferdinand-Braun-Instituts / Leibniz-Instituts für Höchstfrequenztechnik (FBH) und wurde gegründet von dem heutigen Geschäftsführer Dipl. Ing. Jörg Muchametow sowie dem heutigen Technischen Direktor Ph.D. Thomas Laurent. Inzwischen zählt das Unternehmen rund 25 Mitarbeitende. eagleyard ist Spezialist auf dem Gebiet von Leistungs-Laserdioden im Wellenlängenbereich von 650 nm bis 1120 nm und sieht sich als Bindeglied zwischen Forschung und Industrie. Am Standort Adlershof verfügt eagleyard über rund 200 m² Bürofläche und 200 m² Reinraumbereich für die Fertigung. Seit Februar 2005 ist eagleyard zertifiziert nach ISO 9001:2000/2008.
www.eagleyard.com

Adlershof ist eine der ersten Adressen, wenn es um technologische Forschung und Entwicklung geht. Der bekannte Technologiepark im Berliner Südosten vereinigt sechs Institute der Humboldt-Universität, elf außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und über 800 Firmen, großenteils Neu- und Ausgründungen.

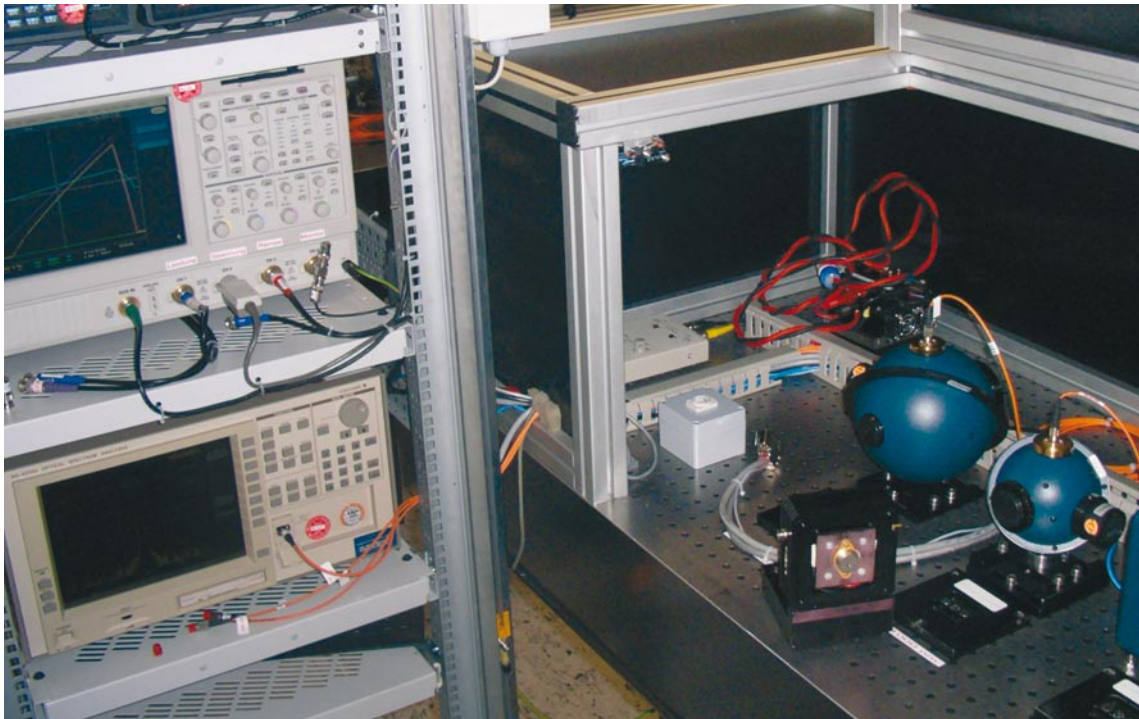
eagleyard Photonics, eines dieser Unternehmen, hat nicht nur den Namen seines Standorts ins Englische übertragen, sondern setzt auch die Forschungsergebnisse des benachbarten, weltweit anerkannten Ferdinand-Braun-Instituts (FBH) in Produkte um, die sich industriell fertigen und vermarkten lassen. Die Produkte sind Hochleistungs-Laserdioden auf Gallium-Arsenid-Basis (GaAs), genauer gesagt: Single-Emitter-Dioden, die einen Wellenlängenbereich von 650 nm bis 1120 nm abdecken.

