

## STATISTISCHE VERSUCHSPLANUNG VERBESSERT DRAHTBONDPROZESS

# Gezielt maximieren, minimieren und optimieren

**Durch den wachsenden Stellenwert der Leistungselektronik stehen jetzt auch hier Lebensdaueranforderungen und Kosteneffizienz sowie neue Anforderungen an die verwendeten Materialien im Fokus. Dies gilt auch für das Drahtbonds als Verbindungstechnik zur oberseitigen Kontaktierung von Leistungshalbleitern. Durch den Einsatz einer geeigneten Software zur statistischen Versuchsplanung lässt sich dieser Drahtbondprozess optimieren.**

Das Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie (IISB) befasst sich in der Abteilung „Leistungselektronische Systeme“ unter anderem mit dem Aufbau von Leistungsmodu-

len für externe Kunden wie auch für eigene Systeme. Für Standardaufbauten ist ein optimierter Drahtbondprozess wichtig, um reproduzierbare Ergebnisse zu liefern. Durch gezielte Variation der einzelnen Bondparameter kann dies erreicht werden (Bild 1).

Durch gestiegene Anforderungen und veränderte Aufbautechnologien sind die Drahtbonds zum lebensdauerbegrenzenden Faktor geworden. Bei Temperaturwechselbelastungen wirken auf die Bondverbindungen enorme mechanische Spannungen. Dabei sind zwei unterschiedliche Ausfallarten zu unterscheiden:

- **Beim Heel-Crack-Ausfall** kommt es durch fortschreitende Werkstoffermüdung und Rissbildung an der Ferse des

Bondfußes zum Abriss des Bonddrahts. Dies wird häufig durch eine Vorschädigung des Bonddrahts während des Bondprozesses hervorgerufen, da durch das Anpressen des Drahts auf das Substrat eine Verformung unvermeidbar ist.

- **Beim Bondwire-Liftoff** löst sich durch einen Riss an der Grenzfläche zwischen Draht und Halbleitermaterial der gesamte Bonddraht von der Halbleiterchip-Metallisierung ab. Hier sind die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der beteiligten Materialien die Hauptausfallursache.

Der Bondprozess soll folglich dahingehend optimiert werden, dass der Bonddraht während des Bondvorgangs nicht

