

Neue Teststrategie bei inovel

Der Design- und Fertigungsdienstleister inovel hatte am 30. November 2007 zu einem 1. Technologietag nach Friedrichshafen eingeladen. Dort wurde die neue Teststrategie, bei der Elemente des Funktionstests in einen Flying Probe-Tester von Takaya integriert wurden, vorgestellt. Außerdem informierte Dr. Ing. Thomas Ahrens, Fraunhofer ISIT, über die Möglichkeiten, bereits beim Design Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Baugruppe zu nehmen.

Design- und Fertigungsdienstleistung aus einer Hand

Als Entwicklung- und Fertigungspartner sieht sich *inovel* als „Full-Service“-Dienstleister für Elektronikprodukte: „Als innovativer Dienstleister bieten wir Komplettservice von der Kundenidee bis zur Serienproduktion für Unternehmen in nahezu allen Technologiebereichen“, so Geschäftsführer *Axel Dittus*. Die meisten Kunden sind regional ansässig. *inovel* – dahinter verbergen sich eigentlich zwei Firmen: die *inovel elektronik GmbH* und die *inovel systeme GmbH* mit insgesamt 30 Mitarbeitern, davon 8 Ingenieure und Elektrotechniker. Während *inovel elektronik* sich der Auftragsfertigung hochintegrierter elektronischer Baugruppen gewidmet hat, hat sich *inovel systeme* auf die Entwicklung und den Vertrieb eigener Produkte, hauptsächlich kundenspezifischer Steuerungen (Hard- & Software), konzentriert. Derzeit wird etwa 60 % des Umsatzes mit Dienstleistungen rund um die Elektronikproduktion erwirtschaftet, die restlichen 40 % mit Design und Entwicklung.

Dienstleistungen

Die Auftragsfertigung deckt sämtliche Technologien und Bereiche ab. So werden Leiterplatten für die Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt, Sensorik und Automotive produziert und getestet. Die Dienstleistungen umfassen Beratung (Wo könnte es schon beim frühen Design Probleme geben?), Designoptimierung und fertigungsgerechtes Design, Bauteilbeschaffung, Bestückung, Prototypenbau, Fertigung ganzer Geräte, Logistik, und Test. Außerdem werden Schulungen zur Handlöttechnik und zum Pb-freien Löten angeboten.

Im Prinzip wird bei *inovel* im inline-Verfahren produziert. Der Automatisierungsgrad ist zu Gunsten maximaler Flexibilität optimiert. Lotpastenauftrag

und Bestückung erfolgen vollautomatisch. Anstelle einer langen Fertigungslinie halten die Mitarbeiter mit Magazinen, Staplern und ähnlichen Organisationsmitteln die Fertigung im Fluss. In jeder Fertigungsinstanz sitzen gut geschulte Mitarbeiter. Dies ermöglicht regelmäßige Zwischenprüfungen wie z.B. visuelle Inspektion von Stichproben am Mikroskop.

Ausgehend von CAD-Daten können erste Prototypen schon in 3 Tagen auf den Tisch gelegt werden.

Für die Bauteilbeschaffung bestehen weltweit Verbindungen – oftmals schon seit Jahren. Infolge des breiten Produktspektrums stehen sehr viele Kanäle zur Verfügung.

Die Umstellung auf die Bleifrei-Produktion wurde Anfang 2006 durchgeführt. Seither wird zweigleisig produziert. Dabei wurde auf Maschinen gesetzt, die schnelle Wechsel ermöglichen. Derzeit beträgt der Anteil der Pb-haltigen Produktion noch ca. 30 %.

Produktentwicklungen

Die Entwicklung und Vermarktung eigener Produkte obliegt seit 2006 der *inovel systeme GmbH*.



Die inovel-Geschäftsführer (von links): Andreas Stöhr, Axel Dittus, Robert Steinhauser

Tätigkeitsschwerpunkt ist die Erarbeitung von Systemlösungen. Entwickelt werden kundenspezifische „Robust-Steuerungen“ für den Bereich Maschinenbau – im speziellen Hydraulik und Fahrzeugbau für die Agrartechnik und Alternative Energien.

