



Betrachtungen zum Thema Registrieren von HDI – Leiterplatten

Aspects of Registration of HDI Boards

Dr. Konrad Wundt

***mie* – Multiline International Europa L.P.**

1 Allgemeine Betrachtungen

Das Registrieren wird immer mehr zum zentralen Thema bei der Herstellung von HDI-Leiterplatten. Dies wird besonders deutlich beim Betrachten des Verhältnisses Bohrloch-zu-Pad, das durch die Design-Rules vorgegeben ist (Bild 1). Die Padgröße erlaubt immer eine bestimmte Ungenauigkeit beim Plazieren der Bohrung. So ergibt sich z.B. bei einem Pad von 600 μm Durchmesser und einem Bohrloch von 300 μm Durchmesser eine max. Registriertoleranz von $\pm 150 \mu\text{m}$. Wird das Pad auf 250 μm und das Bohrloch auf 100 μm reduziert, ergibt sich daraus eine max. Registriertoleranz von nur noch $\pm 75 \mu\text{m}$. Hierbei sind Restringforderungen noch nicht berücksichtigt. Die Genauigkeit Bohrloch-zu-Pad steht somit in enger Beziehung zur Padgröße.

1 General aspects

Registration is one of the most important issues of production of HDI-PCBs. This is obvious in the relationship hole-to-pad which is determined by the design rules of HDI-boards (Figure 1). The pad size allows a certain amount of inaccuracy in the placement of the hole. The max. registration tolerance is $\pm 150 \mu\text{m}$ if the pad size is 600 μm and the diameter of the hole 300 μm . The max. registration tolerance will be only $\pm 75 \mu\text{m}$ if the pad size is reduced to a diameter of 250 μm and the hole size diameter of 100 μm . The pad size has a strongly related to the accuracy of the registration from hole-to-pad. Demands for annular ring must also be considered.

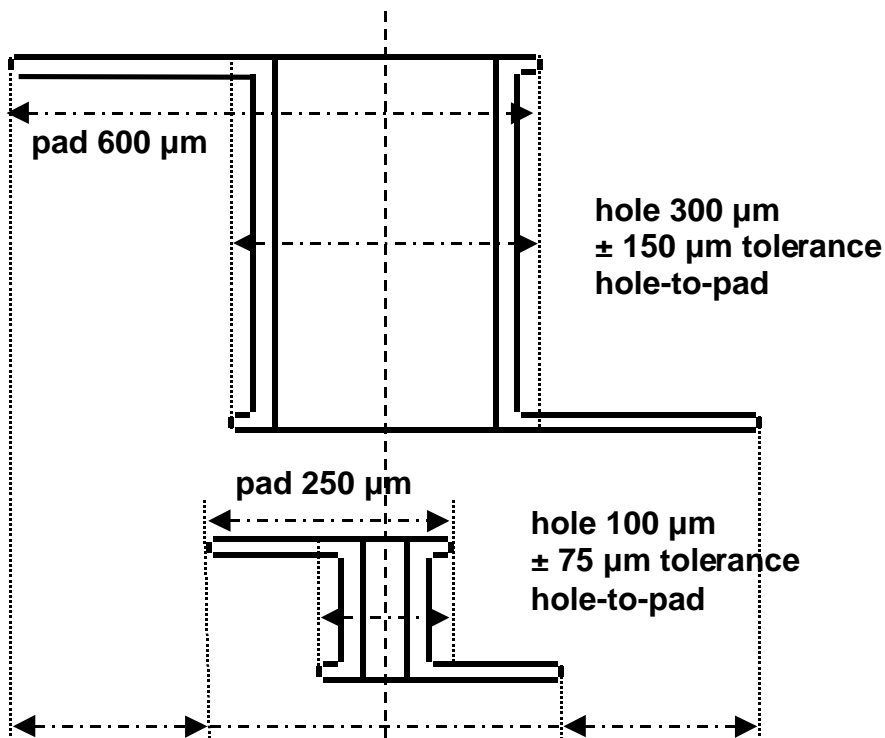


Figure 1: Relationship hole-to-pad (courtesy of mie - Multiline)

Werden nun die HDI-Designregeln des Europäischen Technologie und Trendreports

By using the HDI design rules of the European Technology and Trend Report 2001/2002

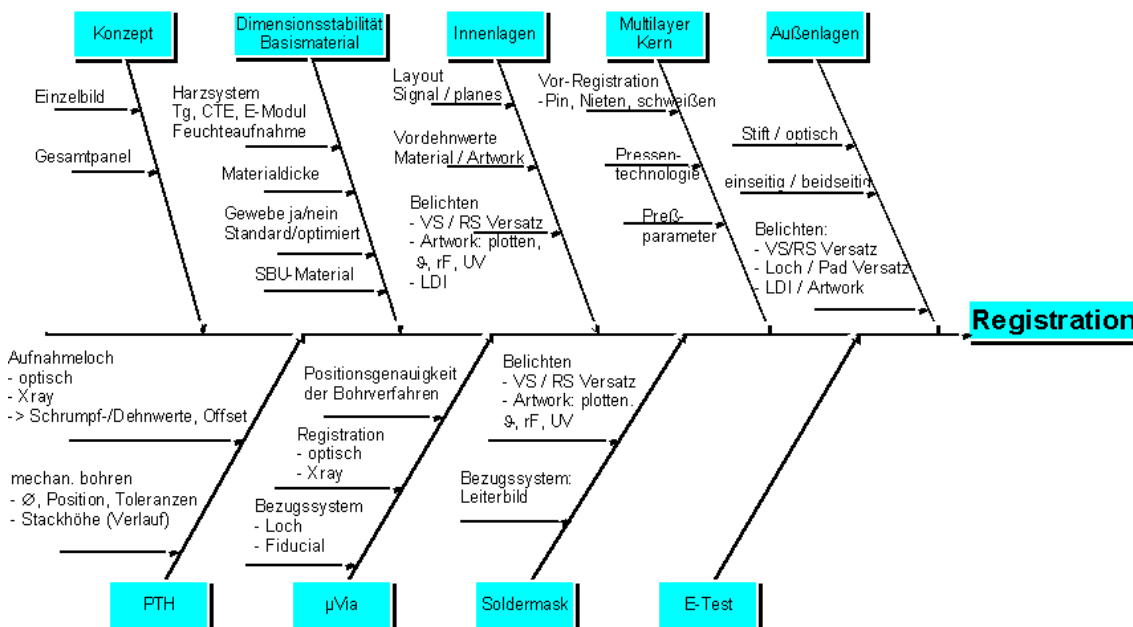
2001/2002 (Kapitel 5) zugrunde gelegt, so ergeben sich für HDI-Leiterplatten für durchkontaktierte Bohrungen (PTH) Toleranzen von weniger als 100 µm und bei Microvias kleiner als 75 µm (Tabelle 1).

(chapter 5), the registration tolerances for PTH-holes are less than ± 100 µm and for microvias, they are less than ± 75 µm (Table 1).

Table 1: Relationship hole-to-pad for PTHs and microvias
(The European Technology and Trend Report 2001 / 2002)

<i>Through holes</i>	Drill size	Pad size IL	Pad size OL
Standard	450 µm	950 µm	750 µm
Tolerance		± 250 µm	± 150 µm
High end	200 µm	550 µm	400 µm
Tolerance		± 175 µm	± 100 µm
Tol. with 50 µm annual ring		± 125 µm	± 50 µm
<i>Microvias</i>	Drill size	Pad size IL	Pad size OL
Standard	300 µm	500 µm	500 µm
Tolerance		± 100 µm	± 100 µm
High end	100 µm	250 µm	250 µm
Tolerance		± 75 µm	± 75 µm
Tol. with 50 µm annual ring		± 25 µm	± 25 µm

Einflußgrößen zur Registration



21.12.200 Schlipf Würth Elektronik

Figure 2: Ishikawa-diagram „Registration“

Bei der Herstellung von Multilayern ist die Registriergenauigkeit jedoch nicht von einem Prozeß oder einem Parameter abhängig, sondern von sehr vielen. Welche Komplexität sich hinter dem Thema Registrieren verbirgt, wird durch das Ishikawa-Diagramm (Bild 2) deutlich, das die wesentlichen Einflußgrößen bei der Multilayer-Herstellung darstellt.

By considering the multilayer production, the accuracy of the registration is dependent on more than one process or one parameter, it is dependent on many of them. The complexity of registration is shown in the Ishikawa diagram (Fig. 2) which describes the most important parameters of multilayer production.

2 Registrieren beim Belichten

2 Registration during exposing

Unter Registrieren beim Belichten wird die optimale Zuordnung der erzeugten Bilder zueinander verstanden. Beim Registrieren der Innenlagen ist die Aufgabe, die Oberseite und die Unterseite zur Deckung zu bringen, bei der Außenlage ist das Leiterbild soweit wie möglich mit dem Bohrbild des gerade zu belichtenden Nutzens und bei der Lötstoppsmaske ist das Maskenbild mit Bohr- und Landepads in Übereinstimmung zu bringen.

The Registration during exposing is the optimal allocation of the produced pictures to one another. The registration of the innerlayer has to cover the top side and the bottom side together. The registration of the outerlayer is to coincide the conductive pattern as far as possible with the drill hole pattern. With the solder mask, you have to align the mask picture together with the drilled hole pattern and the pads.