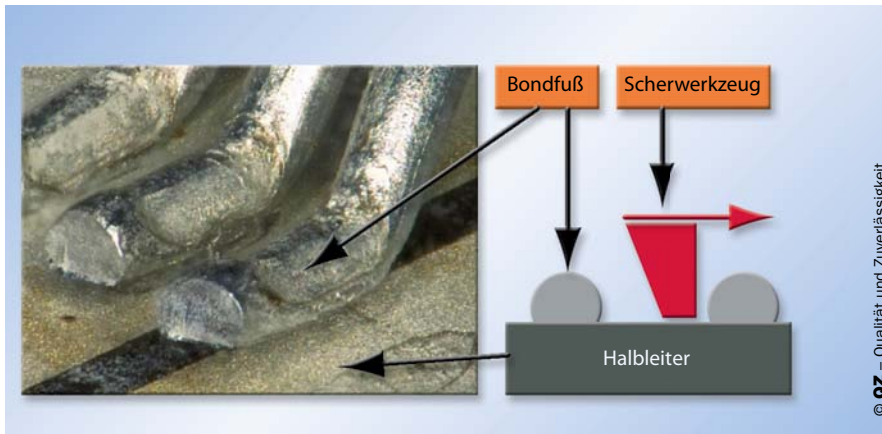


Bild 1. Bearbeitung von Drahtbonds

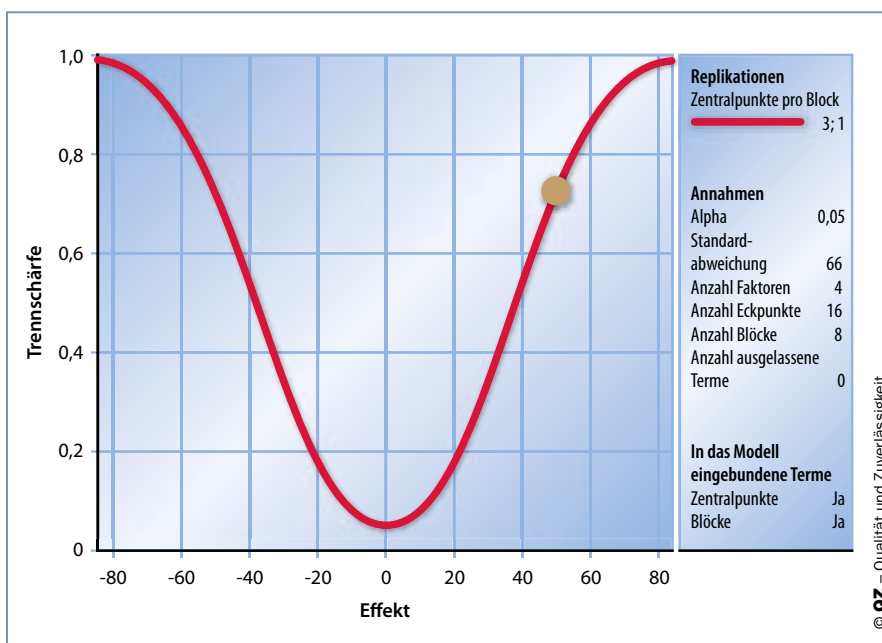


Bild 2. Trennschärfekurve aus Minitab

derart stark deformiert werden darf, dass Heel-Crack-Ausfälle provoziert werden, und dass die Verbindung zwischen Bonddraht und Halbleiter beziehungsweise Schaltungsträger eine möglichst hohe Festigkeit besitzt, um den Bondwire-Liftoff-Ausfall zu vermeiden. Als Maß für die Festigkeit oder Güte der Bondverbindung wird hierbei die Scherkraft angesehen, die notwendig ist, um den Draht vom Halbleiter zu lösen.

### Optimale Faktorstufen für maximale Scherkraft

Bislang wurden für den Fügeprozess die vom Bonddraht-Hersteller empfohlenen Standardeinstellungen verwendet. Um den Drahtbondprozess nun zu optimieren, untersucht das Fraunhofer IISB den

genauen Einfluss der einzelnen Bondparameter, um gezielt die optimalen Faktorstufen herauszufinden und so die Scherkraft zu maximieren. Die günstigsten Bondparametereinstellungen bestimmt das Institut durch eine statistische Versuchsplanung mithilfe der Software Minitab. Zunächst werden Trennschärfe beziehungsweise nötige Replikationen für einen vollfaktoriellen Versuchsplan mithilfe der Standardabweichung von vorangegangenen Schertests ermittelt (Bild 2). Die Zielgröße ist stets die Scherfestigkeit der Bonddrähte.

Es zeigt sich, dass drei Replikationen für einen vollfaktoriellen Versuchsplan ausreichen, um entsprechende Effekte zu erkennen. Dabei hält sich der Versuchsaufwand mit 56 Versuchen in Grenzen. Der vollfaktorielle Versuchsplan ergibt »

### Der Anwender

Der Geschäftsbereich „Leistungselektronische Systeme“ im Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelemente-technologie (IISB), Erlangen, beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Forschungsthemen zu innovativen Schaltungs- und Systemlösungen für hocheffiziente und kompakte Leistungswandler, für mechatronische 3D-Integration, für multifunktionale Integration sowie für den Einsatz neuer Materialien und Halbleiterbauelemente. Anwendungsfelder sind unter anderem die elektrische Energieübertragung, Antriebstechnik, Schaltnetzteile und Spannungswandler, Komponenten für die Fahrzeugtechnik und Fahrzeugmodelle, aber auch Aufbau und Verbindungstechnik für passive und aktive Bauelemente und Lebensdauer- sowie Zuverlässigkeitsuntersuchungen für den Bereich Leistungselektronik.

### Kontakt zum Anwender

**Aaron Hutzler**  
**Fraunhofer IISB**  
**T 0911 23568-25**  
**aaron.hutzler@iisb.fraunhofer.de**

### Kontakt zum Anbieter

**Björn Noreik**  
**Additive Soft- und Hardware für Technik und Wissenschaft GmbH**  
**T 06172 5905-132**  
**minitab@additive-net.de**