Aufgrund der Erfahrungen aus zahlreichen Entwicklungen im Hause können die einzelnen Phasen der Entstehung eines Produktes – von der Idee bis zur Serienfertigung – optimal begleitet werden. Auch die Schnittstellen zur Mechanik (Gehäusekonstruktion, Sensoren, ...) werden im Hause entwickelt, sodass ergonomische, marktgerechte Produkte entstehen. *Andreas Stöhr*, Geschäftsführer von *inovel systeme*, meint: „Wir bringen Elektronik zur Anwendung. In enger Interaktion von allen Beteiligten ergeben sich ganz spezifische Lösungen, die man sonst nicht erhalten kann.“

Beispiele für erfolgreiche Produktentwicklungen sind ein Motormanagement-System für Biogasmotoren und verschiedene, spezielle CANopen-Netzwerkkomponenten.

Das erste „eigene“ Produkt war eine Steuerung für einen „vollhydraulischen“ Motormäher, der auch an Steilhängen eingesetzt werden kann. Diese Steuerung ist auf Grund ihres mobilen Einsatzes im Freien entsprechenden gegen Stöße, Erschütterungen, Feuchtigkeit und Nässe geschützt.

Sehr breites Spektrum an Erfahrungen

inovel wurde 1995 von den heutigen Geschäftsführern *Robert Steinhauser* und *Axel Dittus* gegründet. Beide konnten damals auf über 12jährige Erfah-



Firmengebäude

rungen in größeren Firmen der Elektronikbranche zurückblicken: *Axel Dittus* war zuvor mit der Entwicklung von Betriebsmitteln und speziellen Testgeräten beschäftigt, während *Robert Steinhauser* in der Schaltungs- Entwicklung tätig war. Damals lag der Schwerpunkt auf der Bestückung. Doch schon bald kam Beratung hinzu, da zu jener Zeit die SMD-Technologie bei vielen Kunden Einzug hielt.

1997 wurde die erste Baugruppe für Avionics gefertigt – mit prozessbegleitenden Audit von *EADS*. Im nächsten Jahr folgten die Einführung BGA-Technologie und die erste Eigenentwicklung. 2000 wurde die CSP-Technik eingeführt und die ersten μ BGA und 0402-Bauteile in Serie bestückt.

Seit 2001 fliegen in jedem *Zeppelin NT* von *inovel* gefertigte Baugruppen mit.

Es folgten Prozesseinführungen für namhafte Firmen (z.B. THR-Technik).

Zum Jahresbeginn 2004 wurde das neue Firmengebäude in Friedrichshafen mit 550 m² Produktionsfläche bezogen. Dort wurde 2005 das Forschungsprojekt *Feldroboter* gestartet. Außerdem erhielt *inovel* 2005 für eines ihrer Produkte die *DLG Neuheiten-Goldmedaille*.

Die Verdopplung der Betriebsfläche 2006 ermöglichte die Installation einer dritten Bestückungslinie. Im gleichen Jahr erfolgte auch die Umstellung auf bleifreie Prozesse. Außerdem wurde durch die Gründung der *inovel systeme GmbH* die Entwicklung und der Vertrieb von eigenen Produkten ausgegliedert.

Anfang 2007 wurde das Flying-Probe-System *APT-941 ICE* von *Takaya* angeschafft.

Der etwas andere Flying Probe-Einsatz

Anforderungen

Da das bisherige Testkonzept den Anforderungen nicht mehr gerecht wurde, musste eine neue Strategie entwickelt werden. Diese sollte wesentliche Verbesserungen bezüglich Testabdeckung, Testtiefe und Flexibilität bringen.

Vereinfacht dargestellt ergaben sich ausgehend vom Baugruppenspektrum bei *inovel*

- Losgröße 1 - 1500 Stück
- extrem hohe Baugruppen- und Branchenvielfalt

- hohe Komplexität: Leiterplatten mit bis zu 20 Lagen
 - bis 3000 Bauteile/Baugruppe
- folgende Forderungen an das Testkonzept:
- geeignet für Losgröße 1 bei akzeptablen Initialkosten
 - Test mit geringen Anforderungen an das „Design for Test“ (Dienstleistung)
 - Incircuit-Test sollte möglich sein
 - mittlere Stückzahlen bei höchster Komplexität sollten vom Durchsatz her möglich sein
 - idealerweise sollten mehrere Verfahren in einer Testinstanz verfügbar sein, um das Handling zu minimieren und die Flexibilität zu erhöhen