Innenlagen, Außenlagen und Lötstoppsmasken werden entweder mechanisch über Stifte oder optisch über CCD-Kameras registriert. In Tabelle 2 werden die Systeme verglichen.

Innerlayer, outerlayer and solder mask are registered either mechanically over pins or optically over CCD cameras. In table 2 the systems are compared.

Table 2: Comparison of registration systems

	Mechanical system	Optical system
Set up / alignment	once per lot	each panel
Post correction of alignment	not possible	possible
Manual system	possible	possible
Automation	possible	possible
Set up time	2 – 5 min (film with pins) 15 – 20 min (registered film pair)	3 – 5 min
Throughput (50 Ntz/Lot)	50 – 80 panels/h	30 – 60 Ntz/h
Reproducibility	good (film / pins) sufficiently (registered film pair)	very good
Front to back registration	very good (film / pins) sufficiently (registered film pair)	very good
Risk of film damage	high	high
Investment costs	low	high

2.1 Mechanische Registriersysteme

Beim mechanischen Registrieren werden hauptsächlich 3 Arten zur Filmregistration eingesetzt: ein 2- oder 3-Stift-System, oft mit Varianten (Edge-Tooling), das 4-Langloch-System (4-Slot-Tooling) und die „L“-Konfiguration (Bild 3).

2.1 Mechanical registration systems

There are 3 types of mechanical registration that are used mainly for the film registration: the 2- or 3-pin system with variations (edge tooling), the 4-slot tooling system and the L-configuration (Figure 3).

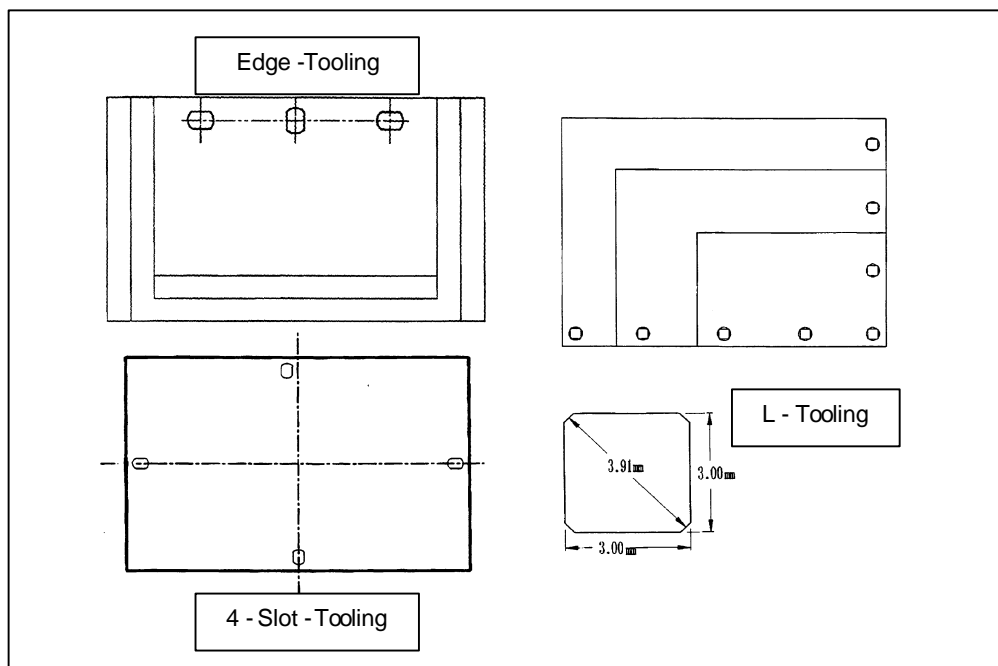


Figure 3: Possible film registration systems (courtesy of mie - Multiline)

2-/3 – Stift - System (Edge Tooling – Konfiguration)

- 2 runde oder 3 Langloch-Registrierstifte sind entlang einer Seite eingebracht
- Filmfehler wird nur in eine Richtung gesplittet
- ermöglicht viele verschiedene Film- und Nutzenformate

2-/3 – pin - system (edge tooling – configuration)

- 2 round or 3 slotted pins are along one edge
- film-work error is being split only in one direction
- enables many different film-work and panel sizes

4- Slot - System

- die genaueste Methode, da der Bezugspunkt des Nutzens und der Films in der Mitte liegen und identisch sind
- alle Dimensionsveränderungen von Film und Nutzen wirken sich maximal auf die Hälfte der Zuschnittlänge aus
- bei Innenlagen, die am meisten genutzte Registrierung von Oberseite zu Unterseite
- einige Nachteile bei Außenlagen
- nur ein Nutzenformat pro Glassatz einsetzbar

4- slot – system

- most accurate method because of its center zeroing characteristics on the panel and on the film-work
- all dimension changes of the film-work and of the panels are split in both directions of the panel
- most commonly used registration for innerlayers and front to back registration
- has some drawbacks for outerlayers
- has only one panel size for one set of glass

“L”- System

- die Außenlagen mit gebohrten Registrierlöchern werden über die Stifte registriert
- Abmessungen der Stifte sind so gewählt, daß die gebohrten Nutzen spannungsfrei auf die Stifte passen
- Filme werden gestanzt mit rechteckigen Langlöchern, das Zentralloch ist quadratisch
- Die Filme werden über die gleichen Stifte deckungsgleich registriert und im Glasrahmen über Vakuumnuten festgehalten
- minimiert den Bohrfehler bei der Außenlagenregistrierung
- Filmfehler wächst in beide Richtungen, da der Eckpunkt der Bezugspunkt ist
- verschiedene Nutzenformate können in einem Belichtungsrahmen bearbeitet werden
- arbeitet sehr gut beim Belichten von Innenlagen, Außenlagen und Lötstoppsmasken

2.2 Optische Registrierung

Bei der optischen Registrierung sind in den Filmen entweder zwei in der Mitte der kurzen Seite oder vier in den jeweiligen Ecken liegenden Targets vorgesehen. Entsprechend positionierte Bohrungen sind in den Nutzen eingebracht. Das Videosystem mit den CCD-Kameras vergleicht nun die Filmtargets mit den Bohrungen. Durch Verdrehen und Verschieben in beide Richtungen wird der Film auf das Bohrbild ausgerichtet. Dies erfolgt für jeden Nutzen individuell. Dadurch werden die Abweichungen der einzelnen Nutzen als auch die während des Belichtens eintretenden Veränderungen des Filmes berücksichtigt.

Optische Registrierer sind vor allem in Belichtungsautomaten integriert. Für Innenlagenbelichtungen arbeiten diese hauptsächlich doppelseitig mit 2 Kamera-Positionen, bei Außenlagenbelichtungen jedoch meist einseitig mit 2 bzw. 4 Kamera-Positionen, um jede Seite optimal zu justieren.

“L”- system

- *outerlayers with drilled registration holes are registered by pins*
- *dimension of the pins allows a stress free positioning of the panels*
- *film-work is punched with rectangular slots, center hole is square*
- *the film-work is pinned together on the pins and fixed in the glass frame by vacuum*
- *to minimize the effect drill tolerance on the outerlayer registration*
- *film-work error is being split in both direction*
- *handling of different panel sizes on the same glass frame is possible*
- *works well for innerlayers, outerlayers and solder masks*

2.2 Optical registration

With the optical registration, two targets are programmed either in the center of the short side of the film or four targets in the respective corners of the film. The drilled holes are brought onto the panel according to positioning. The video system with the CCD cameras compares from there on in the film targets with the position of the drilled holes. The film is aligned to the drill hole pattern by rotation and shifting in both directions. This takes place for each panel. Thereby, the deviations of the individual panel and the changes of the film during exposing are considered each time.

Optical registration systems are chiefly installed in automatic exposure units. Machines for innerlayer exposing are mainly double sided exposure units using 2 camera positions that aligns automatically each film pair before allowing exposure of the panels. Machines of outerlayer or solder mask exposing are mainly single sided exposure units, that aligns the film to the panel using 2 or 4 camera positions.

2.3 Toleranzbetrachtungen Registrier-systeme

Sehr wesentlich sind bei der Toleranzbetrachtung die Einflüsse der Einzeltoleranzen auf die Registriergenauigkeit. In den folgenden Tabellen 4 und 5 sind die Toleranzen der Registrier-systeme und die Toleranzen des gesamten Belichtungsprozesses für Aussenlagen aufgeführt. Die Toleranzbetrachtung für das Belichten von Innenlagen wird im Kapitel 3 – Innenlagen – Registrieren diskutiert.

2.3 Views of the tolerance of registration systems

The influences of the single tolerance on the registration accuracy are very important. The following tables 4 and 5 specify the tolerances of the registration systems and the tolerances of the entire exposure process for outerlayers. Comparable views of tolerance apply also to the exposing of innerlayers. This will be discussed in Chapter 3.