### www.qz-online.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **398083**

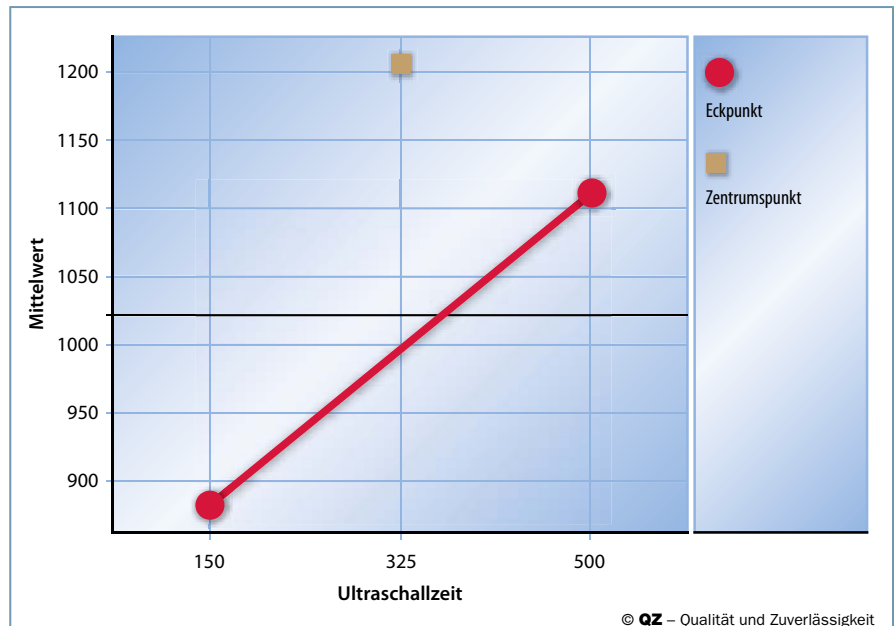


Bild 3. Haupteffektediagramm aus Minitab

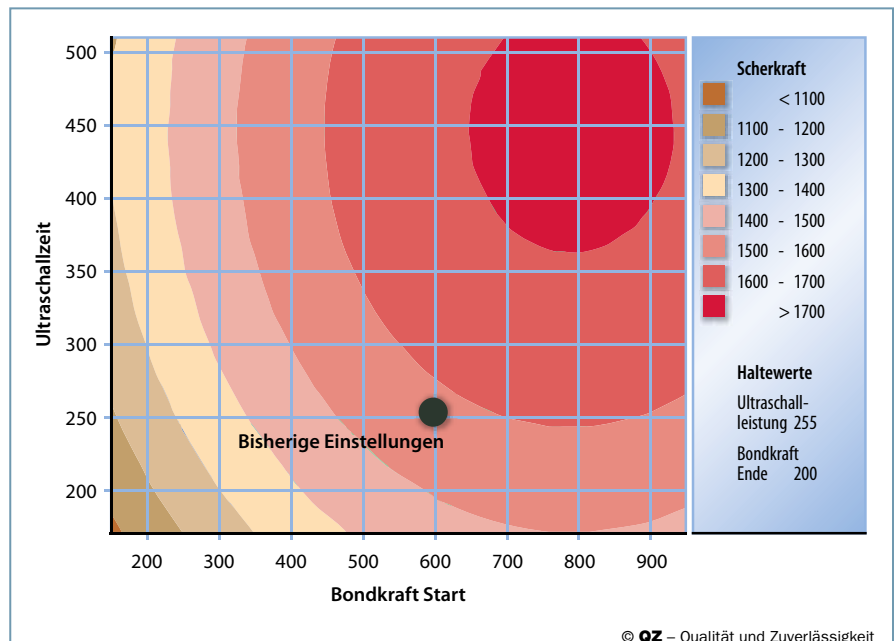


Bild 4. Konturdiagramm aus Minitab

einen signifikanten Einfluss der Faktoren Bondkraft, Ultraschallkraft und -zeit.

Das Haupteffektediagramm aus Minitab zeigt den Einfluss der Ultraschallzeit (Bild 3): Mit längerer Dauer wird der Wert der Scherkraft verbessert. Allerdings liegt das Maximum zwischen 150 und 500 ms und ist vom Versuchsplan nicht darstellbar, da nur lineare Zusammenhänge aufgelöst werden können. Dies ist ein Hinweis darauf, dass zusätzlich ein Wirkungsflächenversuchsplan notwendig ist, um den realen Einfluss der Parameter erkennen zu können.

Die Versuchsplanauswertung beziehungsweise die Varianzanalyse deuten außerdem darauf hin, dass ein Modell höherer Ordnung verwendet werden muss. Die entsprechenden Daten wurden direkt aus der Statistik-Software entnommen. Die fehlende Anpassung ist mit einem  $p$ -Wert von 0,001 signifikant und untermauert die nötige Erweiterung des Versuchsplans mit Sternpunkten zu einem Wirkungsflächenversuchsplan. Der  $R^2$ -Wert (R-Qd) ist mit 98,52% ideal, weshalb keine Veränderungen oder zusätzlichen Replikationen vorgenommen werden.