Eine Analyse der Fehlerverteilung ergab, dass eine akzeptable Testabdeckung nur durch den Einsatz verschiedener Testverfahren erreicht werden kann. Dies führte zur Entscheidung für das Flying-Probe-System *Takaya APT-9411CE*. Das Basissystem ist eine offene Plattform, die deutlich über den reinen ICT hinaus erweitert werden kann. Außerdem sorgen mögliche Visiontests für eine erhöhte Testabdeckung.

Flexibles Testsystem

Das von *Itochu* gelieferte Testsystem *APT-9411CE* (APT steht für *Adapterless Probe Test*) kann mit 4 unabhängigen Flying Probes („fliegende“ Prüfnadeln) von oben und 2 verfahrbaren (fest, aber frei positionierbar) Prüfnadeln von unten sowie zusätzlichen Kameras Nutzen bis zu einer Größe von 560 x 400 mm² testen. Da die Nadeln sehr genau positioniert werden können ($\pm 35 \mu\text{m}$) sind



Die Vorträge hatten ein interessiertes Auditorium

keine speziellen Testpunkte mehr notwendig. Als solche können vom Lötstopplack freigestellte Stellen (Durchmesser 0,4 mm – Spezifikation: bis 150 μm) auf der Leiterbahn dienen. Dank dieser hohen Genauigkeit lässt sich ein Test nahezu ohne Design for Testability mit der *APT-9411CE* realisieren.

Die *Takaya*-Maschine ist modular aufgebaut und kann vor Ort aufgerüstet werden. Es stehen Messsysteme für

- Widerstände, Kapazitäten, Induktivitäten
- Dioden und Transistoren
- IC Open Pin Check
- Optische Inspektion

zur Verfügung.

Zusätzlich ist das System mit einem *Power Relay Board* zur Verwendung externer Spannungsversorgungen ebenso ausgerüstet, wie mit einem *Extension Scanner Board* zur Aufschaltung von bis zu 64 weiteren Messsignalen, um die Testgeschwindigkeit zu erhöhen.

Ergänzend ist in der *APT 9411* das optische System *TOS 4* installiert, mit dem zu Beginn die Lage der Leiterplatten vermessen wird. Gleichzeitig kann das Visionssystem auch umfangreiche optische Testschritte – Anwesenheit bestimmter Bauteile, Polung, Verdrehwinkel – durchführen sowie Data-matrixcodes, Barcodes und die Beschriftung von Bauteilen erkennen.

Darüber hinaus ist die *APT-9411CE* eine offene Plattform, d.h. externe Messinstrumente lassen sich problemlos einbinden. Dadurch können in Verbindung mit der Flying Probe neben dem klassischen ICT auch Funktionstests und Boundary Scan-Tests durchgeführt werden.

Beim Boundary Scan-Test bietet *Takaya* eine feste Schnittstelle, die in Zusammenarbeit mit der *Göpel electronic GmbH* entwickelt wurde. Dadurch wird der Boundary Scan-Test in den Testablauf integriert und übernimmt ab einem bestimmten Schritt die Kontrolle zum Setzen der Nadeln.

Selbst die Software für programmierbare Bauteile wird bei *inovel* in der Flying Probe aufgespielt. Dies passiert über die DDE-Schnittstelle der *APT-9411CE*. Entsprechende Programmierschnittstellen ermöglichen es, die Bausteine über USB,

CAN-Bus oder JTAG zu programmieren oder die Anwendersoftware auf die Baugruppe zu laden oder mit dieser zu kommunizieren. Soft- und Hardware für die genannten Schnittstellen hat *inovel* selbst entwickelt.