„Wir gehen noch nicht in Hunderttausende, aber zusammen mit unseren Kunden entwickeln wir neue Applikationen, die auch jetzt schon zu einem monatlichen Durchsatz von einigen tausend Stück geführt haben “, sagt Michael Kneier, Sales and Marketing Chef. „Uns geht es darum, Hightech in zuverlässige Produkte zu wandeln.“ Dabei sind auch Entwicklungen speziell auf Kundenwunsch möglich, wenn die Chance besteht, das Produkt allgemein zu vermarkten. Kneier sieht eagleyard in der Vermittlerrolle. Die Halbleiter-Entwicklung übernimmt nach wie vor der Partner FBH, während eagleyard das Ohr am Markt hat. „Wir stehen zwischen den Wissenschaften und den industriellen Kunden. Und wir haben Experten, die sich mit beiden Seiten auf Augenhöhe unterhalten können.“

Das kommt den Produkten zu Gute. Vier Produktgruppen bietet eagleyard an:

- Distributed Feedback Laser (DFB) und Distributed Bragg Reflector Laser (DBR) mit stabilem Monomode-Betrieb und einer extrem schmalen Linienbreite
- Ridge Waveguide oder Fabry Perot Laser mit einer Vielzahl von Wellenlängen und Ausgangsleistungen bis 250 mW
- Broad Area Laser mit Streifenbreiten von 60 µm bis 200 µm und Ausgangsleistungen bis zu 15 W, gepulst bis 30 W und mehr
- Tapered Laser oder Tapered Amplifier mit bis zu 2 W Ausgangsleistung

Entsprechend vielfältig sind die Anwendungen. DFB-Laser eignen sich nicht nur für 10-Gbit-Datenübertragung bei 850 nm. Mit schmalbandigen Lasern für 760 und 763 nm lassen sich u. a. Konzentrationen von Sauerstoff mittels Absorptions-Spektroskopie nachweisen. Michael Kneier nennt weitere Einsätze. Zum Beispiel die Teleskope, welche die ESA (European Space Agency) für die GAIA-Mission in die Erdumlaufbahn schicken wird: Zwei DFB-Laser von eagleyard mit 850 nm werden per Interferenzmessung die Teleskopspiegel ausrichten. Oder die PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) mit ihren Atom-Uhren. Kneier: „Die haben auch Laser von uns wegen der geringen Linien-



Messaufbau für DFB-Laser. Rechts die geöffnete schwarze Box mit den Ulbricht-Kugeln, von denen aus man direkt in die optischen Spektrumanalysatoren von Yokogawa einkoppeln kann. Während der Messung ist die Box geschlossen, um dem Laserschutz zu genügen und Streulicht zu vermeiden.

breite bis herunter in den 100-kHz-Bereich." Die Laser werden benutzt, um die Caesium-Resonanz bei 852 nm anzuregen.

Broad Area Laser dagegen kommen u. a. in der Zahnmedizin zum Einsatz, zum Beispiel für die schonende Behandlung von Parodontitis oder für kleine chirurgische Eingriffe. Hier ist spektrale Reinheit zweitrangig. Entscheidend sind Strahlqualität, Strahlformung und vor allem der Wirkungsgrad: Waren die Geräte früher fest installiert, so möchte man sie heute als batteriebetriebene Handgeräte von einem Behandlungszimmer ins andere tragen.

Tapered Laser schließlich verbinden die gute Strahlqualität der Fabry-Perot-Laser mit den hohen Ausgangsleistungen der Broad Area Laser. Sie liefern zwei Watt Ausgangsleistung in Singlemode-Qualität für Terahertz-Übertragungen.