Table 4: Single tolerances of registration systems

System	Properties	Manual machines	Automatic machines
Film punch	Registration	Employee dependent	Micro processor controlled
	Accuracy	± 25 µm	± 18 µm
	Reproducibility	± 13 µm	± 10 µm
Exposure unit	Pin-Registration	L - Tooling	L-Tooling
	Accuracy	± 20 µm	± 20 µm
	Reproducibility	± 10 µm	± 10 µm
	Optical Registration	CCD-Camera	CCD-Camera
	Accuracy	± 20 µm	± 20 µm
	Reproducibility	± 10 µm	± 10 µm
	Front-to-back registration	± 10 µm	± 10 µm (Pin) ± 15 µm (double sided) ± 20 µm (single sided)

Table 5: Comparison of the total tolerances for the exposing of outerlayers

Single processes	Mechanical system	Optical system
Error of drilled holes	± 50 µm	± 50 µm
Fluctuation of dimension changes drilling - exposing	± 10 µm	± 10 µm
Fluctuation of the diameter of the tooling holes	± 10 µm	-
Artwork pad-to-pad (target to target) error (plotter)	± 30 µm	± 30 µm
Distortion of the artwork	± 10 µm	± 10 µm
Error of the positioning & pinning in the exposure system	± 20 µm	-
Error of the artwork pin positioning in the exposure system	± 10 µm	-
Difference between accuracy film punch / exposure unit	± 20 µm	-
Accuracy of optical registration	-	± 20 µm
Size change of the artwork during exposing	± 20 µm	± 20 µm
Sum of errors (law of error propagation)	± 71 µm	± 66 µm

Die Gesamttoleranz ergibt sich mathematisch aus der Quadratwurzel der Quadratsummen der Toleranzen der Einzeleinflüsse (Fehlerfortpflanzungsgesetz). Wichtige Voraussetzung für diese Betrachtung ist, daß die statistischen Toleranzen der Gauß'schen Verteilung genügen. Meßergebnisse zeigen jedoch, daß dies nicht immer der Fall ist. Trotzdem haben wir dieses für die folgenden Betrachtungen vorausgesetzt.

Die Berechnung zeigt, daß eine Pinregistrierung eine um 5 µm höhere Toleranz als ein optisches System bei gleichen Grundbedingungen zeigt. Statistische Schwankungen des Basismaterials (Bild 7) über ein Los sowie Materialveränderungen, die durch Temperatur und Feuchte hervorgerufen werden, sind in der Kalkulation nicht berücksichtigt. Beim Belichten mit optischen Systemen wird jeder einzelne Nutzen optimal ausgerichtet. In der Praxis wird mit optischen Systemen eine bessere Registrierung erreicht, daher werden meist Innenlagen mechanisch und Außenlagen optisch registriert

The mathematical result for the total tolerance is the square roots of the square sum of the tolerances of the single influences (Law of error propagation). An important prerequisite for this view is that the statistical tolerances of the Gauss distribution are sufficient. However, the result of the measurements shows that this is not always the case. Nevertheless, we presupposed this for the following views.

The result of the calculation shows that a pin registration has a nearly 5 µm higher tolerance than an optical system with the same basic conditions. Statistical fluctuations of the base material (Fig. 7) over a lot as well as material changes, which are caused by temperature and humidity, are not considered in the calculation. Each individual panel is optimally aligned when exposing with an optical systems. In practice, the optical systems permits better registration. Therefore, innerlayers with mechanical systems and outerlayers with optical systems are mostly registered.

3 Innenlagen – Registrierung

3.1 Verfahren zur Herstellung von Innenlagen

Die Registriergenauigkeit bei der Herstellung von Multilayern ist bestimmt durch den Herstellungsverfahren für Innenlagen. Man unterscheidet die beiden Verfahren „Stanzen-vor-dem-Belichten (Pre-exposure-punch-process)“ und „Stanzen-nach-dem-Ätzen“ (Post-etch-punch-process). Die einzelnen Verfahrensschritte für die Innenlagen und der Filmregistrierung sind in Bild 4 dargestellt.

3 Innerlayer – registration

3.1 Innerlayer – process

The registration accuracy of the multilayer production is determined by the production of innerlayers. There are two processes: „Pre-exposure-punch-process“ and „Post-etch-punch-process“. The process steps for innerlayer production and film registration are described in Fig. 4.

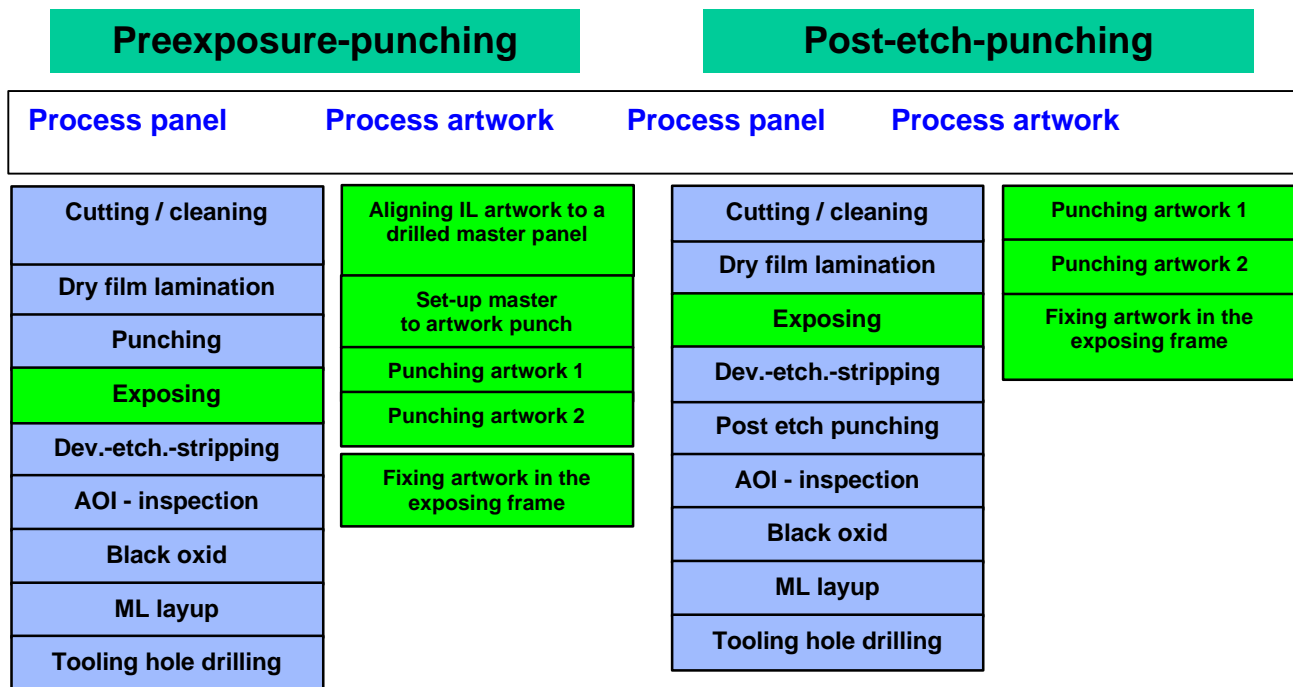


Figure 4: Comparison of innerlayer processes (courtesy of mie - Multiline)

Überwiegend wird bei der Innenlagenfertigung die „Post-etch-punch“-Technik eingesetzt. Um das unterschiedliche Schrumpf- und/oder Dehnverhalten der Innenlagen zu kompensieren, werden die Registrierlöcher für das Verpressen nicht vor dem Belichten gestanzt, sondern erst nach dem Ätzen bzw. Schwarzfärben. Bei der Nachätzstanze wird das CCD-Videosystem eingesetzt, um die geätzte Innenlage nach zwei geätzten Targets mittig für das Registrierlochsystem auszurichten.

Normally the Post-etch-punch-process is used for innerlayer production. To compensate the material movement resulting from etching, black oxidizing etc. and artwork instability, the innerlayers are aligned and punched with the lamination tooling pattern after etching or black oxidizing, just prior to lamination. This provides the optimal layer to layer registration. The post-etch-punch utilizes a microprocessor controlled vision system.

In Bild 5 ist die Anordnung der einzusetzen- den Innenlagentargets dargestellt.

Two reference targets on the innerlayer are used to align the panel and to split any error (Fig. 5).

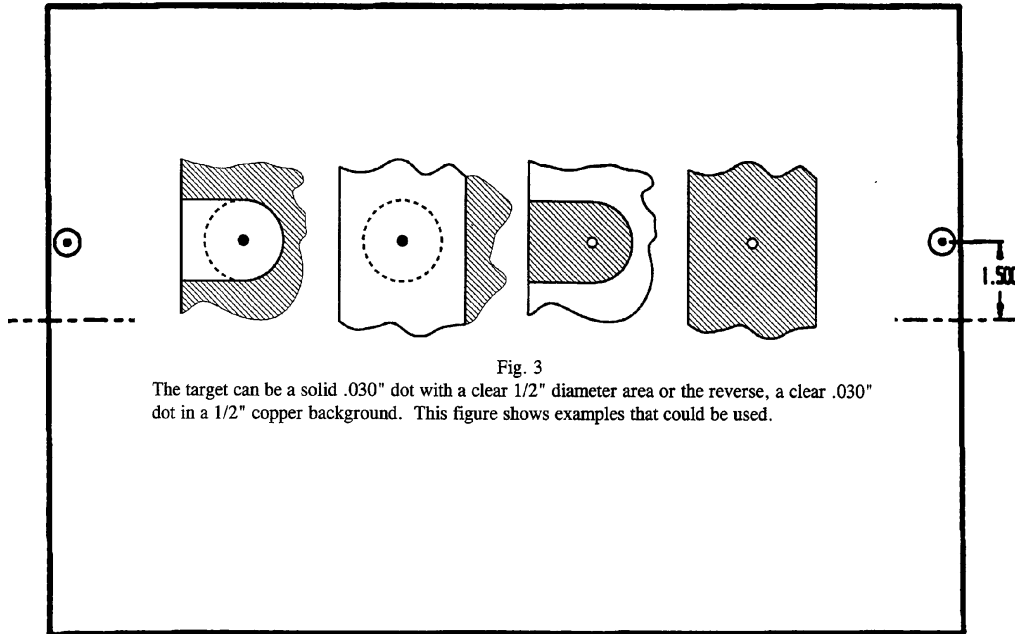


Figure 5: Targets for a post-etch-punch (courtesy of mie – Multiline)

In Bild 6 sind verschiedene Lochschemata für das Verpressen der Innenlagen aufgeführt, je nachdem, welches Registriersystem (Pin-Lam, Niet-Lam, Bonding) verwendet wird.