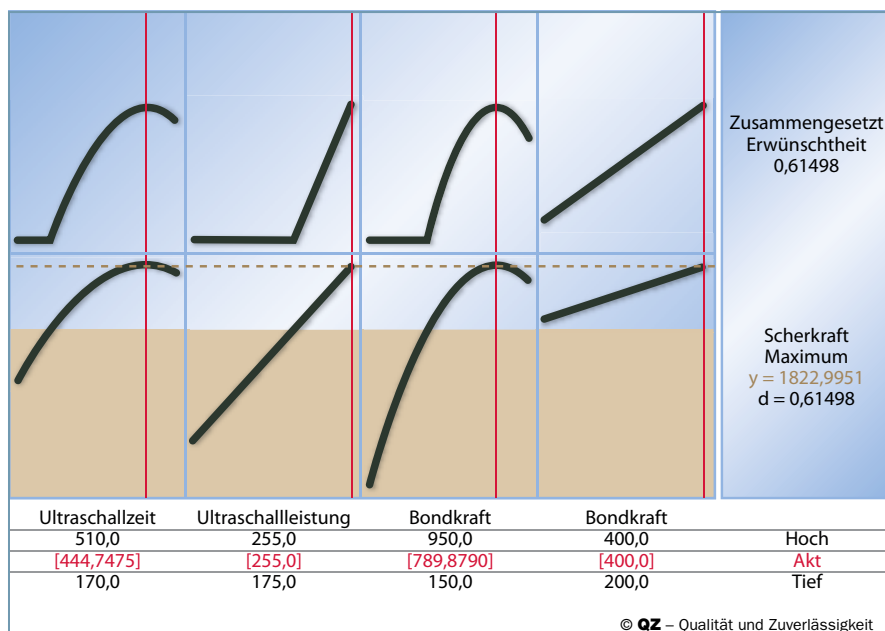


Bild 5. Zielgrößenoptimierung aus Minitab

Das Konturdiagramm aus Minitab zeigt das Ergebnis des Wirkungsflächenversuchsplans für die Parameter Ultraschallzeit und Bondkraft (B-Force, Bild 4). Die fehlende Anpassung des Wirkungsflächenplans hat im Gegensatz zu der des vollfaktoriellen Versuchsplans einen  $p$ -Wert von 0,233 und zeigt damit, dass kein weiteres Modell höherer Ordnung notwendig ist, um den Zusammenhang zwischen Einfluss- und Zielgröße darzustellen. Dies wurde zusätzlich mit einem  $R^2$ -Wert von 97,27 % bestätigt.

Mit der Zielgrößenoptimierung aus Minitab können alle Faktoren variiert und der durch das Modell prognostizierte Wert der Scherkraft ( $y = 1822$  cN) berechnet werden (Bild 5). Die Güte des Modells wurde mit der Zielgrößenoptimierung überprüft.

### Weitreichende Kenntnisse durch statistische Versuchsplanung

Aus früheren Tests ergab sich für die bisherigen Einstellungen (Bild 4) ein Mittelwert der Scherfestigkeit von 1568 cN (bei einer Standardabweichung von 66 cN), der Median lag bei 1575 cN. Die Zielgrößenoptimierung sagt für diese Einstellung einen Wert von 1576 cN voraus. Dies bestätigt wiederum, dass der Versuchsplan beziehungsweise dessen Auswertung eine sehr gute Qualität hat, da die besagten Parametereinstellungen zwar im Versuchsraum liegen, jedoch keine Faktorstufe mit dieser Einstellung getestet wurde. Der

Wirkungsflächenversuchsplan, der nicht-lineare Effekte berücksichtigt, liefert ein Ergebnis der Scherkraft von 1822 cN. Die Verbesserung von 1576 auf 1822 cN entspricht einer Erhöhung der Scherkraft um circa 16 %. Die für 1822 cN notwendigen Parametereinstellungen wurden anschließend überprüft, und das Ergebnis von durchschnittlich 1822 cN konnte bestätigt werden.

Mit der statistischen Versuchsplanung mit Minitab ließen sich in kurzer Zeit weitreichende Erkenntnisse über die Wirkung der Bondparameter auf die Scherfestigkeit der Bonddrähte gewinnen. Die errechneten Modelle wurden entsprechend auf Plausibilität geprüft, und es konnte eine hohe Güte und Verlässlichkeit festgestellt werden. Auf Basis der Ergebnisse wurde die durchschnittliche Scherkraft um rund 16 % gesteigert. Die Erweiterung des anfangs durchgeführten vollfaktoriellen Versuchsplans durch einen Wirkungsflächenplan erwies sich als notwendig, da dadurch der nichtlineare Zusammenhang zwischen Einfluss- und Zielgröße, d. h. zwischen Bondparametern und Scherkraft, dargestellt werden konnte.

Die neu ermittelten Bondparameter werden für alle zukünftigen Bondaufträge verwendet. Bei neuen Materialpaarungen wird zunächst wieder ein entsprechender Versuchsplan durchgeführt und das gefundene Optimum in einer Datenbank hinterlegt. □

Stefanie Engelmann,  
Friedrichsdorf