Während bei der Großserienfertigung von Lasern die Qualitätskontrolle meist in einer Prozessüberwachung mit Stichproben besteht, prüft eagleyard jedes einzelne Stück individuell, und zwar nicht erst, wenn der Chip fix und fertig im Gehäuse sitzt, sondern schon auf Wafer-Level. Die Anforderungen sind extrem, und man möchte wissen, ob der Chip ihnen genügt, bevor man ihn ‚packaged', das Burn-in durchlaufen lässt und schließlich zertifiziert. Jedes Produkt verlässt das Haus letztlich mit einem Zertifikat, in dem alle Prüfergebnisse festgehalten sind, je nach Variante für einen definierten Arbeitspunkt oder über den gesamten Strombereich oder zusätzlich über den gesamten spezifizierten Temperaturbereich.

Wesentliche Kriterien für die DFB-Laser sind die Ausgangsleistung und die SMSR – Side Mode Suppression Ratio oder Seitenmodenunterdrückung. Beide müssen bereits bei der Vorselektion geprüft werden. Um die Aufgabe wirtschaftlich zu lösen, spielt die Testzeit eine große Rolle. eagleyard hat sich deshalb entschieden, zu dem vorhandenen optischen Spektrumanalysator AQ6315 einen AQ6370 von Yokogawa zu beschaffen, der eine zweifach höhere Auflösung und eine fünffach schnellere Messzeit bietet. Eine grundsätzliche Ersparnis ergibt sich außerdem dadurch, dass Leistung und spektrale Reinheit in einem Prozessschritt gemessen werden. „Wenn die Leistung nicht ausreicht, kann das Spektrum noch so gut sein – das Produkt ist nicht brauchbar", sagt Christopher Stier, der für die Fertigung verantwortlich ist. eagleyard koppelt den Ausgang des DFB-Lasers über eine Ulbrichtsche Kugel mit dem Leistungsmesser und mit dem Eingang des Spektrumanalysators und kann so beide Parameter parallel messen. Dies ist möglich, weil die Spektrumanalysatoren von Yokogawa auch Fasern großer Durchmesser adaptieren können und empfindlich genug sind. Andernfalls müsste das Signal in eine Singlemode-Faser eingekoppelt werden, was eine aufwendige Positionierung in drei Koordinaten voraussetzen würde. „Wir müssten bei uns zwei weitere Messplätze haben, wenn wir Ihr System nicht so angeboten bekommen hätten", erkennt Christopher Stier an.

Hightech auf Gallium-Arsenid-Basis bedeutet zugleich Fokussierung auf den Wellenlängenbereich 650 – 1120 nm. Eine Einschränkung? Marketing-Chef Michael Kneier sieht es nicht so. „Für 1550 nm kriegt man fast alles, aber wenn es dann auf 850 nm geht, wird es speziell. Diese Laser in diesen Leistungsklassen kriegen Sie nicht von der Stange. Und auch die Package-Formen sind zu speziell." So ist eagleyard nicht von nur einer Branche wie z. B. dem Telekommunikationsbereich abhängig. Einen weiteren Vorteil sieht Kneier im Vertrieb. „Wir beschränken uns ja nicht auf Berlin und Brandenburg. Wir sind weltweit vertreten durch kompetente Partner." Dadurch gleichen sich regionale Unterschiede aus. Immerhin konnte eagleyard auch 2009 – wie alle Jahre seit der Gründung – ein zweistelliges prozentuales Umsatzwachstum verbuchen.

Jörg Latzel von Yokogawa an dem AQ6370, der die Vorselektion von DFB-Lasern wesentlich beschleunigt. Mit einer Dynamik von mehr als 30 dB ist er gerade für den Bereich um 850 nm interessant.