Different tooling pattern of innerlayers are shown in Fig. 6 for pinning, rivetting or bonding.

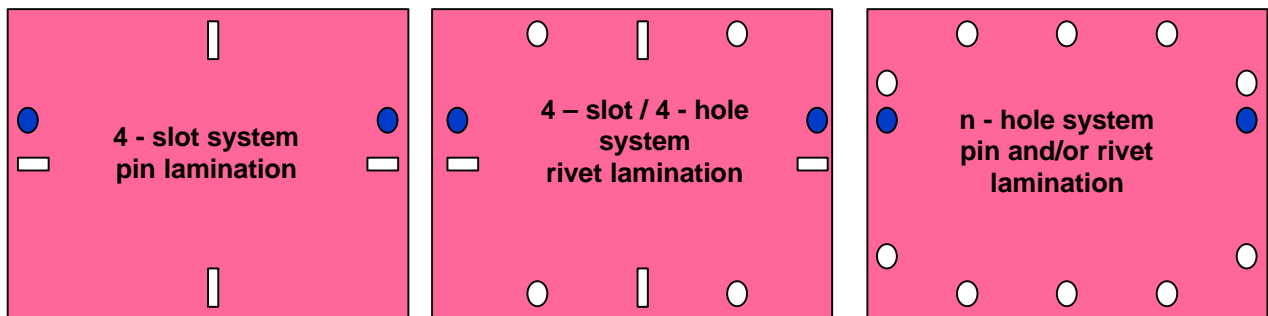


Figure 6: Different tooling pattern for multilayer registration (courtesy of mie – Multiline)

3.2 Toleranzbetrachtung beim Vergleich der Innenlagen – Prozesse

Für das bessere Verständnis wird zuerst die Stanzgenauigkeit, die Stanzwiederholbarkeit und die Ausrichtgenauigkeit einer OPE-Nachätzstanze erläutert.

Folgende Werte sind meist in den technischen Spezifikationen angegeben, sie gelten z.B. für ein das 4-Slot System, gestanzt mit einer Nachätzstanze:

- Stanzgenauigkeit: $\pm 25 \mu\text{m}$
- Stanzwiederholbarkeit: $\pm 13 \mu\text{m}$
- Ausrichtgenauigkeit: $\pm 25 \mu\text{m}$

Stanzgenauigkeit

Die Position jedes gestanzten Loches weicht in Bezug auf die ideale Position der anderen gestanzten Position in X und Y unabhängig voneinander jeweils um maximal $25 \mu\text{m}$ von der idealen Position (Sollposition) ab.

Stanzwiederholbarkeit

In gestanzten Innenlagen ergibt sich für jeder dieser Positionen eine Wiederholbarkeit in X und Y (unabhängig voneinander) von jeweils $\pm 13 \mu\text{m}$ (3 Sigma-Wert).

Ausrichtgenauigkeit

Die Ausrichtung der Zielmarken und das Stanzen erfolgen so, daß die Positionen der Plattenmittelpunkte (Schnittpunkt der gedachten Mittellinie des Innenlagenbildes) von mehreren gestanzten Innenlagen, wenn auf Stiften registriert, in einem Bereich von $\pm 25 \mu\text{m}$ (3 Sigma-Wert) befinden.

Im folgenden werden die Einzeltoleranzen der Prozesse „Stanzen-vor-dem-Belichten (Pre-exposure-punch-process)“ und „Stanzen-nach-dem-Ätzen“ (Post-etch-punch-process) verglichen. Verglichen wird ebenfalls der Einsatz manueller bzw. vollautomatischer Maschinen (Tabelle 6).

Die Berechnung zeigt deutlich, daß beim Einsatz manueller Maschinen der „Stanzen-vor-dem-Belichten“-Prozeß eine um $20 \mu\text{m}$ höhere Toleranz als der „Stanzen-nach-dem-Ätzen“-Prozeß aufweist, beim Einsatz von vollautomatischen Maschinen erhöht er sich sogar um

3.2 Views of the tolerance of the innerlayer processes

First of all, it is necessary to explain the punching accuracy, the repeatability and the positioning accuracy of an OPE post-etch-punch.

The following values are normally specified as an example for a 4 - slot system punched with an PE-punch:

- *punching accuracy: $\pm 25 \mu\text{m}$*
- *repeatability: $\pm 13 \mu\text{m}$*
- *positioning accuracy: $\pm 25 \mu\text{m}$*

Punching accuracy

The position of each punched hole in any panel with respect to the ideal position of the other punched holes will be in X and in Y (independent from one another) within $25 \mu\text{m}$ of the ideal position.

Repeatability

On each innerlayer, these positions will be punched in turn in X and in Y (independent from each other) with a repeatability of $\pm 13 \mu\text{m}$ (3 sigma).

Positioning accuracy

The alignment of the targets and the subsequent punching of imaged inner-layers are such that the center of the image of multiple panels, pinned in position on the punched holes, will be within a range of $\pm 25 \mu\text{m}$ (3 sigma).

A comparison is made of all single tolerances of the preexpose process and the post-etch-punch process. In addition, the tolerances of manual and automated machines are compared (Table 6).

The result of the calculation shows that the preexpose-process with manual machines has a $20 \mu\text{m}$ higher tolerance than a post-etch-punch process. The tolerance will be of $25 \mu\text{m}$ using full automatic machines. The tolerance values will be higher if etching and black oxidizing is included. The calculation also shows that punching of very critical and very thin innerlayers should be punched after black oxidizing. Tooling holes for AOI and possible

25 µm. Wird der Naßprozeß wie Ätzen und Schwarzfärben mit einbezogen, erhöhen sich noch die Toleranzwerte. Die Rechnung zeigt auch, daß bei sehr kritischen Lagenaufbauten das Schwarzfärben vor dem Stanzen erfolgen sollte. Hierbei muß aber das Aufnahmesystem für die AOI-Kontrolle und das mögliche Beschädigen der Schwarzoxid-Schicht durch das zusätzliche Handling mit berücksichtigt werden.

damage of the black oxide surface have to be considered.

Table 6: Views of the tolerance of the innerlayer processes

Comparison of tolerances	Preexpose process	Manual PE-process	Automatic PE-process
	± µm	± µm	± µm
Punch positions accuracy in Optiline (artwork punch)	25	-	
Punch positions accuracy in Acculine (laminare punch)	25	-	
Punch positions repeatability in Optiline (artwork punch)	13	13	10
Punch positions repeatability in Acculine (laminare punch)	13	-	
Punch positions accuracy in Optiline PE (post etch punch)	-	25	20
Punch positions repeatability in Optiline PE (post etch punch)	-	13	10
Error of drilled holes in Optic Master	50	-	
Artwork pad-to-pad (target to target) error / plotter	30	30	30
Distortion of the artwork	10	10	10
Error of artwork pin positioning in the exposure system	20	20	20
Error of positioning & pinning of the artwork in exposure system	10	10	10
Size change of the artwork during exposing	20	20	20
Error set-up of reference target on OPE	-	13	10
Non-repeatability of positioning IL in OPE	-	13	
Sum of errors (law of error propagation)	77	57	51
Error of 4-slot pattern shift during etching	25	-	
Error due to uneven shift in etching	25	-	
Error due to uneven shift in black oxide	25	25	25
Sum of total errors (law of error propagation)	89	62	57

Um die Genauigkeit der beiden Prozesse „Stanzen-vor-dem-Belichten“ und „Stanzen-nach-dem-Ätzen“ zu bestätigen, wurden je 45 Nutzen gefertigt und vermessen. Die Messergebnisse sind in den beiden folgenden Bildern dargestellt, sie zeigen die Streuung des Mittelpunktes der einzelnen Nutzen.

Die Ergebnisse bestätigen, daß mit dem Nachätzstanz-Prozeß eine wesentliche Verbesserung der Registriergenauigkeit von Lage zu Lage erzielt wird.

To compare the pre expose punch process with the post etch punch process, 45 panels were processed and measured. Fig. 7 shows the spread of the center position of each panel.

The registration accuracy from layer to layer is as expected using Post etch punching system.

