

Ineke van Tiggelen-Aarden

# Kosteneffizientes Testverfahren zur QS von Lotpasten – Teil 2

**Die korrekte Anwendung der Lotpaste zur Herstellung von physikalischen und elektrischen Verbindungen ist absolut unerlässlich, um Qualität und Zuverlässigkeit von SMT-Baugruppen zu erzielen. Leider verfügen viele Anwender jedoch über nur unzureichende Kenntnisse und Equipment für eine allgemeine oder gar in die Tiefe gehende Evaluierung von Lotpaste – eine optimale Qualität ist somit nicht gegeben.**

## Slumping bzw. Konturenstabilität einer Lotpaste

Slumping bezeichnet hier eine permanente Deformation des Lotpastenauftrags durch Schwerkraft, Vibration und/oder Wärmeeinwirkung nach dem Pastendruck. Der Definition nach ist der Zusammenfall bzw. Slumping ein rheologisches Phänomen. Obgleich auch Schwerkraft und Vibration Einfluss auf die Konturenstabilität nehmen, zeigt die Temperatur die größten Auswirkungen und ist damit der wichtigste Faktor. Das in der Lotpaste enthaltene Flussmittel-Material wird durch die Einwirkung von Wärme

sehr viel geschmeidiger. Das Slumping wiederum wird durch die elastischen Eigenschaften der Lotpaste reguliert und ist somit maßgeblich für Defekte wie z.B. Brücken- und Lotperlenbildung verantwortlich.

Der sogenannte Slump-Test, wie er in der IPC ANSI-JSTD-05 Norm beschrieben ist, spezifiziert ein Layout und dessen Schablonenstärke für Lotpaste mit einem bestimmten Bereich in Bezug auf die Partikelgröße. Da das Lotpastenpulver mit einer Partikelgröße im Bereich von 25 bis 45 µm (Klasse 3) noch immer die meist verbreitete Anwendung in der Industrie darstellt, ist der Schwerpunkt auf das IPC-A-21 Layout zu legen (**Bild 8**).

Beim Arbeiten mit dem zuvor gezeigten Layout können die Linien in den Lötstellen von 0,63 mm x 2,03 mm Größe einfach ignoriert werden. Es hat sich herausgestellt, dass die meisten Lotpastentypen in diesem Bereich des Testmusters überhaupt kein Slumping aufweisen. Das Potenzial zur Unterscheidung zwischen einer guten Paste und einer mittelmäßigen ist praktisch null. Für den Fall, dass es Anzeichen für Slumping in den größeren Strukturen gäbe, wäre dies zudem sehr wahrscheinlich auch im feineren Bereich



Bild 9: Für einen verbesserten Slump-Test wurde eigens eine neue Schablone entwickelt

des Layouts feststellbar. Die grobe Layoutstruktur wird außer Acht gelassen, weil sie für die hier zu bewältigende Aufgabe ohne Nutzen und zudem irrelevant ist.

## Experimente und Ergebnisse

Zwecks Abfallreduzierung wurden einige Experimente durchgeführt, wobei die Verwendung separater Test-Coupons für den heißen und kalten Slump-Test, wie gemäß IPC Norm vorgeschrieben, gegenüber dem Einsatz nur eines einzigen Keramik-Test-Coupons verglichen wurde. Beim letztgenannten Verfahren wurde der Coupon nach dem Drucken zunächst den Bedingungen für kaltes Slumping ausgesetzt, und nach einer entsprechenden Evaluierung durchlief der selbe Coupon einen heißen Slump-Test. Das Experiment ergab keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Alternativen, so dass man entschieden hat, künftige Tests nur noch mit einem Coupon durchzuführen.

Man musste feststellen, dass manuelle Druckvorrichtungen eine größere Streuung der Resultate in Bezug auf die Druckdefinition aufweisen; daher wurde die Verwendung eines kleineren halbautomatischen Tischdruckers eingeführt, mit Rakelblättern aus Edelstahl in einem gleichbleibenden Winkel von 60° und reproduzierbarem Rakeldruck sowie wiederholbarer Druckgeschwindigkeit.