Für das Erstellen eines Prüfprogramms (normalerweise 5 - 8 Std.) können Daten aus 40 verschiedenen CAD-Systemen übernommen werden. Eine in Deutschland exklusiv für die *Takaya*-Tester entwickelte Software erkennt die Orientierung der einzelnen Bauelemente und optimiert so die Steuerung der Prüfnadeln. Somit lässt sich die Pseudofehlerrate drastisch reduzieren. Zusätzlich ist die Software in der Lage, Höheninformationen der einzelnen Bauteile zu verarbeiten und dadurch die Testgeschwindigkeit zu optimieren. Außerdem kann die *Takaya*-Software ermitteln, welche Netze und Bauelemente kontaktiert werden können und welche nicht, und einen entsprechenden Report ausgeben. Damit lässt sich sofort nach der Programmgenerierung erkennen, welche Bauteile testbar sind.

Testen bei Inovel

Da das *APT9411*-System sehr offen ist, hat *inovel* eine Testinstanz aufgebaut, die meist alle Tests nach der Bestückung in einer Maschine konzentriert.

Der Test einer Baugruppe mit 250 Netzen benötigt bei *inovel* eine Initialisierungszeit von 5,5 Stunden. Die Testzeit beträgt ca. 4 Minuten, wobei optische Tests, ICT, Open Pin-Check, Funktionstests und Softwareuploads durchgeführt werden.

Nachgeschaltete Testinstanzen können so häufig entfallen was die höhere Taktzeit in der Flying Probe rechtfertigt. Ganz zu schweigen von den Handling und Logistik-Kosten, die oft unterschlagen werden, bei hoher Typvielfalt aber nicht unerheblich sind.

Bei den eigenen Entwicklungen, wird der Test parallel zum Layout – an das von Seiten des Tests nur sehr wenige Forderungen gestellt werden – entwickelt, so dass schon der 1. Prototyp getestet wird. Dies ist beispielsweise bei Leiterplatten, die vollständig vergossen werden, extrem wichtig.

„Wir nutzen alle Möglichkeiten aus, die der *Takaya*-Tester bietet“, erläutert *Robert Steinhauser* und ergänzt: „Und wir setzen generell den *IC Open Pin Checker* ein“. Bei diesem speist eine Nadel ein kleines Wechselspannungssignal ein, während die

andere den Stromkreis auf Ground schließt. Ein Sensor misst über jedem IC-Beinchen das elektromagnetische Wechselfeld. Damit lassen sich fehlerhafte Lötverbindungen an QFPs und SOPs und den meisten BGAs aufspüren.

Vorträge

Qualität ist das, woran man sich erinnert, wenn der Preis schon längst vergessen ist

Mit ca. 70 Teilnehmern war der erste Technologietag ein voller Erfolg. Nach der **Begrüßung** durch *Robert Steinhauser* stellte *Axel Dittus* die **neue Teststrategie bei inovel** vor. Dazu gab er einen Überblick über die Vor- und Nachteile der einzelnen Testverfahren und erläuterte die Entscheidung für die *Takaya APT-9411CE*.

Anschließend stellte *Jörg Lewandowski, ITOCHU SysTech GmbH*, das **APT-9411CE** und die **Kostenvorteile durch den Flying Probe Test** vor. Zuvor gab er eine kurze Übersicht über *Itochu* und *Takaya*.

Itochu ist ein weltweit agierender japanischer Konzern mit über 45 000 Mitarbeitern, der 2007 einen Umsatz von 99 Mrd. US\$ und einen Gewinn von 1,5 Mrd. US\$ erwirtschaftete, 29 % davon im Energiebereich, 26 % mit Nahrungsmitteln, 20 % mit Chemikalien und 15 % mit Maschinen. Zum letzteren Bereich gehört auch die *ITOCHU SysTech GmbH* mit 30 Mitarbeitern am Hauptsitz in Düsseldorf und weiteren 48 in europäischen Büros und Niederlassungen.



Jörg Lewandowski neben der Takaya APT-9411CE

Seit 1987 besitzt *Itochu* die exklusiven Vertriebsrechte für die *Takaya Corp.* außerhalb Japans.

Takaya Corp. ist ein Teil der *Electronics Group* des *Takaya-Konzerns*, der 19 Firmen mit insgesamt 3040 Mitarbeiter (620 davon bei *Takaya Corp.*) umfasst und 2006 einen Umsatz von 840 Mio. € erzielte. Nachdem 1983 die ersten In-Circuit-Tester in Serie produziert wurden, startete 1987 die Serienproduktion von Flying-Probe-Testern. Mit der Serienproduktion des *APT-9411-Systems* wurde 2005 begonnen. Inzwischen wurde auch ein System mit der Option „Moving Bottom Probes“ vorgestellt.