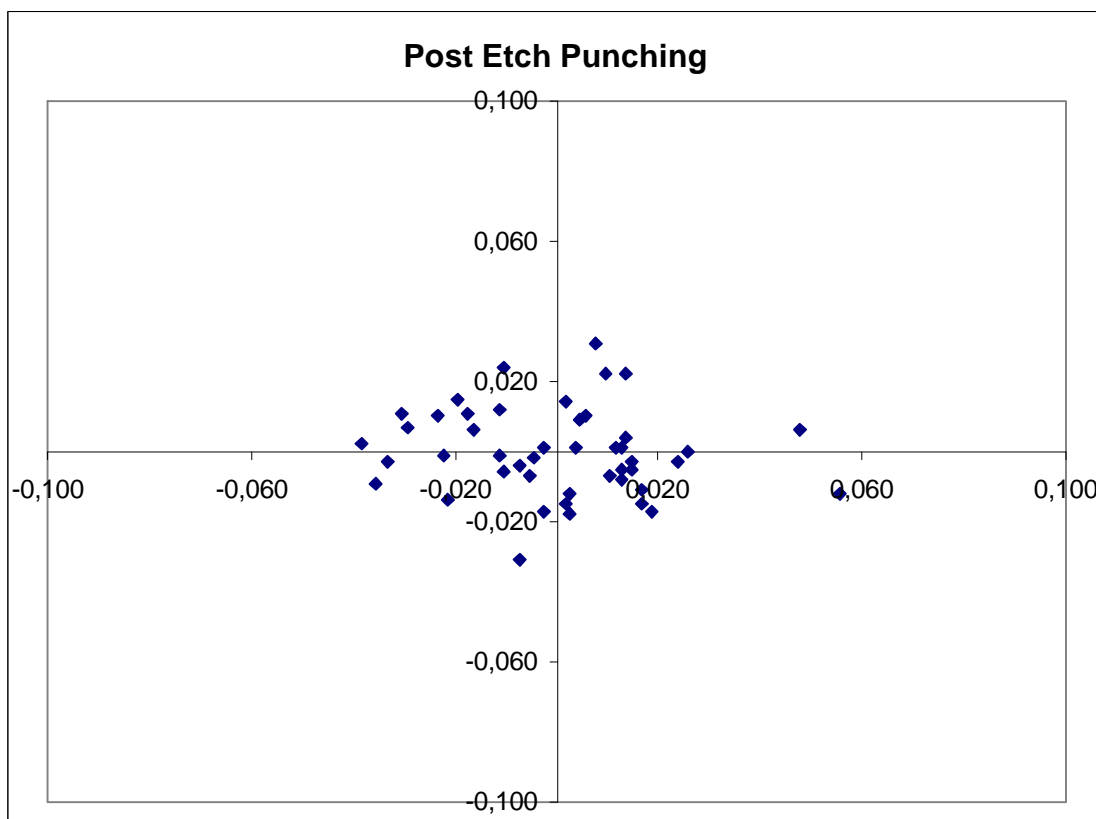
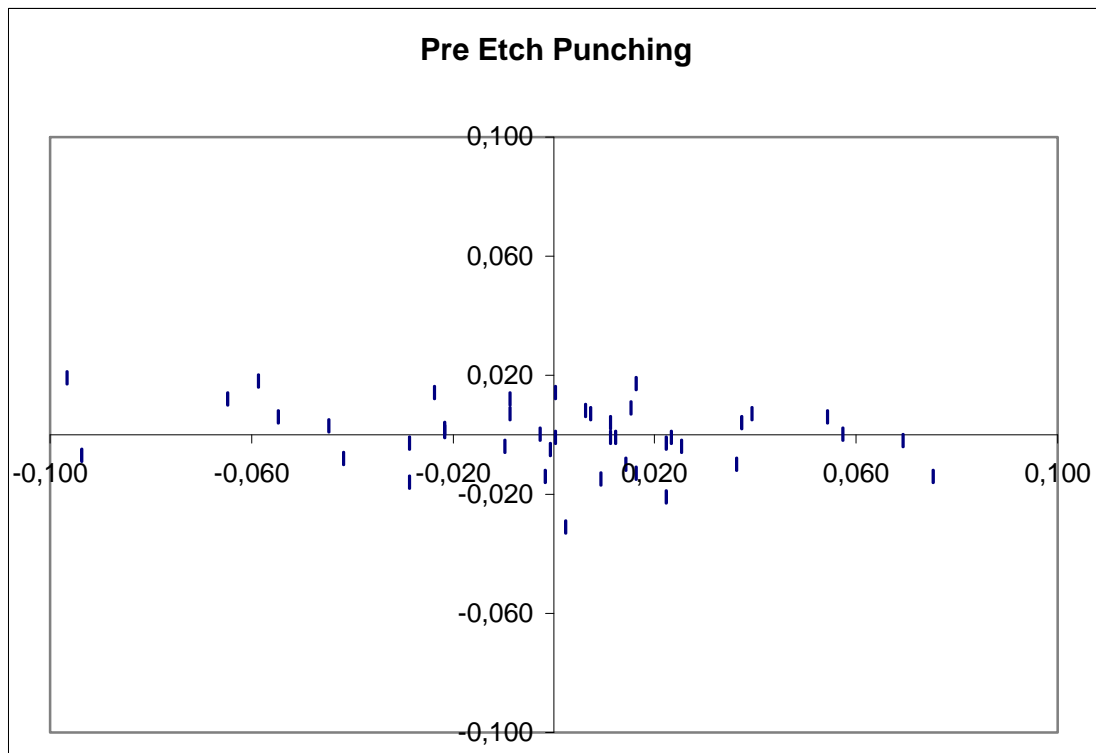


Figure 7: Layer to layer accuracy using pre-etch-punching or post-etch-punching (courtesy of *mie* – Multiline)

3.3 Vordehnwerte für die Filme bei der Herstellung von Innenlagen

Da die Maßhaltigkeit von Filmen vor und während der Belichtung sowie die des Basismaterials während der Herstellung von Innenlagen nicht konstant sind, müssen die Dimensionsveränderungen bei der Herstellung/Plotten der Filme berücksichtigt werden. Dies erfolgt durch entsprechende Vordehnwerte bei Innenlagenfilmen, die jeweils für die einzelnen Produktionsbereiche, Belichter, Filme und Basismaterialien bestimmt werden müssen. Bei Außenlagenfilmen werden die Filmfaktoren normalerweise beim DK-Bohren bestimmt (z.B. mittels Röntgenbohrmaschinen).

Von großer Bedeutung die Qualität der Filme, die abhängig ist von der Genauigkeit der Fotoplotter und der Dimensionsstabilität bzw. Maßhaltigkeit des Filmmaterials. Temperatur und Luftfeuchtigkeit sind die Hauptfaktoren, die die Filmdimension beeinflussen. Die folgende Tabelle 7 zeigt die Koeffizienten von Kodak-Filmen, Filme anderer Hersteller zeigen vergleichbare Werte.

Von hoher Bedeutung ist deshalb, daß die Arbeitsbedingungen im gesamten Belichtungsbereich konstant gehalten werden. Wichtig zu wissen ist auch, daß während des Belichtens durch UV-Strahlen, durch die anteilige IR-Strahlung und durch das angelegte Vakuum ebenfalls die Maßhaltigkeit stark beeinflußt wird. Bei Verwendung von Glas - Mylar® - Belichtungsrahmen kommt zusätzlich eine mechanische Belastung auf den Top-Film zu. All diese Gründe führen dazu, daß sich die Filme während der Belichtung eines Loses sich stark verändern können und daß gebrauchte Filme und „jungfräuliche“ Filme sich ebenfalls unterschiedlich verhalten können.

3.3 Scaling factors for innerlayer films

The changes of dimension during the film production have to be considered since the accuracy dimension of films, before and during the exposure, as well as those of the base material, is not constant during the production of PCBs. This takes place using film expansion factors, particularly of innerlayer films, which must be determine in each case for the individual production process, exposure unit, films and base materials. The film factors for the outerlayers are usually determined when PTH are drilled (X-ray drilling of the tooling holes).

The quality of the films depends on the accuracy of the photo plotters and the dimensional stability of the film materials. Temperature and air humidity are the main factors which influence the film dimension. Table 7 shows the factors of Kodak-films. Films of other suppliers show comparable factors.

It is very important that the environment in the exposure area are kept constant. It is also important to know that the accuracy of the film size will be immensely influenced during the exposure of UV-light by the proportionate IR radiation and by the chamber vacuum. There is an additional mechanical load which comes to the top film when using Glass-Mylar®-frame. All these factors can change the films dramatically during the exposure of a lot and used films and new films react likewise also differently.

Table 7: Film listing of humidity and temperature coefficients for various Kodak film types

Film	Humidity coefficient % / % RH unprocessed	Humidity coefficient % / % RH processed	Temperature coefficient % / % °T unprocessed or processed
ALI7	0.0011	0.0009	0.0018% / °C
ABX7	0.0011	0.0009	0.0018% / °C
AGX7	0.0013	0.0011	0.0018% / °C
LPF7	0.0017	0.0015	0.0018% / °C

Neben diesen Toleranzbetrachtungen der Filme müssen auch die Dimensionsveränderungen des Basismaterials über die einzelnen Prozeßschritte berücksichtigt werden. Bild 8 zeigt die Dimensionsveränderung von FR4- und Thermount-Basismaterial bei der Herstellung von Innenlagen mit den entsprechenden Streuungen. Diese Veränderungen sind von der Art und Dicke des Materials, von Kette- und Schußrichtung der Glasfäden bei armiertem Material und von der Dicke und Art der Kupferbelegung nach dem Ätzen (Signal-, Power-/Ground-Lagen) ab. Entsprechend sind die Filme für die Innenlagen zu spreizen, in Tabelle 8 sind Richtwerte für die Filmdehnung für FR4-Material gelistet.

It is also important to consider both the film dimensional stability and the dimension stability of the basematerial. Fig. 8 shows the dimensional changes of FR4- and Thermount® base material during the innerlayer process together with the deviation (1 sigma). The changes are dependent of the type and the thickness of the material, of the warp and the weft direction of the glass filament of the reinforced material and of the thickness and the type of the Cu-coating after etching (Signal-, power- and/or ground-layer).