Entsprechend der Norm wird mit Slumping die Brückenbildung zwischen benachbarten Lötstellen bezeichnet. Wie in **Bild 9** dargestellt, liegen die Zwischenräume der vorderen Lötstellen und die Linienenden am dichtesten beieinander. Zur Mitte hin werden die Abstände größer. Es ist daher wahrscheinlich, dass im Falle einer Brückenbildung erste Anzeichen an den Liniengrenzen auftreten.

Je anfälliger eine Paste für Slumping ist, desto mehr Brücken entstehen in Rich-

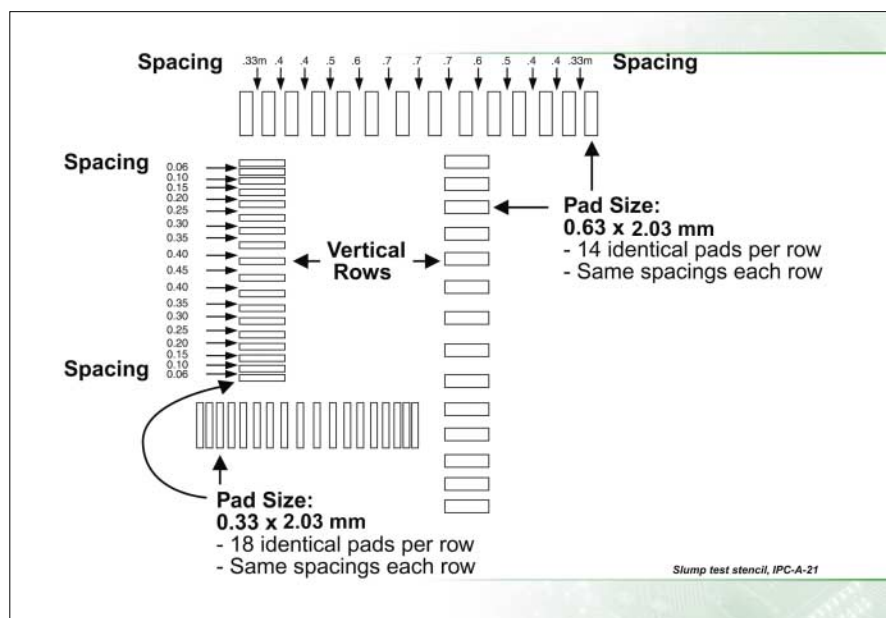


Bild 8: Das Slump-Test Layout, wie in der IPC ANSI-JSTD-05 Norm für Lotpaste spezifiziert, enthält Pulver mit einer Körnung von bis zu 25 bis 45 µm (Klasse 3). Heutzutage sind die größeren Lötstellen (0,63 mm x 2,03 mm) irrelevant



**all-electronics.de**  
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
all-electronics.de!

**Hier klicken & informieren!**



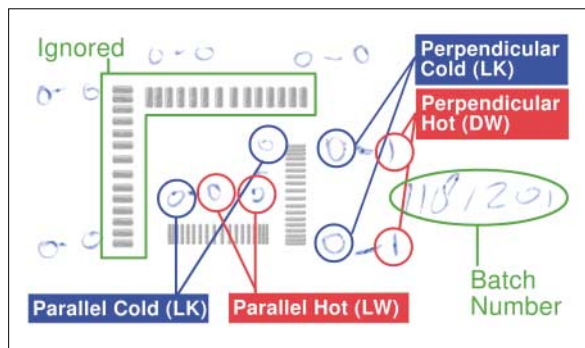


Bild 10: Ein Testergebnis beim IPC Layout. Die Markierungen werden durch Abkürzungen in Großbuchstaben bezeichnet; zunächst erfolgt eine entsprechende Eingabe für die statistische Datenverarbeitung, um den sog. Slump-Index ermitteln zu können

tung der Linienmitte. Unter normalen Bedingungen kann niemals eine Brückenbildung im oder nahe beim Linienzentrum erfolgen, wenn die Grenzbereiche kein solches Verhalten aufweisen. Das Auftreten von einer aneinander gereihten Brückenbildung von den äußeren Kanten hin zum Zentrum der Reihen gestaltet die Auswertung des Slumpings recht einfach und unkompliziert: Man braucht bloß die Menge der gebrückten Zwischenräume zu zählen. Die Inspektion wird mit Hilfe eines Mikroskops mit 10-facher Vergrößerung ausgeführt.