Im Vergleich zum Funktionstest mit Nadelbettadaptern kann beim Flying Probe-Test der Test sofort nach der Bestückung des ersten Prototypen bzw. der ersten Baugruppe beginnen. Das Testprogramm wird aus den CAD-Daten generiert und nimmt im Normalfall nur wenige Stunden in Anspruch, während die Lieferzeit des Adapters üblicherweise bei 2 - 4 Wochen liegt. Somit bietet ein Flying-Probe-System neben der Reduzierung der laufenden Testkosten auch infolge der Verkürzung der „Time to Market“ – aufgrund schneller Verfügbarkeit des Testprogramms, hoher Flexibilität bei Designänderungen sowie kurzen Umrüstzeiten (nur Software muss neu geladen werden) – erhebliche Kostenvorteile bei hoher Typenvielfalt sowie bei geringen und mittleren Stückzahlen. Außerdem entfällt die Wartung und Lagerung der Adapter. Darüber hinaus kann die *APT 9411* durch Stichprobenprüfungen einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Produktionsprozesses liefern.

Anschließend erläuterte *Axel Dittus*, wie **Testen bei inovel** von den vielen Testmöglichkeiten, neben dem ICT, profitiert. *inovel* gelingt es dadurch, für Serienprodukte den nachgeschalteten Funktionstest meist in die *APT 9411* zu integrieren.

Designierte Zuverlässigkeit

Die Umstellung auf bleifreie Verbindungstechnik und die zunehmende Integrationsdichte haben komplexe Auswirkungen auf die Testverfahren und die geforderte Zuverlässigkeit elektronischer Baugruppen.

Wie man über das Design darauf Einfluss nehmen kann, zeigte *Dr. Ing. Thomas Ahrens, Fraunhofer*

ISIT, Itzehoe, in seinem Fachvortrag **Einbau der Zuverlässigkeit – bauteilspezifische Designmaßnahmen** auf.

Nach der Vorstellung des *Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie* und der dort aufgestellten Trainingslinie für die Bleifrei-Fertigung (www.life-lead-free.de) gab er zunächst einige Definitionen:

- **Qualität** heißt, dass die Produktbeschaffenheit die Anforderungen (Lastenheft!) erfüllt
- **Zuverlässigkeit** ist die Funktionserfüllung
 - unter gegebenen Bedingungen
 - in einer definierten Zeitspanne
 - innerhalb einer akzeptablen Ausfallrate
- **Fehler**: Funktion vor der Inbetriebnahme nicht vorhanden oder unzulässig eingeschränkt
- **Ausfall**: Funktionsverlust oder Funktionalität außerhalb der zulässigen Toleranz nach anfänglicher Freigabe

Gründe für einen Ausfall sind meist *latente Fehler*, also Schwachstellen (z.B. Auflieger, schwache Lötstellen), die bei geeignetem Prozess durch eine Prozesskontrolle verhindert werden können. Dazu gehören u.a. die Vermeidung von Überbeanspruchung, ESD und Kontamination im Fertigungsablauf einschließlich Logistik.

Ob z.B. eine Lötstelle zuverlässig ist, ist eine Frage der Anforderungen. Der Nachweis der Zuverlässigkeit kann nur über Ausfallkurven/-raten – also der statistischen Erfassung der Ausfälle – erfolgen. Bei Handys ist beispielsweise eine Ausfallrate von 1 % während der 2-jährigen Lebenszeit zulässig.

Da die latenten Fehler prozessbedingt sind, ist Design für Zuverlässigkeit (DfR – *Design for Reliability*) auch immer ein fertigungsgerechtes Design (DfM – *Design for Manufacturing*), bei dem die Fertigungsrandbedingungen die Anforderungen an das Design darstellen. Hier können erhebliche Kosteneinsparungen erzielt werden. Deswegen ist bei der Entwicklung immer das Gespräch mit dem Leiterplattenhersteller und Baugruppenfertiger zu suchen. Im Prinzip sollte jeder Entwickler ein Praktikum in der Fertigung (am besten in der Reparatur) absolvieren. Diejenigen, denen dies nicht möglich ist, sollten zumindest die Technologietage der Hersteller für einen Blick in die Fertigung nutzen.