These changes of dimension have to be considered during production. Typical values for film factors are listed in table 8.

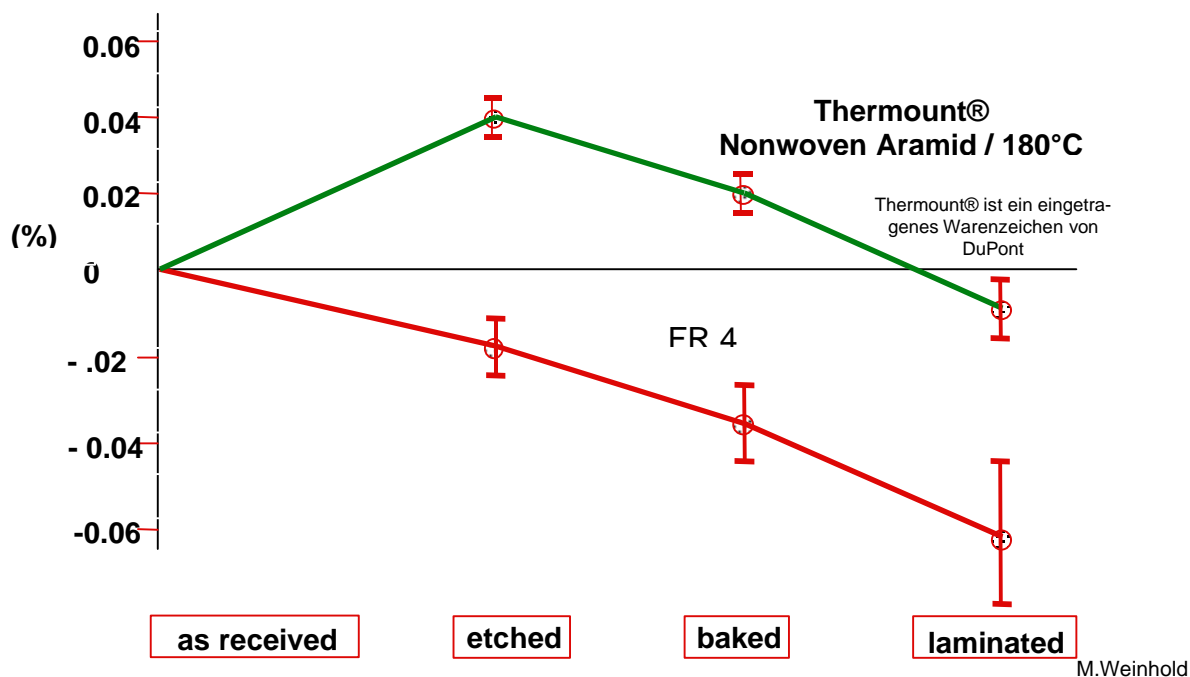


Figure 8: Dimension stability of thin material (courtesy of DuPont)

Table 8: Film scaling factors for FR4-material (courtesy of mie - Multiline)

No. of layers	FR4 - material core - thickness	Scaling - factor		Scaling-factor size: 457 mm x 610 mm	
		warp	weft	warp (µm)	weft (µm)
4	0,10 - 0,20	0,04%	0,02%	240	120
	0,25 - 0,30	0,03%	0,03%	180	180
	0,36 - 0,41	0,03%	0,03%	180	180
	0,51 - 0,71	0,02%	0,02%	120	120
6	0,10	0,05%	0,03%	300	180
	0,20	0,04%	0,02%	240	120
	0,30	0,04%	0,04%	240	240
	0,36	0,04%	0,01%	240	60
	0,41	0,03%	0,01%	180	60
	0,51	0,02%	0,02%	120	120
8	0,61	0,02%	0,02%	90	90
	0,1	0,07%	0,03%	420	180
	0,2	0,06%	0,02%	360	120
	0,3 (35 µm Cu)	0,05%	0,03%	300	180
	0,3 (18 µm Cu)	0,04%	0,00%	240	0

4 Registriergenauigkeit beim Multilayer – Lay-up – Kernlagen

4.1 Einfluß des Innenlagenprozesses

Im folgenden wird die Registriergenauigkeit beim ML-Lay-up betrachtet. Als Beispiel dienen die Daten eines 8-lagigen Multilayers (Tabelle 9). Verglichen wurden auch nochmals die beiden Herstellungsverfahren von Innenlagen, um deutlich zu machen, wie sich die Fehler entsprechend fortpflanzen. Ebenfalls wurde das Aufnahmelochbohren für das mechanische Bohren berücksichtigt, das entweder manuell über 2 optische Passer auf Lage 2 oder mit Röntgenbohrmaschinen über Passerstapel des gepreßten Multilayers erfolgt.

Die Rechnung zeigt, daß sich bei einem 8-lagigen Multilayer die Toleranzwerte über 50 µm geringer sind beim Post-etch-Punch-Prozeß. Im Vergleich zum manuellen Aufnahmelochbohren zeigt sich beim Einsatz von Röntgenbohrmaschinen, daß sich hier die Toleranzwerte nicht vergrößern. D.h. zum Aufnahmelochbohren für das mechanische Bohren, Laserbohren oder SBU-Techniken sind Röntgenbohrmaschinen besonders geeignet.

4 Registration accuracy of multilayer – lay-up – core layer

4.1 Influence of the innerlayer process

The registration accuracy of the lay-up of an 8-layer Multilayer is considered in Table 9. The two innerlayer processes are compared to show how the errors propagate itselfs. The mechanical tooling hole drilling is also considered, this can be done either by the drilling of 2 optical targets on layer 2 or by the X-ray drilling of a best fit from each target stack of the multilayer.

The result of the calculation shows that the tolerance of an 8-layer multilayer is 50 µm lower when the multilayer is produced with the post-etch-punch process. The tolerance values do not increase if the tolling holes are drilled with an X-ray drilling machine. This means, X-ray drilling is particularly suitable for mechanical drilling, laser drilling and SBU techniques.

Table 9: Registration accuracy innerlayer to innerlayer of an 8-layer multilayer

Comparison of tolerances	Preexpose process	Automatic PE-process
Error of the 1nd IL	± 89 µm	± 57 µm
Error of the 2nd IL	± 89 µm	± 57 µm
Error of the 3rd IL	± 89 µm	± 57 µm
Accuracy lamination plates	± 25 µm	± 25 µm
Error of positioning & pinning (4-slot-System)	± 15 µm	± 15 µm
Sum of errors after lamination	± 157 µm	± 103 µm
Error registration holes		
Error registration holes, drilled manually	± 60 µm	± 60 µm
Error registration holes, drilled with X-ray	± 15 µm	± 15 µm
Sum of total errors before drilling without X-ray	± 168 µm	± 119 µm
Sum of total errors before drilling with X-ray	± 157 µm	± 104 µm

4.2 Einfluß des Basismaterials

Bild 7 zeigt deutlich den wesentlichen Einfluß des Basismaterials auf Registrierproblematik. Die Dimensionsänderungen des Materials über die Fertigungsprozesse sind nicht das eigentliche Problem, sondern die Standardabweichungen der Veränderungen. Deshalb ist es wichtig bei dieser Betrachtung, ebenfalls die Standardabweichung der Dimensionsveränderung des Basismaterials zu berücksichtigen. Sie liegen nach dem Verpressen im Bereich von $\pm 0,015\%$. Dies bedeutet, die statistischen Schwankungen der Dimensionsänderungen bei einem Panel von 610 mm Länge im Bereich von $\pm 100 \mu\text{m}$ liegen. Werden diese Standardabweichungen der Dimensionsänderungen mit berücksichtigt, so treten bei der Herstellung von 8-lagigen Multilayern Gesamttoleranzen zwischen $\pm 145 \mu\text{m}$ bis zu $\pm 185 \mu\text{m}$ auf.

Um diese Toleranzen zu bestätigen, wurden Versuche von mie - Multiline und Ruwel AG – Werk Wetter durchgeführt. Es wurden je 50 Nutzen mit $100 \mu\text{m}$ und $250 \mu\text{m}$ Core-Dicke über den gesamten Innenlagenprozeß gefertigt und mit je 2 Lagen 1080 Prepreg als 4-lagiger ML verpreßt. 9 Targets wurden auf der Innenlage positioniert und nach dem Prozeß vermessen (Bild 9). Die Meßergebnisse wurden über die Mittellinie der Targets vermittelt und graphisch dargestellt (Bild 10 und 11).

4.2 Influence of the basematerial

Fig. 7 shows the particular influence of the basematerial on the registration accuracy. The dimension changes during the production is not the main problem. The problem is the standard deviation of the changes which are in the range of $\pm 0,015\%$ after lamination. This means, the dimensional fluctuation of panels with a length of 610 mm (24") is about $\pm 100 \mu\text{m}$ (4 mil). If you also take in consideration the material fluctuation in the production of an 8-layer multilayer, then the result of the total tolerance will be from $\pm 145 \mu\text{m}$ up to $\pm 185 \mu\text{m}$.

A test was made at Ruwel AG, Wetter, to confirm these tolerances. 50 panels with $100 \mu\text{m}$ and $250 \mu\text{m}$ core thickness were processed and laminated with 2 sheets of 1080 prepreg as a 4 - layer multilayer. 9 targets were positioned and measured after the process (Fig. 9). The results were zeroed in over the center line and presented graphically (Fig. 10 and 11).