Die Norm gibt außerdem vor, dass nachdem die Bedingungen für einen heißen Slump-Test gegeben sind, keine Brückenbildung mehr für Abstände von 0,25 mm und größer erfolgen darf. Dies impliziert gleichzeitig ein Maximum von 5 am Ende jeder Reihe im Slump-Test gebrückten Zwischenräume.

Bei Inspektion des Slump-Musters direkt nach jedem Druck und anschließendem Vergleich mit einer Sichtprüfung nach erfolgtem kalten bzw. heißen Slump-Test konnte folgendes festgestellt werden:

- Die Ausrichtung des Testmusters senkrecht oder parallel zum Druckauftrag beeinflusst die Druckdefinition maßgeblich. Innerhalb der Norm werden unterschiedliche Ausrichtungen als 'horizontal' bzw. 'vertikal' bezeichnet. Man kann der Auffassung sein, dass die Benennung als 'senkrecht' bzw. 'parallel' weniger Raum für Missverständnisse lässt.

### Kalter und heißer Slump-Test

Die Ergebnisse des kalten Slump-Tests waren identisch mit denen der Inspektion der Druckdefinition. Das Ergebnis des heißen Slump-Tests wird – zu einem gewissen Maß – durch die Druckdefinition bestimmt. Nach beidem, kaltem und heißem Slump Test, wurden die Brücken

zwischen den Pads gezählt und registriert (**Bild 10**).

Zusätzlich zur optischen Inspektion mit einem Mikroskop wurde die Höhe des Schichtstärkenauftrags im 2D- und dessen Volumen im 3D-Modus ebenfalls anhand eines Instruments zur optischen Inspektion ermittelt. Die Ergebnisse wurden nach dem Druck und nach dem Aussetzen unter den Bedingungen ein-

es heißen Slump Tests verglichen (**Bild 11**).

Mit einer analytischen Waage hat man das Gewicht der Keramik-Coupons vor und unmittelbar nach dem Druck sowie nach einer zuvor definierten Abkühlphase im Anschluss an den heißen Slump-Test ermittelt. Dadurch erhielt man eine Vorstellung von den Gewichtsveränderungen während des Slumpings. In einem weiteren Stadium des Projekts bestätigte eine TGA/FTIR-Analyse, dass der Gewichtsverlust hauptsächlich auf der Verwendung eines lösemittelhaltigen Systems beruht (**Bild 12**).

### Ermittlung des Slump-Index

Zur Verfolgung der Slump-Test-Schwankungen wurde der sogenannte Slump-Index entwickelt. Dieser kann den Daten für eine statistische Analyse zugeordnet werden. Der Unterschied in den Ergebnissen eines Heiß-Slump-Tests wird durch die Druckrichtung bestimmt – senkrecht ►

2&3D Imaging Averages						
Paste A			Paste B			
[mil]	Height	Volume Index	Height	Volume Index		
Perpendicular	7.5	33.095	100.0	8.5	33.388	100.0
Parallel	7.0	35.585	107.5	7.3	34.322	102.9
Overall	7.2	34.340	—	7.9	33.844	—

Relative Changes by Hot Slump						
[%]	Height	Volume Index		Height	Volume Index	
Perpendicular	13.2	8.8	100.0	24.7	11.5	100.0
Parallel	8.7	8.9	101.6	14.9	10.5	91.3
Overall	11.0	8.8	—	19.8	10.9	—

Bild 11: Paste A weist im Volumen einen um 7,5 % höheren Schichtstärkenauftrag bei parallelen Testmustern auf (2,9 % für Paste B). Außerdem sind für Produkt B nach dem heißen Slump-Test mehr signifikante Veränderungen in Bezug auf Höhe und Volumen festzustellen (21,5 bzw. 10,9 %). Senkrecht zueinander verlaufende Reihen mit einem geringeren Pastenauftrag nach dem Druck verfügen über eine geringere thermische Masse und reagieren daher eher mit Höhenveränderungen auf Hitzeeinwirkung als parallele Testmuster dies im Vergleich nach einem heißen Slump Test ergeben. Allerdings weist Paste B eine höhere Empfindlichkeit auf. Die Reduktionen im Volumen waren im letzten Fall nicht schlüssig

und parallel angeordnete Reihen. Somit hat die Reihenausrichtung keinen Einfluss auf die Slump-Eigenschaften der Paste. Dementsprechend kommt derartigen Abweichungen im Slump-Index auch keine Bedeutung zu.

Gemäß dem originalen IPC-Verfahren sollte eine gute Paste vorzugsweise keine oder nur wenige Lotbrücken nach dem heißen Slump-Test aufweisen. Dies würde eine sehr niedrige Kennziffer im Index oder gar einen Nullwert bedeuten. Beim Slump-Test anhand von rheometrischen Methoden würde einer Paste ohne jegliches Slumping bzw. Zusammenfließen ein höherer Stellenwert zukommen. Da aber ein positiver Korrelationskoeffizient zwischen den Ergebnissen beider Methoden angestrebt war, hat man der Gleichung eine Konstante beigelegt. Zunächst wurde der Slump-Faktor ermittelt:

$$\text{Slump Faktor } S_f = (S_w/N - S_k/N)$$

Wobei

w = Anzahl der Lotbrücken an einem Ende einer Reihe nach dem heißen Slump Test,

k = Anzahl der Lotbrücken an einem Ende einer Reihe nach dem Druck und

N = Anzahl der Messdurchläufe in jeder Kategorie.

Unter Einbeziehung der Tatsache, dass die Zwischenräume der Pads zur Mitte der Reihe hin größer werden, ist es angebracht, die Einstufung der jeweils nächsten entstandenen Brücke zu differenzieren. Dahinter verbirgt sich die einfache Logik, dass eine Paste erforderlich ist, welche um ein Vielfaches mehr zum Slumping neigt, so dass nicht nur der folgende Zwischenraum überbrückt wird, sondern darüber hinaus auch eine nächste Lücke, selbst wenn diese einen um ca. 17 % größeren Abstand hat als die vorangegangene.

Daher ist der Slump-Faktor in mehrere Fragmente unterteilt. Jedes Teilstück wird mit einem höherwertigen Faktor multipliziert. Der Tabellenkalkulation des Slump-Index liegen folgende Algorithmen zugrunde:

```
IF Sf >= 1
  Sub1 = Sf - 1
  F1 = 1 * 10
ELSE Sub1 = Sub1 - Sub1
  Sf * 10
ENDIF
IF Sub1 >= 1
  Sub2 = Sub1 - 1
  F2 = 1 * 15
ELSE Sub2 = Sub2 - Sub2
  Sub1 * 15
ENDIF
```

Weight after Printing			
	Paste A	Paste B	
	[g]	[g]	
Average	0.0620	0.0657	5.967% +

Relative Weight Loss by Hot Slump		
Average	3.43	2.17
Std D	0.65	0.38
% Spread	18.9	

Bild 12: Obgleich Paste A den geringeren Verlust an Volumen und Höhe aufweist, ist der Gewichtsverlust während des heißen Slump-Tests ungleich größer

Auf diese Weise wurden vier Teilbereiche mit einem ansteigenden Gewichtungsfaktor von 10, 15, 20 und 25 erzeugt.

$$S_i = F_1 + f_2 + f_3 + F_4$$

Als Beispiel hier die Kalkulation des Slump-Index des in Bild 10 dargestellten Test-Coupons:

$$\text{Slump-Faktor } S_f = ((S \ 0,0,1,1/4) - (S \ 0,0,0,0/4)) = 0,5$$

Die gewogenen Teilbereiche werden kalkuliert als

$$F_1: 0,5 * 10 = 5$$

$$F_2: 0,0 * 15 = 0$$

$$F_3: 0,0 * 20 = 0$$

$$F_4: 0,0 * 25 = 0$$

$$S_f = 5$$

Anschließend wird der Slump-Index wie folgt ermittelt:

$$S_i = 100 - S_f = 100 - 5 = 95$$

## Slump-Index-Interpretationen

Unter Berücksichtigung sowohl der Anforderungen gemäß der bestehenden Norm als auch der Berechnung des Slump-Index gelten Zählergebnisse von mehr als 5 gebrückten Zwischenräumen innerhalb eines einzigen Bereichs sowie einem Slump-Index-Wert von < 30 automatisch als Ausschuss. Ein Index von 100 bezeichnet ein perfektes Resultat ohne jegliche Zusammenfließen der Paste (Slumping).

Durch die Subtraktion der Druckdefinition/Kalt-Slumping vom Heiß-Slumping wird der Index – wenn auch zu einem geringst möglichen Maß – dennoch durch die Druckdefinition beeinflusst.

Technologisch moderne Lotpasten zur Gewährleistung einer optimalen Druckdefinition verlangen eine spezifische und reproduzierbare Trenngeschwindigkeit; dieser Tatsache wird durch den Wechsel auf ein Drucksystem Rechnung getragen, welches speziell für Produktionsbedingungen konstruiert wurde und über sämtliche Optionen für einen hochentwickelten Pastendruck verfügt. Für jedes Produkt, das den Slump-Test durchlaufen hat, wurde der Drucker entsprechend den jeweils empfohlenen Anwender-Richtlinien optimal neu justiert. Nachdem ein statistisch relevanter Bereich erfasst war, wurden die Daten in einem R & R-Test [6] verwendet. Sowohl die Prozess-Wiederholbarkeit als auch die Reproduzierbarkeit des Slump-Index bei unterschiedlichen Bedienpersonen ergab zufriedenstellende Resultate, wobei ein Streuergebnis von maximal 10 % für jedes im Projekt behandelte Produkt mit einbezogen wurde.

Dies lässt eine zuverlässige Schlussfolgerung zu, wonach einerseits ein höherer Flussmittelanteil in einer Paste sowie die Verflüchtigung von Flussmittel maßgeblich auf die Slumpingeigenschaften einwirken, andererseits aber auch weitere Parameter, wie z.B. die Länge der Molekularkette von nichtflüchtigen Bestandteilen, eine Rolle spielen (Bild 13).

## Slumping-Potenzial

Vom rheologischen Blickwinkel lässt sich das Slumping (Zusammenfließen) über die elastischen Eigenschaften einer Lotpaste definieren. Was zählt, ist die Höhe der Belastbarkeit des Materials bevor die rheologische Struktur bricht.

Slumping (Zusammenfließen der Konturen) entsteht, wenn die viskosen Eigenschaften die elastischen Eigenschaften [7] dominieren und die Substanz zu fließen beginnt. Ein Fluss wird ausgelöst, sobald der Quotient zwischen den elastischen und den viskosen Eigenschaften – auch Dämpfungsfaktor genannt – größer als 1 ist.

Das Potenzial zum Slumping lässt sich anhand folgender Gleichung ermitteln: ▷

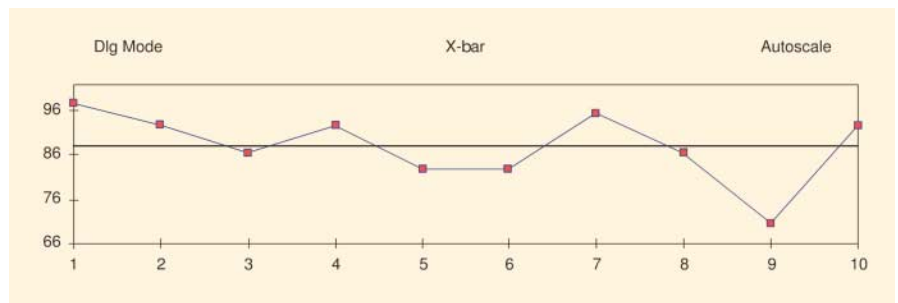


Bild 13: Die Mittelwertsabweichung unserer SPC-Datei weist 10 Datenpunkte im Slump-Index für Paste A auf: Mittelwert = 86,75; St D = 7880; LCL bei 3 delta = 64,107; LSL = 30; C<sub>pk</sub> = 2,442