Zum wirtschaftlichen Denken gehört beispielsweise auch eine vorläufige Stückliste zu erstellen und die Verfügbarkeit der Bauteile zu überprüfen.

Da mit fortschreitendem Produktionsstadium, in dem der Fehler entdeckt wird, die Kosten zur Behebung desselben exponentiell wachsen, ist es notwendig, bei der Produktentwicklung die Teststrategie gleich mit zu entwickeln und diese auf die vorhandene Testausrüstung zuzuschneiden. Hilfreich sind hier die IPC-Normen und deren Übersetzungen durch den FED, die auch die Prüfvorschriften enthalten.

Zur Verdeutlichung zeigte *Dr. Ahrens* mehrere typische Fehlerbilder in Mehrlagenleiterplatten bevor er auf die Lötwärmebeständigkeit von Basismaterialien einging.

Hier erläuterte er, dass nicht die Glastemperatur T_g sondern die Delaminationszeit t_d (Time to Delamination) – Prüfanforderung 10 s bei 288 °C für getrocknete Leiterplatten – ist. Als ein Richtwert zur Einschätzung eines ausgewählten Materials anhand des Materialdatenblatts für die Eignung beim bleifreien Lötprozess kann auch der von *Werner Engelmaier* vorgeschlagene, rein empirische Parameter *Solder Temperatur Impact Index (STII)* dienen:

$$STII = (T_G/[^\circ\text{C}] + T_D/[^\circ\text{C}])/2 + CTE_z(50 \dots 260 \text{ } ^\circ\text{C})/[\%] \times 10 \geq 215$$

wobei T_D die Zersetzungstemperatur und CTE_z der thermische Ausdehnungskoeffizient in z-Richtung ist. Welches Basismaterial letztlich verwendet wird, muss sich immer an die Anforderung anpassen.

Nach einem Exkurs zur HDI-Technologie streifte *Dr. Ahrens* die Probleme infolge der Bleifrei-



Ein Blick in die Fertigung von inovel

Umstellung und erläuterte anschließend ausführlich, dass für das Reflowlöten ein anderes Layout erstellt werden muss als für das Wellenlöten. So unterscheiden sich die „Grundflächen“ (*Courtyard Excess*) der Bauteile, sowie die empfohlenen Padgrößen und Abstände für Reflowlöten und Wellenlöten deutlich. Oftmals kann auch der „Mittelwert“ zwischen Reflow- und Wellen-Design verwendet werden. Auch Design-Techniken wie Lot- und Wärmefallen oder Lötstopstege gegen den Lotabfluss in Umsteigerbohrungen wurden angesprochen, ebenso wie Via in Pad und spezielle Padformen (z.B. ovale Pads für AXI). Es folgten Design-Empfehlungen für verschiedene Bauformen – unterlegt mit Praxisbeispielen – und auch für Schablonen.

Zusammenfassend betonte *Dr. Ahrens* nochmals, dass die Einbindung der Fertigungsverantwortung in der Frühphase der Entwicklung das größte Kostensparpotenzial birgt. Deswegen müssen Entwickler, Leiterplattenhersteller und Bestücker die Anforderungen gemeinsam festlegen und die Fertigungstoleranzen offen erörtern. Als Basis für Lieferverträge bieten IPC-Standards die Einordnung der Technologie, die Definition bzw. Auswahl des Anforderungsprofils, Design-Guidelines sowie Kriterien zur Bewertung der Leiterplattenqualität.

Schon vor der gelungenen *Abschlussparty* mit Live-Musik waren sich alle einig, dass der *inovel-Technologietag* zur einer festen Institution werden sollte. -dir-

Kontaktadresse

inovel elektronik GmbH, Gebhardstr. 7, 88046 Friedrichshafen, Tel. 07541/39900-0, Fax -99, info@inovel.de, www.inovel.de
www.itochu-systech.de, www.takaya.co.jp



Die Referenten des Technologietages (von links):
Dr. Thomas Ahrens, Axel Dittus, Jörg Lewandowski