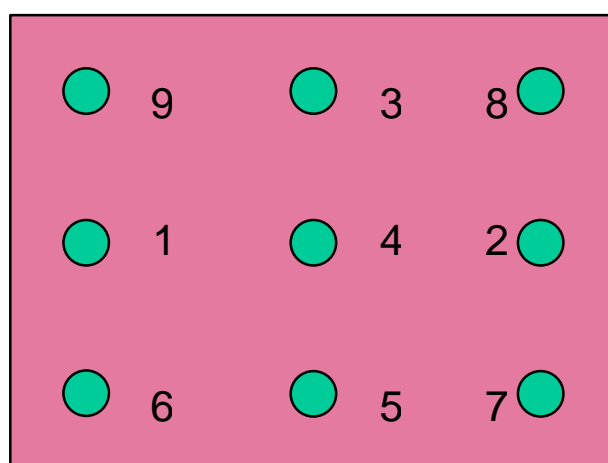


Figure 9: Placement of the 9 targets on the test panel (457 mm x 610 mm)

MIE - Registrieren von HDI – Leiterplatten / Registration of HDI boards

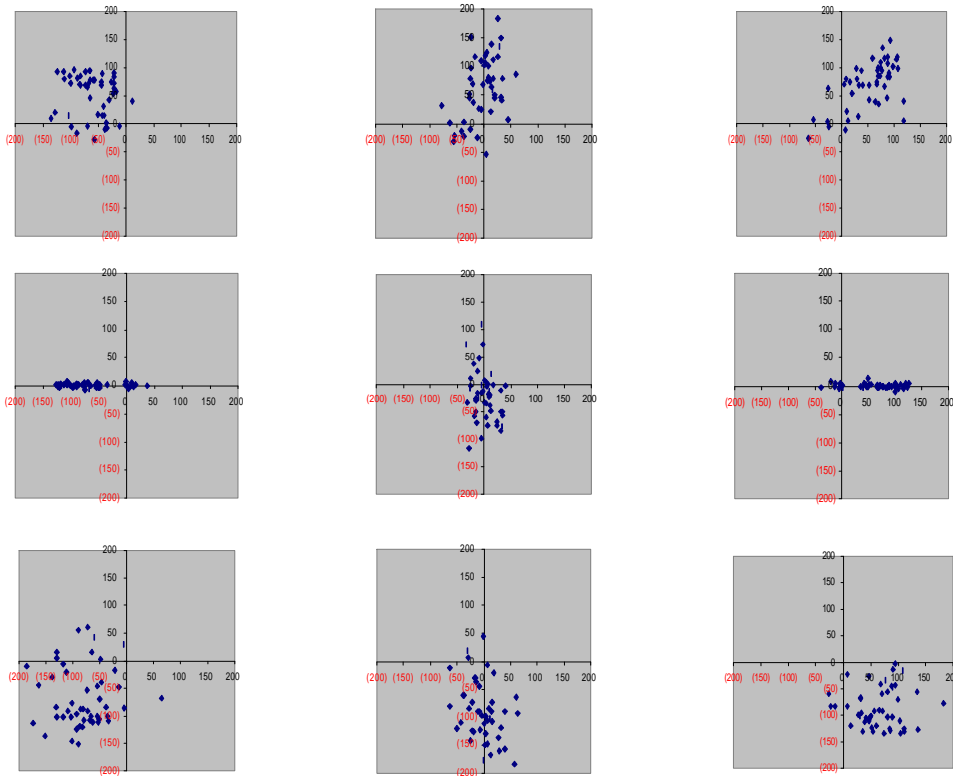


Figure 10: Test results of 100 µm core material zeroing over the center line (courtesy of mie – Multiline)

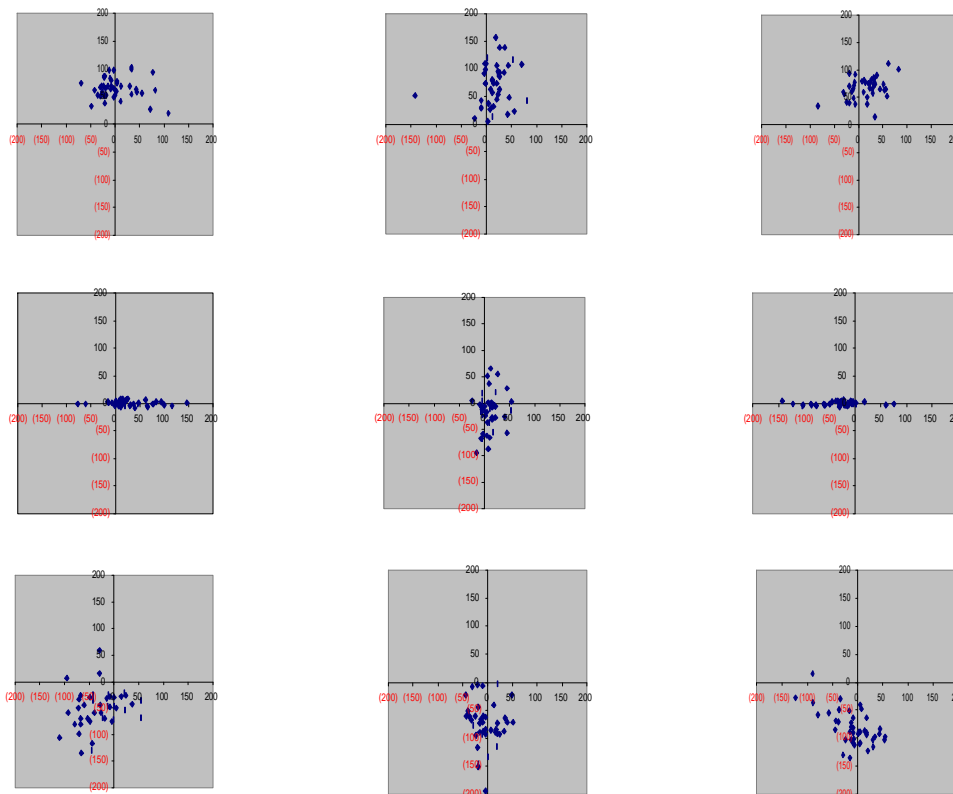


Figure 11: Test results of 250 µm core material zeroing over the center line (courtesy of mie – Multiline)

Ähnliche Versuche wurden bei der ISOLA AG durchgeführt. Hier wurde der Einfluß von Prepreg und der Innenlage auf das Dimensionsverhalten der Multilayer untersucht.

Folgende Regeln gelten:

- Je geringer der Harzgehalt ist, desto geringer ist die Streuung
- Je gröber das Glasgewebe ist, desto geringer ist die Streuung
- Kette / Schuß: Generell findet in Kette sowie auch in Schußrichtung eine Schrumpfung, bedingt durch die Harzpolymerisation statt
- Die Schrumpfwerte in Kettrichtung sind aufgrund der Vorspannung im Gewebe tendentiell größer
- Der Einfluß der Relaminierprepregs ist im Vergleich zu den eingesetzten Innenlagen weit höher bezüglich des Dimensionsverhaltens im ML-Verbund zu bewerten

ISOLA AG executed similar tests. The influence of prepreg and core material, on the dimension behavior of multilayer, was examined.

The following rules apply:

- *the smaller the resin content is, the smaller is the deviation*
- *the rougher the glass fabric is, the smaller is the deviation*
- *warp / weft: shrinkage generally takes place in warp and weft direction, due to the resin polymerization*
- *The shrinking values in warp direction have a tendency to be larger, this is due to the preliminary tension of the glass fabric*
- *The influence of the prepreg on dimension behavior of the ML laminate is higher than the one of the core material*

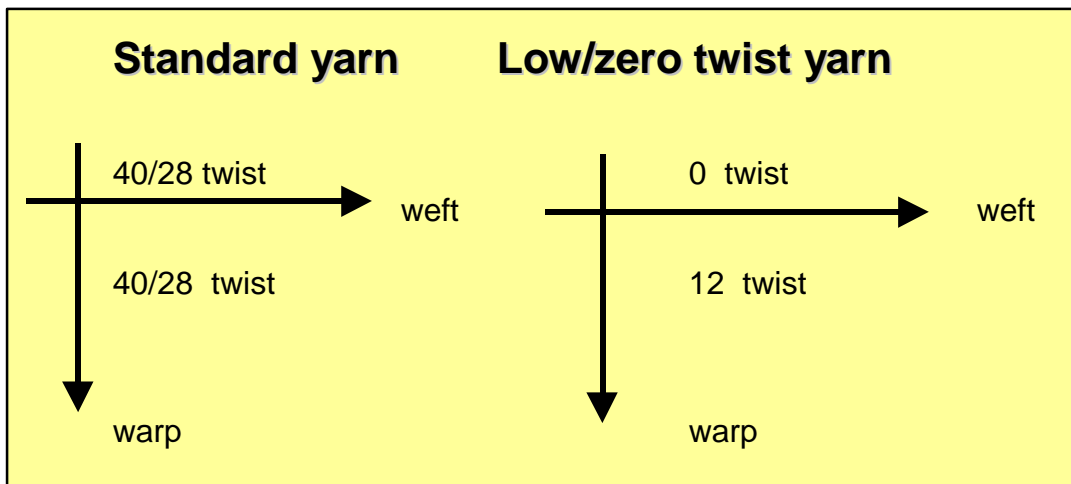


Figure 12: Comparison of „drills“ of standard yarn to low/zero-yarn in turn per current meter yarn (courtesy of ISOLA AG)

5 Registriergenauigkeit beim Multilayer – Lay - up – Microviaagen

5.1 Registriergenauigkeit “Geätze Kupferlage – Photovia”

Betrachtet wird die Registrierung des Foto-prozesses von der Lage 1 zu Lage 2, die erforderlich ist, um z.B. eine geätzte Kupfermaske oder Photovias zu erzeugen. Verglichen werden hier der Einsatz von mechanischem und optischem Registrieren beim Belichten sowie das Aufnahmelochbohren mit einer optischen Bohrmaschine und einer Röntgenbohrmaschine, da diese beiden Prozesse die Registriergenauigkeit wesentlich beeinflussen.