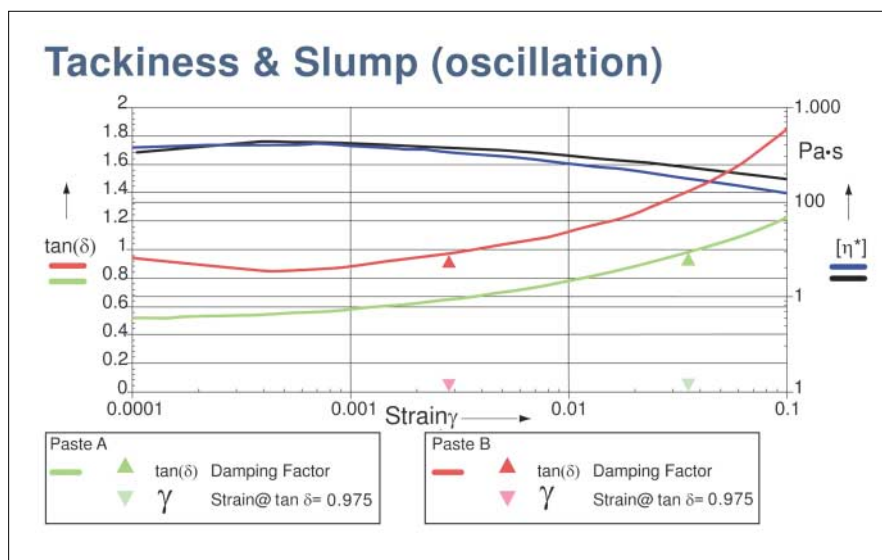


Bild 14: ist ein Diagramm der rheometrischen Bestimmung des Slumpings. Es liefert präzise Angaben und kann mit dem Test bezüglich der Klebekraft kombiniert werden. Es weist außerdem eine signifikante Korrelation zum Slump-Index-Test auf, wie dieser in vorliegender Dokumentation beschrieben ist. Die grünen Markierungen bezeichnen den Punkt des Slumpings von Paste A, die roten den entsprechenden Punkt für Paste B

$$S_r = S(\gamma; K)/N$$

((S von i=1 bis N))

Wobei:

$S_r$  = rheometrisches Slumping

N = Anzahl der interpolierten Datenpunkte, gemessen bei tan delta 0,95 bis hin zu einschließlich 1,00

$\gamma$  = Belastung

K = 1 000

tan delta = Dämpfungsfaktor

tan delta =  $G''/G'$

$G'$  = Speicher-Umrechnungsfaktor (elastische Eigenschaften)

$G''$  = Verlust-Umrechnungsfaktor (Viskose Eigenschaften)

Eine softwareüberwachte Analyse beinhaltet auch Schritte wie z.B. das Glätten der Rohdaten, Interpolation von Datenpunkten im Dämpfungsfaktor (tan delta) von 0,95 bis hin zu einschließlich 1,00 und das Errechnen des Durchschnittswerts eines Bereichs.

Die durch das Rheometer für viskose Flüssigkeiten ermittelte Zahl wird mit einer Konstante (1 000) multipliziert, um eine leichter begehbbare Messmarke zu erhalten.

Nachdem inzwischen ein bestimmter Entwicklungsstand dieses rheometrischen Slump-Tests erreicht ist, konnten Daten gesammelt werden, die eine geringere Streuung als die Resultate des Slump-Index aufwiesen.

Zudem konnte ein prägnanter Korrelationskoeffizient zwischen den Ergebnissen beider Methoden festgestellt werden. Dies brachte die nötige Motivation zur Fortsetzung der so weit abgeschlossenen Arbeiten.

## Schlussbemerkung

Slumping ist in der Tat ein rheologischer Parameter; und obwohl dem Schablonen Design eine Schlüsselrolle bei der Vermeidung von Lotperlen zukommt, kann Slumping ganz entscheidend auf die Lotperlenbildung einwirken. Nur ein verbesserter Slump-Test, z.B. mit einem messbaren Ergebnis, kann diese Korrelation darstellen. Ein solcher Test basiert auf dem Standard-IPC-Verfahren und erfordert keinerlei Investitionen in teure Instrumente, noch besondere Anforderungen an die Ausbildung der Bedienpersonen, um diese Methode auszuführen oder die Ergebnisse genau zu interpretieren. Der Index des verbesserten Slump-Tests kann zu Phänomenen wie z.B. Lotperlenbildung in Beziehung gesetzt und auch für die statistische Auswertung der rheometrischen Analyse im Oszillationsmodus verwendet werden.

Fax +31/76/5 44 55 77

www.cobar.com

productronic 438

Ineke van Tiggelen-Aarden, Management Technik, Cobar Europe BV.

## Literatur

- [6] Chrysler, Ford & GM: „Measurement System Evaluation“ im Referenz-Handbuch AIAG, Troy, Michigan 1990
- [7] Banens et al: Industriële Statistiek en Kwaliteit“ Kluwer Bedrijfwetenschappen, Deventer, 1994