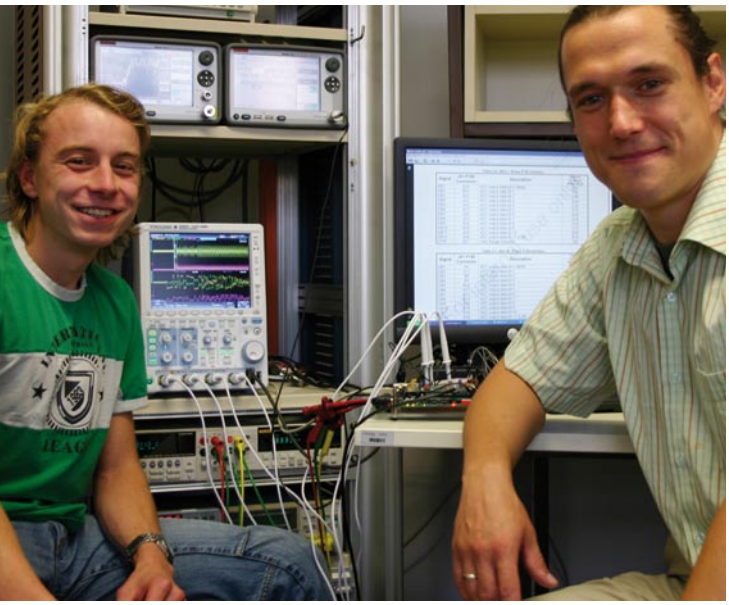
Der gesamte Messprozess von je 8 oder 16 DFB-Lasern wird von einer speziell entwickelten Software gesteuert. Sie stellt auch die Verknüpfung mit der Datenbank her, in der alle Charakterisierungen eines jeden Produkts an jeder Stelle der Wertschöpfungskette abgelegt werden.

Christopher Stier von eagleyard (rechts) mit Ulrich Herrmann von Yokogawa an einem Messgestell für Hochleistungs-Laser, bestückt u. a. mit dem bewährten AQ6315.

Ultra-Low Power Wireless

HTW Berlin entwickelt Übertragungsverfahren für Low-Rate Wireless Personal Area Networks

Alexander Huhn MSc, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Funktechnik der HTW Berlin (rechts) mit dem studentischen Mitarbeiter Lars Schulz (links) im Labor der HTW (Foto: Frantisek Kochaleck).



Das Oszilloskop vom Typ DLM2000 zeigt die Basisbandsignale der Transceiver vor der Umsetzung auf die ISM-Frequenzlage. Demnächst wird ein DL9710L mit vier Analog- und 32 Logik-Kanälen den Vergleich der analogen Signale mit den entsprechenden digitalen Daten im FPGA ermöglichen – ein Mittel, um u. a. störenden Latenzunterschieden zwischen den einzelnen Bits auf die Spur zu kommen.

Rechts: FPGA-Board mit vier an der HTW entwickelten Transceiver-Modulen für Vielfachantennenbetrieb (MIMO – Multiple Input Multiple Output) bei 2,4 GHz. Das MIMO-Verfahren erlaubt höhere Datenraten bei gleichzeitig geringerer Störanfälligkeit.

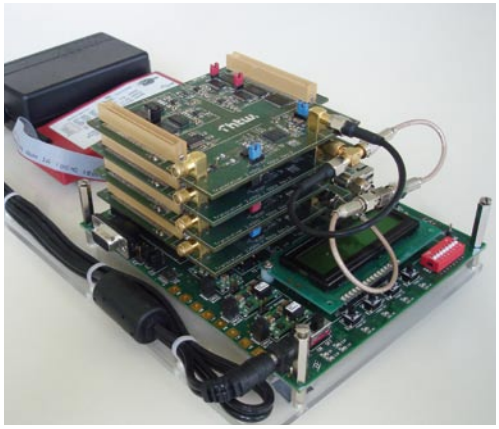
Weitere Informationen zur Arbeitsgruppe Funktechnik von Prof. Dr. Horst Schwetlick finden Sie unter http://funktechnik.htw-berlin.de

WLANs sind die bekanntesten, aber nicht die einzigen drahtlosen Datennetze. WiMAX, der De-facto-Standard für WMANs – Wireless Metropolitan Area Networks –, ermöglicht ganzen Stadtteilen breitbandige Kommunikation. WPANs – Wireless Personal Area Networks – sind dagegen im kleinsten Bereich angesiedelt. Mit geringer Reichweite und vergleichsweise niedriger Datenrate beschränken sie sich auf Gebäude und deren direkte Umgebung. Sie öffnen Garagentore, überwachen Eingänge, lesen Zählerstände, vernetzen Computer mit Unterhaltungselektronik oder überwachen den Gesundheitszustand von Menschen, die trotz körperlicher Einschränkungen nicht auf eine selbstständige Lebensweise verzichten wollen. Ebenso eignen sich WPANs für industrielle Steuer- und Kontrollfunktionen.

WPAN-Übertragungsverfahren und entsprechende Transceiver mit immer geringerem Leistungsbedarf, effizienterer Nutzung der Bandbreite und höherer Störsicherheit zu entwickeln, das hat sich die Arbeitsgruppe Funktechnik unter Leitung von Prof. Dr. Horst Schwetlick an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Berlin zur Aufgabe gemacht. Moderne Halbleitertechnologie, digitale Entwurfsmethoden und neuere Theorien der Datenübertragung greifen dabei ineinander. Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), wurden an der HTW gemeinsam mit einer Partnerfirma Teile des Übertragungsverfahrens Parallel Sequence Spread Spectrum (PSSS) entwickelt – eine Spreizbandtechnik für kurze Distanzen. Das Verfahren ist seit 2005 Bestandteil des internationalen Standards IEEE 802.15.4, häufig gleichgesetzt mit ZigBee, obwohl dies nicht korrekt ist. IEEE 802.15.4 definiert die Bitübertragung (Physical Layer) und den Medienzugriff (MAC Layer). Darauf können ZigBee oder andere Vermittlungsprotokolle aufsetzen.

Die bisher an der HTW entwickelten Transceiver nutzten zur Übertragung die ISM-Frequenzbänder bei 2,4 GHz und 5 GHz. Jetzt stehen die ISM-Frequenzen 868 und 433 MHz im Fokus. Sie ermöglichen höhere Reichweite bei niedrigerer Sendeleistung. Längere Wellenlängen durchdringen z. B. Stahlbeton besser als kurze, und ein weniger strapaziertes ‚Dämpfungs-Budget' auf der Funkstrecke bedeutet wiederum höhere Störsicherheit, was vor allem beim Aufbau drahtloser Sensornetze in der Industrie wichtig ist. Weitere Sicherheit bieten ‚robuste' Übertragungsverfahren, die sich durch elektromagnetisch belastete Umgebungen nicht gleich irritieren lassen.

Die Schaltungen realisiert die Arbeitsgruppe Funktechnik in FPGAs – Field Programmable Gate Arrays –, um die Signalverarbeitung physikalisch abzubilden und das Verhalten ausgiebig zu testen. Nach Abschluss der Entwicklung können die Schaltkreise als ASICs – Application Specific Integrated Circuits – industriell in Serie gehen.



IEEE-Standards für drahtlose Datennetze

WPAN
Wireless Personal Area Network
802.15-Familie:
802.15.1 (Bluetooth)
802.15.3 (High Rate, für Multimedia)
802.15.4 (Low Rate, für ZigBee u.a.)

WLAN
Wireless Local Area Network
802.11-Familie

WMAN
Wireless Metropolitan Area Network
802.16-Familie:
802.16-2004 (WiMAX)
802.16e-2005 (WiBro, mobile WiMAX)

Farbenlehre

Farbempfinden lässt sich messen – die Bestimmung des Farborts

„Das Licht ist das einfachste, unzerlegteste, homogenste Wesen, das wir kennen. Es ist nicht zusammengesetzt. Am allerwenigsten aus farbigen Lichtern." Das konstatierte Johann Wolfgang von Goethe 1810 in seiner Farbenlehre, entgegen den Auffassungen, die Isaac Newton rund hundert Jahre zuvor vertreten hatte.

Hier irrte Goethe. Sonst könnten wir auf unseren Bildschirmen keine Mischfarben darstellen, die physikalisch aus den Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB) erzeugt sind. Freilich spielt hier die Sinneswahrnehmung eine Rolle: Wenn die Bildpunkte eng genug beieinander liegen bzw. der Abstand des Betrachters genügend groß ist, reicht die Auflösung des Auges nicht, um die einzelnen Bildpunkte zu trennen. Außerdem ‚integriert' das Auge die Wellenlängen und kann nicht unterscheiden, ob eine Farbe durch eine Spektrallinie, mehrere diskrete Spektrallinien oder ein kontinuierliches Spektrum zu Stande kommt. Die drei Farben RGB lassen sich zum Beispiel so mischen, dass unser Auge ein reines Weiß wahrnimmt. Das Ohr wäre da nicht so ‚integrativ': Es würde entsprechende Frequenzen im Hörbereich als Töne erkennen, also einen Dreiklang hören – und ihn bei den RGB-Schwingungsverhältnissen als äußerst ‚schräg' empfinden.

Die physikalischen Eigenschaften des Lichts wurden schon früh erforscht, und mit der im 19. Jahrhundert vorherrschenden Wellentheorie ließen sich bereits viele physikalische Phänomene erklären. Schwieriger war es mit der physiologischen Seite, der Farbwahrnehmung. Zwar postulierte Thomas Young schon 1807 eine Dreifarbentheorie des Sehens, die Hermann von Helmholtz Mitte des 19. Jahrhunderts ausformulierte. Doch gelang es erst David Wright und John Guild im 20. Jahrhundert, den Zusammenhang zwischen Physik und Physiologie, zwischen auslösendem Farbreiz und empfundener Farbe, numerisch zu beschreiben. Ihre Farbmischversuche mit Testpersonen führten zu einem System, das 1931 von der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE – Commission internationale de l'éclairage) als Normvalenzsystem oder Normfarbsystem (CIE 1931) definiert wurde.

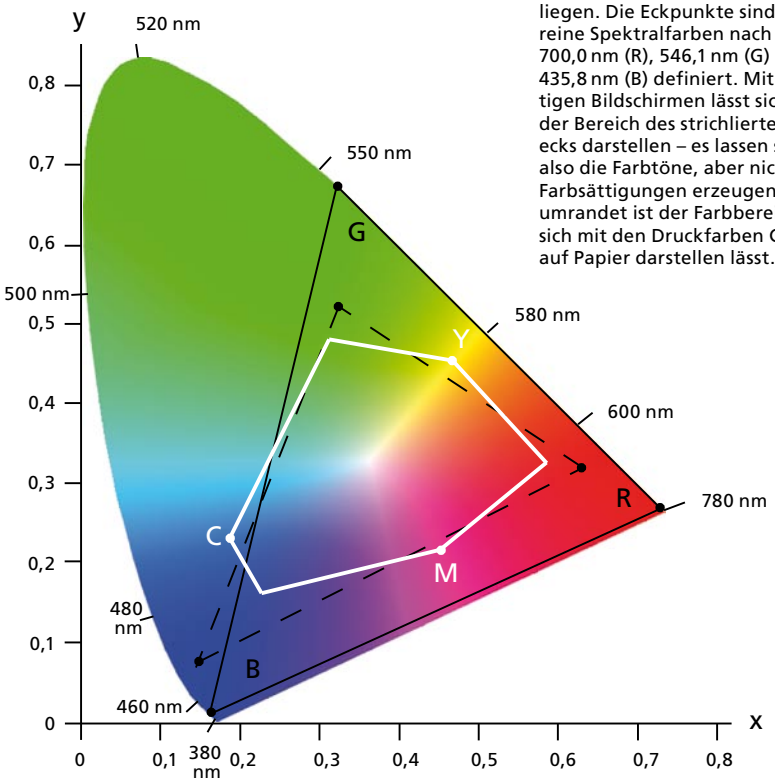
Nach dem CIE-System lassen sich alle wahrnehmbaren Farben in der so genannten Normfarbtafel darstellen. Die Besonderheit dabei ist, dass der eigentlich dreidimensionale Farbraum auf zwei Dimensionen x und y abgebildet wird. Durch Normierung ergibt sich der dritte Wert z aus der Formel

$$x + y + z = 1.$$

Den Rand der Farbfläche bilden die reinen Spektralfarben, die physikalisch durch ihre Wellenlängen definiert sind; die sog. Purpurgrade schließt die Fläche als Verbindungslinie zwischen längster und kürzester wahrnehmbarer Wellenlänge. In dieser Fläche hat jede Farbart einen entsprechenden Farbort. Je höher die Farbsättigung ist, umso näher liegt der Farbort an der Außenlinie. In der Mitte der Fläche befindet sich der Weißpunkt, oder besser gesagt, der Unbuntpunkt. Denn über die Helligkeit sagt die Farbart nichts – unbunt kann jede Graustufe von Weiß bis Schwarz sein.

Bei der additiven Farbmischung von Rot, Gelb und Blau zu Weiß ist deshalb das richtige Verhältnis wichtig. Wer die ersten Farbfernseher kannte, weiß, wie kritisch hier der ‚Weißabgleich' war. Aber auch moderne Bildschirme zeigen die verschiedensten ‚Weiß', wenn man sie nebeneinander stellt. Das menschliche Auge nimmt Farbunterschiede im direkten Vergleich nämlich recht gut wahr, hat aber ein schlechtes ‚Gedächtnis': Farben nacheinander zu vergleichen, fällt schwer. Die Farbunterschiede von LEDs

Scheinwerfer eines Triebwagens der Bahn – ein Beispiel additiver Farbmischung. Aus der Ferne betrachtet erscheint das Licht weiß. In direkter Nähe erkennt und trennt das Auge die einzelnen Lichtquellen: Es sind verschiedenfarbige LEDs. Bei umgekehrter Fahrtrichtung leuchten nur die roten LEDs als Schlusslicht.

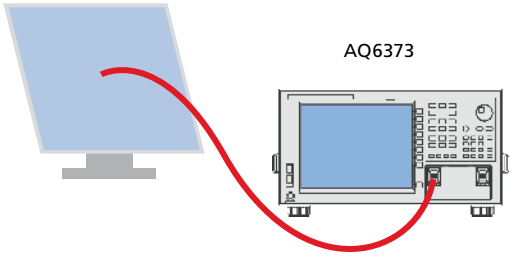


Normfarbtafel nach CIE 1931. Die Farben in der Fläche dienen nur zur Orientierung, denn weder am Bildschirm noch auf dem Papier lassen sich alle wahrnehmbaren Farben erzeugen. Theoretisch gestattet der RGB-Farbraum die Erzeugung aller Farben, die innerhalb des schwarzen Dreiecks liegen. Die Eckpunkte sind als reine Spektralfarben nach CIE mit 700,0 nm (R), 546,1 nm (G) und 435,8 nm (B) definiert. Mit heutigen Bildschirmen lässt sich etwa der Bereich des strichlierten Dreiecks darstellen – es lassen sich also die Farbtöne, aber nicht die Farbsättigungen erzeugen. Weiß umrandet ist der Farbbereich, der sich mit den Druckfarben CMYK auf Papier darstellen lässt.

Messung einer weißen LED mit dem Optischen Spektrumanalysator AQ6373 von Yokogawa. Weiße LEDs bestehen aus einem Halbleiter, der blaues Licht emittiert, sowie aus einem orange fluoreszierenden Stoff, was im Spektrum deutlich zu erkennen ist. Aus dem Spektrum ermittelt das Gerät die dominante Wellenlänge, die den Farbeindruck bestimmt. Sie ist nicht mit der Peak-Wellenlänge identisch. Der Farbort in der Normfarbtafel ist gegenüber dem Unbuntpunkt leicht in Richtung Blau (468,7684 nm) verschoben.

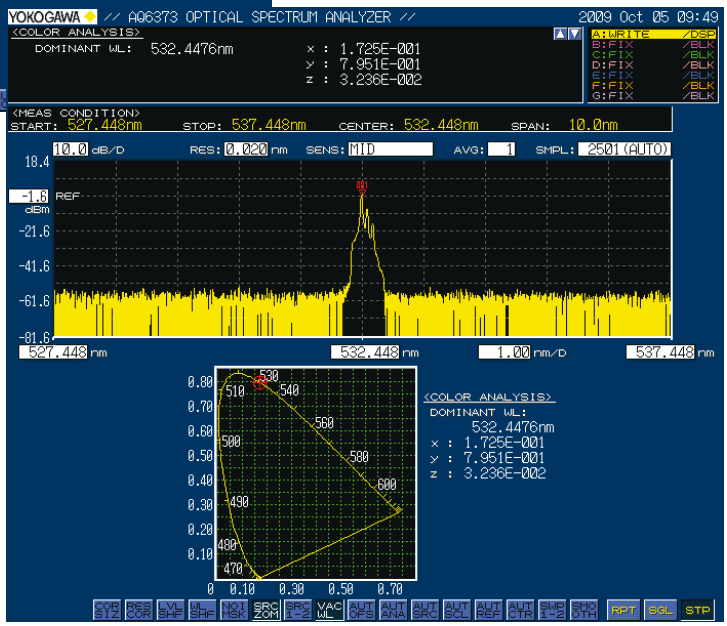
beispielsweise in Großwandanzeigen oder in Kontrollpanels fallen meist unangenehm auf. Beim Einbau oder Austausch der LEDs bemerkt man sie dagegen nicht, da immer nur eine LED nach der anderen kontaktiert wird. Hier ist die optische Messtechnik gefragt.

Subtraktive Farbmischung entsteht zum Beispiel beim Farbdruck auf Papier. Das weiße, genauer gesagt reflektierende Papier wird durch die drei Grundfarben Cyan, Magenta und Yellow (CMY) absorbierend. Den Grad der Absorption bestimmt die Größe der Rasterpunkte, die sich bis zur Vollfläche verdichten können. 100 Prozent C+M+Y = Schwarz. Theoretisch. Doch jeder Drucker weiß: 100 Prozent C+M+Y=Schmutz. Deshalb hilft man sich mit einer vierten Farbe, die genau genommen gar keine Farbe ist, Black, und gibt ihr das Kürzel K, um Verwechslungen mit dem Blau aus dem RGB-Farbraum zu vermeiden. Das K im CMYK-Farbraum hilft, tiefes Schwarz oder – als Punktraster – neutrales Grau aufs Papier zu bringen.



Messung eines Bildschirms. Da der AQ6373 mit einem Freistrahleingang ausgestattet ist, kann man einfach eine optische Faser mit großem Querschnitt – z. B. POF – benutzen, um das Spektrum der Bildschirmfarben zu erfassen und deren Farborte zu bestimmen.

Nehmen Sie dieses Heft einmal unter die Lupe, falls es Ihnen gedruckt vorliegt. Sie werden alle CMYK-Farben finden, zum Beispiel Magenta, ein Rot mit einem giftigen Stich ins Violette, oder Cyan, das trotz seines giftigen Namens ein zartes Himmelblau ist und deshalb meist als kitschig empfunden wird. Kurt Tucholsky nannte es ‚blausa'. Der Kopfbalken dieser Seite besteht deshalb nicht allein aus Cyan, sondern enthält eine gesunde Portion Magenta. Wo die Cyan- und Magenta-Punkte aufeinander fallen, wirken sie schon fast schwarz. Und damit das Grau im Adressfeld unten nicht eintönig wirkt, ist es aus CMY zusammengesetzt.



Im Gegensatz dazu findet der grüne Laser (rechts) seinen Ort in der Normfarbtafel praktisch auf dem äußeren, reinen Spektrallinienzug. Das Spektrum zeigt jedoch, dass das Licht nicht ganz rein ist: Neben der Hauptlinie zeigen sich zwei Seitenlinien.

YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH
Gewerbestraße 17, 82211 Herrsching
Telefon 0 81 52 / 93 10-0
Telefax 0 81 52 / 93 10-60
eMail: info@yokogawa-mt.de
http://tmi.yokogawa.com/de

Vertriebsbüro Hamburg/Hannover
Telefon 04 51 / 4 99 82 82
eMail: Oelke@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Berlin
Telefon 030 / 84 10 95 13
eMail: Herrmann@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Dresden
Telefon 03 51 / 2 81 56 68
eMail: Gulich@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Hanau
Telefon 0 60 41 / 82 04 50
eMail: M.Wachter@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Mönchengladbach
Telefon 0 21 66 / 55 19 29
eMail: Koerver@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Dortmund
Telefon 0 23 06 / 37 09 73
eMail: Hillebrand@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Aschaffenburg
Telefon 0 60 27 / 46 48 23
eMail: Becker@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro München
Telefon 0 81 91 / 428 48 58
eMail: Thalheimer@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Pforzheim
Telefon 0 81 52 / 93 10-88
eMail: Korell@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Reutlingen
Telefon 0 81 52 / 93 10-86
eMail: Schoeberle@yokogawa-mt.de

YOKOGAWA Test und Messtechnik Vertretung in Österreich:

nbn Elektronik Handelsgesellschaft m.b.H.
Riesstr. 146
A-8010 Graz
Telefon +43 / 3 16 / 40 28 05
Telefax +43 / 3 16 / 40 25 06
eMail: nbn@nbn.at
www.nbn.at