5 Registration accuracy with the multilayer – lay - up – microviaalayers

5.1 Registration accuracy “Etched copper-layer – Photovia”

It is necessary to consider the registration from layer 1 to layer 2 in order to produce the copper-mask or the photovias. The mechanical and the optical alignment at exposing and the tooling hole drilling, with optical or X-ray drilling, are compared together. In this production step, both processes affect strongly the registration accuracy.

Table 10: Registration accuracy „Etched copper-layer – photovia“

Comparison of tolerances			
Tooling hole drilling	Manually	X - ray	X - ray
Registration of the exposure unit	Pin	Pin	CCD - optical
Accuracy of the tooling hole drilling	± 60 µm	± 15 µm	± 15 µm
Accuracy of the artwork	± 30 µm	± 30 µm	± 30 µm
Distortion of the artwork	± 10 µm	± 10 µm	± 10 µm
Punch positions accuracy of the artwork punch	± 13 µm	± 13 µm	
Error of positioning & pinning of the artwork	± 10 µm	± 10 µm	
Error of positioning of the panel in the unit	± 15 µm	± 15 µm	
Error of the optical alignment in the unit			± 20 µm
Size change of the artwork during exposing	± 20 µm	± 20 µm	± 20 µm
Sum of total errors	± 74 µm	± 46 µm	± 45 µm

Auch hier wird wieder deutlich, daß der Einsatz von Röntgenbohrmaschinen eine deutliche Verbesserung bringt, während sich bei optischer Registrierung beim Belichten die Werte sich nicht signifikant ändern.

Veränderungen von Filmen und Basismaterialien sind hier nicht berücksichtigt.

The result shows the enhancement of the accuracy using X-ray drilling machines. There is no significant change when using optical alignment during exposing.

The dimensional instability of films and base-material are not considered.

5.2 Registriergenauigkeit “Mechanisches Sacklochbohren”

Betrachtet wird die Registrierung des mechanischen Bohrens von der Lage 1 zu Lage 2 mit einer 5-Spindel-Bohrmaschine. Auch hier zeigt sich der Vorteil beim Einsatz von Röntgenbohrmaschinen.

5.2 Registration accuracy “Mechanical drilling of blind vias”

The registration from layer 1 to layer 2 is considered using a 5 spindle mechanical drilling machine. There is an obvious advantage by using an X-ray drilling machine.

Table 11: Registration accuracy „Mechanical drilling of blind vias“

Comparison of tolerances		
Tooling hole drilling	Manually	X - ray
Accuracy of the tooling hole drilling	± 60 µm	± 15 µm
Accuracy of the x - y - table	± 10 µm	± 10 µm
Error of positioning of the tooling pins on the table	± 15 µm	± 15 µm
Error of positioning & pinning of the panel to the pins	± 15 µm	± 15 µm
Error of positioning of the drill spindle	± 10 µm	± 10 µm
Error of positioning of the 5 spindles to each other	± 22 µm	± 22 µm
Error of the drift of a 100 µm drill bit	± 10 µm	± 10 µm
Sum of total errors	± 69 µm	± 38 µm

5.3 Registriergenauigkeit “Laserbohren”

Betrachtet wird die Registrierung des Laserbohrens von der Lage 1 zu Lage 2. Verglichen wird die Registrierung über manuell gebohrte und Röntgen - gebohrte Registrierlöcher sowie über optische Ausrichtung. Es zeigt sich eine deutliche höhere Genauigkeit beim Laserbohren, wenn die Registrierung über Röntgen-gebohrten Registrierlöcher oder optischer Ausrichtung und nicht über manuell aufgebohrten Registrierlöcher erfolgt.

5.3 Registration accuracy “Laser drilling”

The registration from layer 1 to layer 2 is considered. Three options of alignment are compared: mechanical optical tooling hole drilling, X-ray drilling and optical alignment. The result shows how important the alignment is in laser drilling.

Table 12: Registration Accuracy „Laser Drilling“

Comparison of tolerances			
Tooling hole drilling	Manually	X- ray	CCD-optical
Accuracy of the tooling hole drilling	± 60 µm	± 15 µm	
Accuracy of the x - y - table	± 10 µm	± 10 µm	± 10 µm
Error of positioning of the registration pins on the table	± 10 µm	± 10 µm	
Error of positioning & pinning of the panels to the pins	± 15 µm	± 15 µm	
Accuracy of the positioning of the optical target on layer 2			± 25 µm
Accuracy of the optical system	± 20 µm	± 20 µm	± 20 µm
Accuracy of the galvo system	± 20 µm	± 20 µm	± 20 µm
Accuracy of the laser beam	± 10 µm	± 10 µm	± 10 µm
Sum of total errors	± 70 µm	± 39 µm	± 40 µm

6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde der Versuch gewagt, das Thema „Registrieren“ sehr detailliert darzustellen. Obwohl nur Teilbereiche betrachtet wurden, wird deutlich, daß es sehr wichtig ist, das jeweils betrachtete Registrierproblem in Einflußgrößen aufzuschlüsseln und dann die Toleranzen einzeln zu betrachten. Die Gesamttoleranz des Prozesses kann dann mittels Fehlerfortpflanzungsgesetz sehr gut abgeschätzt werden. Wichtige Voraussetzung für diese Betrachtung ist aber, daß die statistischen Toleranzen der Gaußschen Verteilung genügt. Meßergebnisse zeigen jedoch manchmal, daß dies nicht immer der Fall ist. Trotzdem haben wir dieses für alle Betrachtungen in diesem Kapitel vorausgesetzt.

Durch das Fehlerfortpflanzungsgesetz wird auch klar, welche Einflußgrößen die wesentlichen Faktoren für das Registrierproblem sind. Als Beispiel soll eine fiktive Registrieraufgabe dienen, die die Einflußgröße 1 mit der Toleranz $\pm 60 \mu\text{m}$, die Einflußgröße 2 mit der Toleranz $\pm 40 \mu\text{m}$ und die Einflußgröße 3 mit der Toleranz $\pm 10 \mu\text{m}$ hat. Die Gesamttoleranz für diese Aufgabe ist somit $\pm 73 \mu\text{m}$. Um die Registrierung wesentlich zu verbessern, muß zuerst die Toleranz der Einflußgröße 1 verringert werden und nicht die der Einflußgröße 3. Würde die Toleranz der Einflußgröße 1 um z.B. 30% verkleinert, also um $20 \mu\text{m}$, auf $\pm 40 \mu\text{m}$, so würde sich die Gesamttoleranz der Registrieraufgabe auf $\pm 57 \mu\text{m}$ verkleinern. Dagegen würde sich die Toleranz von $\pm 73 \mu\text{m}$ nicht verändern, wenn die Toleranz der Einflußgröße 3 um 30 %, also von $\pm 10 \mu\text{m}$ auf $\pm 7 \mu\text{m}$, verkleinert würde.

Der Autor dankt den Herren und Firmen für die Diskussionen und Beiträge:

Andreas Schilpp (Würth Elektronik GmbH), Ulrich Lacher (Vantico AG), Jürgen Willuweit (Isola AG), Oliver Fenner und Burghard Koch (Ruwel AG), Dr. Karsten Andrä und Paul R. Waldner (mie)

6 Conclusion

In this chapter an attempt at discussing the theme “Registration” will be made in detail. Some of the most important processes are described and the registration problem is classified by influencing variables with its tolerances. Afterwards, the total tolerance can be calculated with the Gauss law of error propagation. An important prerequisite for this view is that the statistical tolerance of the values should be Gauss distributed. The result of the measurements shows that this is not always the case. Nevertheless, we presupposed this for the views in this chapter.

It can be easily shown which variables are related to the registration problem by using the law of error propagation. As an example, the registration issue shows the variable 1 with a tolerance of $\pm 60 \mu\text{m}$, the variable 2 with the tolerance of $\pm 40 \mu\text{m}$ and the variable 3 with the tolerance of $\pm 10 \mu\text{m}$. The total tolerance is $\pm 73 \mu\text{m}$. The tolerance of variable 1, not the tolerance of variable 3, must be substantially improved to optimize the registration. If the tolerance of variable 1 is reduced by 30% from $60 \mu\text{m}$ to $40 \mu\text{m}$, the total tolerance of the registration issue will be reduced from $\pm 73 \mu\text{m}$ to $\pm 57 \mu\text{m}$. However, if the tolerance of variable 3 is reduced by 30% from $10 \mu\text{m}$ to $7 \mu\text{m}$, the total tolerance will be still $\pm 73 \mu\text{m}$.

I would like to acknowledge the following people and companies for their help in preparing the materials for this paper: